

СЕЗОННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ В ПРОЛИВЕ ЛАПЕРУЗА ПО СПУТНИКОВЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ 1998–2003 ГГ.

Ж. Р. Цхай, Г. В. Шевченко

Сахалинский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии (Южно-Сахалинск)

ВВЕДЕНИЕ

Спутниковые наблюдения за температурой поверхности океана (ТПО) представляют собой один из наиболее информативных источников данных, отражающих особенности гидрологических процессов, протекающих в различных бассейнах. В последние годы дистанционные средства измерения и методы их обработки стремительно развиваются, обеспечивая все большее разрешение по времени и пространству (Kawamura, 2004).

Основное внимание при анализе ТПО уделяется обычно сезонным вариациям, прежде всего исследованию их пространственной структуры, которая описывает главные особенности океанологических процессов в изучаемом районе. На картах распределения ТПО можно выделить области влияния теплых и холодных течений, зоны проявления апвеллинга и иные структуры, например, относительно устойчивые вихри, что имеет как чисто научное значение, так и наряду с другими источниками данных для рыбопромысловых прогнозов.

В настоящей работе с применением различных статистических методов анализируются сезонные вариации ТПО в проливе Лаперуза, который отличается большой сложностью океанологических условий, так как находится в зоне влияния двух течений – несущего субтропические воды течения Соя и берущего свое начало в северной части Охотского моря Восточно-Сахалинского течения. Здесь также формируется такое интересное явление, как пояс холодных вод вблизи м. Крильон и скалы Камень Опасности (Макаров, 1950; Веселова, 1972). Известно, что в холодных поверхностных водах, обусловленных апвеллингом, активно ведется промысел песчанки (преимущественно японскими рыбаками) (Худя, 1994).

Помимо особенностей сезонного хода, рассмотрены также вариации ТПО синоптического масштаба, обусловленные прохождением над исследуемой областью глубоких циклонов. Резкие понижения температуры воды в прибрежной зоне, являющиеся результатом действия сильных ветров при циклоне, могут негативно сказываться на подходах горбуши и других лососевых рыб.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Материалом для статьи послужили данные по температуре поверхности воды в проливе Лаперуза, полученные системой TerraScan с искусственных спутников Земли NOAA с 1998 по 2003 г. Рассматривали среднесуточные распределения температуры поверхности океана в районе, ограниченном координатами 44,31–46,77° с. ш. и 141,75–143,68° в. д., на сетке с разрешением около 2 км и полумесячной дискретностью. Таким образом, за шесть полных лет мы набрали 144 «временных слоя», и, следовательно, исходная матрица имела размерность 70×140×144.

Для количественного описания сезонных вариаций ТПО в проливе Лаперуза использовались два метода: метод естественных ортогональных функций (Багров, 1959) и метод гармонического анализа (Музыченко, Розенфельд, 1987).

В методе естественных ортогональных функций (ЕОФ) для исследования сложных изменений параметра во времени и пространстве изучаемая функция представляется в виде произведения двух функций, одна из которых зависит от координат, а вторая – от времени:

$$T(t, x) = A(t) F(x), \quad (1)$$

где пространственная функция F раскладывается в ряд по ортогональным составляющим.

В качестве набора ортогональных пространственных функций при анализе температуры воды по спутниковым данным используются собственные вектора (моды) ковариационной матрицы. Математическая задача состоит в определении собственных значений этой матрицы и ее собственных векторов – взаимно ортогональных пространственных функций. Каждой такой k -ой функции соответствует своя функция $A_k(t)$, которая описывает соответствующие данной составляющей изменения во времени и называется обычно амплитудой.

Эти амплитуды одинаковы для всех пространственных точек исследуемого района, а пространственное распределение значений самих векторов характеризует различие сезонного хода температуры поверхности моря (Пузанков, Шевченко, 2001). Особенное значение имеют узловые линии, в которых значения вектора обращаются в ноль. Таким образом, они разделяют области различных знаков, что указывает на противоположный характер влияния данной составляющей на общую структуру ТПО в этих зонах.

Другим способом изучения особенностей сезонных вариаций ТПО является определение параметров (амплитуд и фаз) годовой гармоник, обычно играющей ключевую роль в вариациях температуры воды и атмосферного воздуха, а также основных ее обертонов. Для проведения гармонического анализа были подсчитаны среднегодовые значения по каждому временному полумесячному слою, то есть исходными данными послужила матрица размерностью 70×140×24.

При гармоническом анализе исходная функция в каждой точке пространства представляется в виде суммы гармоник:

$$\zeta(t) = \zeta_0 + \sum A_k \cos(k\omega_0 t - \varphi_k), \quad (2)$$

где ζ_0 – среднее значение, ω_0 – годовая частота (в нашем случае для годовой гармоник $\omega_0 = 2\pi/24$, для полугодовой – $\omega_0 = 2\pi/12$), A_k и φ_k – амплитуды и фазы годовой гармоник ($k=1$), полугодовой ($k=2$), t – время по полумесячным интервалам.

Расчет амплитуд и фаз указанных гармоник для температуры воды по данным наблюдений производили методом наименьших квадратов. Вычисление амплитуд и фаз основных гармоник (особенно годовой) и распределение их в пространстве позволили сделать важные выводы о характере происходящих процессов. В отличие от глобального подхода, свойственного методу главных компонент, когда функции зависящих только от времени амплитуд являются одинаковыми для всех точек района, гармонический метод позволяет найти свои амплитуды и фазы для годовой и кратной ей гармоник в каждой отдельной точке.

Задача несколько осложнилась тем, что не всегда значения температуры воды в каждой точке представляли собой непрерывный ряд данных из-за влияния облачности и наличия льда в зимний период. В этой связи, с целью наиболее эффективного использования имеющейся информации, методика расчета амплитуд и фаз основных гармоник была несколько изменена.

В основном выражении метода наименьших квадратов для годовой гармоники (2) времена t_i – это порядковые номера полумесячных интервалов в году, за которые существуют данные наблюдений, и суммирование производится по данным периодам. Причем, в отличие от вычисления по ряду средних месячных значений, из-за различного числа наблюдений, приходящихся на положительную и отрицательную фазу годового цикла, нельзя просто центрировать ряд перед вычислением амплитуды и фазы. Параметр ζ_0 приходится вычислять из системы уравнений, принимающей следующий вид (Пузанков, Шевченко, 2001):

$$\begin{aligned} X_1 N + X_2 \sum C_i + X_3 \sum S_i &= \sum Y_i, \\ X_1 \sum C_i + X_2 \sum C_i^2 + X_3 \sum S_i \sum C_i &= \sum Y_i \sum C_i, \\ X_1 \sum S_i + X_2 \sum C_i \sum S_i + X_3 \sum S_i^2 &= \sum Y_i \sum S_i, \end{aligned} \quad (3)$$

где X_1 – среднее значение (ζ_0), $X_2 = A_1 \cos(\varphi)$, $X_3 = A_1 \sin(\varphi)$, $C_i = \cos(\omega_0 t_i)$, $S_i = \sin(\omega_0 t_i)$, Y_i – фактические данные, N – число фактических значений температуры воды, по которым производится суммирование. Решив систему относительно величин X_1 , X_2 , X_3 , легко определить значения амплитуды и фазы исследуемой гармоники.

Для оценки структуры межгодовых вариаций использовали метод спектрально-временного анализа (Dzievonski et al., 1969; Ландер и др., 1973). Результатом данного расчета является спектрально-временная (СВАН) диаграмма, в которой периоды гармоник (или обратные им величины – частоты) отложены на вертикальной оси, а время, соответствующее периоду измерений, – на горизонтальной. Поле диаграммы состоит из изменяющихся во времени и частотам значений спектральных амплитуд, которые образуются путем вычисления преобразования Фурье по задаваемому набору частот, сглаживания в частотной области и вычисления обратного преобразования. Пятна темного цвета на диаграмме соответствуют возникшим и затухшим колебаниям с некоторым периодом времени, а наличие горизонтальных полос указывает на постоянно присутствующие колебания температуры с данным периодом.

АНАЛИЗ И ОБСУЖДЕНИЕ

Разложение по ЕОФ. Результаты расчетов собственных векторов ковариационной матрицы в задаче разложения исходного поля вариаций ТПО по ЕОФ представлены в таблице. Как видно из нее, первые три моды характеризуют 95% общей дисперсии, из которых около 94% приходится на первую моду. Величины собственных значений резко уменьшаются при переходе от первого вектора ко второму и от четвертого к пятому. Остановимся на подробном анализе первых трех векторов и их амплитуд.

Таблица

Результаты расчета собственных значений ЕОФ

№	Собственное значение	Доля дисперсии, %	Суммарная дисперсия, %
1	50,0363	93,934	93,934
2	0,3094	0,581	94,515
3	0,2829	0,531	95,046
4	0,265	0,498	95,543
5	0,1655	0,311	95,854
6	0,1392	0,261	96,115
7	0,127	0,238	96,354
8	0,1125	0,211	96,565
9	0,1039	0,195	96,760
10	0,0893	0,168	96,928

На рисунке 1 показаны графики изменения амплитуд первых трех мод, а на рисунке 2 – соответствующие им пространственные распределения векторов. Амплитуда первого вектора имеет явно выраженный циклический характер и отражает сезонные вариации ТПО, а также, в некоторой степени, их межгодовые изменения, проявляющиеся как модуляции годового цикла. Общая структура внутригодовой изменчивости практически неизменна и устойчива, что видно из спектрально-временной диаграммы, отражающей изменения спектральных амплитуд сигнала во времени (рис. 1а), в которой доминируют колебания с периодом в один год. Можно также отметить более слабый максимум на периоде около полугода, интенсивность которого ослабевает во второй половине периода наблюдений. Появление этого максимума, скорее всего, связано с «пологостью ложбин» в вариациях амплитуды первого вектора – подобная нелинейность в почти периодическом сигнале всегда соотносится с увеличением вклада кратных гармоник (Тихонов, 1972).

В течение всего рассматриваемого периода амплитуда первого вектора одного знака положительна, ее максимальные величины приходятся на летние месяцы, а в зимние они минимальны и близки к нулю. Именно этим и создается упомянутая выше пологость ложбин. Такая структура временной зависимости подчеркивает, что первая мода отражает преимущественно летние процессы, влияние на ее структуру ТПО в зимний и весенний периоды незначительно.

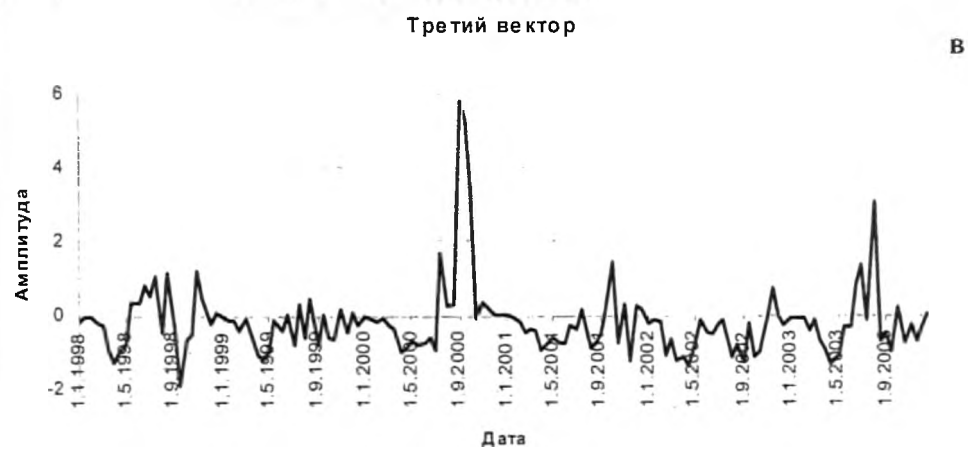
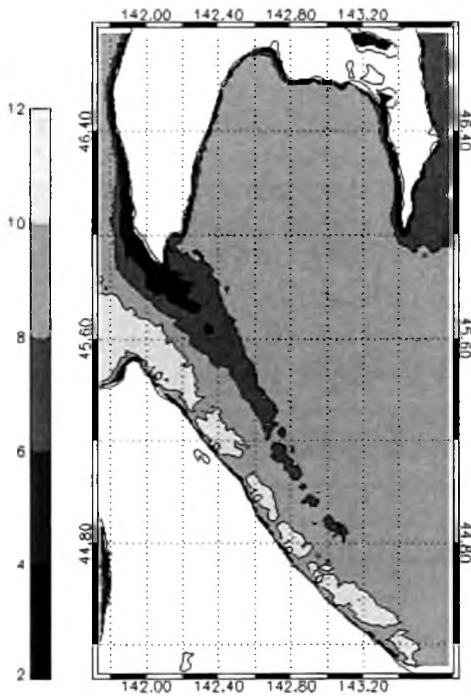
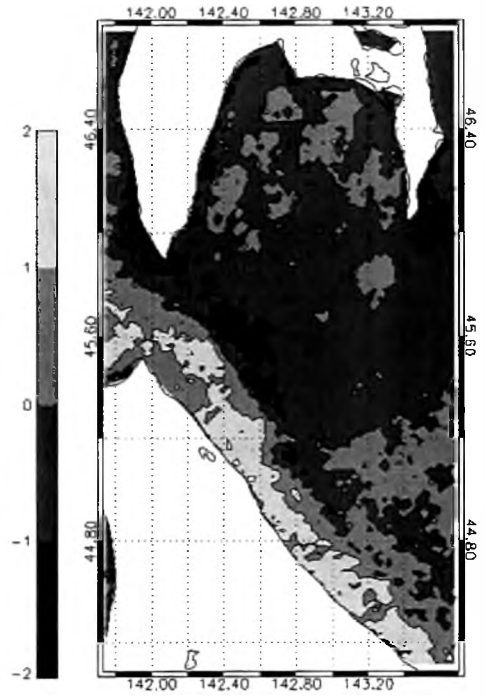


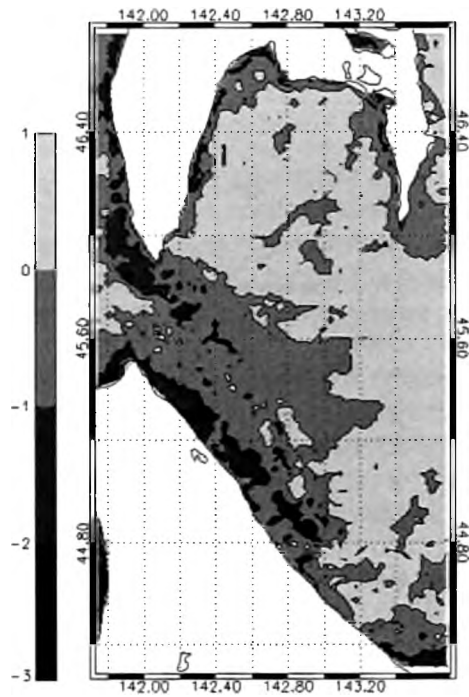
Рис. 1. Изменения во времени амплитуд первого, второго и третьего векторов ЕОФ в проливе Лаперуза за 1998–2003 гг.



1 вектор



2 вектор



3 вектор

Рис. 2. Пространственное распределение первого, второго и третьего векторов ЕОФ в проливе Лаперуза, рассчитанных по спутниковым измерениям ГПО в 1998–2003 гг.

Прежде всего обращает на себя внимание тот факт, что все значения первого вектора во всех точках рассматриваемого района также одного знака – положительны, то есть структура данной моды ТПО не имеет узловых линий, и во всех точках области изменения во времени происходят синфазно. Различия в значениях первого вектора описывают, таким образом, особенности летнего распределения ТПО, устойчивые в многолетнем плане и отражающие, следовательно, повторяющиеся структуры в океанологических полях.

При анализе пространственного распределения первого вектора выделяются несколько зон с различной структурой ТПО. В первую очередь это область влияния теплого течения Соя у побережья острова Хоккайдо, причем наблюдается образование нескольких устойчивых локализованных участков с повышенными значениями. Отметим, что образование устойчивых вихревых образований с более высокими значениями температуры воды были отмечены при обобщении за многолетний период судовых STD-измерений (Пищальник, Бобков, 2000). Стабильный характер этих структур указывает на высокую степень вероятности их топографического происхождения, обусловленного пропускной способностью узкой части пролива и геометрией шельфа у северного побережья Хоккайдо. В пользу такого предположения свидетельствуют результаты численного моделирования, выполненные для данного района в работе (Ohshima & Wakatsuchi, 1990).

Вторая важная структура, которая выделяется в первом векторе ЕОФ, – пояс холодных вод, охватывающий район от м. Крильон до скалы Камень Опасности и далее, параллельно берегу о. Хоккайдо. Этот пояс разделяет область теплого течения Соя от основной части акватории пролива Лаперуза, включающей залив Анива и характеризующейся высокими значениями ТПО (значения вектора – около $+10^{\circ}\text{C}$). Согласно теории, развитой адмиралом С. О. Макаровым (цит. по: Макаров, 1950, с. 263–275), область холодных вод образуется в результате натекания приливной волны, распространяющейся из Охотского моря, на подводное препятствие – таким образом, наблюдается апвеллинг приливного происхождения, обусловленный резким изменением рельефа дна в районе скалы Камень Опасности. Очевидно, на фазе прилива холодные воды затекают в Японское море, прижимаясь к юго-западным берегам о. Сахалин, а на фазе отлива распространяются на юго-восток, причем по мере удаления от скалы интенсивность проявления холодных вод на поверхности моря постепенно ослабевает.

У побережья зал. Анива, в особенности на участках от м. Анива до пос. Озерский, от Корсакова до пос. Соловьевка и вблизи м. Анастасии, наблюдаются области с более низкой температурой. Аналогичные структуры можно найти и у побережья о. Хоккайдо, более выраженные в районах, прилегающих к м. Соя. Как показывают последние исследования с измерениями ТПО несколько раз в сутки (Kawamura, 2004), у берегов наблюдаются интенсивные колебания температуры. Наиболее вероятная их причина – приливное перемешивание и влияние суточных вариаций поля ветра. Причем у юго-восточных берегов залива Анива, где полоса холодных вод наиболее широкая, сказывается, вероятно, приток более холодных вод Восточно-Сахалинского течения, область влияния которого обнаруживается также с восточной стороны Тонино-Анивского полуострова.

Амплитуды второй моды принимают как отрицательные, так и положительные значения. В зимние месяцы значения амплитуд близки к нулю, таким образом, второй вектор обеспечивает поправки разных знаков в различных районах пролива Лаперуза преимущественно в теплый период года. Наи-

большие по величине отрицательные значения амплитуды второго вектора приходятся на период с июня по август, а наибольшие положительные – на апрель–май и сентябрь–ноябрь.

СВАН-диаграмма амплитуды второй моды (рис. 3) обнаруживает устойчивый максимум с периодом около полугода – именно эти вариации определяют структуру второго вектора. На диаграмме имеются также три всплеска интенсивности колебаний ТПО, отвечающие аномальным ситуациям лета 1998 г., осени 2000 г. и лета 2003 г. Эти всплески, в том числе и наиболее сильный из них, наблюдавшийся в 2000 г., проявились преимущественно в высокочастотной области спектра, низкочастотные вариации в амплитуде второй моды существенной роли не играют.

В распределении значений вектора второй моды также выделяются зоны с различными знаками. Вдоль северного побережья о. Хоккайдо отмечаются максимальные положительные значения второго вектора, в то время как в районе скалы Камень Опасности и у м. Анива локализованы участки с наибольшими отрицательными показателями. Таким образом, выделяются области, где вариации температуры по данной составляющей находятся в противофазе, и включение в расчет второй моды обеспечивает более быстрый прогрев вод у о. Хоккайдо весной и более длительный процесс охлаждения осенью по сравнению с сезонным ходом, описываемым первым вектором. Аналогичная области течения Соя структура обнаруживается в юго-восточной части исследуемого района несколько севернее, между 44,5 и 45° с. ш. Согласно результатам А. А. Бобкова (1989), здесь теплое течение, огибая полуостров Сиретоко, мандрирует, образуя вихревую структуру. Наличие вдоль нисходящего трека спутника Торех/Poseidon между м. Анива и этим полуостровом области с более высокими значениями уровня моря именно в этом районе подтверждает это мнение (см. статью Романова и др. в наст. сб.).

С другой стороны, поправка, вносимая второй модой, указывает на более медленный прогрев в весенний период у скалы Камень Опасности и м. Анива, где значения вектора отрицательные.

Отдельно нужно рассмотреть ситуацию, сложившуюся осенью 2000 г., когда произошел резкий скачок амплитуды второго вектора и пик положительных значений в сентябре сменился максимальными отрицательными в первой половине октября. Как отмечалось в работе К. Л. Пузанкова и Г. В. Шевченко (2001), для Охотского моря нарушения стабильного годового хода ТПО связаны обычно с прохождением глубоких циклонов, которые способны привести к резким изменениям термических условий на обширных акваториях. Для оценки масштаба изменений ТПО в проливе Лаперуза при прохождении циклона над изучаемым районом рассмотрим распределения температуры воды за несколько последовательных 15-суточных отрезков – соответствующие гистограммы представлены на рисунке 4. Если внимательно проанализировать амплитуду первой моды, то можно заметить, что во второй половине сентября температура воды выше, чем в первой. Так, средняя по всему району температура воды в первой половине сентября составляет 16,5°С, а во второй – уже 17,5°С. В первой половине октября происходит резкий спад температур – средняя температура составляет уже 12,8°С. Области с температурой более 20°С полностью отсутствуют, а доля преобладавших ранее трапеций с температурой 17–18°С снизилась приблизительно на порядок. В то же время доля отличавшихся максимальной повторяемостью в октябре значений 12–14°С в сентябре была чрезвычайно низкой.

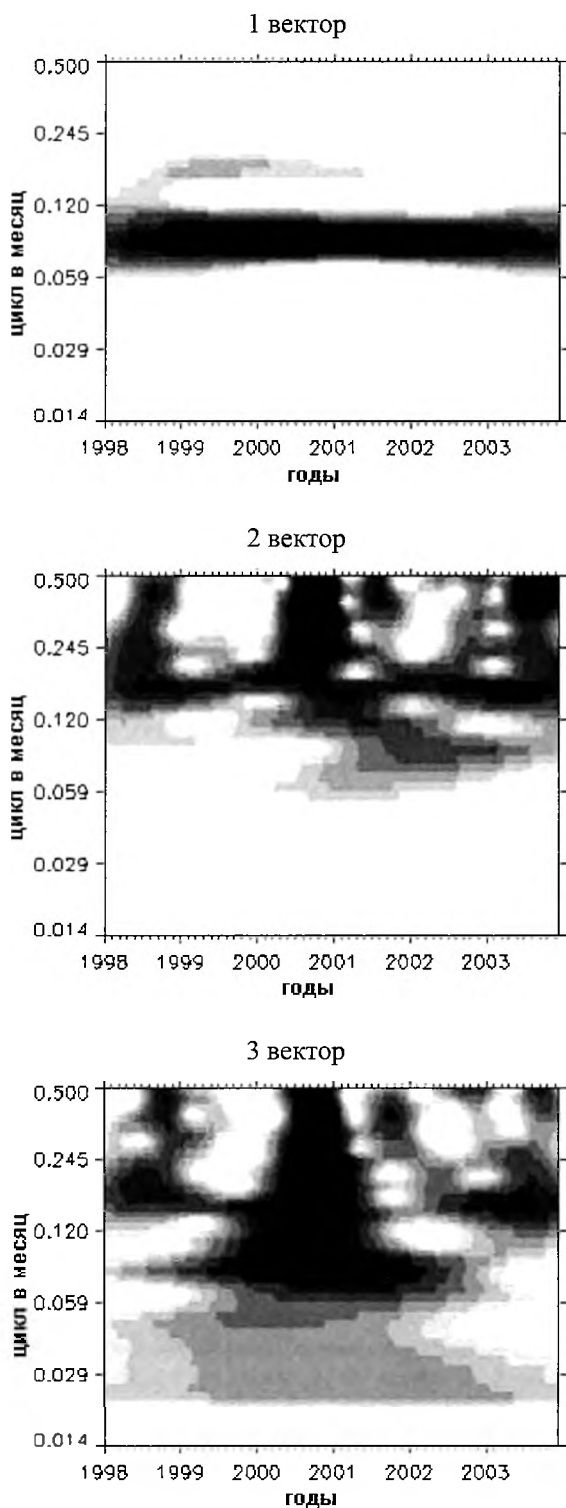


Рис. 3. СВАН-диаграммы амплитуд первого, второго и третьего векторов ЕОФ в проливе Лаперуза за 1998–2003 гг. Максимум в спектре соответствует 1°С, изолинии проведены через 1 децибел

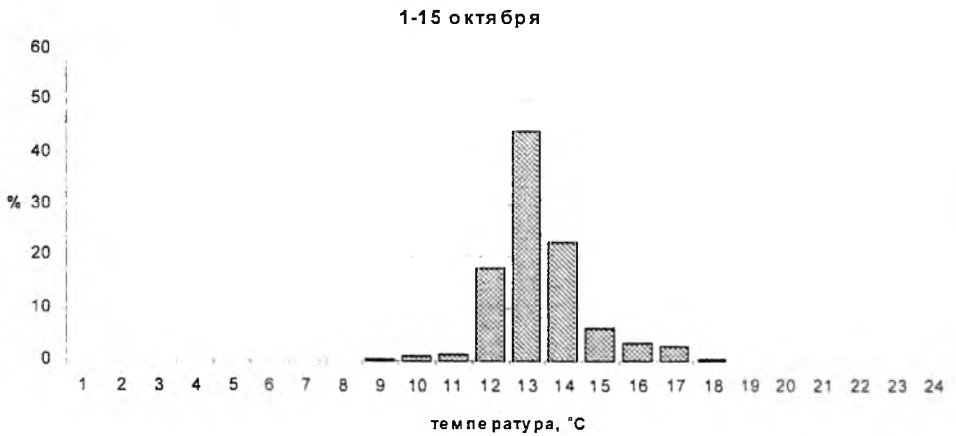
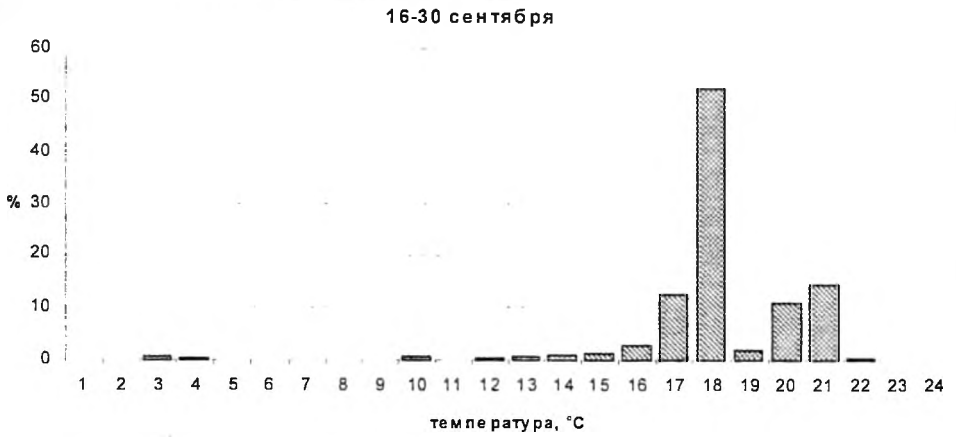
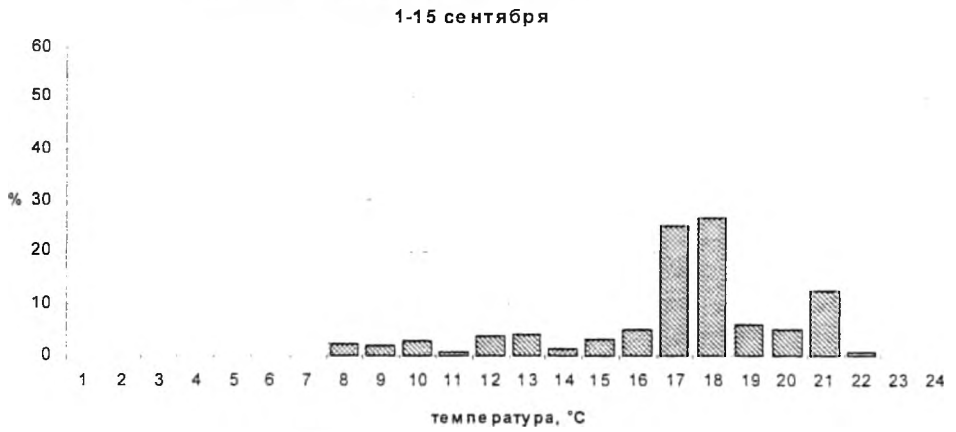


Рис. 4. Распределение температур в проливе Лаперуза по трем последовательным 15-суточным отрезкам осенью 2000 г.

Такое резкое понижение ТПО может быть вызвано полным или частичным разрушением верхнего прогретого слоя штормовыми условиями, обусловленными прохождением циклона.

Отметим также аномальные отрицательные значения амплитуды второй моды в первой половине августа 2003 г. При рассмотрении гистограмм распределения ТПО (рис. 5) видно, что во второй половине июля температура воды была значительно ниже, чем в начале июля. Средняя температура воды в первой половине июля составляла $13,8^{\circ}\text{C}$, а во второй – всего $11,8^{\circ}\text{C}$. Затем, в первой половине августа, произошло значительное повышение температуры – в среднем до 15°C . В данном случае ситуация существенно отличается от рассмотренной выше. Если осенью прохождение циклона вызвало ускорение общего понижения ТПО, то летом – только относительно кратковременное отклонение от закономерного сезонного хода температуры воды.

Амплитуда третьей моды колеблется в пределах от -2 до 2°C . Определенных, хорошо выраженных закономерностей, присущих амплитудам первых мод, здесь выявить не удалось. В рассматриваемый промежуток времени отмечаются два периода с экстремально положительными значениями, совпадающие с уже отмеченными ранее: сентябрь – первая половина октября 2000 г. и первая половина августа 2003 г. Причем в первом случае на СВАН-диаграмме выделяется мощный максимум в широком диапазоне периодов от двух месяцев до одного года. Также можно отметить всплески колебаний (в которых наиболее отчетливо выделяется максимум с периодом около полугода) в начале и конце периода наблюдений, а также полосу, отвечающую вариациям с периодом около трех лет, но сравнительно небольшой интенсивности. Таким образом, можно констатировать, что формирование третьего вектора (вероятно, это относится и к большинству более высоких мод) определяется уже не столько особенностями сезонного хода в различных районах изучаемой акватории, сколько кратковременными отклонениями от него, обусловленными прохождением глубоких циклонов.

В распределении третьего вектора выделяется зона с положительными значениями, хотя и незначительными по величине, – зал. Анива и восточная часть пролива Лаперуза. Область течения Соя и западная часть пролива имеют отрицательные значения – до -3 . Еще раз отметим, что третья мода отмечает и подчеркивает некоторые частные особенности происходящих процессов в указанных районах на определенных промежутках времени, и в этом смысле исследование ее пространственной структуры не имеет такого смысла, как для первых двух векторов.

Гармонический анализ. Амплитуды годовой гармоники (рис. 6) являются достаточно информативной характеристикой. Как и в случае с разложением на ЕОФ, выделяется пояс холодных вод в районе м. Крильон – скала Камень Опасности, хотя протяженность этой области в юго-восточном направлении гораздо меньше. Величина амплитуды здесь колеблется от 5 до 8°C . В большей части пролива значения амплитуды равны $8-9^{\circ}\text{C}$, а наиболее интенсивные ее вариации – до 10°C , отмечаются в северной части зал. Анива, а именно в бухте Лососей, и у юго-восточного побережья о. Хоккайдо. Интересно, что максимальные колебания ТПО отмечены в наиболее удаленной от Японского моря области распространения течения Соя. Вероятно, это связано с тем, что величина амплитуды годовой гармоники обусловлена не только величиной летнего прогрева, но и степенью охлаждения температуры воды в поверхностном слое в холодный период года.

Фазы годовой гармоники (рис. 7) примерно одинаковы в пределах всей изучаемой акватории и изменяются в пределах от 230 до 245° , что отвечает максимальным значениям ТПО в конце августа – начале сентября.

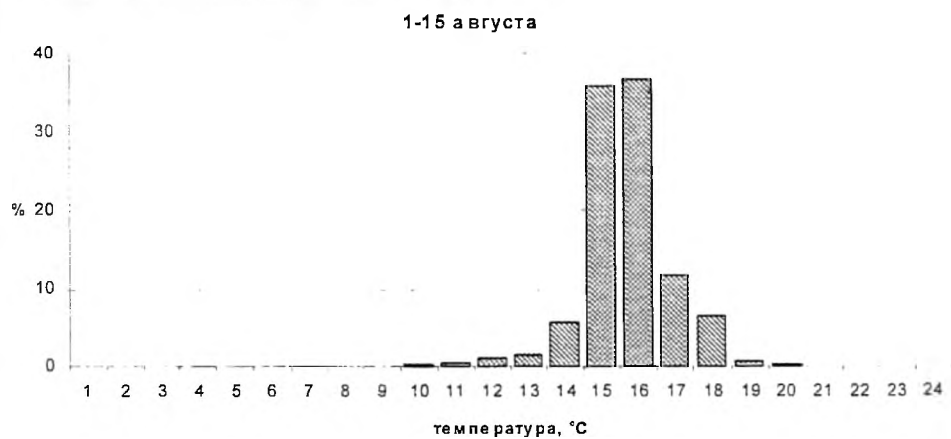
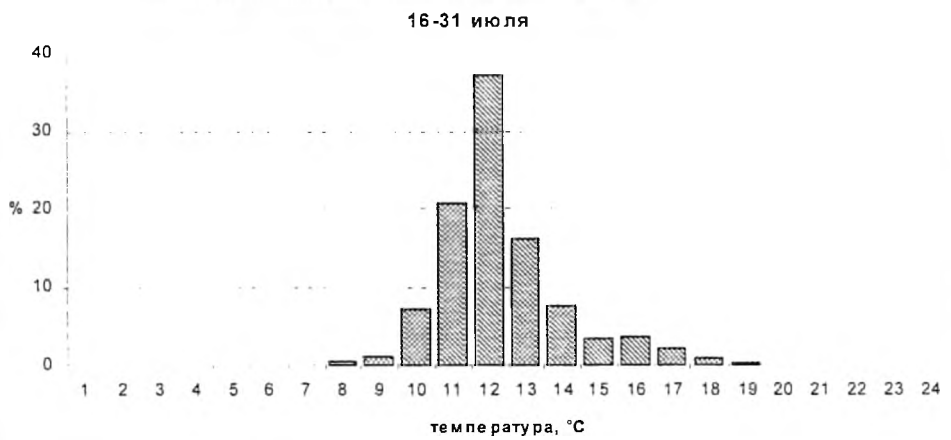
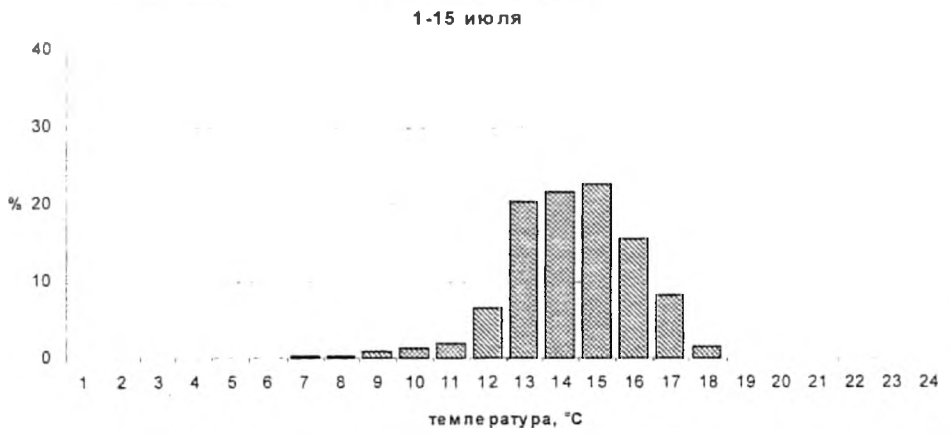
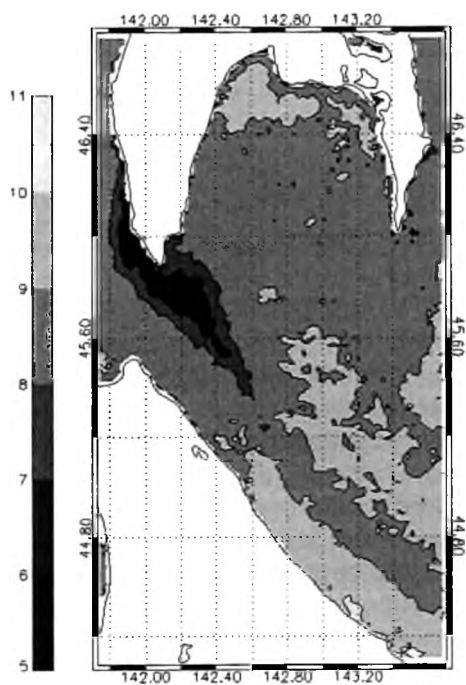
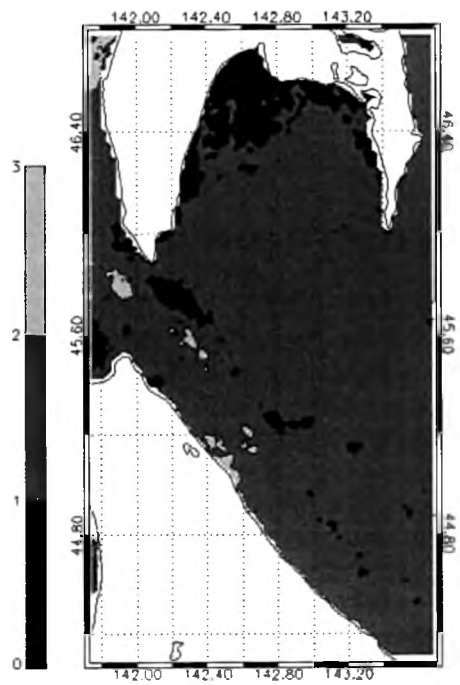


Рис. 5. Распределение температур в проливе Лаперуза по трем последовательным 15-суточным отрезкам летом 2003 г.



Годовая



полугодовая

Рис. 6. Пространственное распределение амплитуды годовой и полугодовой гармоник в проливе Лаперуза за 1998–2003 гг.

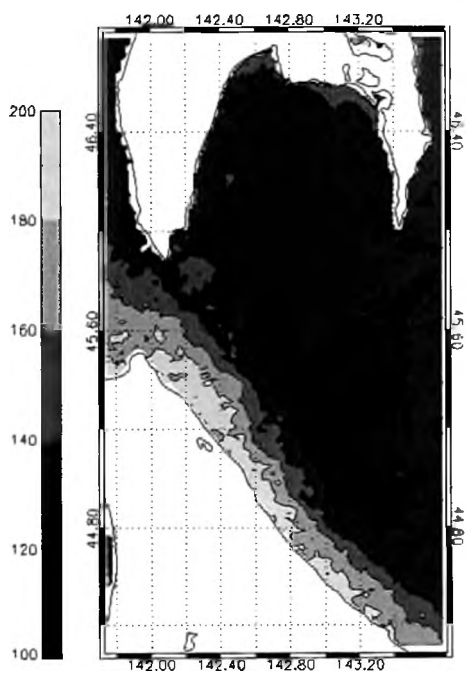
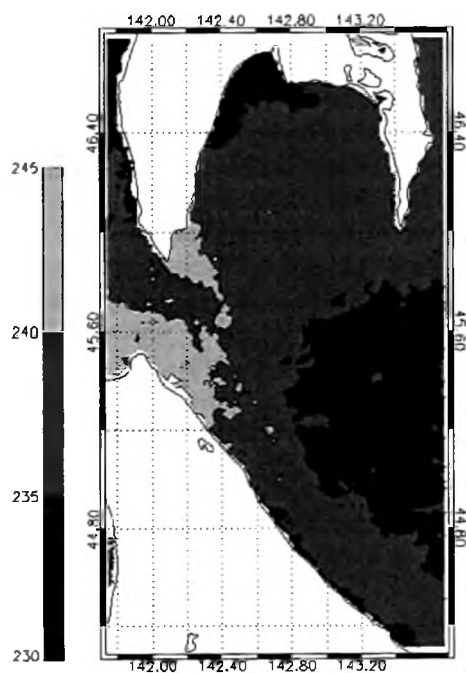


Рис. 7. Пространственное распределение фаз годовой и полугодовой гармоник в проливе Лаперуза за 1998–2003 гг.

Наиболее быстрый прогрев отмечен в бухте Лососей, что обусловлено сочетанием нескольких факторов: общей мелководностью района и воздействием речного стока таких крупных водотоков, как реки Сусуя и Лютога. Позднее всего максимальные значения ТПО наблюдаются в районе от м. Крильон до скалы Камень Опасности и у северной оконечности о. Хоккайдо.

Амплитуды полугодовой гармоники (см. рис. 6) в изучаемом районе изменялись незначительно – размах колебаний немного превысил 2°C . Кроме того, в прибрежных районах зал. Анива и в бухте Лососей эта величина не превышает 1°C . Как уже отмечалось выше, при анализе структуры амплитуды первого вектора, увеличение вклада полугодовой гармоники указывает на более сильное, по сравнению с окружающими акваториями, выполаживание ложбин (или гребней, то есть когда высокие значения ТПО сохраняются продолжительное время). Наибольшие значения амплитуды полугодовой гармоники отмечены в области теплого течения Соя и связаны, вероятно, как раз именно с такой ситуацией, когда под влиянием адвекции теплых вод наблюдается как более раннее, по сравнению с окружающими районами, потепление, так и более позднее понижение температуры поверхностных вод.

Большой интерес представляет и распределение средних значений ТПО, причем не просто средних по полученным выборкам, а рассчитанных из системы уравнений (3). Такой метод их определения связан с нерегулярностью исходных данных, обусловленной влиянием облачности и наличием ледяного покрова. Полученные таким образом результаты представлены на рисунке 8. На большей части акватории пролива Лаперуза среднее значение ТПО изменялось незначительно – от 6 до 7°C . Более высокие значения наблюдаются в области теплого течения Соя, максимальные величины вблизи одноименного мыса превышают 10°C . По мере

удаления от узкой части пролива ТПО в зоне влияния течения плавно уменьшается. Можно также отметить более высокие – до 8°C , значения температуры воды в вершине зал. Анива, в бухте Лососей.

Область более холодных вод в районе м. Крильон и скалы Камень Опасности имеет несколько иные очертания, чем на распределении первой моды ЕОФ. Это различие заключается в наличии на рисунке 7 некоторого выступа, обращенного в сторону залива Анива. Вероятно, это связано с тем обстоятельством, что приливные течения с восточной стороны м. Крильон способствуют распространению холодных поверхностных вод в северном направлении. Более низкие температуры отмечены также в прилегающем к проливу Лаперуза районе Охотского моря. Это указывает на то, что благодаря обогревающему влиянию течения Соя и более высокому радиационному прогреву поверхностных вод в зал. Анива акваторию пролива можно отнести к одному из самых теплых районов Охотского моря.

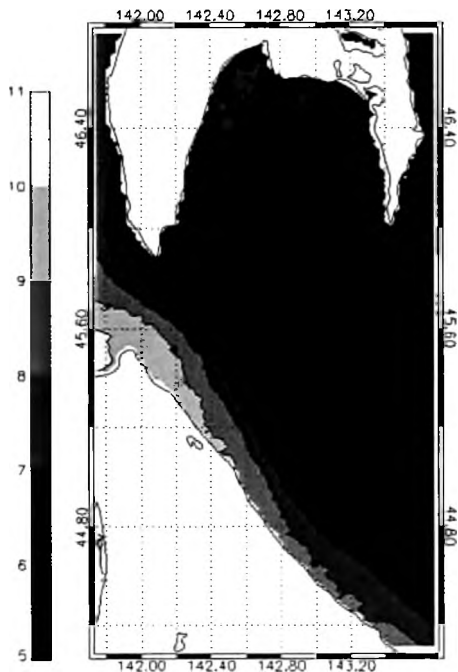


Рис. 8. Пространственное распределение рассчитанных средних значений ТПО в проливе Лаперуза за 1998–2003 гг.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа спутниковых данных ТПО за 1998–2003 гг. выделены основные пространственные структуры, характеризующие особенности сезонного хода температуры верхнего слоя в проливе Лаперуза.

1. Все значения первого вектора ЕОФ одного знака, при этом наибольшие значения наблюдаются в зоне влияния теплого течения Соя, которые отделены от основной части исследуемого района областью холодных вод, вытянутой от мыса Крильон и скалы Камень Опасности в юго-восточном направлении.

2. Основной вклад в амплитуду первого вектора дает годовая гармоника, некоторая доля приходится также на полугодовую составляющую, что обусловлено близкими к нулю значениями в зимне-весенний период.

3. В распределении значений вектора второй моды выделяются зоны с различными знаками, где вариации температуры по данной составляющей находятся в противофазе. В частности, вторая мода, с одной стороны, вносит поправку на быстрый прогрев вод у о. Хоккайдо весной и более длительный процесс охлаждения осенью по сравнению с сезонным ходом, описываемым первым вектором, а с другой стороны – указывает на более медленный прогрев в весенний период у Камня Опасности и м. Анива.

4. Резкие скачки амплитуды второй и третьей мод ЕОФ в летний и осенний периоды указывают на отклонения от закономерного сезонного хода температуры воды вследствие воздействия на поверхность моря сильных ветров при прохождении циклонов.

5. В распределении амплитуд годовой гармоника также выделяется пояс холодных вод в районе м. Крильон – скала Камень Опасности. Наиболее интенсивные вариации ТПО отмечены в бухте Лососей и юго-восточной части пролива Лаперуза, у побережья о. Хоккайдо. Фазы годовой гармоника отвечают максимальным значениям ТПО в конце августа – начале сентября.

6. Амплитуды полугодовой гармоника в изучаемом районе изменялись незначительно. Наибольшие значения амплитуды полугодовой гармоника отмечены в области теплого течения Соя и связаны с более медленными изменениями ТПО в летне-осенний период, обусловленными влиянием адвекции теплых вод.

Изучение особенностей сезонных вариаций ТПО позволило четко выделить пространственные границы океанологических структур, обусловленных влиянием различных факторов – теплого и холодного течений, апвеллинга и т. д. Полученные результаты могут быть также полезны при прогностических оценках абиотических условий в районе с таким сложным характером динамических процессов, как пролив Лаперуза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Багров, Н. А. Аналитическое представление последовательности метеорологических полей посредством естественных ортогональных составляющих / Н. А. Багров // Тр. ЦИП. – 1959. – Вып. 74. – С. 3–24.
2. Бобков, А. А. Течение Соя и его ветви / А. А. Бобков // Изв. ВГО. – 1989. – Т. 121. – С. 531–535.
3. Веселова, Л. Е. Пространственное распределение температуры поверхностного слоя воды Охотского моря / Л. Е. Веселова // Тр. ДВНИГМИ. – 1972. – Вып. 37. – С. 13–28.

4. О спектрально-временном анализе колебаний / **А. В. Ландер, А. Л. Левшин, В. Ф. Писаренко, Г. А. Погребинский** // Вычислительные и статистические методы интерпретации сейсмологических данных. – М., 1973. – С. 3–27. – (Вычислительная сейсмология; Вып. 6).
5. **Макаров, С. О.** Океанографические работы / С. О. Макаров. – М. : Географгиз, 1950. – ? с.
6. Музыкаченко, А. Г. Годовые и полугодовые колебания температуры поверхности северной части Тихого океана / **А. Г. Музыкаченко, С. Х. Розенфельд** // Тр. ДВНИИ. – 1987. – Вып. 129. – С. 32–39.
7. Пищальник, В. М. Океанографический атлас шельфовой зоны острова Сахалин / **В. М. Пищальник, А. О. Бобков.** – Ю-Сах. : Изд-во СахГУ, 2000. – Ч. 1. – 174 с.
8. Пузанков, К. Л. Сезонные колебания температуры поверхности Охотского моря по спутниковым наблюдениям 1997–1998 гг. / **К. Л. Пузанков, Г. В. Шевченко** // Динамич. процессы на шельфе Сах. и Курил. о-вов. – Ю-Сах. : ИМГиГ ДВО РАН, 2001. – С. 94–110.
9. **Тихонов, В. И.** Выбросы случайных процессов / В. И. Тихонов. – М. : Наука, 1972. – 398 с.
10. **Худя, В. Н.** Некоторые особенности экологии песчанки *Ammodytes hexapterus* (на примере пролива Лаперуза, залива Анива) / В. Н. Худя // Рыбохоз. исслед. в Сах.-Курил. р-не и сопред. акваториях : Сб. науч. тр. СахТИНРО. – Ю-Сах. : Сах. обл. книж. изд-во, 1994. – С. 77–81.
11. Dzievonski, A. The method of spectral-time analysis of seismological information / **A. Dzievonski, S. Bloch, M. Landisman** // Bull. Seism. Soc. Am. – 1969. – Vol. 59. – P. 427–444.
12. **Kawamura, H.** Development of new generation sea surface temperature for the NEAR-GOOS region / H. Kawamura // Sixth IOC/WESTPAC International scientific symposium, 19–23 April, 2004, Hangzhou, China. Proceedings and abstract volume. – 2004. – P. 98.
13. Ohshima, K. A numerical study of barotropic instability associated with Soya Warm Current in the Sea of Okhotsk / **K. Ohshima, M. Wakatsuchi** // J. Phys. Oceanography. – 1990. – Vol. 20, No. 4. – P. 570–584.

Цхай, Ж. Р. Сезонные колебания температуры поверхности моря в проливе Лаперуза по спутниковым наблюдениям 1998–2003 гг. / **Ж. Р. Цхай, Г. В. Шевченко** // Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов в Сахалино-Курильском регионе и сопредельных акваториях : Труды Сахалинского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии. – Южно-Сахалинск : СахНИРО, 2005. – Т. 7. – С. 255–270.

Проанализированы материалы спутниковых наблюдений за температурой поверхности моря в проливе Лаперуза за 1998–2003 гг. Особенности пространственно-временной структуры температуры поверхности океана исследовались с помощью метода естественных ортогональных функций (ЕОФ).

Показано, что все значения первого вектора ЕОФ одного знака, при этом наибольшие значения наблюдаются в зоне влияния теплого течения Соя, которая отделена от основной части исследуемого района областью холодных вод, вытянутой от мыса Крильон и скалы Камень Опасности в юго-восточном направлении.

В распределении значений вектора второй моды выделяются зоны с различными знаками, где вариации температуры по данной составляющей находятся в противофазе. В частности, вторая мода, с одной стороны, вносит поправку на более быстрый прогрев вод у о. Хоккайдо весной и более длительный процесс охлаждения осенью по сравнению с сезонным ходом, описываемым первым вектором. С другой стороны, она указывает на более медленный прогрев весной и летом в районе скалы Камень Опасности и м. Анива.

Tshay, Zh. R. Seasonal fluctuations of sea surface temperature in La Perouse Strait by the satellite observations in 1998–2003 / **Zh. R. Tshay, G. V. Shevchenko** // Water life biology, resources status and condition of inhabitation in Sakhalin-Kuril region and adjoining water areas : Transactions of the Sakhalin Research Institute of Fisheries and Oceanography. – Yuzhno-Sakhalinsk : SakhNIRO, 2005. – Vol. 7. – P. 255–270.

The 1998–2003 materials on satellite observations for sea surface temperature (SST) in La Perouse Strait were analyzed. A method of Empirical Orthogonal Function (EOF) was used to examine peculiarities of the SST spatial-temporal structure.

All the values of the EOF first vector are shown to be of the same sign; the maximum values were observed in a zone of the Soya Warm Current influence, which is separated from the basic part of the study region by the field of cold waters stretched south-eastward of Cape Krilion and Kamen Opasnosti Rock.

When distributing the vector values of the second mode, zones with different signs are being distinguished, where temperature variations are in the antiphase by the given component. In particular, the second mode, on one hand, introduces correction for the faster water warming along the Hokkaido Island in spring and longer process of cooling in autumn compared to a seasonal run described by the first vector. On the other hand, it indicates the slower warming in spring and summer around the Kamen Opasnosti Rock and Cape Aniva.

Tabl. – 1, fig. – 8, ref. – 13.