# Сравнительный анализ температуры поверхности Охотского моря по данным спутниковых наблюдений и реанализа ERA5

Д. М. Ложкин<sup>1</sup>, Г. В. Шевченко<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, Южно-Сахалинск, 693023, Россия E-mails: dima-lm@rambler.ru, shevchenko\_zhora@mail.ru <sup>2</sup> Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН Южно-Сахалинск, 693022, Россия

Для Охотского моря и прилегающих акваторий (области, ограниченной координатами 42-60° с. ш. и 135-160° в.д.) выполнено сравнение среднемесячных рядов температуры поверхности океана (ТПО) по данным спутниковых наблюдений (база СахНИРО) и реанализа ERA5 за 1998-2020 гг. Показано, что зимой и летом в изучаемой области ТПО по данным реанализа выше спутниковой ТПО. Осенью и особенно весной на большей части акватории, напротив, ТПО по спутниковым данным выше, чем по данным реанализа. Расхождения среднегодовых значений невелики, за исключением некоторых динамически активных районов. Первая мода разложения полей разности ТПО по естественным ортогональным функциям описывает всего 27 % общей дисперсии изучаемого параметра. Её пространственное распределение практически во всей области имеет отрицательные значения. В её временной функции не обнаружено устойчивых сезонных вариаций, главную роль играют положительные (в меньшей степени отрицательные) выбросы, указывающие на существенное расхождение в отдельные месяцы, преимущественно летние. Умеренная доля первой моды в общей дисперсии параметра и отсутствие устойчивых циклических составляющих во временной функции указывают, что различия в пространственно-временной изменчивости ТПО из разных источников данных не имеют регулярного характера, а обусловлены случайными факторами. Исключение составляет наличие выраженного цикла с периодом 11 лет, присутствие которого может быть связано с включением солнечной активности в модели реанализа.

Ключевые слова: температура поверхности моря, спутниковые наблюдения, реанализ, естественные ортогональные функции

Одобрена к печати: 15.03.2022 DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-2-183-192

#### Введение

Данные реанализа ERA5, предоставляемые на сайте https://cds.climate.copernicus.eu, являются популярной основой для изучения вариаций климата в различных районах Земли. Они представляют собой результат комбинации материалов наблюдений, главным образом спутниковых, и модельных расчётов. Широкое распространение этих данных неудивительно, так как они охватывают всю поверхность земного шара и значительный интервал времени, начиная с 1950 г., по 37 гидрометеорологическим параметрам. Они имеют достаточно детальное пространственное разрешение — четверть градуса, что позволяет использовать их для широкого круга задач, прежде всего для изучения вариаций климата, взаимодействия атмосферы и океана, развития опасных природных явлений и т.д.

Один из важных параметров, используемых для подобных исследований, — температура поверхности океана (ТПО). В Сахалинском филиале Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (СахНИРО) имеется собственная база данных по этому параметру для акватории Охотского моря и прилегающих районов (область ограничена координатами 42–60° с.ш. и 135–160° в.д.), наполнение которой начато в 1998 г. В эту базу заносятся среднесуточные значения ТПО, пространственное разрешение данных — около 2 км (Ложкин, Шевченко, 2019; Новиненко, Шевченко, 2007). Это даёт возможность сравнить данную информацию с материалами реанализа и определить возможные

расхождения и их масштаб, а также попытаться выяснить, имеются ли в этих расхождениях какие-либо закономерности или они носят случайный характер.

Поскольку при формировании базы данных CaхНИРО не использовались никакие иные процедуры, кроме усреднения, она рассматривалась как некоторая условная основа сравнения. Нельзя сказать, что эти данные являются эталонными, так как наличие пропусков изза влияния облачности или ледяного покрова вносит определённые погрешности, что не позволяет рассматривать их как «истинные» значения ТПО. Кроме того, как показано в работе (Алексанин, Алексанина, 2010), ошибки могут возникать при сильном прогреве тонкого поверхностного слоя в маловетреную погоду из-за слабого перемешивания. Тем не менее отклонения от «истинных» значений ТПО в результате использования моделей реанализа априори представляются более существенными, в том числе возрастает их вероятность в отмеченных в данной работе ситуациях.

Таким образом, целью настоящей работы было выполнить количественное сравнение данных CaxHИPO и реанализа ERA5 для Охотского моря и прилегающих акваторий, определить наличие постоянного смещения на различных её участках как по среднегодовым, так и по среднемесячным значениям, оценить пространственно-временные масштабы наиболее значимых отклонений.

#### Материалы и методы

С сайта общего доступа https://cds.climate.copernicus.eu был взят массив данных ТПО за 1998–2020 гг. (ежемесячные данные с пространственным разрешением четверть градуса) по области, ограниченной координатами 42–60° с. ш. и 135–160° в.д. В свою очередь, материалы наблюдений из базы СахНИРО были усреднены помесячно и по пространству с тем же пространственным разрешением. Затем сформирован массив разности температур (данные реанализа были вычтены из данных базы СахНИРО). В случае пропуска данных в некотором квадрате из-за наличия ледяного покрова или облачности (в данных реанализа пропуски отсутствуют) в ряду разности также был задан пропуск.

Были рассчитаны средние многолетние значения (за изучаемый период) для среднегодовых, средних за гидрологический сезон и среднемесячных значений разности ТПО. По гидрологическим условиям в дальневосточных морях сезоны сдвинуты по отношению к календарным на 1 мес (Гидрометеорология..., 1998). Так, март — зимний месяц, в его первой половине ледовитость в Охотском море может достигать максимальных значений, в то время как в декабре льдообразование только начинается.

Эти средние многолетние значения разности характеризуют наличие систематических отклонений данных из одной базы по отношению к другой. К построенной таким образом последовательности полей был применён метод разложения по естественным ортогональным функциям (ЕОФ, *англ*. Empirical Orthogonal Functions — ЕОF), дающим наибольший вклад в дисперсию полученного параметра. Были определены моменты времени (месяц и год), когда различия были наиболее значимыми, и для них было построено пространственное распределение.

### Обсуждение результатов

#### Средние многолетние распределения разности ТПО по сезонам года

На *рис. 1* (см. с. 185) представлены распределения усреднённых за период 1998—2020 гг. значений разности ТПО для различных сезонов года. Февраль характеризует зимние условия в период наибольшего выхолаживания вод в изучаемой регионе и значительного развития ледяного покрова, влияние которого выражено в отсутствии данных в северной и западной частях Охотского моря и в северной части Татарского пролива Японского моря. На свободной ото льда акватории Охотского моря значения изучаемого параметра отрицательные, из-

меняющиеся преимущественно в пределах от -0,2 до -0,6 °C, лишь на некоторых участках в центральной части на западном шельфе Камчатки отклонения достигают -1...-1,4 °C. В северной части Японского моря разность ТПО также отрицательна, но близка к нулю, только на западном шельфе о. Хоккайдо отмечены положительные величины: 1-1,3 °C. Вблизи побережья Азии имеется узкая полоса с более существенными отрицательными отклонениями (-0,6...-0,8 °C). В северо-западной части Тихого океана (C3TO) значения параметра отрицательные, но небольшие по величине, немного увеличиваются на юго-востоке изучаемого района.



*Рис. 1.* Пространственное распределение средних многолетних значений разности ТПО по различным источникам для центральных месяцев гидрологических сезонов (положительные величины значат, что спутниковая ТПО больше, чем ТПО реанализа)

Довольно близкий характер пространственного распределения параметра обнаружен в январе и марте, а также в апреле, хотя в последнем случае зона влияния ледяного покрова заметно меньше, чем в зимние месяцы.

В мае на акватории Охотского моря преобладают положительные значения разности, прежде всего в его западной части и на северном шельфе. Особенно выделяются заливы о. Сахалин: Анива и Терпения на юго-востоке острова  $(0,8-1,2 \,^{\circ}\text{C})$  и Сахалинский в его северной части  $(1-1,3 \,^{\circ}\text{C})$ , немного меньше значения на северо-восточном шельфе. В центральной и восточной частях данного бассейна значения параметра близки к нулю, а местами принимают отрицательные значения. Максимальных значений (около 3  $^{\circ}$ C) величина разности ТПО достигает в Амурском лимане. Также положительные значения отмечены на севере Татарского пролива и вдоль западного берега островов Сахалин и Хоккайдо, в то время как на остальных участках северной части Японского моря они отрицательные. В Тихом океане значения параметра отрицательные, но небольшие по абсолютной величине, как и зимой, они несколько возрастают по мере удаления от Курильской гряды.

Пространственное распределение указанного параметра в июне и июле было во многом похоже на рассмотренное выше, главным отличием было появление положительных значений вдоль Курильских о-вов, причём в июле в районе Средних Курил они достигают 1,2 °C. В центральной части Охотского моря, напротив, увеличиваются отрицательные отклонения.

В августе наблюдается существенно иная картина пространственного распределения разности ТПО по двум наборам данных. Практически повсеместно отмечаются отрицательные значения, причём в некоторых районах они достигают значительных величин  $(-3...-3,4 \,^{\circ}C)$ : на банке Кашеварова, у м. Терпения и в районе Ямских о-вов. Несколько меньше, но тоже существенны они на океанском шельфе Курильских о-вов, в проливе Лаперуза, в районе Шантарских о-вов. Зоны с положительными отклонениями занимают незначительную площадь и сравнительно невелики, за исключением акватории Амурского лимана (более  $+2 \,^{\circ}C$ ). Весьма близкий характер имеет пространственное распределение изучаемого параметра в сентябре и октябре.

В ноябре на подавляющей части рассматриваемого региона значения разности ТПО невелики, отрицательные отклонения около 1 °С отмечены в его юго-западной и юго-восточной частях, в северо-западной части Охотского моря, на северо-восточном и юго-западном шельфе Сахалина. Положительными значениями характеризовался западный шельф о. Хоккайдо и акватория вблизи Шантарских о-вов.

В целом можно сказать, что осреднённые значения разности ТПО по двум различным источникам сравнительно невелики (относительные погрешности существенны только зимой и в переходные сезоны лишь на замерзающих участках акватории). Это означает, что данные спутниковых наблюдений и реанализа согласуются в целом неплохо, основные различия отмечались в наиболее динамичных районах: вблизи проливов Курильской гряды, Шантарских о-вов, пролива Лаперуза, банки Кашеварова, Ямских о-вов, в Амурском лимане и зоне влияния Цусимского течения. Вероятно, используемая для реанализа модель сталкивается с определёнными затруднениями при описании сравнительно мелкомасштабных особенностей, обусловленных локальными процессами (сток р. Амур, вертикальное перемешивание в зонах приливного апвеллинга и т.д.)

Эти особенности проявляются и в пространственном распределении коэффициента корреляции между рядами (*puc. 2a*).



*Рис. 2.* Пространственное распределение коэффициента корреляции между данными спутниковых наблюдений и реанализа (*a*). Пространственное распределение первой моды разложения разности ТПО по ЕОФ (безразмерное) (*б*)

На большей части изучаемого района его значения на уровне 0,95 и выше, в районе центральной части Курильской островной гряды и на северо-восточном шельфе о. Сахалин снижаются до 0,85–0,9, а в Амурском лимане и вблизи Шантарских о-вов — до 0,6–0,65.

При расчёте по среднегодовым значениям в ряде районов разнознаковые отклонения нивелируются, и на основной части изучаемой акватории разности ТПО близки к нулю. Отметим локальные области с наиболее выраженными отрицательными отклонениями: банка Кашеварова, Ямские о-ва (до -1,5 °C), у м. Терпения, в проливе Лаперуза, на юго-востоке и юго-западе района (до -1 °C) — и положительными отклонениями: Амурский лиман (до 2,5 °C), западный шельф Хоккайдо, Сахалинский зал. и Шантарские о-ва (0,5–1,2 °C).

## Разложение по естественным ортогональным функциям

Помимо вычисления статистических характеристик разности ТПО, к полученной последовательности полей был применён метод разложения по естественным ортогональным функциям (Багров, 1959). Пространственное распределение первой моды разложения и соответствующая ему временная функция приведены на *рис. 26, 3*.



*Рис. 3.* Сумма квадратов разности ТПО, осреднённая по акватории, и временная функция первой моды разложения разности ТПО по ЕОФ (°С)

Пространственное распределение первой моды (*рис. 26*, безразмерное), которая описывает около 27 % общей дисперсии изучаемого параметра, характеризуется отрицательными значениями практически во всей области с увеличением по абсолютной величине в направлении с северо-запада на юго-восток. На основной части акватории Охотского моря значения моды близки к нулю, минимальные величины в открытой части Тихого океана достигают -1,2 °C. Выделяются зоны апвеллинга на банке Кашеварова и у Ямских о-вов, в проливе Лаперуза. Положительные значения моды отмечены только в Амурском лимане — до 0,5 °C на приустьевом участке.

В вариациях временной функции не прослеживаются сезонные колебания, визуально определяются низкочастотные составляющие небольшой амплитуды, но наибольшее внимание привлекают значительные выбросы, которые означают наличие существенных расхождений в отдельные месяцы (см. *рис. 3*). Среднее значение функции — положительное (+0,46 °C), среднеквадратическое отклонение  $\sigma = 0,9$  °C. Положительные выбросы более 3 °C (отклонение от среднего практически 3 $\sigma$ , что указывает на экстраординарность событий) отмечены в августе 2000, 2002, 2009 гг., в июле 2010 г., июне 2013 г. и июне – августе 2014 г. Отрицательные отклонения во временной функции не так велики, значения менее –1 °C (около 2 $\sigma$ ) были зафиксированы в апреле 1999 г., мае 2001 и 2019 гг., августе 2016 г., июле 2018 г. и июне 2018 г.

распределении положительные отклонения означают отрицательные значения разности ТПО (данные реанализа превышают спутниковые). Отрицательные, соответственно, отвечают положительным значениям разности ТПО, которые встречались намного реже.

Для оценки роли циклических составляющих в вариациях временной функции первой моды был выполнен спектрально-временной анализ (CBAH) колебаний (разновидность вейвлет-анализа) (Ландер и др., 1973). CBAH-диаграмма флуктуаций временной функции первой моды ЕОФ представлена на *рис. 4*. Расчёт был проведён для диапазона частот 0,05–2 цикл/год.



*Рис. 4.* СВАН-диаграмма временной функции первой моды разложения разности ТПО по ЕОФ. Изолинии проведены через 1 дБ. Максимум в спектре — 0,7 °С

В спектре временной функции первой моды выделяются три интенсивных всплеска энергии колебаний на периодах около 1 года (частота  $10^0$  цикл/год), связанных, вероятно, с соответствующей периодичностью в серии отмеченных выше выбросов. Эта периодичность чётко проявилась, например, в летних максимумах 2008—2020 гг.: они могут быть связаны с ошибками спутниковых измерений ТПО либо данных реанализа в жаркую маловетреную погоду, которые были выявлены на акватории Охотского моря в работе (Алексанин, Алексанина, 2010). Как уже отмечалось выше, устойчивого годового хода на графике этой функции не отмечено. Наиболее интересным результатом СВАН-анализа оказалось наличие сплошной полосы на частоте около 0,09 цикл/год (11 лет), указывающей на существование устойчивой цикличности. Сложно сказать, имеется ли тут связь с вариациями солнечной активности (нельзя исключить, что этот фактор каким-то образом учитывается при моделировании), однако факт весьма примечательный.

Умеренная доля первой моды в общей дисперсии параметра и отсутствие устойчивых циклических составляющих во временной функции указывают, что различия в пространственно-временной изменчивости ТПО из разных источников данных не имеют регулярного характера, а носят преимущественно случайный характер.

Для выделения наиболее значимых отклонений с учётом не только значений, но и занимаемой ими площади была рассчитана сумма квадрата значения разности по всей акватории (осреднённая по количеству ячеек с данными) (см. *рис. 3*). Этот расчёт позволил определить время (месяц и год), когда таковые наблюдались. Не удивительно, что эти отклонения соответствовали наиболее существенным выбросам, как положительным, так и отрицательным, временной функции первой моды. Коэффициент корреляции между двумя графиками на *рис. 3* превысил 0,5. Это статистически значимая связь, учитывая длину серии (276 значений).

Рассмотрим пространственное распределение разности ТПО в случаях наиболее значимых расхождений между двумя наборами данных, которые определялись по экстремумам временной функции первой моды ЕОФ. Четыре наиболее примечательных случая представлены на *рис. 5* (см. с. 189).



*Рис. 5.* Пространственное распределение наиболее значимых расхождений данных спутниковых наблюдений и реанализа по ТПО

В августе 2002 г. практически во всей изучаемой области наблюдались значительные отрицательные отклонения ТПО величиной от -2 до -4 °C. Наиболее значимые (-5...-6 °C) отмечены в обширной области к востоку от о. Сахалин и на юге рассматриваемой части C3TO. Положительные отклонения величиной 1-2 °C обнаружены в центральной части Курильской островной дуги, в районе Шантарских о-вов и на входе в зал. Шелихова.

Довольно близкий характер пространственного распределения разности ТПО был получен и в июле 2010 г. Также практически повсеместно наблюдались отрицательные отклонения величиной от -2 до -6 °C, на небольших участках в C3TO они даже достигали -8...-9 °C. Положительные отклонения в районе центральной части Курильской гряды были сравнительно невелики (0,5–1 °C), и занимаемая область, в отличие от рассмотренной выше ситуации, была вытянута не вдоль островов, а в поперечном направлении. Участок с положительными значениями на входе в зал. Шелихова увеличился, в районе Шантарских о-вов, напротив, существенно уменьшился.

Более сложная картина наблюдалась в августе 2016 г. В северной и северо-западной частях Охотского моря отмечались отрицательные отклонения  $(-1...-4 \,^{\circ}C)$ , на локальных участках — до  $-6 \,^{\circ}C$ . В северо-западной части Тихого океана, примыкающей к Курильским о-вам, отмечены положительные значения от 2 до 5 °C, граница между областями с разными знаками проходит внутри моря параллельно островам. Также положительные значения разности ТПО выявлены вдоль западного берега Камчатки, у юго-восточного побережья Сахалина и в Японском море. В июле 2018 г. в изучаемой области преобладали положительные значения от 1 до 5 °С, на небольших участках — до 7 °С. Отрицательные были отмечены в северо-восточной части Охотского моря, вблизи северо-восточного берега Сахалина и в Татарском проливе Японского моря. Величина отрицательных отклонений была меньше, чем положительных, минимальные значения в районе банки Кашеварова и вблизи м. Терпения достигала -2,5 °С.

#### Заключение

В ходе исследования для акватории Охотского моря и прилегающих районов оценены расхождения между данными ТПО базы данных Сахалинского филиала ВНИРО (полученных при помощи приёмной спутниковой станции TeraScan и не подвергавшихся более сложным операциям обработки, кроме усреднения) и реанализа ERA5, предоставленных на сайте https://cds.climate.copernicus.eu. Оценки выполнены для области, ограниченной координатами 42–60° с. ш. и 135–160° в.д., за 1998–2020 гг.

В результате расчёта средних многолетних значений разности ТПО по двум наборам данных (из данных CaxHИPO вычитались значения ERA5) для разных сезонов показано, что зимой и летом в изучаемой области преобладают отрицательные значения. В эти сезоны ТПО по данным реанализа выше своих спутниковых показателей. Осенью и особенно весной картина противоположная: на большей части акватории разности положительны. При расчёте по среднегодовым значениям расхождения невелики, за исключением некоторых динамически активных районов: Шантарских о-вов, зоны влияния стока р. Амур, областей апвеллинга приливного происхождения в районе банки Кашеварова, Ямских о-вов, пролива Лаперуза и т. д. Вероятно, сложность моделирования гидрологических процессов в таких акваториях (недостаточная точность батиметрии в небольших по размеру районах и параметризации весьма интенсивных приливных явлений) может приводить к определенным погрешностям данных ERA5.

Разложение полученной последовательности полей разности ТПО методом ЕОФ показало, что первая мода ЕОФ описывает всего 27 % общей дисперсии изучаемого параметра. В её временной функции не обнаружено устойчивых сезонных вариаций, главную роль играют положительные (в меньшей степени — отрицательные) выбросы, указывающие на существенные расхождения в отдельные месяцы, преимущественно летние. Таких ситуаций не так много: около 10 при анализируемом периоде времени в 23 года. Наиболее значимые отклонения могут достигать 4-6 °C, а на отдельных небольших участках величин 7-9 °C. Весьма вероятно, эти расхождения обусловлены ошибками в данных спутниковых наблюдений или реанализа по ТПО, которые отмечаются в Охотском море в тёплый период при маловетреной погоде (Алексанин, Алексанина, 2010).

Умеренная доля первой моды в общей дисперсии параметра и отсутствие устойчивых циклических составляющих во временной функции указывают, что различия в пространственно-временной изменчивости ТПО из разных источников данных не имеют регулярного характера, а обусловлены случайными факторами, возможно влиянием облачности. Исключение составляет наличие выраженного цикла с периодом 11 лет, присутствие которого может быть связано с включением солнечной активности в модели реанализа.

Выявленные различия данных по разным источникам требуют дополнительного изучения и могут быть основанием для некоторой корректировки моделей, используемых при подготовке данных реанализа ERA5.

#### Литература

1. *Алексанин А. И., Алексанина М. Г.* Погрешности спутниковых оценок температуры поверхности моря в штиль на примере аномально высокого прогрева в Охотском море // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. № 1. С. 217–227.

- 2. *Багров Н.А.* Аналитическое представление последовательности метеорологических полей посредством естественных ортогональных составляющих // Тр. Центрального ин-та прогнозов. 1959. Вып. 74. С. 3–24.
- 3. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. IX. Охотское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия / ред. Глуховский Б.Х., Гоптарев Н. П., Терзиев Ф. С. СПб: Гидрометеоиздат, 1998. 342 с.
- 4. Ландер А. В., Левшин Л. П., Писаренко В. Ф., Погребинский Г.А. О спектрально-временном анализе колебаний // Вычислительные и статистические методы интерпретации сейсмических данных. Сер. «Вычислительная сейсмология». Вып. 6. М.: Наука, 1973. С. 15–23.
- 5. Ложкин Д. М., Шевченко Г. В. Тренды температуры поверхности Охотского моря и прилегающих акваторий по спутниковым данным 1998–2017 гг. // Исслед. Земли из космоса. 2019. № 1. С. 55–61. DOI: 10.31857/S0205-96142019155-61.
- 6. *Новиненко Е. Г., Шевченко Г. В.* Пространственно-временная изменчивость температуры поверхности Охотского моря по спутниковым данным // Исслед. Земли из космоса. 2007. № 5. С. 50–60.

## Comparative analysis of Okhotsk Sea surface temperature from satellite observations and ERA5 reanalysis

## D. M. Lozhkin<sup>1</sup>, G. V. Shevchenko<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Sakhalin Branch Yuzhno-Sakhalinsk 693023, Russia E-mails: dima-lm@rambler.ru, tshay@yandex.ru, shevchenko\_zhora@mail.ru
<sup>2</sup> Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS Yuzhno-Sakhalinsk 693022, Russia

For the Sea of Okhotsk and adjacent waters (the area bounded by coordinates 42-60 N and 135-160 E), a comparison of the monthly average Sea Surface Temperature (SST) series based on satellite data (SakhNIRO base) and the ERA5 reanalysis for 1998–2020 was performed. It is shown that in the study area, the winter and summer reanalysis SST is higher than the satellite SST. On the contrary, in autumn and especially in spring in most of the water area, the satellite SST is higher than the reanalysis SST. Differences in annual averages are small, except for some dynamically active regions. The first mode of the SST difference field's expansion in terms of the analysis of natural orthogonal functions describes only 27 % of the total dispersion of investigated parameter. Its spatial distribution in almost the entire area has negative values. No stable seasonal variations were found in its temporal function, the main role is played by positive (to a lesser extent negative) emissions, indicating significant discrepancies in certain months, mainly summer. The moderate share of the first mode in the total variance of the parameter and the absence of stable cyclical components in the temporal function suggests that the differences in the spatiotemporal variability of SST from different data sources are not regular, but are caused by random factors. An exception is the presence of a pronounced cycle with a period of 11 years that may be associated with the inclusion of solar activity in the reanalysis model.

Keywords: sea surface temperature, satellite observations, reanalysis, empirical orthogonal functions

Accepted: 15.03.2022 DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-2-183-192

### References

- 1. Aleksanin A. I., Aleksanina M. G., Satellite estimation of sea surface temperature inaccuracy during a calm for high diurnal warming in the Okhotsk Sea, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2010, No. 1, pp. 217–227 (in Russian).
- 2. Bagrov N.A., Analytical presentation of the sequence of meteorological fields through natural orthogonal components, *Trudy Tsentral'nogo instituta prognozov*, 1959, Issue 74, pp. 3–24 (in Russian).

- 3. *Gidrometeorologiya i gidrokhimiya morei. Tom IX. Okhotskoe more. Vyp. 1. Gidrometeorologicheskie us-loviya* (Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas. Vol. IX. The Sea of Okhotsk. Issue 1. Hydrometeorological conditions), Glukhovskii B. Kh., Goptarev N. P., Terziev F. S. (eds.), Saint Petersburg: Gidrometeoizdat, 1998, 342 p. (in Russian).
- 4. Lander A. V., Levshin L. P., Pisarenko V. F., Pogrebinskii G. A., On spectral-time analysis of oscillations, In: *Vychislitel'nye i statisticheskie metody interpretatsii seismicheskikh dannykh*, *Ser. "Vychislitel'naya seis-mologiya"*, *Vyp. 6*, Moscow: Nauka, 1973, pp. 15–23 (in Russian).
- 5. Lozhkin D. M., Shevchenko G. V., Trends in sea surface temperature of the sea of Okhotsk and adjacent water areas by satellite data in 1998–2017, *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2019, No. 1, pp. 55–61 (in Russian), DOI: 10.31857/S0205-96142019155-61.
- 6. Novinenko E.G., Shevchenko G.V., Spatial and Temporal Variability of the Okhotsk Sea Surface Temperature from Satellite Data, *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2007, No. 5, pp. 50–60 (in Russian).