

УДК 656.61:006.88

**ТОПОГРАФИЯ ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ БЕРИНГОВА МОРЯ И
ВАРИАЦИИ СУММАРНОГО МОМЕНТА ИМПУЛЬСА
ПЛАНЕТ-ГИГАНТОВ**

Холопцев А. В.^{1,2}, Курочкин Л. Е.²

¹*Севастопольское отделение ФГБУ «Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова», Севастополь, Российская Федерация*

²*ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет, Севастополь, Российская Федерация*

E-mail: ¹kholoptsev@mail.ru, ²lkurochkin.mj@mail.ru

Вследствие неопределенности наиболее вероятного сценария дальнейших перемен климата, актуальной проблемой океанографии и гидрографии является выявление особенностей влияния на изменчивость топографии акваторий регионов Мирового океана (далее ТАО) факторов, инвариантных к этим переменам. К таким факторам относятся вариации компонентов вектора силы гравитационного притяжения между Землей к Солнцем, которые вызваны движением планет Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна вокруг барицентра Солнечной системы. Следствием действия этого фактора являются отличия характеристик барицентрического движения нашей планеты от их значений, определяемых законами Кеплера, которые порождают во всех геосредах соответствующие составляющие сил инерции. В Мировом океане рассматриваемые факторы способны влиять на расходы течений, участвующих в водообмене между различными его регионами. Выдвинута гипотеза о том, что изменения модуля суммарного момента импульса барицентрического движения упомянутых планет являются значимым фактором длиннопериодных вариаций ТАО некоторых из таких регионов. Цель работы - проверка справедливости выдвинутой гипотезы для Берингова моря. Для различных участков акватории указанного моря изучены синхронные статистические связи с рассматриваемым фактором изменений в 1993–2019 гг. среднегодовых и среднемесячных уровней их водной поверхности. Как фактический материал использованы результаты реанализа GLORYS12.v.1, а также сведения об изменениях барицентрических координат упомянутых планет. Для выделения длиннопериодных составляющих рассматриваемых процессов, осуществлено сглаживание их временных рядов в скользящем окне длиной 5 лет. Корреляционный анализ связей между полученными при этом рядами, позволил выявить районы Берингова моря, для которых вывод о значимости рассматриваемых связей справедлив с достоверностью не ниже 0,9, вследствие чего проблема прогнозирования длиннопериодных составляющих изменчивости их ТАО является разрешимой.

Ключевые слова: топография водной поверхности, длиннопериодная изменчивость, суммарный момент импульса, Северный Морской путь, Берингово море, статистические связи, планеты-гиганты.

ВВЕДЕНИЕ

Топография акваторий любых регионов Мирового океана (далее ТАО) в значительной мере связана с существующими в них океаническими течениями, которые переносят по ним дрейфующие льды, тепло и загрязняющие вещества, а также влияют на движение судов. Поэтому совершенствование методик моделирования и прогнозирования изменений ТАО является актуальной проблемой океанографии, гидрографии, а также судовождения.

Решение указанной проблемы представляется наиболее важным для морей, обладающих значительными биологическими ресурсами, через которые проходят важнейшие водные пути мира [17].

ТОПОГРАФИЯ ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ БЕРИНГОВА МОРЯ И ВАРИАЦИИ СУММАРНОГО МОМЕНТА ИМПУЛЬСА ПЛАНЕТ-ГИГАНТОВ

Одним из них является Берингово море, - крупнейшее из окраинных морей нашей планеты, которое находится в северной части Тихого океана и разделяет побережья Евразии (принадлежащие РФ) и Северной Америки (США). Северная граница этого моря проходит через Берингов пролив, который связывает его с Чукотским морем, а южная — по цепи Командорских и Алеутских островов, отделяющих его от Тихого океана.

Через Берингово море проходят международные водные пути, связывающие порты Евразии и Северной Америки. Оно обладает значительными запасами полезных ископаемых и является актуальным регионом рыбного промысла.

Существующий подход к моделированию изменений ТАО для любого океанического региона предполагает численное решение соответствующих задач гидродинамики [9, 14, 18, 24]. Степень соответствия между получаемыми таким путем результатами и фактической динамикой изучаемого процесса в значительной мере определяется точностью задания граничных и начальных условий, а также полнотой учета всех его значимых факторов [9, 14].

Для Берингова моря применение этого подхода проблематично вследствие его обширности, недостаточной изученности гидрографических характеристик, а также связей изменений его ТАО с другими природными процессами. Наиболее сложным является его применение при долгосрочном и сверхдолгосрочном прогнозировании изменений ТАО, поскольку на них существенное влияние оказывают климатические факторы, вероятный сценарий дальнейшей динамики которых не определен [7, 10, 12, 19, 21]. Вследствие этого, существенный теоретический и практический интерес представляет выявление составляющих изменчивости ТАО Берингова моря, которые инвариантны к дальнейшим переменам климата и обусловлены действием факторов, состояния которых в прошлом и будущем могут быть предвычислены.

Согласно существующим представлениям о факторах вариаций ТАО, к числу наиболее существенных на интервалах межгодовой и десятилетней изменчивости относятся гидрологические [5, 8, 22]. Одним из них является водообмен изучаемого моря с другими регионами Мирового океана.

В этом процессе участвуют те или иные океанические течения, характеристики которых, помимо прочего, зависят от значений компонентов вектора силы гравитационного притяжения нашей планеты к Солнцу.

В результате движения планет Солнечной системы по своим орбитам относительно ее барицентра, их суммарный момент количества движения (далее ММД) непрерывно изменяется. На отрезках времени единицы - сотни лет существенных перемен расположения Солнечной системы в Галактике не происходит, вследствие чего допустимо рассматривать эту систему как замкнутую.

В замкнутых системах действует закон сохранения ММД, вследствие которого, под влиянием сил гравитационного притяжения планет и Солнца, центр массы последнего по отношению к барицентру Солнечной системы непрерывно смещается. Это обеспечивает постоянство ММД всей этой системы.

Наиболее существенное влияние на барицентрическое движение Солнца оказывают планеты- гиганты — Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун [13, 16]. Вследствие

этого в спектре изменчивости ММД присутствуют составляющие с периодами, равными периодам их обращения: - 11.86 лет, 29.46 лет, 84.02 лет и 164.78 лет.

Траектория барицентрического движения центра Солнца представляет собой сложную и незамкнутую кривую [4, 13, 15]. Многие участки этой кривой смещены относительно барицентра Солнечной системы более чем на радиус фотосферы Солнца.

В результате смещений центра массы Солнца изменяются также компоненты вектора силы притяжения к нему нашей планеты (по отношению к их значениям, определяемым с учетом законов Кеплера). В результате этого фактические характеристики барицентрического движения Земли несколько отличаются от их значений, следующих из упомянутых законов.

Упомянутые «возмущения» орбиты нашей планеты порождает во всех геосредах соответствующие дополнительные составляющие действующих в них сил инерции.

В Мировом океане эти силы способны в какой-то мере влиять на некоторые составляющие динамики его вод. Могут влиять они и на расходы течений, обуславливающих водообмен между его регионами, вследствие чего в спектрах изменчивости их ТАО могут присутствовать длиннопериодные составляющие с периодами, близкими к периодам обращения упомянутых планет. Следовательно, вариации ММД, а также их средних значений, оцененных за год или некоторый месяц (далее ММД_Г и ММД_М), в принципе могут относиться к длиннопериодным факторам изменений ТАО каких-либо океанических регионов.

Вопрос о значимости влияния этих факторов на изменения ТАО Берингова моря ранее не рассматривался. Вместе с тем, возможность их влияния на изменения интенсивности инсоляции земной поверхности, а также характеристик глобального и регионального климата отмечена в [3, 6, 16].

Следовательно, не противоречит ранее установленным фактам гипотеза: значимыми факторами длиннопериодных изменений ТАО Берингова моря могут являться вариации ММД_Г и ММД_М.

Справедливость выдвинутой гипотезы далеко не очевидна. В пользу справедливости альтернативной гипотезы свидетельствует «здравый смысл», а также ничтожность возмущений силы тяжести на нашей планете, обусловленных гравитационным взаимодействием непосредственно с планетами Солнечной системы [11]. К тому же, наряду с рассматриваемыми внеземными факторами, значимые воздействия на длиннопериодные изменения ТАО Берингова моря могут оказывать перемены его климата, а также другие вполне земные процессы. Тем не менее, «здравый смысл» в науке далеко не лучший советчик, а проверка гипотезы ранее не проводилась.

Изменения ММД_Г и ММД_М планет-гигантов, для любых моментов как прошедшего, так и для будущего времени, могут быть с высокой точностью предвычислены по законам небесной механики [15]. Поэтому подтверждение справедливости выдвинутой гипотезы позволило бы использовать информацию о них не только при моделировании вариаций ТАО Берингова моря, но и при их прогнозировании. Следовательно, проверка выдвинутой гипотезы представляет теоретический и практический интерес.

Целью данной работы является осуществление такой проверки.

В разделе 1 рассмотрен фактический материал, применяемый при достижении указанной цели, а также методика исследований. Раздел 2 содержит результаты, полученные в работе. В разделе 3 проводится их критическое обсуждение. В разделе 4 представлены выводы и рекомендации по дальнейшим исследованиям в том же направлении.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Как фактический материал использованы результаты реанализа GLORYS12.v.1 [23, 25], отражающие изменения уровней различных участков акватории Мирового океана (включая Берингово море). Валидность упомянутой информации подтверждена путем сопоставления со сведениями, представленными в [26]. Результаты указанного реанализа представляют собой оценки среднесуточных значений уровней водной поверхности Мирового океана (относительно геоида) в пунктах, соответствующих всем узлам координатной сетки с шагом 5 угловых минут, для каждых суток в период с 1.01.1993 по 31.12.2019 гг.

С использованием упомянутой информации для каждого такого пункта, относящегося к акватории изучаемого моря, вычислены среднегодовые и среднемесячные значения уровня водной поверхности (далее СГУ и СМУ), из которых сформированы соответствующие временные ряды, включающие по 27 членов.

Как фактический материал о массах всех планет Солнечной системы, а также их гелиоцентрических координатах в каждые сутки, использованы сведения, полученные из ФГБУН «Институт прикладной астрономии Российской академии наук». Значения ММД_г и ММД_м (для каждого месяца) вычислялись для периода 1982–2020 гг., с применением методики, предложенной Б.Г. Шерстюковым [16].

Методика исследования предполагала выявление участков акватории Берингова моря, для которых достоверность статистического вывода о значимости связей между рассматриваемыми процессами превышает заданный уровень. При этом справедливость подобной гипотезы оценивалась для всех пунктов изучаемой акватории, которым соответствуют узлы координатной сетки указанного реанализа.

Оценивалась значимость синхронных статистических связей между изучаемыми процессами, для чего был применен метод корреляционного анализа [1]. Перед выполнением этого анализа в каждом из сопоставляемых временных рядов скомпенсирован присутствующий в нем линейный тренд.

Изменения СГУ и СМУ — многофакторные процессы, в спектрах которых содержатся многочисленные составляющие, обусловленные действием климатических и гидрометеорологических факторов. Наиболее мощными среди таких составляющих, относящихся к интервалу межгодовой изменчивости, являются квазидвухлетние, на фоне которых любые более длиннопериодные составляющие выделить сложно.

Поэтому, для выделения изучаемых процессов на фоне подобных помех, рассматриваемые временные ряды подвергнуты сглаживанию в «скользящем окне»,

длительностью 5 лет (что соответствует методике, примененной в [16]). Установлено, что в результате сглаживания количество степеней свободы изучаемых временных рядов уменьшилось до 7.

Решение о значимости изучаемой связи принималось, если достоверность такого статистического вывода превышала 0,9. При его принятии вычисленные значения коэффициента корреляции рассматриваемых сглаженных рядов для всех пунктов изучаемых акваторий сопоставлялись с выбранным пороговым значением этого коэффициента. При выборе упомянутого порогового значения коэффициента корреляции применен критерий Стьюдента. Учитывалось также указанное количество степеней свободы изучаемых рядов [1]. Установлено, что искомый пороговый уровень коэффициента корреляции изучаемых рядов равен 0,8.

Несмотря на то, что подобная методика оценки значимости статистических связей вполне традиционна, следует признать, что ее применение в решаемой задаче не вполне корректно. Подтвердить (либо опровергнуть) допустимость применения в ней упомянутого критерия, не позволяет ограниченность длины сопоставляемых временных рядов.

По указанной причине оценки значимости изучаемых связей, получаемые с использованием изложенной методики, рассматривались как приближенные.

Как свидетельство значимости связи между рядами, учитывалось также значение модуля коэффициента их парной корреляции, которое качественно характеризует степень влияния одного процесса на второй.

Поскольку изменения СГУ или СМУ под влиянием вариаций ММД_Г и ММД_М возможны в результате перетекания некоторого количества воды из одних океанических регионов в другие, синхронные связи этих процессов могут быть слабее, чем связи асинхронные [16].

Таким образом, применяемая методика позволяет выявить участки акватории Берингова моря, для которых не только синхронные, но и асинхронные статистические связи временных рядов их СГУ или СМУ с рядами ММД_Г и ММД_М наиболее сильны, а приближенные оценки достоверности вывода об их значимости превышают 0,9.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

В соответствии с изложенной методикой осуществлен корреляционный анализ синхронных статистических связей между сглаженными временными рядами ММД_Г и ММД_М, а также СГУ и СМУ для всех месяцев и всех участков акватории Берингова моря.

Участки акватории Берингова моря, для которых значения коэффициента корреляции изменений ММД_Г и СГУ превышают 0,8 отображены на рисунке 1.

ТОПОГРАФИЯ ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ БЕРИНГОВА МОРЯ И ВАРИАЦИИ СУММАРНОГО МОМЕНТА ИМПУЛЬСА ПЛАНЕТ-ГИГАНТОВ

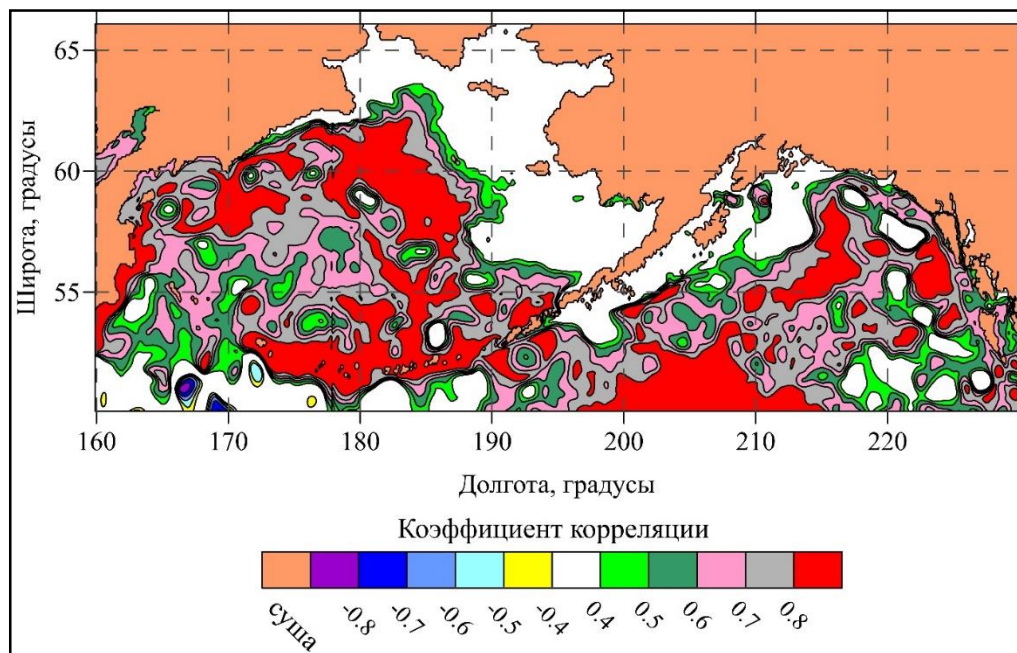


Рис. 1. Расположение участков акватории Берингова моря, для которых значения коэффициента корреляции изменений ММД_Г и СГУ превышают 0,8 (красный фон). Составлено авторами.

Из рисунка 1 следует, что значения коэффициента корреляции изменений ММД_Г и СГУ для многих участков акватории Берингова моря превышают 0,8. Такие участки преобладают у побережья полуострова Камчатка, в центральной и южной части моря, а также северо-восточных районах Тихого океана. Среди выявленных участков присутствуют и те, где значения рассматриваемого коэффициента превышают 0,88, а достоверность статистического вывода о значимости изучаемых связей превышает 0,9. Максимальные значения достоверности такого вывода для районов Берингова моря превышают 0,95 (соответствующие значения коэффициента корреляции изменений ММД_Г и СГУ составляют 0,98). В северной и северо-восточной части моря рассматриваемых участков не выявлено.

На рисунке 2 показаны расположения участков акватории Берингова моря, для которых значения коэффициента корреляции изменений ММД_М и СМУ для месяцев январь-апрель превышают 0,8.

Рисунок 2 показывает, что общая площадь и расположения таких участков для разных месяцев различны.

Из рисунка 2а видно, что для января значения коэффициента корреляции между рядами ММД_М и СМУ превышают указанный уровень в основном в районах Тихого океана, расположенных к юго-востоку от Берингова моря. На акватории самого моря превышения указанного уровня выявлены лишь для некоторых районов, расположенных в его центральной части (к северу от Андрияновских островов).

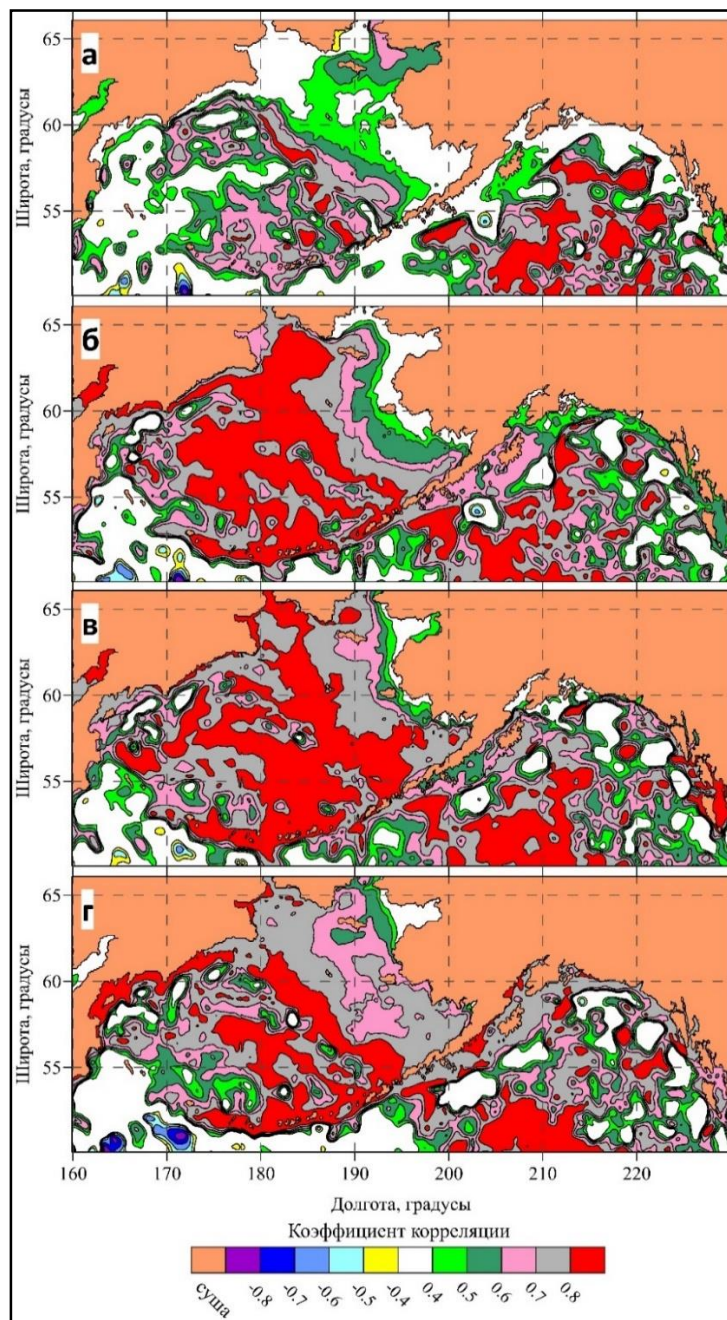


Рис. 2. Расположение участков акватории Берингова моря, для которых значения коэффициента корреляции изменений ММД_м, с вариациями их СМУ для зимне-весенних месяцев превышают тот или иной уровень
а) январь, б) февраль, в) март, г) апрель.

Составлено авторами.

ТОПОГРАФИЯ ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ БЕРИНГОВА МОРЯ И ВАРИАЦИИ СУММАРНОГО МОМЕНТА ИМПУЛЬСА ПЛАНЕТ-ГИГАНТОВ

Рисунок 2б свидетельствует о том, что для февраля суммарная площадь районов, где значения коэффициента корреляции между рядами ММД_м и СМУ превышают 0,8, значительно больше, чем для января. Такие районы преобладают в западной части моря (кроме участков ее акватории у побережий полуострова Камчатка). Выявлены они и в тех же районах Тихого океана.

В целом, такие же особенности характерны для расположений рассматриваемых районов, которые соответствуют марту и апрелю (о чем свидетельствуют рисунки 2в и 2г).

Сопоставление этих рисунков с рисунком 2а свидетельствует об уменьшении от февраля к апрелю общей площади участков акватории Берингова моря, где значения коэффициента корреляции рассматриваемых процессов превышают 0,8.

Участки, для которых достоверность статистического вывода о значимости синхронных связей между вариациями их СМУ и изменениями ММД_м, превышает 0,9, выявлены лишь для февраля и марта (они расположены в центральной части моря).

Расположения участков акватории Берингова моря, для которых значения коэффициента корреляции межгодовых изменений ММД_м и СМУ для месяцев май-август превышают 0,8, (они выделены красным фоном) показаны на рисунке 3.

Из рисунка 3а понятно, что рассматриваемые участки на акватории Берингова моря для мая располагаются приблизительно там же, где и для апреля (рисунок 2г), хотя их общая площадь несколько меньше. В Тихом океане к юго-востоку от Лисьих островов расположена обширная область, где для мая, как и для прочих месяцев, значения коэффициента корреляции изменений ММД_м и СМУ превышают 0,8 (а во многих ее районах и 0,9).

Из рисунка 3б нетрудно заключить, что для июня расположение изучаемых участков акватории Берингова моря в целом подобно майскому. При этом площадь области высокой корреляции изучаемых процессов, которая расположена на севере центральной части моря для июня больше, чем для мая. Площадь такой же области, находящейся на юге центральной части моря для июня несколько меньше, чем для мая.

Рисунок 3в показывает, что для июля область высокой корреляции рассматриваемых процессов, которая расположена на севере центральной части моря значительно больше, чем в апреле-июне, в то время как размеры области на юге этой части моря заметно меньше, чем в предыдущие месяцы. Искомые районы выявлены также вдоль многих участков побережий России.

Как видно из рисунка 3г, для августа районы Берингова моря, где значения коэффициента корреляции межгодовых изменений ММД_м и СМУ превышают 0,8, занимают несколько меньшую часть его акватории, чем в июле. Наиболее очевидно сокращение их размеров на севере центральной части моря.

Практически отсутствуют рассматриваемые районы в северной части моря

На рисунке 4 представлены участки акватории Берингова моря, где для месяцев сентябрь-декабрь значения коэффициента корреляции межгодовых изменений ММД_м и СМУ превышают 0,8, (они, как и ранее, выделены красным фоном).

Рисунок 4а свидетельствует о том, что расположение изучаемых участков для сентября во многом подобно их расположению для августа. В северной и северо-

восточной части моря таких участков нет. Площади областей высокой корреляции рядов ММД_М и СМУ, расположенных на севере и юге центральной части моря, для сентября несколько больше, чем для августа.

Рисунок 4б позволяет утверждать, что статистические связи межгодовых изменений ММД_М и СМУ в среднем по акватории Берингова моря для октября значительно слабее, чем в предыдущие месяцы. Районов моря, где значения коэффициента корреляции сопоставляемых рядов превышают 0,8, существенно меньше, чем в сентябре. При этом участки более слабой корреляции выявлены и в северо-восточной части моря (где ни в августе, ни в сентябре их не было).

Как следует из рисунка 4в, для ноября общая площадь районов моря, где коэффициент корреляции изучаемых процессов превосходит уровень 0,8, значительно больше. Они занимают практически всю западную часть моря (за исключением районов, расположенных у побережий Евразии). Отсутствуют такие районы (как и в сентябре) в северной и северо-восточной части моря.

Особенностью расположения рассматриваемых участков является также существенное уменьшение их количества в районе Тихого океана, расположенного к юго-востоку от Лисьих островов (в сравнении с предыдущими месяцами).

Из рисунка 4г следует, что для декабря характерно усиление связей между изучаемыми процессами в восточной части Берингова моря и их ослабление в его западной части.

Из сопоставления рисунков 2-4 следует, что количество и расположение районов Берингова моря, где имеют место сильные статистические связи изменений ММД_М с вариациями их СМУ, существенно зависят от месяца. При этом, некоторые элементы подобия расположений таких районов характерны для таких последовательных месяцев, как февраль-июль, а также август- сентябрь. Повышенные значения суммарной площади рассматриваемых районов акватории Берингова моря соответствуют февралю, июлю и ноябрю (для этих месяцев выявлены участки акватории, где достоверность выводов о значимости связей превышает 0,9 и даже 0,95). Минимальные значения той же характеристики соответствуют январю и октябрю.

На всей акватории Берингова моря и прилегающих районов Тихого океана корреляция изучаемых процессов положительна. Исследования синхронных статистических связей между временными рядами ММД_М и СМУ (а также ММД_Г и СГУ), выполненные для морей Тихого океана у берегов Антарктиды, показали, что для многих их районов корреляция этих рядов столь же сильна, но является отрицательной.

Последнее означает, что в северном и в южном полушарии Земли одни и те же изменения ММД вызывают противофазные изменения уровня Мирового океана. Последнее качественно подтверждает предположение о влиянии ММД на расходы течений, участвующих в водообмене между регионами Тихого океана, расположенными в противоположных полушариях, а также о наличии причинной связи между изучаемыми процессами.

ТОПОГРАФИЯ ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ БЕРИНГОВА МОРЯ И ВАРИАЦИИ
СУММАРНОГО МОМЕНТА ИМПУЛЬСА ПЛАНЕТ-ГИГАНТОВ

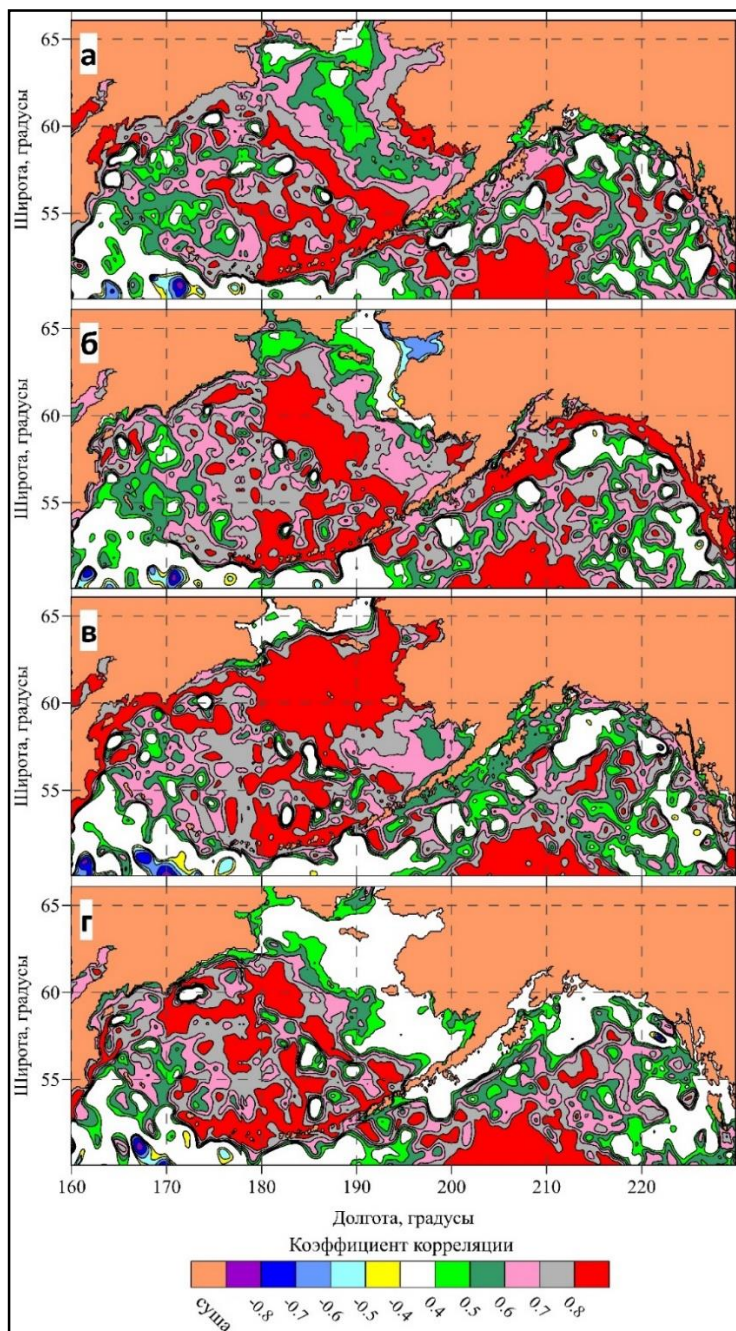


Рис. 3. Расположение участков акватории Берингова моря, для которых значения коэффициента корреляции изменений ММД_М, с вариациями их СМУ для весенне-летних месяцев превышают тот или иной уровень
а) май, б) июнь, в) июль, г) август.

Составлено авторами.

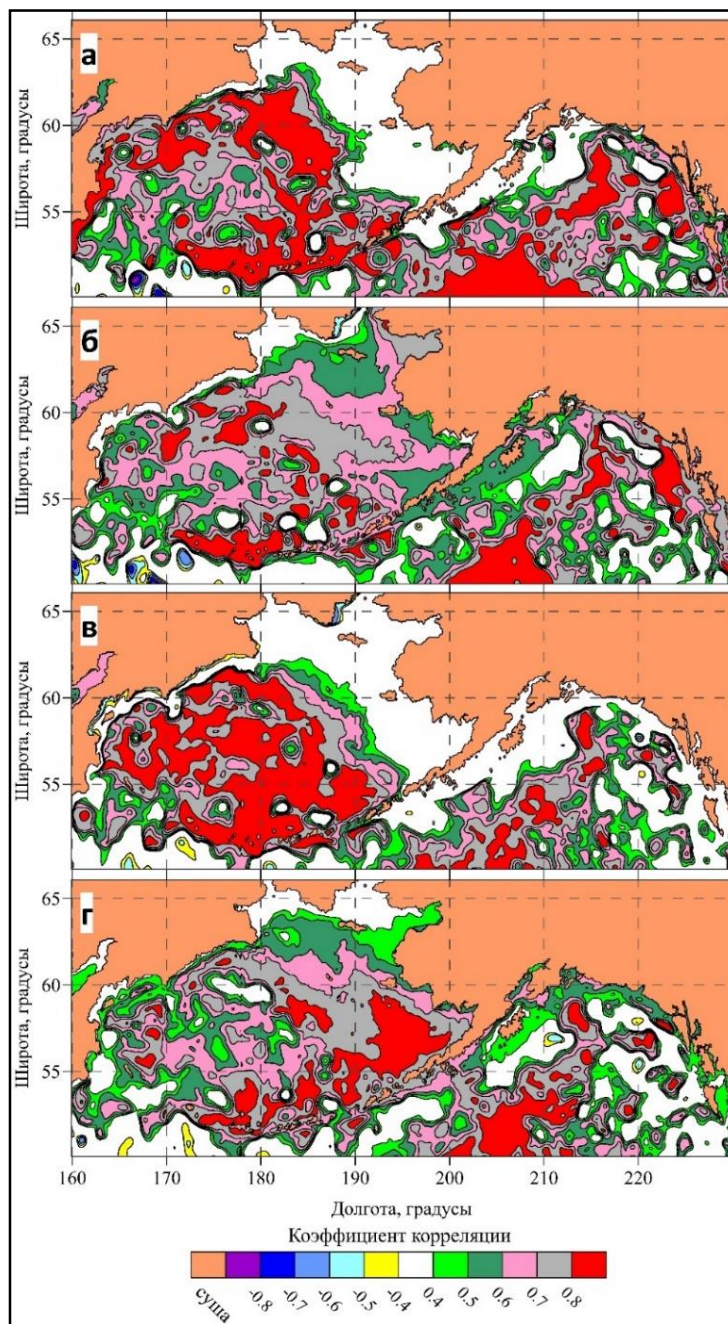


Рисунок 4 Расположение участков акватории Берингова моря, для которых значения коэффициента корреляции изменений ММД_М, с вариациями их СМУ для осенне - зимних месяцев превышают тот или иной уровень
а) сентябрь, б) октябрь, в) ноябрь, г) декабрь.

Составлено авторами.

ТОПОГРАФИЯ ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ БЕРИНГОВА МОРЯ И ВАРИАЦИИ СУММАРНОГО МОМЕНТА ИМПУЛЬСА ПЛАНЕТ-ГИГАНТОВ

Как следует из представленных результатов, для временного ряда СМУ или СГУ, соответствующего тому или иному участку акватории изучаемого региона, достоверность вывода о значимости его синхронной связи с рядом ММД_М или ММД_Г относительно не велика. Тем не менее, общее количество участков акватории Берингова моря, для которых указан вывод в отношении связей ММД_Г и СГУ справедлив с достоверностью 0,9, составляет 8989. Близкие значения имеют эти количества и для связей ММД_М и СМУ (для различных месяцев). Поэтому, представленные результаты анализа статистических связей межгодовых изменений ММД_Г и ММД_М, а также СГУ и СМУ (для всех месяцев), для рассматриваемого моря справедливость выдвинутой гипотезы подтверждают.

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты соответствуют существующим представлениям о роли водно-балансовых факторов в изменениях уровня регионов Мирового океана [2, 5, 8, 10, 12].

Из них следует, что длиннопериодные составляющие изменчивости СГУ и СМУ в 1993-2019 гг. были обусловлены действием на эти процессы вариаций ММД_Г и ММД_М (либо иных неизвестных ныне факторов, статистические свойства которых были подобны свойствам этих вариаций).

Значения ММД_Г и ММД_М для текущего или любого предстоящего года могут быть по законам небесной механики предвычислены. Следовательно, полученные результаты позволяют предположить, что проблемы долгосрочного и сверхдолгосрочного прогнозирования длиннопериодных составляющих изменчивости ТАО для многих районов Берингова моря является разрешимой. Утверждать, что эта проблема разрешима, не позволяет влияние на тенденции изменчивости ТАО изучаемого моря не только астрономических, но и климатических факторов, в динамике которых много неопределенностей [2, 10, 12, 19].

Статистические связи между вариациями ММД_Г и ММД_М, а также СГУ и СМУ для различных районов Берингова моря, которые выявлены для периода 1993–2019 гг., отнюдь не доказывают существование между этими процессами причинных связей. Подобные связи могут существовать, если энергии «земных откликов» на вариации ММД достаточно для возникновения фактически наблюдаемых вариаций СГУ и СМУ. Последнее может быть подтверждено в результате выполнения соответствующих количественных оценок, которых в рамках данной работы не делалось.

Тем не менее, из полученных результатов следует, что в спектрах межгодовой изменчивости СГУ и СМУ многих участков акваторий этих морей присутствуют мощные составляющие с периодами, которые близки к периодам обращения планет-гигантов. В противном случае синхронная корреляция рассматриваемых временных рядов (в которых скомпенсированы линейные тренды) не могла бы достигать уровня 0,95 и более.

Даже если присутствие упомянутых составляющих является результатом действия иных причин, сам факт его наличия свидетельствует о том, что при

сверхдолгосрочном прогнозировании СГУ или СМУ, наряду с прочими водно-балансовыми факторами, целесообразно учитывать также вариации ММД_Г и ММД_М.

О том, что фактор, порождающий упомянутые составляющие изменчивости СГУ и СМУ, не является климатическим, свидетельствуют противоположные знаки значимой корреляции изучаемых процессов, соответствующих Берингову морю и морям Тихого океана у берегов Антарктиды. Еще одним доводом в пользу этого является отсутствие существенного влияния на корреляцию рассматриваемых процессов фактора смены времен года (зависимости от месяца есть, но зависимость от сезона не выявлено).

Существенным аргументом в пользу связи выявленного эффекта с процессами водообмена служит пространственное расположение областей, в которых локализованы участки значимой корреляции СМУ и ММД_Г (а также СГУ и ММД_М). Через все упомянутые области проходят те или иные океанические течения, участвующие в водообмене Берингова моря с Тихим океаном.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом установлено, что среди значимых факторов длиннопериодных составляющих изменчивости ТАО Берингова моря, присутствуют процессы, которые значимо статистически связаны с вариациями ММД_Г, а также ММД_М (вполне возможно, что и сами эти процессы порождены упомянутыми вариациями).

Изменения ММД_Г и ММД_М для любого года и месяца могут быть предвычислены. Поэтому, полученный результат является доводом в пользу разрешимости проблемы долгосрочного и сверхдолгосрочного прогнозирования длиннопериодных составляющих изменчивости СГУ и СМУ многих участков акватории изучаемого моря.

Список литературы

1. Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика и основы эконометрики. М.: Юнити. 1998. 1022 с.
2. Алексеев Г.В., Радионов В.Ф., Александров Е.И., Иванов Н.Е., Харланенкова Н.Е. Изменения климата Арктики при глобальном потеплении // Проблемы Арктики и Антарктики. 2015. № 1 (103). С. 32–41.
3. Дмитриев А.А., Белязо В.А. (2006). Космос, планетарная климатическая изменчивость и атмосфера полярных регионов. СПб.: Гидрометеониздат, 2006. 360 с.
4. Долгачев В.П., Доможилова Л.М., Хлыстов А.И. Некоторые свойства барицентрического движения больших планет и Солнца // Труды ГАИШ. 1991, Т.62, с. 111–118.
5. Каплин П.А. Прогноз развития береговой зоны морей России [включая арктические] в условиях повышения их уровня и потепления климата / Каплин П.А., Павлидис Ю.А., Селиванов А.О. // Человечество и береговая зона Мирового океана в XXI веке: XX Междунар. конф., посвящ. 90-летию В.П. Зенковича (4-5 февр. 2000 г.). Москва. 2001. С. 16–28.
6. Коваленко В.Д., Кизим Л.Д., Пашестюк А.М., Николаев В.Г. (1987). Исследование причин изменчивости климата // Агроклиматические ресурсы Сибири. Сборник трудов ВАСХНИЛ, Сибирское отделение. Новосибирск, 1987. С. 103–113.
7. Кондратьев К.Я. Неопределённость данных наблюдений и численного моделирования климата // Метеорология и гидрология. 2004. № 4. С. 93–119.
8. Малинин В.Н. Уровень океана: настоящее и будущее. СПб.: РГГМУ, 2012. 260 с.

ТОПОГРАФИЯ ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ БЕРИНГОВА МОРЯ И ВАРИАЦИИ СУММАРНОГО МОМЕНТА ИМПУЛЬСА ПЛАНЕТ-ГИГАНТОВ

9. Марчук Г.И. (1974). Численное решение задач динамики атмосферы и океана. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 308 с.
10. Меркулов В.А., Ашик И.М., Тимохов Л.А. Тенденции многолетней изменчивости уровня моря на прибрежных станциях Северного Ледовитого океана // Проблемы Арктики и Антарктики. 2017. №3(113). С. 51–66.
11. Мохов И.И., Смирнов Д.А., Карпенко А.А. (2012). Оценки связи изменений глобальной приповерхностной температуры с разными естественными и антропогенными факторами на основе данных наблюдений // Доклады Академии наук. 2012. Т. 443. № 2. С. 225–231.
12. Фролов И.Е., Гудкович З.М., Карклин В.П., Смоляницкий В.М. Изменения климата Арктики и Антарктики — результат действия естественных причин // Проблемы Арктики и Антарктики. 2010. №2 (85). С. 52–61.
13. Хлыстов А.И., Долгачев В.П., Доможилова Л.М., Барицентрическое движение Солнца и его следствия для Солнечной системы. //Современные глобальные изменения природной среды. ТЗ. Факторы глобальных изменений. М: Научный мир, 2012. С. 62–78.
14. Черкесов Л.В., Иванов В.А., Хартиев С.М. Введение в гидродинамику и теорию волн. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 264 с.
15. Шерстюков Б.Г. (2019в). Момент инерции движения Солнца относительно центра масс Солнечной системы и долгопериодные колебания температуры поверхности океана // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2019. Вып. 184. С. 80–93.
16. Шерстюков Б.Г. Колебательная система климата, резонансы, дальние связи, прогнозы. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2021. 222 с.
17. Aksenov Y., Popova E.E., Yool A., Nurser A. G., Williams T. D., Bertino L., Bergh J. On the Future Navigability of Arctic Sea Routes: High-resolution Projections of the Arctic Ocean and Sea Ice // Marine Policy. 2017. Vol. 75. Pp. 300–317. DOI: 10.1016/j.marpol.2015.12.027
18. Blumberg A.F., Mellor G.L. A description of three dimensional coastal ocean circulation model // Three-Dimensional Coastal Ocean Models / Ed. N. Heaps. Washington, D. C.: American Geophysical Union. – 1987. – 4. – P. 1 – 16. – doi 10.1029/co004p0001
19. Climate Change (2013). The Physical Science Basis. Working Group I. Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by Thomas F. Stocker, Dahe Qin, Gian-Kasper Plattner, Melinda M.B. Tignor, Simon K. Allen, Judith Boschung, Alexander Nauels, Yu Xia, Vincent Bex, Pauline M. Midgley. Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, Sro Paolo, Delhi, Mexico City. 1535 p.
20. Melia N., Haines K., Hawkins E. Future of the Sea: Implications from Opening Arctic Sea Routes. — Foresight, Government Office for Science, 2017. 39 p.
21. Moss, R. et al., 2010: The next generation of scenarios for climate change research and assessment. Nature, 463, 747–756.
22. Mörner N.-A. Sea level is not rising / N.-A.Mörner // Science and Public Police Institute Reprint Series. Dec.6, 2012. 26 p.
23. Vichi M., Lovato T., Gutierrez Mlot E., McKiver W. Coupling BFM with Ocean models: the NEMO model (Nucleus for the European Modelling of the Ocean). Bologna: BFM Consortium, 2015.
24. WannawongW, Wongwises, U. ;Vongvisessomjai, S. Mathematical Modeling of Storm Surge in Three Dimensional Primitive Equations // International Journal of Mathematical, Computational, Physical, Electrical and Computer Engineering. 2011. 5. № 6. P. 797–806.
25. База данных. Результаты реанализа GLORYS12v.1 изменений ледовитости, средней толщины льда, поверхностной температуры и поверхностной солёности экваторий Мирового океана. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-toproducts/?option=com_csw&view=details&productid=GLOBAL_REANALYSIS_PHY_001_030.
26. Банк данных Центра уровня моря Гавайского университета (UHSLC) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://uhslc.soest.hawaii.edu/thredds/catalog.html>.

**TOPOGRAPHY OF THE WATER SURFACE OF THE BERING SEA AND
VARIATIONS OF THE TOTAL ANGULAR MOMENTUM
OF THE GIANT PLANETS**

Holoptsev A. V.^{1,2}, Kurochkin L. E.²

¹The Sevastopol Branch of the N. N. Zubov State Oceanographic Institute, Sevastopol, Russian Federation.

*²FGAOU VO "Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation
E-mail: ¹kholoptsev@mail.ru, ²l.kurochkin.mj@mail.ru*

Due to the uncertainty of the most probable scenario of further climate changes, an urgent problem of oceanography and hydrography is to identify the features of the influence of factors invariant to these changes on the variability of the topography of the water areas of the World Ocean regions (hereinafter TAO). Such factors include variations in the components of the gravitational attraction vector between the Earth and the Sun, which are caused by the movement of the planets Jupiter, Saturn, Uranus and Neptune around the barycenter of the Solar System. The consequence of this factor is the differences in the characteristics of the bi-centric motion of our planet from their values determined by Kepler's laws, which generate the corresponding components of inertia forces in all geo-environments. In the World Ocean, the factors under consideration can influence the flow rates involved in water exchange between its various regions. The hypothesis is put forward that changes in the module of the total angular momentum of the bi-centric motion of the mentioned planets are a significant factor in the long-period variations of the TAO of some of these regions. The purpose of the work is to verify the validity of the proposed hypothesis for the Bering Sea. Synchronous statistical relationships with the considered factor of changes in 1993-2019 in the average annual and average monthly levels of their water surface have been studied for various sections of the water area of the specified sea. The results of the GLORYS12.v.1 reanalysis, as well as information about changes in the barycentric coordinates of the mentioned planets, were used as factual material. To highlight the long-period components of the processes under consideration, their time series were smoothed in a sliding window of 5 years in length. The correlation analysis of the connections between the series obtained in this case made it possible to identify areas of the Bering Sea for which the conclusion about the significance of the considered connections is valid with a reliability of at least 0.9, as a result of which the problem of predicting long-period factors of their TAO variability is solvable.

Keywords: water surface topography, long-period variability, total angular momentum, Northern Sea Route, Bering Sea, statistical relationships, giant planets.

References

1. Ajvazyan S.A., Mhitaryan V.S. *Prikladnaya statistika i osnovy ekonometriki*. M.: YUniti. 1998. 1022 s. (in Russian).
2. Alekseev G.V., Radionov V.F., Aleksandrov E.I., Ivanov N.E., Harlanenkova N.E. *Izmeneniya klimata Arktiki pri global'nom potepnenii // Problemy Arktiki i Antarktiki*. 2015. № 1 (103). S. 32–41. (in Russian).
3. Dmitriev A. A., Belyazo V. A. (2006). *Kosmos, planetarnaya klimaticheskaya izmenchivost' i atmosfera polyarnyh regionov*. SPb.: Gidrometeoizdat, 2006. 360 s. (in Russian).

ТОПОГРАФИЯ ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ БЕРИНГОВА МОРЯ И ВАРИАЦИИ СУММАРНОГО МОМЕНТА ИМПУЛЬСА ПЛАНЕТ-ГИГАНТОВ

4. Dolgachev V.P., Domozhilova L.M., Hlystov A.I. Nekotorye svojstva baricentricheskogo dvizheniya bol'shikh planet i Solnca// Trudy GAISH. 1991, T.62, s. 111–118. (in Russian).
5. Kaplin P.A. Prognoz razvitiya beregovoy zony morej Rossii [vklyuchaya arkticheskie] v usloviyah povysheniya ih urovnya i potepleniya klimata / Kaplin P.A., Pavlidis YU.A., Selivanov A.O.// CHelovechestvo i beregovaya zona Mirovogo okeana v XXI veke: HKH Mezhdunar. konf., posvyashch. 90-letiyu V.P. Zenkovicha (4-5 fevr. 2000 g.). Moskva. 2001. S. 16–28. (in Russian).
6. Kovalenko V.D., Kizim L.D., Pashestyuk A.M., Nikolaev V.G. (1987). Issledovanie prichin izmenchivosti klimata // Agroklimaticheskie resursy Sibiri. Sbornik trudov VASKHNIL, Sibirskoe otdelenie. Novosibirsk, 1987. S. 103–113. (in Russian).
7. Kondrat'ev K.YA. Neopredelyonnost' dannyh nablyudenij i chislenno go modelirovaniya klimata // Meteorologiya i gidrologiya. 2004. № 4. S. 93–119. (in Russian).
8. Malinin V.N. Uroven' okeana: nastoyashchee i budushchee. SPb.: RGGMU, 2012. 260 s. (in Russian).
9. Marchuk G.I. (1974). CHislennoe reshenie zadach dinamiki atmosfery i okeana. L.: Gidrometeoizdat, 1974. 308 s. (in Russian).
10. Merkulov V.A., Ashik I.M., Timohov L.A. Tendencii mnogoletnej izmenchivosti urovnya morya na pribrezhnykh stanciyah Severnogo Ledovitogo okeana// Problemy Arktiki i Antarktiki. 2017. №3(113). S. 51–66. (in Russian).
11. Mohov I.I., Smirnov D.A., Karpenko A.A. (2012). Ocenki svyazi izmenenij global'noj pripoverhnostnoj temperatury s raznymi estestvennymi i antropogennymi faktorami na osnove dannyh nablyudenij // Doklady Akademii nauk. 2012. T. 443. № 2. S. 225–231. (in Russian).
12. Frolov I.E., Gudkovich Z.M., Karklin V.P., Smolyanickij V.M. Izmeneniya klimata Arktiki i Antarktiki — rezul'tat dejstviya estestvennykh prichin // Problemy Arktiki i Antarktiki. 2010. №2 (85). S. 52–61. (in Russian).
13. Hlystov A.I., Dolgachev V.P., Domozhilova L.M., Baricentricheskoe dvizhenie Solnca t ego sledstviya dlya Solnechnoj sistemy // Sovremennye global'nye izmeneniya prirodnoj sredy. T3. Faktory global'nykh izmenenij. M: Nauchnyj mir, 2012. S. 62–78. (in Russian).
14. CHERkesov L.V., Ivanov V.A., Hartiev S.M. Vvedenie v gidrodinamiku i teoriyu voln. SPb.: Gidrometeoizdat, 1992. 264 s. (in Russian).
15. SHERstyukov B.G. (2019v). Moment inercii dvizheniya Solnca otnositel'no centra mass Solnechnoj sistemy i dolgoperiodnye kolebaniya temperatury poverhnosti okeana // Trudy VNIIGMI-MCD. 2019. Vyp. 184. S. 80–93. (in Russian).
16. SHERstyukov B.G. Kolebatel'naya sistema klimata, rezonansy, dal'nie svyazi, prognozy. Obninsk: FGBU «VNIIGMI-MCD», 2021. 222 s. (in Russian).
17. Aksenov Y., Popova E.E., Yool A., Nurser A. G., Williams T. D., Bertino L., Bergh J. On the Future Navigability of Arctic Sea Routes: High-resolution Projections of the Arctic Ocean and Sea Ice // Marine Policy. 2017. Vol. 75. Pp. 300–317. DOI: 10.1016/j.marpol.2015.12.027
18. Blumberg A.F., Mellor G.L. A description of three dimensional coastal ocean circulation model // Three-Dimensional Coastal Ocean Models / Ed. N. Heaps. Washington, D. C.: American Geophysical Union. – 1987. – 4. – P. 1 – 16. – doi 10.1029/co004p0001
19. Climate Change (2013). The Physical Science Basis. Working Group I. Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by Thomas F. Stocker, Dahe Qin, Gian-Kasper Plattner, Melinda M.B. Tignor, Simon K. Allen, Judith Boschung, Alexander Nauels, Yu Xia, Vincent Bex, Pauline M. Midgley. Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, Sgo Paolo, Delhi, Mexico City. 1535 r.
20. Melia N., Haines K., Hawkins E. Future of the Sea: Implications from Opening Arctic Sea Routes. — Foresight, Government Office for Science, 2017. 39 p.
21. Moss, R. et al., 2010: The next generation of scenarios for climate change research and assessment. Nature, 463, 747–756.
22. Mörner N.-A. Sea level is not rising / N.-A.Mörner // Science and Public Police Institute Reprint Series. Dec.6, 2012. 26 p.
23. Vichi M., Lovato T., Gutierrez Mlot E., McKiver W. Coupling BFM with Ocean models: the NEMO model (Nucleus for the European Modelling of the Ocean). Bologna: BFM Consortium, 2015.

24. Wannawong W, Wongwises, U. ;Vongvisessomjai, S. Mathematical Modeling of Storm Surge in Three Dimensional Primitive Equations // International Journal of Mathematical, Computational, Physical, Electrical and Computer Engineering. 2011. 5. № 6. P. 797–806.
25. Baza dannyh. Rezul'taty reanaliza GLORYS12v.1 izmenenij ledovitosti, srednej tolshchiny l'da, poverhnostnoj temperatury i poverhnostnoj solenosti akvatorij Mirovogo okeana. [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-torproducts/?option=com_csw&view=details&productid=GLOBAL_REANALYSIS_PHY_001_030. (in Russian).
26. Bank dannyh Centra urovnya morya Gavajnskogo universiteta (UHSLC) [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://uhslc.soest.hawaii.edu/thredds/catalog.html>. (in Russian).

Поступила в редакцию 16.02.2023 г