

## Связи изменений уровней водной поверхности морей Лаптевых и Восточно-Сибирского с вариациями суммарного момента импульса планет-гигантов

А. В. Холопцев<sup>1</sup>✉, С. А. Подпорин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Государственный океанографический институт имени Н. Н. Зубова, Российская Федерация  
(299020, г. Севастополь, ул. Советская, 61)

<sup>2</sup>Севастопольский государственный университет, Российская Федерация  
(299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33)

**Аннотация:** Актуальной проблемой прогнозирования тенденций развития береговых ландшафтов различных регионов Мирового океана является выявление статистически значимых факторов изменчивости уровней их водных поверхностей, которые инвариантны к неопределенным характеристикам сценария дальнейших перемен их климата.

**Цель** – проверка выдвинутой авторами гипотезы о том, что для некоторых районов морей Лаптевых и Восточно-Сибирского к подобным факторам относятся вариации суммарного момента импульса планет-гигантов Солнечной системы (далее – СМИ).

**Материалы и методы.** Изучены синхронные статистические связи рассматриваемого фактора с изменениями в 1993-2019 годах среднегодовых значений уровней различных участков изучаемой акватории. Для выявления вероятной причины существования подобных связей проанализированы также зависимости от вариаций СМИ средней солёности вод верхнего квазиоднородного слоя таких участков. Как фактический материал использованы результаты реанализа GLORYS12V1, а также сведения об изменениях барицентрических координат упомянутых планет. Значимость связей оценена с применением метода корреляционного анализа и критерия Стьюдента. Временные ряды рассматриваемых процессов предварительно подвергнуты сглаживанию в скользящем окне длиной 5 лет.

**Результаты и обсуждение.** Выявлены регионы изучаемых морей, где изменения рассматриваемых характеристик происходят противофазно, а их связи с вариациями СМИ статистически значимы. Полученные результаты свидетельствуют о том, что причиной наличия изучаемой связи может являться влияние вариаций СМИ на водообмен рассматриваемых морей с другими регионами Арктики.

**Выводы.** Справедливость выдвинутой гипотезы подтверждена, что позволяет рекомендовать учет вариаций СМИ при сверхдолгосрочном прогнозировании изменений уровня водной поверхности в выявленных морских регионах.

**Ключевые слова:** моря Лаптевых и Восточно-Сибирское, уровень водной поверхности, солёность, суммарный момент импульса, планеты-гиганты, реанализ, прогнозирование.

**Для цитирования:** Холопцев А. В., Подпорин С. А. Связи изменений уровней водной поверхности морей Лаптевых и Восточно-Сибирского с вариациями суммарного момента импульса планет-гигантов // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2023, № 1, с. 4-12. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/1/4-12>

### ВВЕДЕНИЕ

Распределение по акватории любого региона Мирового океана уровней водных поверхностей различных ее участков (далее – УВП) существенно влияет на развитие соответствующих береговых ландшафтов. От него зависят также характеристики океанических течений, переносящих не только воду, но и содержащиеся в ней вещества.

Поэтому совершенствование методик моделирования и прогнозирования изменений УВП является актуальной проблемой физической географии и геоэкологии.

Решение указанной проблемы представляется наиболее важным для океанических регионов с интенсивным судоходством, где ведется либо планируется интенсивная добыча полезных ископае-

© Холопцев А. В., Подпорин С. А., 2023

✉ Холопцев Александр Вадимович, e-mail: [khloptsev@mail.ru](mailto:khloptsev@mail.ru)

ных, вследствие чего соответствующие их районы нуждаются в эффективной защите от дальнейших изменений их УВП. В России к таким регионам относятся расположенные на трассе Северного Морского пути моря Лаптевых и Восточно-Сибирское, на шельфе и побережьях которых выявлены богатые месторождения углеводородов [20, 22].

Существующий подход к прогнозированию изменений УВП водных объектов предполагает численное решение соответствующих задач гидродинамики [10, 14, 17, 25]. Степень соответствия между получаемыми таким путем прогнозами и фактической динамикой изучаемого процесса в значительной мере определяется точностью задания граничных и начальных условий, а также полнотой учета всех его значимых факторов [10, 14].

Одним из наиболее мощных факторов дальнейших изменений УВП являются вариации характеристик регионального климата, вероятные сценарии которых весьма многочисленны [4, 5, 8, 11, 18, 24]. Каждому такому сценарию соответствует свой прогноз, оправдываемость которого предвидеть невозможно. В результате этого принятие хозяйственных решений с учетом любого такого прогноза сопряжено с существенными, а зачастую и недопустимыми рисками.

Следовательно, выявление для морей Лаптевых и Восточно-Сибирского значимых факторов изменчивости УВП, которые обладают инвариантностью к характеристикам сценария дальнейших перемен климата, представляет существенный теоретический и практический интерес.

Согласно существующим представлениям о факторах изменений УВП, к числу наиболее существенных на интервале межгодовой изменчивости относятся гидрократические [7]. Одним из них являются изменения интенсивности водообмена изучаемых водных объектов с другими регионами Мирового океана [9, 21].

Расходы участвующих в этом процессе океанических течений, помимо прочего, зависят от значений компонентов векторов соответствующих сил инерции и сил притяжения переносимых ими вод к Солнцу.

В процессе движения Земли по своей орбите вокруг барицентра Солнечной системы изменяется ее положение относительно Солнца, в том числе и расстояние между ними, которое в среднем за год изменяется на 4,9812 млн. км (или 3,3 % от среднего значения) [26].

Свой вклад в указанные изменения вносят и перемещения по соответствующим орбитам пла-

нет-гигантов – Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна [16]. Последние приводят к смещениям центра массы Солнца относительно барицентра Солнечной системы, достигавшим в течение XX века по оценкам [3, 13] 1,5 экваториального радиуса его фотосферы (0,6955 млн. км [23]), что составляет 1,0433 млн. км или 20 % от среднегодовых значений его смещений. Это приводит к возникновению дополнительных составляющих силы притяжения к Солнцу нашей планеты, влияющих на неравномерность ее движения, а потому и на силы инерции, действующие в любых геосредах, в том числе в водах Мирового океана и атмосфере.

Вследствие изменений расстояния между Землей и Солнцем изменяется и сила притяжения к последнему любого компонента этих сред, которая является одной из составляющих приливообразующей силы и влияет на динамику вод Мирового океана.

Следовательно, изменения суммарного момента импульса планет Солнечной системы способны влиять на расходы океанических течений, переносящих его воды из одних регионов в другие, что может влиять как на УВП в них, так и на распределения солёности вод их верхнего квазиоднородного слоя ( $C_{ВКС}$ ).

Вследствие удаленности Солнечной системы от других звездных систем, она может рассматриваться как замкнутая, для которой справедлив закон сохранения импульса. Поэтому изменения СМИ в точности компенсируются изменениями момента импульса центра массы Солнца, который под действием сил притяжения планет также движется по соответствующей орбите [3, 13, 15]. Вследствие возникающих при этом отклонений центра массы Солнца от барицентра Солнечной системы, изменения расстояния между Землей и Солнцем могут достигать 1 % от его среднего значения.

Значимость подобного влияния рассматриваемого фактора на вариации УВП морей Лаптевых и Восточно-Сибирского, которые обусловлены действием всей совокупностью своих факторов, ранее не оценивалась. При этом принципиальная возможность возникновения под его влиянием ощутимых изменений интенсивности инсоляции земной поверхности, а также характеристик глобального и регионального климата отмечена в [2, 6, 16].

Следовательно, не противоречит ранее установленным фактам гипотеза: значимыми факторами межгодовых изменений среднегодовых значений УВП в некоторых районах морей Лаптевых и Восточно-Сибирского могут служить вариации СМИ.

Справедливость выдвинутой гипотезы не очевидна, поскольку изменения расстояния между Землей и Солнцем, обусловленные вариациями СМИ, в сравнении с разностью средних расстояний между ними в афелии и перигелии, как правило, невелики [12].

Значения СМИ могут быть с высокой точностью предвычислены по законам небесной механики [15], что позволяет с высокой точностью оценить состояние этого фактора как для прошлого, так и для будущего.

Так как океанические течения переносят не только воду, но и соль, в районах, где под влиянием СМИ возникают значимые изменения УВП, должны возникать также значимые изменения параметра  $C_{\text{ВКС}}$ . Поэтому выявление для некоторого района наличия такого влияния является необходимым условием возможности использования информации об изменениях СМИ при сверхдолгосрочном прогнозировании вариаций его УВП.

Следовательно, проверка выдвинутой гипотезы, а также выполнимости указанного условия представляет теоретический и практический интерес.

Целью данной работы является осуществление такой проверки.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи.

1. Выявить участки акваторий морей Лаптевых и Восточно-Сибирского, для которых между изменениями среднегодовых значений СМИ и УВП существуют значимые статистические связи.

2. Сопоставить выявленные участки с теми, для которых аналогичные связи существуют между изменениями среднегодовых значений СМИ и  $C_{\text{ВКС}}$ .

При решении указанных задач как фактический материал об изменениях УВП и  $C_{\text{ВКС}}$  акватории морей Лаптевых и Восточно-Сибирского использованы результаты реанализа GLORYS12V1<sup>1</sup>[19], валидность которых подтверждена путем сопоставления с информацией Центра уровня моря Гавайского университета<sup>2</sup>.

Упомянутая информация об УВП и  $C_{\text{ВКС}}$  представляет собой оценки среднесуточных значений этих характеристик, соответствующих узлам координатной сетки реанализа с шагом 5 угловых минут для каждых суток периода с 1.01.1993 по 31.12.2019. С ее использованием для каждого

такого узла вычислены среднегодовые значения УВП и  $C_{\text{ВКС}}$ , из которых сформированы соответствующие временные ряды из 27 членов.

Как фактический материал о массах планет Солнечной системы, а также их гелиоцентрических координатах для каждых суток, использованы сведения ФГБУН «Институт прикладной астрономии Российской академии наук».

Среднегодовые значения СМИ вычислялись для каждого земного года из периода 1982-2020 с применением методики, предложенной Б. Г. Шерстюковым [15, 16]. Методика исследования предполагала выявление участков акватории изучаемых морей, для которых достоверность статистического вывода о значимости связей между рассматриваемыми процессами превышает 0,9. Справедливость рассматриваемой гипотезы оценивалась для всех пунктов их акваторий, которым соответствуют узлы координатной сетки реанализа GLORYS12V1.

Изменения среднегодовых значений УВП и  $C_{\text{ВКС}}$  – многофакторные процессы, в спектрах которых содержатся многочисленные составляющие, обусловленные действием климатических и гидрометеорологических факторов. Наиболее мощными среди них являются квазидвухлетние составляющие, на фоне которых более длиннопериодные составляющие выделить сложно. Поэтому для выделения изучаемых процессов рассматриваемые временные ряды подвергнуты сглаживанию в «скользящем окне», длительностью 5 лет (что соответствует методике [16]).

При оценке значимости связей между такими рядами применен метод корреляционного анализа [1]. Перед его осуществлением в каждом из сопоставляемых временных рядов скомпенсирован линейный тренд. Решение о значимости рассматриваемой связи принималось, если вычисленное значение коэффициента корреляции соответствующих временных рядов превышало по модулю выбранный пороговый уровень. Последний определялся с применением критерия Стьюдента и исходя из количества их степеней свободы [1], которое в результате сглаживания составляло не менее 6. Вследствие этого пороговым уровнем выбрано значение 0,7.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В соответствии с изложенной методикой осуществлен корреляционный анализ синхронных статистических связей между сглаженными

<sup>1</sup>База данных реанализа GLORYS12V1. – URL: [https://resources.marine.copernicus.eu/product-detail/GLOBAL\\_REANALYSIS\\_PHY\\_001\\_030/INFORMATION](https://resources.marine.copernicus.eu/product-detail/GLOBAL_REANALYSIS_PHY_001_030/INFORMATION) (дата обращения: 12.05.2022)

<sup>2</sup>Банк данных Центра уровня моря Гавайского университета (UHSLC). – URL: <http://uhslc.soest.hawaii.edu/thredds/catalog.html> (дата обращения: 12.05.2022)

временными рядами СМИ, а также рядами УВП и  $C_{\text{ВКС}}$  для всех рассматриваемых участков акваторий морей Лаптевых и Восточно-Сибирского. Сопоставление его результатов с указанным уровнем позволило выявить участки, где связи между рассматриваемыми рядами являлись значимыми.

Как пример, на рисунке 1 представлено расположение участков акватории моря Лаптевых, где значения модулей коэффициента корреляции рядов среднегодовых значений СМИ и УВП превышают тот или иной порог.

Из рисунка 1 видно, что в море Лаптевых существуют многочисленные участки, для которых достоверность вывода о значимости связей между изменениями среднегодовых значений СМИ и УВП превышает 0,9. При этом между параллелями 77,5 и 79° с.ш. имеются участки, для которых

достоверность вывода о значимости рассматриваемых связей превышает 0,95 (соответствующее значение порога значимости модуля коэффициента корреляции при количестве степеней свободы 6 составляет 0,88).

На всех таких участках акватории моря Лаптевых значения коэффициента корреляции этих характеристик отрицательны. На отображенных на той же карте участках акватории Карского моря, расположенных к северу и западу от острова Большевик, его значения являются положительными, но не достигают выбранного порога значимости. Следовательно, в периоды, когда в соответствующих районах Карского моря УВП повышается, в море Лаптевых значения этой характеристики снижается. Подобное может быть следствием водообмена между данными морями.

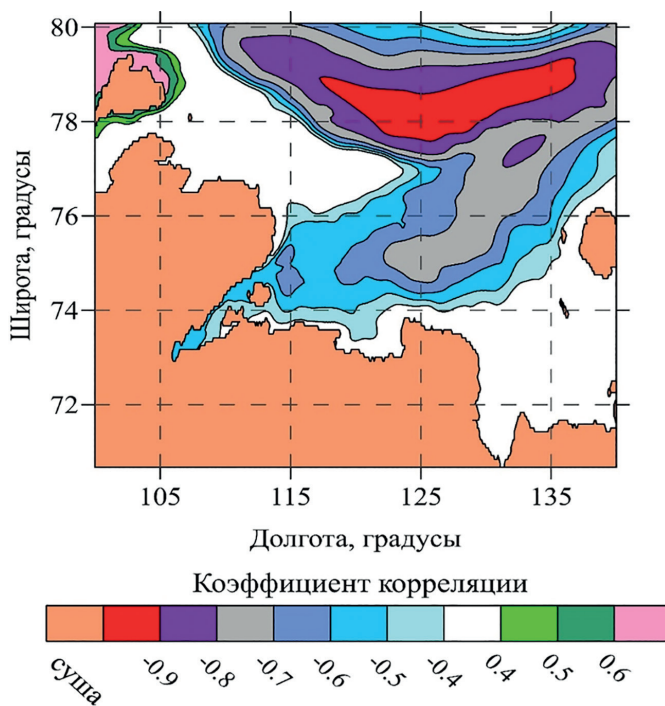


Рис. 1. Распределение коэффициента корреляции изменений среднегодовых значений УВП и СМИ по акватории морей Лаптевых и Восточно-Сибирского (при сглаживании за 5 лет)

[Fig. 1. Distribution of the correlation coefficient of changes in the annual average values of water surface level and total momentum across the Laptev and East Siberian Seas (when smoothed over 5 years)]

Аналогичные расчеты, выполненные для участков акватории Восточно-Сибирского моря показали, что значимые статистические связи изменений среднегодовых значений их УВП и СМИ отсутствуют.

На рисунке 2 отображено расположение участков акваторий морей Лаптевых и Восточно-Сибирского, где значения модулей коэффициента корреляции рядов среднегодовых значений СМИ и  $C_{\text{ВКС}}$  превышают тот или иной порог.

Из рисунка 2 следует, что на акватории моря Лаптевых существует обширная область, в пределах которой достоверность вывода о значимости связей между изменениями среднегодовых значений СМИ и  $C_{\text{ВКС}}$  превышает 0,9. Выявлены такие же участки и на акваториях Карского и Восточно-Сибирского морей. В Карском море они расположены в окрестностях островов архипелага Северная Земля, а корреляция рассматриваемых процессов в них совпадает по знаку с их корреля-

цией в море Лаптевых. Последнее свидетельствует о том, что причиной противофазности изменений

УВП этих морей служат не стерические факторы, а водообмен между ними.

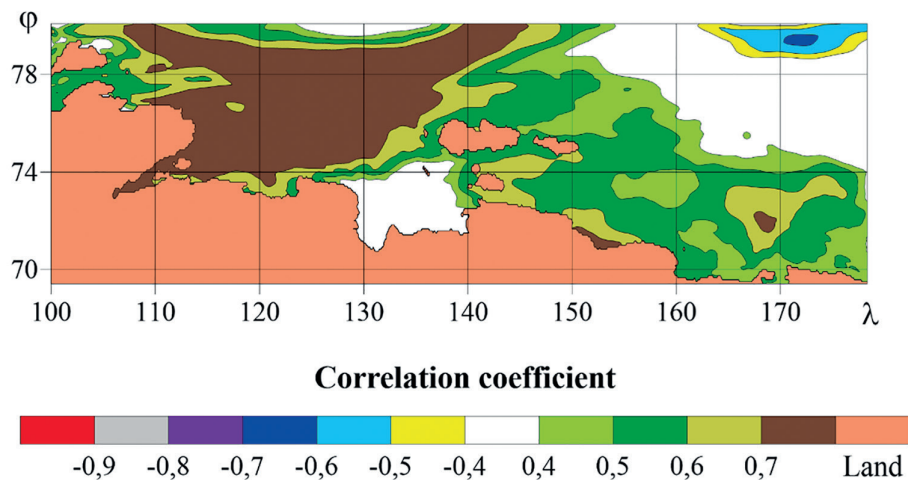


Рис. 2. Распределение коэффициента корреляции изменений среднегодовых значений  $S_{\text{ВКС}}$  и СМИ по акватории морей Лаптевых и Восточно-Сибирского (при сглаживании за 5 лет)  
 [Fig. 2. Distribution of the correlation coefficient of changes in the annual average values of the  $S_{\text{UQL}}$  and TM in the Laptev and East Siberian Seas (when smoothing for 5 years)]

В Восточно-Сибирском море участки значимой положительной корреляции СМИ и  $S_{\text{ВКС}}$  расположены как непосредственно у его побережья (Колымская губа), так и на удалении от него (на траверзе Чаунской губы).

Из сравнения рисунков 1 и 2 понятно, что на многих участках акватории моря Лаптевых, относящихся к области значимой отрицательной корреляции СМИ и УВП, изменения  $S_{\text{ВКС}}$  и УВП противофазны, что указывает на наличие влияния на них не только водообмена, но и стерических факторов. Указанная особенность свидетельствует о том, что аналогичные связи вариаций СМИ могут существовать и с изменениями суммарных объемов пресных вод, поступающих в изучаемые моря с речным береговым стоком и атмосферными осадками, а также средних годовых сумм атмосферных осадков, выпадающих на территориях бассейнов соответствующих рек.

Выявленное соответствие между расположением областей значимой корреляции упомянутых процессов подтверждает справедливость выдвинутой гипотезы. Оно свидетельствует в пользу справедливости предположения о том, что причиной наличия выявленных связей может служить влияние вариаций СМИ на изменения расстояния между Землей и Солнцем, а также на силу притяжения к последнему нашей планеты, которая действует в том числе и на расходы океанических течений в изучаемых морях.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что вариации среднегодовых значений СМИ относятся к числу значимых факторов длиннопериодных составляющих изменчивости УВП моря Лаптевых. При этом для Восточно-Сибирского моря их значимого влияния на УВП не выявлено. Следовательно, и в других регионах Мирового океана, на некоторых участках их акваторий влияние рассматриваемого фактора может быть значимо.

Выявленные особенности влияния данного фактора на вариации среднегодовых УВП и  $S_{\text{ВКС}}$  некоторых районов морей свидетельствуют о том, что оно может быть обусловлено как водообменом между ними, так и влиянием стерических факторов (вариаций составляющих приходной части их балансов пресных вод).

Наличие значимых статистических связей между изменениями среднегодовых значений СМИ и рассматриваемых характеристик вод многих районов моря Лаптевых свидетельствует о целесообразности осуществления исследований, направленных на оценку статистической устойчивости выявленных связей и целесообразности их учета при сверхдолгосрочном прогнозировании вариаций их УВП.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айвазян С. А., Мхитарян В. С. *Прикладная статистика и основы эконометрики*. Москва: Юнити, 1998. 1022 с.
2. Дмитриев А. А., Белязо В. А. *Космос, планетарная климатическая изменчивость и атмосфера по-*

лярных регионов. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 2006. 360 с.

3. 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.

4. Изменения климата Арктики и Антарктики – результат действия естественных причин / И. Е. Фролов, З. М. Гудкович, В. П. Карклин, В. М. Смоляницкий // *Проблемы Арктики и Антарктики*, 2010, № 2 (85), с. 52-61.

5. Изменения климата Арктики при глобальном потеплении / Г. В. Алексеев, В. Ф. Радионов, Е. И. Александров и др. // *Проблемы Арктики и Антарктики*, 2015, № 1 (103), с. 32-41.

6. Исследование причин изменчивости климата / В. Д. Коваленко, Л. Д. Кизим, А. М. Пашестюк, В. Г. Николаев // *Агроклиматические ресурсы Сибири. Сборник трудов ВАСХНИЛ, Сибирское отделение. Новосибирск*, 1987, с. 103-113.

7. Каплин П. А., Павлидис Ю. А., Селиванов А. О. Прогноз развития береговой зоны морей России [включая арктические] в условиях повышения их уровня и потепления климата // *XX Международная конференция, посвященная 90-летию В. П. Зенковича «Человечество и береговая зона Мирового океана в XXI веке»*, 2001, с. 16-28.

8. Кондратьев К. Я. Неопределённость данных наблюдений и численного моделирования климата // *Метеорология и гидрология*, 2004, № 4, с. 93-119.

9. Малинин В. Н. *Уровень океана: настоящее и будущее*. Санкт-Петербург: РГГМУ, 2012. 260 с.

10. Марчук Г. И. *Численное решение задач динамики атмосферы и океана*. Ленинград: Гидрометеиздат, 1974. 308 с.

11. 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.

12. Мохов И. И., Смирнов Д. А., Карпенко А. А. 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.

13. Хлыстов А. И., Долгачев В. П., Доможилова Л. М. Барицентрическое движение Солнца и его следствия для Солнечной системы // *Современные глобальные изменения природной среды. Т3. Факторы глобальных изменений*, 2012, с. 62-78.

14. Черкесов Л. В., Иванов В. А., Хартиев С. М. *Введение в гидродинамику и теорию волн*. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1992. 264 с.

15. Шерстюков Б. Г. 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. Blumberg A. F., Mellor G. L. A description of three-dimensional coastal ocean circulation model // *Three-Dimensional Coastal Ocean Models*, 1987, no. 4, pp. 1-16.

18. *Climate Change (2013). The Physical Science Basis. Working Group I. Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* / T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner et al. Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, São Paulo, Delhi, Mexico City, 2013. 1535 p.

19. *Coupling BFM with Ocean models: the NEMO model (Nucleus for the European Modelling of the Ocean)* / M. Vichi, T. Lovato, Mlot E. Gutierrez, W. McKiver. Bologna: BFM Consortium, 2015.

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. Mörner N.-A. *Sea level is not rising*. Science and Public Policy Institute Reprint Series, Dec. 6, 2012. 26 p.

22. On the Future Navigability of Arctic Sea Routes: High-resolution Projections of the Arctic Ocean and Sea Ice / Y. Aksenov, E. E. Popova, A. Yool, et al. // *Marine Policy*, 2017, vol. 75, pp. 300-317.

23. Stix M. *The Sun. An Introduction*. 2nd Edition. Springer, 2002. 490 p.

24. The next generation of scenarios for climate change research and assessment / R. H. Moss, J. A. Edmonds, K. A. Hibbard // *Nature*, 2010, vol. 463, pp. 747-756.

25. Wannawong W, Wongwiset 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, no. 6, pp. 797-806.

26. Zeilik M., Gregory S. A. *Introductory astronomy and astrophysics*. Saunders College Pub, 1998. 672 p.

**Конфликт интересов:** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 16.05.2022

Принята к публикации 27.02.2023

## Correlations of Changes in Water Surface Levels in the Laptev and East Siberian Seas with Variations in the Total Momentum of Giant Planets

A. V. Kholoptsev<sup>1</sup>✉, S. A. Podporin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sevastopol branch of State Oceanographic Institute named after N. N. Zubov,  
Russian Federation

(61, Sovetskaya Str., Sevastopol, 299020)

<sup>2</sup>Sevastopol State University, Russian Federation

(33, Universitetskaya Str., Sevastopol, 299053)

**Abstract:** An urgent problem in forecasting trends in coastal landscapes in different regions of the world's oceans is the identification of statistically significant factors of variability in their water surface levels that are invariant to the uncertain characteristics of their future climate change scenario.

*The purpose* is to test the hypothesis put forward by the authors that, for some areas of the Laptev and East Siberian Seas, such factors include variations in the total momentum of the giant planets of the Solar System (hereafter, the "TM").

*Materials and methods.* Synchronous statistical relations of the factor under consideration with changes in 1993-2019 mean annual values of levels in different sections of the water area under study were studied. In order to identify the probable cause of such relationships, the dependence on variations in the total momentum of the average salinity of the upper quasi-uniform layer of such sites has also been analysed. The results of the GLORYS12V1 reanalysis, as well as information about changes in the barycentric coordinates of these planets were used as factual material. The significance of the relationships was evaluated using the method of correlation analysis and Student's criterion. The time series of the processes under consideration were pre-smoothed in a sliding window of 5 years.

*Results and discussion.* The regions of the seas under study where changes in the characteristics in question occur in an antiphase fashion and their relationships to variations in total momentum are statistically significant have been identified. The results indicate that this relationship may be due to the influence of total momentum variations on water exchange between the seas under study and other regions of the Arctic.

*Conclusions.* The validity of the hypothesis is confirmed, which makes it possible to recommend that variations in the total momentum be taken into account in the ultra-long-term forecasting of changes in the water surface level in the identified marine regions.

**Key words:** the Laptev and East Siberian Seas, water surface level, salinity, total momentum, giant planets, reanalysis, forecasting.

**For citation:** Kholoptsev A. V., Podporin S. A. Correlations of Changes in Water Surface Levels in the Laptev and East Siberian Seas with Variations in the Total Momentum of Giant Planets. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2023, no. 1, pp. 4-12. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/1/4-12>

### REFERENCES

1. Ajvazyan S. A., Mhitaryan V. S. *Prikladnaya statistika i osnovy ekonometriki* [Applied statistics and bases of econometry]. Moscow: Uniti, 1998. 1022 p. (In Russ.)
2. Dmitriev A. A., Belyazo V. A. *Kosmos, planetarnaya klimaticheskaya izmenchivost' i atmosfera polyarnykh regionov* [Cosmos, planetary climatic variability and

the atmosphere of the polar regions]. Saint-Petersburg: Gidrometeoizdat, 2006. 360 p. (In Russ.)

3. Dolgachev V. P., Domozhilova L. M., Hlystov A. I. Nekotorye svoystva baricentricheskogo dvizheniya bol'shikh planet i Solnca [Some properties of the barycentric motion of the major planets and the Sun]. *Trudy GAISH*, 1991, vol. 62, pp. 111-118. (In Russ.)

© Kholoptsev A. V., Podporin S. A., 2023

✉ Aleksandr V. Kholoptsev, e-mail: [kholoptsev@mail.ru](mailto:kholoptsev@mail.ru)



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

4. Izmeneniya klimata Arktiki i Antarktiki – rezul'tat dejstviya estestvennykh prichin [Climate change in the Arctic and Antarctic – the result of natural causes] / I.E. Frolov, Z.M. Gudkovich, V.P. Karklin, V.M. Smolyanickij. *Problemy Arktiki i Antarktiki*, 2010, no. 2 (85), pp. 52-61. (In Russ.)
5. Izmeneniya klimata Arktiki pri global'nom po-teplenii [Climate change in the Arctic during global warming] / G.V. Alekseev, V.F. Radionov, E.I. Aleksan-drov i dr. *Problemy Arktiki i Antarktiki*, 2015, no. 1 (103), pp. 32-41. (In Russ.)
6. Issledovanie prichin izmenchivosti klimata [Study of the causes of climate variability] / V.D. Kovalenko, L.D. Kizim, A.M. Pashestyuk, V.G. Nikolaev *Agroklima-ticheskie resursy Sibiri. Sbornik trudov VASKHNIL, Sibir-skoe otdelenie. Novosibirsk*, 1987, pp. 103-113. (In Russ.)
7. Kaplin P.A., Pavlidis Yu.A., Selivanov A.O. Prognoz razvitiya beregovoy zony morej Rossii (vklyuchaya arktich-eskie) v usloviyah povysheniya ih urovnya i potepleniya klimata [Forecast of the development of the coastal zone of the Russian seas (including the Arctic) in the conditions of their level increase and climate warming]. *XX Mezhdunarodnaya konferentsiya, posvyashchennaya 90-letiyu V.P. Zenkovicha «Chelovechestvo i beregovaya zona Mirovogo okeana v XXI veke»*, 2001, pp. 16-28. (In Russ.)
8. Kondrat'ev K.Ya. Neopredelyonnost' dannykh nablyu-denij i chislennogo modelirovaniya klimata [Uncertainty of Observational Data and Numerical Climate Modeling]. *Me-teorologiya i gidrologiya*, 2004, no. 4, pp. 93-119. (In Russ.)
9. Malinin V.N. Uroven' okeana: nastoyashchee i bu-dushchee [Ocean level: present and future]. Saint-Peters-burg: RGGMU, 2012. 260 p. (In Russ.)
10. Marchuk G.I. *Chislennoe reshenie zadach dina-miki atmosfery i okeana* [Numerical solution of problems of the dynamics of the atmosphere and ocean]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1974. 308 p. (In Russ.)
11. Merkulov V.A., Ashik I.M., Timohov L.A. Tendencii mnogoletnej izmen-chivosti urovnya morya na pribrezhnykh stanciyah Severnogo Ledovitogo okeana [Trends in long-term sea level variability at coastal stations of the Arctic Ocean]. *Problemy Arktiki i Antarktiki*, 2017, no. 3 (113), pp. 51-66. (In Russ.)
12. Mohov I. I., Smirnov D. A., Karpenko A. A. Ocen-ki svyazi izmenenij global'noj pri-poverhnostnoj tempera-tury s raznymi estestvennymi i antro-pogennymi faktorami na osnove dannykh nablyudenij [Estimates of the relation-ship between changes in global near-surface temperature and various natural and anthropogenic factors based on obser-vational data]. *Doklady Akademii nauk*, 2012, vol. 443, no. 2, pp. 225-231. (In Russ.)
13. Hlystov A. I., Dolgachev V. P., Domozhilova L. M. Baricentricheskoe dvizhenie Solnca t ego sledstviya dlya Solnechnoj sistemy [Barycentric motion of the Sun and its consequences for the Solar system]. *Sovremennye glob-al'nye izmeneniya prirodnoj sredy. T3. Faktory global'nyh izmenenij*, 2012, pp. 62-78. (In Russ.)
14. Cherkesov L. V., Ivanov V. A., Hartiev S. M. *Vvede-nie v gidrodinamiku i teoriyu voln* [Introduction to Hydro-dynamics and Wave Theory]. Saint-Petersburg: Gidrome-teoizdat, 1992. 264 p. (In Russ.)
15. Sherstyukov B.G. Moment inercii dvizheniya Solnca otноситel'no centra mass Solnechnoj sistemy i dol-goperiodnye kolebaniya temperatury poverhnosti okeana [The moment of inertia of the Sun's motion relative to the center of mass of the Solar System and long-term fluctua-tions in the temperature of the ocean surface]. *Trudy VNI-IGMI-MCD*, 2019, no. 184, pp. 80-93. (In Russ.)
16. Sherstyukov B.G. Kolebatel'naya sistema klimata, rezonansy, dal'nie svyazi, prognozy [Vibrational climate system, resonances, long-range communications, forecasts]. Obninsk: FGBU «VNIIGMI-MCD», 2021. 222 p. (In Russ.)
17. Blumberg A. F., Mellor G. L. A description of three-di-mensional coastal ocean circulation model. *Three-Dimen-sional Coastal Ocean Models*, 1987, no. 4, pp. 1-16.
18. *Climate Change (2013). The Physical Science Ba-sis. Working Group I. Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* / T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner et al. Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, Sro Paolo, Delhi, Mexico City, 2013. 1535 p.
19. *Coupling BFM with Ocean models: the NEMO model (Nucleus for the European Modelling of the Ocean)* / M. Vichi, T. Lovato, Mlot E. Gutierrez, W. McKiver. Bologna: BFM Consortium, 2015.
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. Mörner N.-A. *Sea level is not rising*. Science and Public Police Institute Reprint Series, Dec. 6, 2012. 26 p.
22. On the Future Navigability of Arctic Sea Routes: High-resolution Projections of the Arctic Ocean and Sea Ice / Y. Aksenov, E. E. Popova, A. Yool, et al. *Marine Poli-cy*, 2017, vol. 75, p. 300-317.
23. Stix M. *The Sun. An Introduction*. 2nd Edition. Springer, 2002. 490 p.
24. The next generation of scenarios for climate change research and assessment / R.H. Moss, J.A. Edmonds, K.A. Hibbard. *Nature*, 2010, vol. 463, p. 747-756.
25. Wannawong W, Wongwiset U., Vongvisessomjai S. Mathematical Modeling of Storm Surge in Three Di-mensional Primitive Equations. *International Journal of Mathematical, Computational, Physical, Electrical and Computer Engineering*, 2011, vol. 5, no. 6, p. 797-806.
26. Zeilik M., Gregory S.A. *Introductory astronomy and astrophysics*. Saunders College Pub, 1998. 672 p.

**Conflict of interests:** The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 16.05.2022

Accepted: 27.02.2023



Холопцев Александр Вадимович

доктор географических наук, профессор, ведущий научный сотрудник государственного океанографического института им. Н. Н. Зубова, г. Севастополь, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-8293-0062, e-mail: kholoptsev@mail.ru

Подпорин Сергей Анатольевич

кандидат технических наук, доцент кафедры судовождения и безопасности судоходства Севастопольского государственного университета, г. Севастополь, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-1916-6743, e-mail: SAPodporin@sevsu.ru

Aleksandr V. Kholoptsev

Dr. Sci. (Geogr.), Professor, Leading Researcher at the State Oceanographic Institute named after N.N. Zubov, Sevastopol, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-4793-4607, e-mail: kholoptsev@mail.ru

Sergei A. Podporin

Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor at the Department of Navigation and Safety of Shipping of the Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-1916-6743, e-mail: SAPodporin@sevsu.ru