

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Лемешко Егора Евгеньевича
«Крупномасштабная изменчивость уровня и течений Северного Ледовитого океана на
основе анализа спутниковых данных», представленную
на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.17 –
океанология

Актуальность темы диссертационной работы

Актуальность диссертационной работы Лемешко Е.Е. обусловлена необходимостью фундаментальных исследований изменчивости уровня и течений в Северном Ледовитом океане (СЛО) в условиях современных климатических изменений, которые проявляются в изменениях режима циркуляции атмосферы, термохалинной структуры вод, динамики океана, значительного сокращения площади и толщины ледового покрова. Район исследований приобретает все большее экономическое, геополитическое и транспортное значение для комплексного развития арктической зоны РФ, поэтому прикладная значимость диссертационной работы обусловлена полученными результатами, которые могут быть использованы для развития оперативной наблюдательной и прогностической систем на основе использования спутниковой информации для обеспечения безопасности мореплавания Северного морского пути и морехозяйственной деятельности.

Цель диссертационной работы заключалась в получении пространственно-временных характеристик и количественных оценок изменчивости уровня и поверхностных геострофических течений СЛО на основе анализа спутниковых данных в зависимости от воздействия крупномасштабной атмосферной циркуляции на сезонных и межгодовых масштабах.

Достоверность и новизна исследования

В диссертационной работе использовался большой объем данных разного типа, применялись как общепринятые методы анализа спутниковой информации, так и специализированные методы обработки данных. Достоверность полученных результатов основывается на валидации спутниковых данных по имеющимся контактными измерениям уровня моря в прибрежной зоне и на островах СЛО, данным донных мареографов и скоростей течений, полученных с автономных буйковых станций. Достоверность выделенных типов атмосферной циркуляции и их влияния на крупномасштабную изменчивость уровня и поверхностных геострофических течений подтверждается сопоставлением с известными типами циркуляции атмосферы, характерными для климатических индексов. Достоверность изменчивости реконструированной по спутниковым данным стерической компоненты уровня основана на удовлетворительном

сопоставлении с оценками изменчивости термостерической и халостерической компонент уровня, рассчитанных на основе использования баз данных архивной гидрологической информации. Достоверность подтверждается также публикациями в рецензируемых журналах из списка ВАК и SCOPUS, а также выступлениями на всероссийских и международных конференциях.

Научная новизна результатов диссертационной работы основана на применении новых методов анализа гидрофизической информации и современных спутниковых данных по альтиметрии и гравиметрии для региона Северного Ледовитого океана с приполярной областью вплоть до 88° с.ш., то есть для районов, большую часть года покрытых льдом, для которых в принципе невозможно разместить плотную наблюдательную сеть контактных измерений гидрофизических полей. Результаты и выводы в диссертации подтверждают и развивают представления, полученные другими авторами за последнее десятилетие.

Значимость научных результатов

Теоретическая значимость работы заключается в выявлении новых физико-географических закономерностей крупномасштабной изменчивости уровня и поверхностных геострофических течений СЛО и в уточнении представлений о влиянии на них различных типов атмосферной циркуляции. Полученные результаты уточняют количественные оценки взаимосвязей между воздействием атмосферы, и динамикой океана на сезонных и межгодовых масштабах. Новые результаты по реконструкции стерического уровня на основе использования спутниковых данных позволили считать его индикатором распреснения/осолонения водных масс для приполярной области $82-88^\circ$ с.ш. и круговорота Бофорта и предложить концептуальную схему режимов поверхностной циркуляции вод и распространения распресненных вод от стока арктических рек и таяния льда в зависимости от типов атмосферной циркуляции. Практическая значимость работы заключается в получении количественных оценок пространственно-временной изменчивости уровня и скоростей поверхностных геострофических течений океана в зависимости от типа атмосферной циркуляции в Арктике. Полученные соотношения имеют прикладное значение и могут быть использованы для развития оперативных и прогностических систем на основе применения спутниковой информации для обеспечения безопасности мореплавания Северного морского пути.

Оценка содержания диссертационной работы и ее завершенность

Диссертационная работа Лемешко Е.Е. состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы и приложения. Объем работы составляет 153 страницы. Текст иллюстрирован 47 рисунками. Библиографический список включает в себя 147 наименований, в том числе 85 на английском языке. В приложении содержится 8 иллюстраций.

Во **Введении** присутствуют все разделы, необходимые для представления диссертационной работы: обоснована актуальность работы, описана степень изученности темы, указаны объект и предмет исследования, поставлены цели и задачи исследования, определены область исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимости работы, обоснованы методы исследования, достоверность полученных результатов, приведены сведения о личном вкладе автора и основные положения, выносимые на защиту, указаны темы госзадания и проекты, в рамках которых соискателем выполнялось исследование, дан полный перечень публикаций по теме диссертации. Результаты исследований докладывались соискателем на 11-ти научных конференциях разного уровня. Основные результаты работы опубликованы им самостоятельно и в соавторстве в 22-х работах, из них 4 статьи в рецензируемых научных журналах, которые входят в перечень ВАК по специальности 1.6.17 – океанология (географические науки), в их числе 1 работа в рецензируемом научном издании, входящем в наукометрическую базу SCOPUS, 15 статей в рецензируемых сборниках научных трудов и 3 тезисов докладов на Всероссийских и Международных конференциях.

Первая глава работы посвящена обзору результатов исследований по теме диссертации. В 4-х подразделах главы приведены современное представление о физических факторах, определяющих изменчивость уровня океана и циркуляции вод, характеристика объекта исследований и представления о климатической изменчивости термохалинных полей и ледовитости СЛО. Описаны возможности и основные достижения использования спутниковых наблюдений уровня океана. В выводах к главе 1 сформулированы незавершенные аспекты и перспективные проблемы исследований, часть из которых была изучена в диссертационной работе.

Во **второй главе** описаны базы используемых данных, методы исследований и применение метода самоорганизующихся карт на основе нейронной сети, адаптированного соискателем для типизации режимов циркуляции атмосферы в Арктике, предложены индексы сезонной, межгодовой и суммарной повторяемости типов атмосферной циркуляции, приводится классификация гидрометеорологических полей на основе предложенного композитного метода, позволяющего учесть влияние выделенных типов атмосферной циркуляции. На основе реализованного соискателем алгоритма по

данным приземного давления атмосферного ре-анализа за 1979-2018гг. рассчитаны самоорганизующиеся карты, выделено шесть типов (режимов) атмосферной циркуляции в Арктике и рассчитаны индексы сезонной, межгодовой и суммарной повторяемости типов атмосферной циркуляции, которые позволили систематизировать их временную изменчивость. Выделенные типы и индексы сопоставлены с распределениями атмосферного давления известных климатических индексов, в результате обосновано применение предложенного соискателем суммарного индекса циркуляции атмосферы, который таким образом является обобщением индексов арктического колебания и арктического диполя и используется в дальнейшем в главах 3,4. Предложенный соискателем композитный метод применяется для анализа пространственных распределений ряда гидрометеорологических параметров и ледовитости в зависимости от выделенных типов атмосферной циркуляции, более полный ряд карт приведен также в Приложении.

В третьей главе на основе анализа спутниковых данных по альтиметрии, гравиметрии GRACE и архива гидрологических данных исследовалась пространственно-временная изменчивость уровня и поверхностных геострофических течений СЛО. На основании сопоставления с контактными данными показано, что данные альтиметрии адекватно описывают изменчивость уровня и поверхностных геострофических течений СЛО, включая области океана, покрытые льдом. Рассчитаны пространственные распределения линейных трендов уровня и сопоставлены с крупномасштабными элементами циркуляции СЛО. Анализ данных альтиметрии более высокого пространственного разрешения в 2011-2020гг. позволил выделить среднегодовое и сезонное положение изолиний уровня океана, проходящих через район «слепого» пятна и соответствующих положению Трансарктического течения, и установить увеличение скорости поверхностных геострофических течений по сравнению с 2003-2011гг., что согласуется с независимыми оценками возрастания скорости дрейфа льда. Показана удовлетворительная валидация данных GRACE на основе сопоставления с измерениями донного мареографа за период 2005-2014 гг. в районе Северного полюса и проанализировано пространственное распределение манометрической компоненты уровня по данным GRACE и ее трендов по морям СЛО. Получены пространственные оценки трендов стерической компоненты уровня по данным гидрологии, выделены отрицательные и положительные значения трендов для различных морей СЛО. Методами пространственной фильтрации данных оценен вклад высокочастотной изменчивости уровня, обусловленной мезомасштабными процессами. Установлен процентный вклад

процессов внутригодовой и межгодовой изменчивости уровня для шельфовых областей и глубоководной части СЛО.

В **четвертой главе** описаны особенности отклика уровня моря и поверхностных геострофических течений СЛО на выделенные во второй главе типы атмосферной циркуляции и введенный соискателем суммарный индекс атмосферной циркуляции P_{SOM} . С помощью композитного метода, предложенного в главе 3, были классифицированы карты аномалий абсолютной динамической топографии для циклонических и для антициклонических типов атмосферной циркуляции. На основе регрессионных соотношений получены количественные оценки межгодовой изменчивости аномалий уровня моря и поверхностных геострофических течений в зависимости от величины индекса P_{SOM} . Показано, что во время положительной фазы индекса P_{SOM} в Арктике преобладают циклонические типы циркуляции атмосферы, что приводит к увеличению скоростей аномалий поверхностных геострофических течений и способствует увеличению притока теплых атлантических вод в Баренцево море и центральную часть СЛО, и к ослаблению притока тихоокеанских вод через Берингов пролив. Во время отрицательной фазы P_{SOM} , когда над Арктикой преобладают антициклонические типы циркуляции атмосферы, знаки аномалий скоростей течений меняются на противоположные. Впервые получены характеристики межгодовой изменчивости и оценки трендов реконструированной по данным альтиметрии и GRACE стерической компоненты уровня для приполюсной области «слепого» пятна и района круговорота Бофорта, которые согласуются с независимыми оценками тренда стерического уровня, рассчитанных по данным гидрологических наблюдений. Сделан вывод, что для обеих выделенных областей стерическая компонента уровня является индикатором изменения солёности водных масс. Соответственно, в периоды положительной фазы P_{SOM} (циклонической) наблюдаются минимумы стерического уровня, что свидетельствует об увеличении солёности, в то время, как в отрицательную фазу индекса P_{SOM} (антициклоническую) наблюдаются максимумы стерического уровня, что связано с уменьшением солёности. На основании представленных в диссертации результатов предложена концептуальная схема поверхностной циркуляции и распространения распресненных вод в зависимости от типов атмосферной циркуляции и суммарного индекса P_{SOM} . Схема согласуется с выделенными режимами циркуляции океана на основе анализа поверхностных геострофических течений по данным альтиметрии и межгодовой изменчивостью реконструированной по спутниковым данным стерической компоненты уровня для приполюсной области СЛО и круговорота Бофорта за 2011–2020 гг.

В **Заключении** сформулированы основные выводы исследований.

В качестве незначительных замечаний по диссертации можно отметить следующие:

1. Автор использует различные спутниковые продукты о высоте морской поверхности в Арктике, полученные по данным измерений альтиметров. Поскольку значительная часть Арктики покрыта морским льдом, это требует применения специальных методов восстановления уровня моря, описанных в ряде публикаций, на которые ссылается автор. Однако, было бы полезно кратко изложить принцип оценки высоты поверхности моря покрытой морским льдом, который основан на классификации данных измерений альтиметров и использовании только измерений высоты в разломах и полыньях. Кроме того, можно было бы упомянуть и об альтернативном методе, использующем спутниковые измерения только над поверхностью свободной ото льда и применением статистического подхода, который использовался в [Svendsen et al., 2016] и послужил основой для создания спутникового продукта также используемого в диссертации [Архив ARCTIC SEALEVEL].

2. Было бы полезно систематизировать (например, в табличном виде) описание используемых в диссертации спутниковых продуктов с указанием того какую территорию покрывают измерения, данные каких спутников использовались для создания продуктов, а также какие параметры в них содержатся. Такая систематизация способствовала бы, в том числе, более детальному обоснованию использования различных продуктов, а также позволила бы избежать ряд неточностей при описании результатов, как, например, (стр. 70 и 122) «...запуск спутников Envisat и CryoSat-2 позволил увеличить площадь покрытия в высоких широтах до 89 с.ш.». Существующие данные до 88 градуса широты получены только по измерениям со спутника CryoSat-2, но не Envisat.

3. Автор отмечает, что гляциоэвстатическую поправку необходимо учитывать при измерениях на уровневых постах (стр. 33), однако нигде не упоминает, что она также важна при обработке спутниковых, прежде всего, гравиметрических измерений.

4. Для выбора количества типов циркуляции при использовании метода кластеризации Кохонена автор использует индекс Дэвиса-Болдина (стр. 48-49). Однако в диссертации не приведены оценки этого индекса для различного количества типов циркуляции, что показало бы обоснованность кластеризации именно на шесть типов, рассматриваемых в работе.

5. Оценивая влияние циркуляции атмосферы на морской лед, автор отмечает, что ледяной покров занимает более значительную площадь в случае антициклонической циркуляции (Рисунки 2.9 и 2.10). Вместе с тем, автор отмечает, что в годы с антициклонической циркуляцией, наоборот, наблюдаются наименьшие значения площади морского льда (Рисунке 2.11). Однако не обсуждается причина такого противоречия, заключающаяся в том, что противоположный эффект существует только для летнего сезона.

6. Автор отмечает аналогичное распределение уровня океана по данным двух продуктов СРОМ для двух периодов 2003-2014 гг. и 2011-2020 гг. (Стр. 83, Рисунок 3.9). Однако при сравнении этих данных полезно было бы отметить систематическую разницу между ними с более высокими значениями уровня моря для периода 2011-2020 г. Очевидно, что эта разница является следствием того, что первый продукт создан на основе данных измерений альтиметров со спутников Envisat и Cryosat-2 с применением кросс-валидации между ними, а второй - с использованием только данных Cryosat-2. Можно также отметить, что эта систематическая разница между высотами разных продуктов проявляется в построенных автором временных рядах (Рисунок 4.1).

7. Пространственное распределение тренда аномалии уровня моря после пространственной фильтрации, представленное на Рисунке 3.10, покрывает лишь незначительную часть Арктики. Однако причины такого распределения в диссертации не обсуждаются. Такая ограниченность покрытия делает неочевидным информативность приведенного сравнения (стр. 86-87) с данными о тренде без фильтрации (Рисунок 3.4). Также не обосновывается почему в отличие от анализа пространственной изменчивости, которая проводилась для аномалии высоты, вклад межгодовой изменчивости (стр. 88-89) оценивался по данным о динамической топографии.

8. Автор интерпретирует пространственное распределение манометрической компоненты и, в том числе, уменьшение водной массы в районе Гренландии (Рисунки 3.14 и 3.15) системой течений и поступлением пресных вод (стр. 91-92). В тоже время известно, что основной причиной отрицательной аномалии и отрицательного тренда уровня моря в районе Гренландии, прежде всего вдоль ее западного и юго-восточного побережья, является поднятие земной коры, обусловленное уменьшением нагрузки ледникового щита вследствие его таяния. В частности, преобладающий вклад межгодовой изменчивости в районе Гренландии, в отличие от центральных районов Арктики и Арктических морей, отмечаемый автором при описании Рисунка 3.15 (стр. 93-94), объясняется замедленным откликом поднятия земной коры на таяние ледникового щита.

9. На основании построенных временных рядов уровня моря и индекса циркуляции атмосферы (Рисунок 4.1) автором делается вывод о временной задержке между этими параметрами в 1 год. Однако исходя из визуального анализа рядов такой вывод неочевиден. Его можно было бы сделать, например, сравнив количественные оценки коэффициента корреляции между рядами с различной задержкой по времени одного параметра от другого.

10. Выделив шесть типов циркуляции атмосферы, два из них автор характеризует как антициклонический, один – циклонический, а три остальных – смешанные. Вместе с тем, при построении композитных карт аномалий абсолютной динамической топографии (Рисунки 4.2 и 4.3), два смешанных типа были определены как циклонические, а один – как антициклонический. Однако автор не приводит обоснования для такой классификации смешанных типов.

11. При интерпретации пространственного распределения коэффициентов регрессии, описывающих зависимость аномалии динамической топографии от суммарного индекса циркуляции атмосферы (Рисунок 4.4), представляется неоправданным выделять шельфовую зону как район с положительными значениями коэффициентов, а глубоководную часть как район с отрицательными значениями (так как, например, в шельфовой зоне моря Лаптевых и Чукотском море получены преимущественно отрицательные значения). Более оправданным представляется выделение районов с положительными значениями коэффициентов регрессии в Карском море и севернее Новосибирских островов, соответствующих зонам, где, в отличие от остальных районов, циклонический режим циркуляции приводит к повышению уровня моря, а антициклонический – к понижению (Рисунки 4.2 и 4.3). В результате, контраст высоты поверхности моря на границе этих районов является причиной наблюдающейся здесь высокой скорости течений и ее повышенной чувствительности к режиму циркуляции.

12. В Разделе 4.3 автор предлагает схему циркуляции океана и распространения распресненных вод в зависимости от типов атмосферной циркуляции. Поскольку подобные схемы обсуждались в более ранних работах (ссылки на которые автор, в частности, приводит в Разделе 1.3) было бы полезно обсудить, в чем предлагаемая схема дополняет и уточняет схемы предложенные ранее.

Заключение официального оппонента

В диссертационной работе не выявлено некорректных заимствований, отсутствия ссылок на авторов или на источники заимствования материалов. Сделанные замечания к

диссертационной работе Лемешко Е.Е. не влияют на общее положительное впечатление о ней. В своей работе диссертант выполнил завершенное, комплексное научное исследование на высоком уровне по актуальной тематике. Научные результаты, положения, выводы в достаточно полной мере отражены в опубликованных работах и представлены также в материалах отечественных и международных конференциях. Содержание автореферата в полной мере отражает суть представленной работы.

Диссертационная работа Лемешко Егора Евгеньевича «Крупномасштабная изменчивость уровня и течений Северного Ледовитого океана на основе анализа спутниковых данных», представленная на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.17 – океанология в полной мере соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям (пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.), а ее автор Лемешко Егор Евгеньевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.17 – океанология.

Официальный оппонент

Кандидат географических наук,
научный сотрудник Лаборатории
спутниковой океанографии,
заведующий Арктической лабораторией Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный
гидрометеорологический университет»
95196, Россия, Санкт-Петербург,
Малоохтинский проспект, дом 98
тел. +7 (812) 372-50-85
e-mail: kirill@rshu.ru
сайт: <https://solab.rshu.ru/archives/employees/kirill-khvorostovsky>



Хворостовский Кирилл Сергеевич

29.02.2024

«Подпись Хворостовского Кирилла Сергеевича заверяю»

Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Российский государственный
гидрометеорологический университет»

Алексеева Екатерина Геннадьевна

«29» февраля

2024 г.

