

## ОТЗЫВ

члена диссертационного совета на диссертацию Сухачева Владимира Николаевича «Штормовые нагоны в Финском заливе Балтийского моря» представленную на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.17. Океанология

Актуальность диссертационной работы Сухачева В. Н. не вызывает сомнений, так как штормовые нагоны представляют собой одну из самых серьезных угроз для жизни и имущества населения в прибрежной зоне, которые за последнее столетие унесли миллионы жизней и нанесли ущерб, оцениваемый в сотни миллиардов долларов. Глобальное потепление в последние десятилетия увеличивает частоту и интенсивность экстремальных погодных явлений, в том числе штормовых нагонов, количество которых, согласно прогнозам, возрастет примерно на 15 % к 2100 г.

Основной целью диссертационной работы Сухачева Владимира Николаевича является исследование статистических характеристик, причин и механизмов межгодовой изменчивости штормовых нагонов в Финском заливе Балтийского моря. Работа состоит из введения, 5 глав, заключения, библиографического списка из 83 наименований, 41 рисунка и 7 таблиц. Во введении обоснована актуальность темы работы, сформулированы цели и задачи исследования, отражены научная новизна и практическая значимость работы, а также изложены положения выносимые на защиту; приведены публикации (всего 18, из них 9 в журналах, которые входят базы Scopus и Web of Science Researcher ID, 7 — в российских периодических изданиях, включенных в список ВАК, РИНЦ и одна монография) и представлена апробация работы.

Для достижения поставленных целей и решения задач, автором привлечен уникальный эмпирический материал, включающий ряды длительных инструментальных измерений уровня, течений, температуры, солености воды, данные реанализа океанографических и метеорологических параметров, а также результаты численных экспериментов на гидродинамической модели Балтийского моря. Анализ эмпирического материала проводился на основе современных методов статистического анализа случайных скалярных и векторных процессов и полей. В процессе исследования автором были получены новые результаты, которые сформулированы в положениях, выносимых на защиту. Поскольку они являются центральным местом диссертационной работы, то рассмотрим их по порядку, отметив как достоинства, так и недостатки.

1. *Оценки межгодовой изменчивости статистических характеристик штормовых нагонов в Финском заливе, выделенных с помощью предложенного критерия.*

Не очень удачная формулировка этого положения, поскольку надо было конкретно указать, что понимается под этим «критерием». Автором представлено обширное исследование вопроса штормовых нагонов и проблем их идентификации. На основе анализа инструментальных измерений уровня моря на 9 береговых станциях в Финском заливе выделены статистические характеристики их колебаний и показано, что для выделения штормовых нагонов может использоваться оценка  $3\sigma$ , где  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение временного ряда. В статистике оценку  $3\sigma$  («правило трех сигм») довольно часто применяют для исключения грубых погрешностей. При условии нормального распределения исходных данных, если вероятность превышения какой-либо величины  $|x_m - \bar{x}|$  значения  $3\sigma$  составляет менее 0,3 %, то она представляет грубую ошибку и может быть исключена из временного ряда. В принципе, со статистической точки зрения «грубая ошибка» может быть отнесена к штормовому нагону.

*Научная новизна* данного положения состоит в использовании автором статистического правила трех сигм для выделения штормовых нагонов, которое более представительное по сравнению с числовыми оценками уровня, используемых в разных странах Балтийского моря. По критерию  $3\sigma$  показано, что число штормовых нагонов меняется в Финском заливе в широких пределах: от их отсутствия до 16 – 52 случаев в год, а продолжительность варьируется от 6.7 до 9.0 ч., причем максимальная достигает 26 – 96 ч.

*Практическая значимость.* Простота данного критерия является его главным достоинством. Его использование позволяет унифицировать количество штормовых нагонов в разных районах Балтийского моря, что очень важно с точки зрения построения для них адекватных прогностических моделей.

*Недостатки.* В работе не приводится детального анализа выбора критерия  $3\sigma$  в качестве выделения штормового нагона. Прежде всего, автором не выполнена проверка исходных данных на нормальность. Помимо правила трех сигм в статистике известен целый ряд других способов выделения экстремальных величин: критерий Стьюдента, робастный подход, квантильный анализ, кластерный анализ, теория выбросов и др. Поэтому необходимо продолжение работы по выявлению наиболее универсального критерия выделения штормовых нагонов.

2. *Основные закономерности изменчивости термохалинной структуры и течений в периоды формирования штормовых нагонов, вызывающих опасные подъёмы уровня моря в Финском заливе.*

На основании данных инструментальных измерений и данных реанализа океанографических характеристик в работе приводятся оценки пространственно-временной изменчивости термохалинной структуры вод Финского залива и течений во время опасных подъемов уровня. К достоинству работы следует отнести использование различных источников данных – мареографных измерений уровня моря, данных современных инструментальных измерений вертикальной структуры течений в Финском

заливе, температуры и солености воды (судовые данные, данные автоматических гидрологических станций, данные реанализа), в работе также используются результаты численных экспериментов по оценке динамики вод Финского залива, выполненные с помощью хорошо зарекомендовавшей себя модели циркуляции океана (ИНМОМ). Автором были обработаны и проанализированы большие объемы данных из различных источников, при этом использовались современные методы обработки и статистического анализа (дисперсионный, квантильный, спектральный, векторно-алгебраический, корреляционный и др.). Выбор методов анализа выглядит логичным и обоснованным. Он позволил соискателю получить ряд интересных и новых результатов.

На основе данных судовых измерений и реанализа гидрофизических полей в работе показано, что, несмотря на штормовой ветер, осенне-зимнюю конвекцию и интенсивное ветро-волновое перемешивание в заливе сохраняется устойчивая стратификация вод вероятно вследствие усиления процессов адвекции тепла и соли в Финский залив из открытой Балтики. С использованием экспериментальных данных с помощью взаимного корреляционного анализа между колебаниями уровня моря и течениями автором выявлено, что значительный вклад в их взаимосвязь оказывает не только баротропная, но также и бароклинная компонента течений. Кроме того, в результате численных экспериментов на гидродинамической модели Балтийского моря (ИНМОМ) показано, что в штормовых условиях зимнего периода во время распространения по Финскому заливу волн наводнений в течениях отмечается выраженная бароклинная компонента.

*Научная новизна.* Выявлены основные закономерности изменчивости термохалинной структуры и течений в периоды формирования штормовых нагонов.

*Практическая значимость.* Представленные результаты могут быть использованы для разработки новых гидродинамических моделей циркуляции и их валидации. Оценки особенностей термохалинного режима акватории и течений Финского залива во время штормовых нагонов также могут быть полезны для уточнения районов проведения дальнейших инструментальных измерений в зависимости от поставленных задач.

*Недостатки.* В научной новизне работы сказано, что «оценен сравнительный вклад баротропной и бароклинной компонент в изменения суммарных течений». Однако таких оценок в работе нет. Автор говорит лишь о «значительном вкладе» бароклинной компоненты течений в колебания уровня. Не совсем понятно, что это означает. Не понятна также задача оценки влияния изменчивости бароклинных условий Балтийского моря на колебания уровня, поскольку стратификация водных масс не оказывает существенного влияния на изменчивость уровня моря. Кроме того, только на качественном уровне утверждается о сохранении устойчивой стратификация вод в период штормовых нагонов.

### *3. Оценки нестационарности статистической связи между характеристиками динамики вод и касательным трением ветра во время штормовых нагонов.*

Данное положение рассматривается в четвертой главе, которая состоит из 4 стр. Автор оценивает статистическую связь между течениями и касательным трением ветра во время штормовых нагонов в Финском заливе. Оценка проводится на основе векторно-алгебраического анализа между касательным трением ветра, полученного на основе моделиHIRLAM, и данными инструментальных измерений течений на трех автономных донных станциях, работавших в период отмечавшегося в декабре 2011 года наводнения в Санкт-Петербурге. При этом взаимосвязь указанных процессов в период штормовых нагонов оценивалась в «нестационарном приближении» (период квазистационарности автором был выбран равным 3 суткам).

*Научная новизна.* В работе показано, что коэффициенты корреляции между рассматриваемыми процессами меняются как по пространству, так и по времени. Автором сделан вывод, что «результаты взаимного корреляционного анализа выявляют очень сложный характер статистической связи между касательным трением ветра и течениями во время штормовых нагонов».

*Недостатки.* Данное положение неудачно сформулировано. Оценки нестационарности статистической связи в работе отсутствуют. Повисает в воздухе и выбранный автором период квазистационарности равный 3 суткам, поскольку он никак не обоснован. Кроме того, нет описания моделиHIRLAM. Результаты взаимного корреляционного анализа (рисунок 4.1-1 и 4.1.2) имеют сложный для восприятия вид, поэтому малопонятны. Помимо ветра заметное воздействие на уровень имеет атмосферное давление, которое в работе не учитывается. В принципе, данный раздел (4 глава) несколько выпадает из общего контекста диссертации, поэтому мог быть исключен из нее без особого ущерба для ее содержания.

### *4. Основные механизмы межгодовой изменчивости характеристик штормовых нагонов в Финском заливе в конце XX и начале XXI веков.*

Данное положение рассматривается в 5 главе. В 1 разделе обсуждается влияние характеристик атмосферных циклонов на межгодовую изменчивость штормовых нагонов. С этой целью использовались данные характеристик ветра и атмосферного давления из реанализа ERA 5 с временным интервалом 1 час и пространственным разрешением  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ . Автором выполнен расчет 10 характеристик циклонической активности над Финским заливом за различные длительные периоды времени. Из-за их слабой корреляционной связи с числом невских наводнений (табл. 5.1) автором делается вывод об отсутствии связи между числом наводнений с характеристиками динамики циклонов. Но если циклоны не влияют на штормовые нагоны, то за счет какого механизма они формируются?

Очевидно, ответ должен быть получен из следующего раздела, в котором рассматривается вопрос о влиянии изменений бароклинности Балтийского моря на межгодовую изменчивость опасных подъемов уровня моря. Автором делается предположение, что межгодовая изменчивость бароклинных условий

Балтийского моря оказывает заметное влияние на частоту опасных подъёмов уровня на востоке Финского залива. С этой целью выполнен взаимный корреляционный анализ рядов вертикальных и горизонтальных градиентов плотности морской воды в глубоководной части моря и количеством наводнений. Результаты представлены в виде карт изокоррелят. Корреляция близкая к нулю является преобладающей в акватории моря и только в ряде локальных точек она достигает 0,6-0,7. Ориентируясь на столь малые оценки корреляции, автор, тем не менее, высказывает новое предположение. Суть его в том, что «условия для генерации бароклинных топографических волн, которые вносят значительный вклад в формирование опасных подъёмов уровня в Финском заливе, становятся более благоприятные». Однако никаких доказательств, что это так, не приведено.

Наконец, в последнем разделе данной главы обсуждается влияние межгодовой изменчивости сезонных колебаний уровня моря на штормовые нагоны. Получен очевидный вывод, что межгодовая изменчивость сезонных колебаний уровня моря оказывает значительное влияние на формирование опасных подъёмов уровня на востоке Финского залива.

*Недостатки.* Формально рассмотрены два механизма изменчивости характеристик штормовых нагонов в Финском заливе, однако к полученным результатам есть принципиальное возражение. Как известно, лучший критерий истины – практика. Дирекция КЗС с 2011 г. для предупреждения наводнений в устье Невы использует гидродинамическую модель BSM6, разработанную д.ф.м.н. К.А. Клеванным, которая прогнозирует уровень в устье Невы до 48 ч. при прохождении над Финским заливом циклонов. При этом оправдываемость наводнений оказывается почти стопроцентной. Отсюда следует, что попытки автора доказать обратное, а именно, что циклоны не влияют на штормовые нагоны, являются несостоятельными. Поэтому несостоятельными также оказываются предположения автора о «значительном вкладе бароклинных топографических волн в формирование опасных подъёмов уровня».

#### ***Замечания по диссертации в целом.***

1. К сожалению, очень неудачно сформулирована научная новизна во введении, которая подменяется аннотацией того, что сделано:

-предложен критерий выделения штормовых нагонов...

-исследованы особенности временной изменчивости термохалинной структуры вод Финского залива...

-оценен сравнительный вклад баротропной и бароклинной компонент в изменения суммарных течений...

-исследованы особенности нестационарности статистической связи...

-выявлен заметный вклад сезонных колебаний уровня на межгодовую изменчивость количества штормовых нагонов...

2. В работе используется значительное число архивов реанализа и численных моделей, однако документация к большинству из них не приводится.

3. Текст работы перегружен второстепенными деталями, избыточной подробностью описания некоторых фактов, много утяжеленных предложений, которые усложняют понимание текста. В ней присутствуют грамматические и

стилистические ошибки. Часть графиков недостаточно высокого качества. имеют сложный для восприятия вид, возможно, автору стоило представить результаты в более простой форме.

4. Сухачев В.Н. является соавтором 1 монографии, 18 статей в периодических изданиях, в том числе 10 работ в изданиях, индексируемых в WOS и Scopus. Однако все публикации выполнены в соавторстве, ни одной публикации, выполненной лично автором нет, личный вклад В.Н. Сухачева в совместные публикации не указан. Это серьезный недостаток.

5. Во введении не указывается, каким пунктам паспорта специальности 1.6.17 Океанология (географические науки) соответствует диссертация.

Несмотря на отмеченные недостатки, диссертацию Сухачева Владимира Николаевича на тему «Штормовые нагоны в Финском заливе Балтийского моря» можно считать законченной научно-исследовательской работой, выполненной автором на высоком научном уровне. Диссертация соответствует паспорту специальности 1.6.17 океанология (географические науки) по пункту 15: «Методы исследований, моделирования и прогноза процессов и явлений в океанах и морях».

Диссертация Сухачева Владимира Николаевича на тему «Штормовые нагоны в Финском заливе Балтийского моря» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Сухачев Владимир Николаевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.17. Океанология. Пункты 9 и 11 указанного Порядка диссертантом не нарушены.

Член диссертационного совета

Доктор географических наук, профессор  
кафедры прикладной океанографии  
ЮНЕСКО-МОК и комплексного  
управления прибрежными зонами  
Российского Государственного  
Гидрометеорологического  
Университета Министерства науки и  
высшего образования РФ



Дата 04 сентября 2023

Малинин Валерий Николаевич