

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки «Институт
водных проблем Российской академии наук»

к.т.н.  В.О. Полянин

«»  2024 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Игоря Львовича Башмачникова «Мезомасштабные подповерхностные вихри и их проявления на поверхности океана», представленную на соискание ученой степени доктора географических наук по научной специальности 1.6.17. – «Океанология»

Диссертационная работа посвящена оценке изменений характеристик подповерхностных вихрей на различных этапах их жизненного цикла и выявлению особенностей проявления подповерхностных вихрей на поверхности океана. Диссертация объемом в 332 страницы состоит из введения, восьми глав (последняя из них представляет собой заключение по диссертации), списка литературы из 569 наименований, содержит 127 рисунков и 11 таблиц. При этом каждая глава содержит свои вводный и заключительный параграфы, кроме того, главы 4 и 6 дополнены приложениями.

Во **введении** обсуждаются актуальность темы исследования и степень ее разработанности, определяются цель и задачи работы, указываются научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, степень достоверности, приводятся сведения об апробации результатов автора (дается обширный список статей в высокорейтинговых (в том числе, 18 – в журналах первого квартала), печатных изданиях и сообщается о многочисленных докладах на международных и российских конференциях.

В **главе 1** дается классификация вихрей, описываются основные аспекты динамики вихрей, используемые в работе; приводятся характеристики исследуемых в работе подповерхностных вихрей, таких как внутритермоклинные линзы субтропической Атлантики (медди) и Лафотенский вихрь Норвежского моря; излагается обзор подходов к исследованиям проявления подповерхностных вихрей на поверхности океана; перечисляются основные ре-

зультаты работы диссертанта (с указанием доминирующего вклада диссертанта в совместных работах с другими авторами); формулируются положения, выносимые на защиту.

Вторая глава посвящена различным способам выделения мезомасштабных и субмезомасштабных вихрей с помощью натуральных и спутниковых данных; приводится оценка климатологических характеристик вод субтропической Атлантики по наблюдениям *in situ*; описываются методы выделения вихрей по данным наблюдений и полученных в результате гидродинамического моделирования; дается сравнительная характеристика результатов идентификации вихрей по различным типам спутниковых данных и данных моделирования на примере Северо-Европейского бассейна.

В третьей главе исследуются жизненный цикл вихрей Норвежского и Гренландского морей и их роль в перераспределении тепла в регионе; исследуются особенности адвекции океанского тепла через моря Северо-Европейского бассейна; дается характеристика вихрей Северо-Европейского бассейна по данным спутниковой альтиметрии; оцениваются потоки тепла, переносимые вихрями в данном регионе; изучаются особенности сезонной и межгодовой изменчивости характеристик вихрей по данным альтиметрии AVISO и модели FESOM на примере Западно-Шпицбергенского течения.

Четвертая глава посвящена описанию жизненного цикла подповерхностных внутритермоклинных вихрей субтропической Северной Атлантики на примерах средиземноморских линз (медди) и, в целом, средиземноморской водной массы; изучается распространение средиземноморских вод в субтропической северо-восточной Атлантике; исследуются характеристики и динамика средиземноморских линз на разных стадиях их жизненного цикла.

В первом приложении к четвертой главе приводится схема оптимального мультипараметрического анализа (OMP), в рамках которого все термохалинные параметры в каждой точке и на каждом горизонте представляются как результат смешения заранее выбранного набора водных масс с известными характеристиками, но в неизвестных пропорциях. В анализе определяется вклад каждой из водных масс в известный результат их смешения путем решения системы линейных уравнений, разработанной Johannes Karstensen и Matthias Tomczak.

Во втором приложении к четвертой главе описывается алгоритм вычисления скоростей средних течений по траекториям поплавков RAFOS и ARGO, основанный на фильтрации части траекторий дрейфтеров в пределах

мезомасштабных вихрей и приведении траекторий поплавков на промежуточных горизонтах к отсчетной глубине.

В третьем приложении к четвертой главе излагается метод расчета встречаемости медди, построенный на вычислении вероятности обнаружения медди в заданной акватории.

В пятой главе подробно описываются характеристики квазипостоянного Лофотенского вихря Норвежского моря по результатам данных *in situ*, спутниковой альтиметрии и гидродинамического моделирования, и на примере этого уникального вихря исследуются механизмы разрушения и регенерации вихрей в океане.

В шестой главе всесторонне изучается проявление подповерхностных внутритермоклинных вихрей в поле уровня моря и построена теория формирования этих поверхностных проявлений. Проводится сравнение теоретических оценок поверхностных проявлений контурного вихря с данными наблюдений. Данные *in situ* показывают, что большинство наблюдавшихся медди проявляли хорошо выраженный сигнал в поле уровня моря. Сигнал на поверхности моря, в подавляющем большинстве случаев, располагался непосредственно над медди, формируя связанную с медди вихревую структуру. Это позволяет достаточно однозначно интерпретировать наблюдаемые над линзами антициклонические структуры как их поверхностные сигналы. В приложении к главе 6 описывается алгоритм метода «ползущего окна», использовавшегося в спутниковой альтиметрии при отслеживании поверхностных проявлений линз.

В седьмой главе обсуждается процесс проявления подповерхностных вихрей в полях температуры поверхности океана и цвета океана; показывается, что подповерхностные вихри, как с заглубленным ядром, так и с ядром, верхняя граница которого находится в непосредственной близости к поверхности моря (например, у Лофотенского вихря), формируют статистически значимую отрицательную аномалию температуры поверхности океана в противоположность положительной аномалии, характерной для поверхностных антициклонов.

Замечания и комментарии по диссертационной работе:

1. На странице 6 говорится, «Как правило, вихри имеют округлую форму, ... что снижает вероятность его разрушения».

В действительности, округлая (и даже чисто круговая) форма вихря не гарантирует его устойчивость относительно малых возмущений

внешней границы вихря, и, следовательно, сохранение его формы. Устойчивым будет лишь круговой баротропный вихрь радиуса a с постоянным значением относительной завихренности (вихрь Рэнкина), когда радиальное распределение азимутальной скорости является линейной функцией с максимумом на контуре вихря $r=a$. Если же

(1) максимальная азимутальная скорость достигается во внутренней части вихря, где относительная завихренность меняет знак при $r=r_0 < a$ (аналог профиля Рэлея), то вихрь становится неустойчивым, если $r_0/a > 1/2$ [Козлов В. Ф., Макаров В. Г. Моделирование неустойчивости осесимметричных вихревых шнуров с помощью метода контурной динамики. Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа. 1985. N 1, 33-39];
(2) вихрь является двухслойным с противоположными вращениями в разных слоях, т.е. хетоном; он также будет неустойчивым, если радиус деформации Россби R_d удовлетворяет неравенству $R_d/a < 1.7$ [Козлов В. Ф., Макаров В. Г., Соколовский М. А. Численная модель бароклинной неустойчивости осесимметричных вихрей в двухслойном океане. Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1986. Том 22. N 8. 868-874].

2. **Страница 27:** Горизонтальный масштаб L_R , который автор называет «масштабом Ринеса», в русскоязычной литературе предпочитают называть «масштаб Райнса» (Rhines).
3. **Страница 37:** в конце выражения «Область противоположной по знаку завихренности на периферии вихря иногда называют “экраном”» хорошо было бы добавить: «или “компенсирующей оболочкой”» [Козлов В. Ф., Макаров В. Г. Моделирование неустойчивости осесимметричных вихревых шнуров с помощью метода контурной динамики. Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа. 1985. N 1, 33-39]»
4. **Страница 179:** непонятно, почему в качестве нижней граница радиуса кольца внешнего фона взято значение $2R$, а не R .
5. **Страница 183:** вызывает удивление фраза «Из 6 взаимодействий, 5 прошли по сценарию упругого отталкивания» и далее, на странице 188: «взаимодействующие вихри одного знака через некоторое время начинают взаимно отталкиваться». Вихри одного знака не могут отталкиваться по определению. Скорее всего, в этом взаимодействии активное участие принимает еще и вихрь противоположного знака (что, собственно, и подтверждает следующее далее в тексте замечание на странице 188).

Добавим в качестве дискуссии: на странице 188, еще дальше, помещена фраза: «Впрочем, наблюдался и противоположный эффект – когда

циклон препятствовал слиянию антициклонов». Здесь никакого противоречия нет, поскольку циклон с антициклоном составляют пару, которая движется поступательно, причем направление движения пары зависит от взаимного расположения вихрей-партнеров противоположных знаков. Поэтому движение пары может быть направлено как в сторону ЛВ (что способствует слиянию), так и в любую другую сторону (что исключает или затрудняет возможность слияния).

6. **Страница 185**, подпись к рис. 5.8: «голубой штрихпунктирная линия» → «голубая штрихпунктирная линия»

7. **Страница 187**: «при отсутствии экрана ... при сближении вихрей на расстояние 3λ радиусов». Важно отметить, что это значение расстояния очень близко к полученному в лабораторных условиях значению 3.2 [Hopfinger E.J., van Heijst G.J.F. Vortices in rotating fluids // Ann. Rev. Fluid Mech., 1993. Vol. 25, pp. 241-289].

Здесь же, дальше: «при наличии экрана даже непосредственный контакт периферий вихрей, когда расстояние между их центрами составляло 2λ радиуса ЛВ, не приводил к слиянию». Это очевидно, поскольку наличие экрана у ЛВ лишает его возможности оказывать влияние на внешнюю среду и, в частности, на АС.

8. **Страница 196**: отметим, что фраза «Эти процессы внутри ядра ЛВ не могли быть воспроизведены в используемой выше упрощенной QG модели, где ядро ЛВ представлено однородной областью потенциальной завихренности» справедлива лишь в части «используемой выше упрощенной модели QG». В действительности, МКД-модель, построенная на допущениях квази-геострофики, легко допускает обобщения на кусочно-постоянные радиальные распределения потенциального вихря (ПВ) внутри круговой области. В рамках баротропной задачи это сделано в [Козлов В. Ф., Макаров В. Г. Моделирование неустойчивости осесимметричных вихревых шнуров с помощью метода контурной динамики. Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа. 1985. № 1, 33-39], где проведено исчерпывающее исследование устойчивости вихря при произвольных соотношениях между радиусами и ПВ в кольцевых областях, а в [Соколовский М. А., 1988] то же самое осуществлено для кольцевого двуслойного вихря. Нет принципиальных трудностей в проведении соответствующего обобщения и на трехслойный вихрь. Больше того, близкая процедура применена в [Sokolovskiy M. A., 1997a, 1997b], но для случая, когда вихревые пятна разных радиусов расположены не в одном, а в различных слоях модельного трехслойного океана, т. е. для случая, когда вихрь имеет не цилиндрическую по вертикали структуру, а конусообразную.

9. **Страница 247**, уравнения (6.26): *сделанное предположение, что $\lambda < 0$, следовало бы обосновать тем, что в противном случае решение надо искать в виде модифицированных функций Бесселя, сингулярных при $r \rightarrow 0$.*
10. **Страница 265**: *в подписи к рисунку 6.30 говорится: «направление наиболее интенсивных средних течений показано синими стрелками», однако стрелок на рисунке нет.*

11. Замеченные описки и неточности фраз:

Страница 31:

- (1) «ведет росту» → «ведет к росту»;
(2) «свидетельствуют от том» → «свидетельствуют о том»;

Страница 38: «Преимущества изучения именно этого типа вихрей несколько» → «Преимуществ изучения именно этого типа вихрей несколько»

Страница 41, подпись к рис. 1.4: «сплошная лини» → «сплошная линия»

Страница 42: «две основных типа» → «два основных типа»

Страница 43:

- (1) «усиливающийся ко дну циклоническая циркуляция» → «усиливающаяся ко дну циклоническая циркуляция»;
(2) «прогибом вниз изопикн в Лофотенской котловины» → «прогибом вниз изопикн в Лофотенской котловине»;
(3) «которая анализировалось по натурным данным» → «которая анализировалась по натурным данным»

Страница 46:

(1) «В работе Lapeyre and Klein (2006) была исследовано разделение уравнений (1.11)-(1.12) на функцию тока в толще жидкости (ψ_{int}), определяемую полем потенциальной завихренности внутри жидкости, и квазигеострофическую функцию тока, определяемую граничным условием распределения плотности воды на поверхности моря (ψ_s):» → «В работе Lapeyre and Klein (2006) было проведено разделение переменных в уравнениях (1.11)-(1.12), позволяющее получить уравнение для функции тока в толще жидкости (ψ_{int}), определяемой полем потенциальной завихренности внутри жидкости, и уравнение для квазигеострофической функции тока, определяемой граничным условием распределения плотности воды на поверхности моря (ψ_s):»

(2) «определяется тепловым и пресным балансом» → «определяется балансом тепла и соли»

Страница 163: «В районах подводных год» → «В районах подводных гор»

Страница 175: «В течении этих периодов» → «В течение этих периодов»

Страница 177: «Наблюдений *in situ* слишком малочисленны» → «Наблюдения *in situ* слишком малочисленны» либо «Наблюдений *in situ* слишком мало»

Страница 187: «в верхнем 100-м слое» → «в верхнем 100-метровом слое»

Страница 189: «один из параметров стратификации γ_1 или γ_2 (пропорциональные первому и второму радиусам деформации Россби соответственно), достигает ...» → «один из параметров стратификации γ_1 или γ_2 (обратно пропорциональные первому и второму радиусам деформации Россби соответственно), достигает ...»

Страница 193: «где неустойчивости неизменно приводила» → «где неустойчивость неизменно приводила»

Страница 202: «в реальном океане нелинейные эффекты должны выражены сильнее» → «в реальном океане нелинейные эффекты должны быть выраженными сильнее»

Страница 203:

(1) «в отсутствии процессов регенерации ЛВ» → «в отсутствие процессов регенерации ЛВ»

(2) «вместо того чтобы проникать в ядро ЛВ» → «вместо того, чтобы проникать в ядро ЛВ»

Страница 210, подпись к рисунку 6.3: «Вклад скорость Азорского течения на разрезе 2» → «Вклад скорости Азорского течения на разрезе 2»

Страница 210:

(1) «скорость уменьшалась примерно вдвое в 200-м слое» → «скорость уменьшалась примерно вдвое в 200-метровом слое»

(2) «скорость уменьшалась еще на 15 см с⁻¹ в 500-м слое» → «скорость уменьшалась еще на 15 см с⁻¹ в 500-метровом слое»

Страница 215:

(1) «выпущенных в ядрах меди, в течении ...» → «выпущенными в ядрах меди в течение ...»

(2) «сигнал был весьма отчетлив в альтиметрии в течении всего времени» → «сигнал был весьма отчетлив в альтиметрии в течение всего времени»

Страница 221:

(1) «на начальном участке своей траектории (т.е. течении некоторого времени после его формирования)» → «на начальном участке своей траектории (т.е. в течение некоторого времени после его формирования)»

- (2) «Во это время» → «В это время»
- (3) «стагнация медди у горы Жозефина при которой сигнал был слабым» → «стагнация медди у горы Жозефина, при которой сигнал был слабым»
- (4) «когда М131 огибал юго-восточную оконечность Азорского плато поверхностный сигнал медди приобрел эллиптическую форму, но уже в феврале восстановил округлую форму» → «когда М131 огибал юго-восточную оконечность Азорского плато, поверхностный сигнал медди приобрел эллиптическую форму, но уже в феврале восстановил форму, близкую к круговой.»

Страница 222: «когда при средние значения по всем месяцам составили 0.6» → «когда средние значения по всем месяцам составили 0.6»

Страница 223:

- (1) «по времени в течении 9 месяцев» → «по времени в течение 9 месяцев»
- (2) «сигнал медди слился с антициклоническим меандром Азорское течение и дальнейшая судьба его неясна» → «сигнал медди слился с антициклоническим меандром Азорского течения, и дальнейшая судьба его неясна»

Страница 224:

- (1) «в течении двух месяцев» → «в течение двух месяцев»
- (2) «в течении нескольких месяцев» → «в течение нескольких месяцев»

Страница 225: «Записанный для верхнего слоя моря как» → «Записывая закон сохранения для верхнего слоя моря как»

Страница 226:

- (1) «обоих динамических структур» → «обеих динамических структур»
- (2) «которое, с использованием выражения (6.1)» → «который, с использованием выражения (6.1)»
- (3) «составит от $-0.07 f$ до $-0.14 f$, что составит» → «примет значение от $-0.07 f$ до $-0.14 f$, что составит»

Страница 228: «уравнение (6.4) превращается в уравнение Пуассона» → «получаем, что уравнение (6.4) превращается в уравнение Пуассона»

Страница 230, подпись к рисунку 6.13: «Теоретические расчеты проведены» → «Теоретические расчеты проведены»

Страница 231:

- (1) «Пиковое значение ζ достигаются» → «Пиковое значение ζ достигается»

(2) «мощность ядра меди, то» → «мощность ядра меди, поэтому»

Страница 234: «редуцированное ускорения силы тяжести на границах слоев» → «редуцированные ускорения силы тяжести на границах слоев»

Страница 235:

(1) «Он имел с радиальный профиль» → «Он имел радиальный профиль»

(2) «В модельных экспериментах отслеживалась» → «В модельных экспериментах отслеживались»

(3) Подпись к рис. 6.15: «Эксперимент I для β -плоскости: на верхних врезках показана функция тока в слое 1, на нижних врезках – потенциальная завихренность в слое 2. Шаг по времени равен 17.6 суток» → «Эксперимент I для β -плоскости: на верхних врезках показаны изолинии функции тока в слое 1, на нижних врезках – изолинии потенциальной завихренности в слое 2. Шаг по времени (между столбцами рисунка) равен 17.6 суток»

Страница 236, подпись к рис. 6.16: замечание, аналогичное предыдущему.

Страница 237, подпись к рис. 6.17: то же самое.

Страница 238, подпись к рис. 6.18:

(1) «согласно формулы (6.13)» → «согласно формуле (6.13)»

(2) «оставалось относительной стабильным» → «оставалось относительно стабильным»

Страница 239, подпись к рис. 6.18:

(1) «По оси X» → «По горизонтальной оси»

(2) «и предсказанные по формуле (6.18)» → «и предсказанное по формуле (6.18)»

(3) «использовались значение» → «использовалось значение»

Страница 239, ниже: «Хорошие соответствие» → «Хорошее соответствие»

Страница 240: «параметра H 10% в год» → «параметра H на 10% в год»

Страница 244: «Согласно выражения (6.20)» → «Согласно выражению (6.20)»

Страница 245: «согласно формулы (6.21)» → «согласно формуле (6.21)»

Страница 246: «Точное выражение для вертикальной скорости ... и его аппроксимация радиально симметричной формой» → «Иллюстрация точного выражения для вертикальной скорости ... и его аппроксимации радиально симметричной формой»

Страница 247:

- (1) «где оператор Лапласа» → «где горизонтальная часть оператора Лапласа»
- (2) «плавный переход решения из верхнего слоя к верхней границе медди» → «непрерывность вертикальной скорости на нижней границе верхнего слоя»

Страница 251: «Фоновую стратификация» → «Фоновую стратификацию»

Страница 252:

- (1) «Зависимость $R_0 \approx 2R_m$ ранее использовалось» → «Зависимость $R_0 \approx 2R_m$ ранее использовалась»
- (2) «динамический радиус поверхностного сигнала и будет вдвое больше радиусом самого медди» → «динамический радиус поверхностного сигнала будет вдвое больше, чем радиус самого медди»
- (3) «изменчивость отсутствует и радиальный размера поверхностного сигнала ...» → «изменчивость отсутствует, и размер поверхностного сигнала ...»

Страница 253:

- (1) «трудноизменяемый параметр» → «трудноизмеряемый параметр»
- (2) «интервал времени τ , в течении которого ...» → «интервал времени τ , в течение которого ...»

Страница 256: «являлось результатом захвата медди» → «являлась результатом захвата медди»

Страница 258: «Эволюция поверхностного сигнала медди Pinball (рис. 6.25), начинается» → «Эволюция поверхностного сигнала медди Pinball (рис. 6.25) начинается»

Страница 261:

- (1) «для контурным медди раздела 6.3.2» → «для контурных медди раздела 6.3.2»
- (2) «Используя теоретические результаты для медди с профилем Рэля, изложенные в разделе 6.3.5 (формула 6.34, рис. 6.23-6.25), было установлено, что радиусы ...» → «Используя теоретические результаты для медди с профилем Рэля, изложенные в разделе 6.3.5 (формула 6.34, рис. 6.23-6.25), мы установили, что радиусы ...»
- (3) «Рост R_0 ограничивает рост максимальной азимутальной скорости поверхностного сигнала ... с ростом R_m » → «Рост R_0 ограничивает увеличение максимальной азимутальной скорости поверхностного сигнала ... при больших значениях R_m »

Страница 263: «считалось ближайшая к центру медди отрицательная аномалия относительной завихренности» → «считалась ближайшая к

центру меди отрицательная аномалия относительной завихренности»

Страница 264, подпись к рис. 6.29: «поле значений аппроксимирована» → «поле значений аппроксимировано»

Страница 267, подпись к рисунку 6.31: «в поверхностных сигнала» → «в поверхностных сигналах»

Страница 268:

(1) «имеет значимый тренд к увеличению на запад и корреляция ...» →

«имеет значимый тренд к увеличению на запад, и корреляция ...»

(2) «в течении более чем 1.5 лет» → «в течение более чем 1.5 лет»

Страница 269: «и влиянии на интенсивность сигнала других динамических структур» → «и влиянием на интенсивность сигнала других динамических структур»

Страница 270, подпись к рис. 6.34: «по раздела 6.3.5» → «по формулам раздела 6.3.5»

Страница 271: «субтропической Северной Атлантике» → «субтропической Северной Атлантики»

Страница 272: «В частности, с этим отчасти связан» → «В частности, с этим связан»

Страница 273: «перерываясь на несколько суток» → «прерываясь на несколько суток»

Страница 274: «горизонтально однородный верхний слоя океана» → «горизонтально однородный верхний слой океана»

Отмеченные выше недостатки носят редакционный характер и не сказываются на нашей высокой оценке диссертации, в которой автором проделана колоссальная работа по обработке и анализу большого количества экспериментального материала и созданию на этой основе аргументированной теории для обнаружения проявления подповерхностных вихрей на поверхности океана.

Актуальность избранной темы состоит в том, что вклад вихрей в формирование особенностей крупномасштабной динамики вод океана очень велик. Вихри замыкают баланс массы крупномасштабной циркуляции, формирующейся под воздействием внешних сил. Вихревой перенос обеспечивает поток массы в крупномасштабные океанские круговороты, такие как Антарктическое циркумполярное течение, круговорот моря Бофорта и другие.

Научная новизна исследования и полученных результатов. Впервые выполнен комплексный статистический анализ изменчивости характеристик внутритермоклинных вихрей (линз); выявлены ранее неизвестные или мало исследованные особенности жизненного цикла различных групп подповерхностных вихрей, исследованы роли слияний линз, струйных течений и топо-

графии в процессах их эволюции и диссипации. Также впервые проведен системный анализ изменчивости сигналов подповерхностных вихрей с глубоким ядром на поверхности океана на примере средиземноморских линз, предложен механизм их формирования.

Значимость для науки и практики полученных автором диссертации результатов. Полученные в работе результаты могут быть использованы для совершенствования научных основ и методов гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в открытых областях Мирового океана, в прибрежных и шельфовых морских акваториях, а также для создания практических методик оценки, мониторинга и прогноза параметров геофизического и экологического состояния океана.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений гарантированы использованием современного высокоточного измерительного оборудования; сравнением полученных результатов измерений с историческими массивами данных; использованием регулярных исходных спутниковых данных высокого разрешения, применением адекватных и апробированных методов анализа исходных данных.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации. Считаю целесообразным продолжать и развивать исследования в данном перспективном направлении. Полученные в диссертации результаты могут быть использованы в научных разработках Института океанологии им. П.П. Ширшова, Государственного океанографического института им. Н.Н. Зубова, Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения РАН, Морского гидрофизического института РАН.

Оценка содержания диссертации, ее завершенность в целом. Диссертация представляет собой завершенный научный труд, обобщающий результаты многолетних исследований и всестороннего анализа поведения подповерхностных вихрей.

Текст диссертации изложен логично и написан ясным языком. Представленные в диссертации результаты опубликованы в 24 печатных работах в рецензируемых научных журналах, в том числе, в 18 журналах первого квартала (Q1), и апробированы в презентациях на 53 докладах, в том числе, на 46 международных конференциях. Считаю, что текст диссертации желателен опубликовать в виде монографии, которая, несомненно, будет пользоваться спросом в океанографическом сообществе

Заключение. Данная диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как **научное достижение**, имеющее важное социально-экономическое значение, что соответствует требованиям Положения о присуждении ученой степени кандидата наук, доктора наук в СПбГУ к докторским диссертациям. Автор диссертации, Игорь Львович Башмачников, безусловно заслуживает присвоения ему ученой степени доктора географических наук по специальности 1.6.17 «Океанология».

Отзыв ведущей организации рассмотрен и единогласно утвержден на заседании Ученого совета Института водных проблем РАН (протокол № 11 от 19 декабря 2024 г.)

Заведующий Лабораторией численного гидродинамического моделирования,
главный научный сотрудник ИВП РАН,
доктор технических наук (специальность
05.23.16 — «Гидравлика и инженерная гидрология»)



Виталий Васильевич Беликов

119333, Российская Федерация, Москва, ул. Губкина, д. 3, Институт водных проблем РАН
тел: +79104404200
e-mail: belvv@bk.ru

20 декабря 2024 г.

