

**ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**  
на диссертацию Пичугина Михаила Константиновича  
**Роль холодных вторжений в теплообмене Японского моря с атмосферой**  
представленной на соискание ученой степени  
кандидата географических наук по специальности  
25.00.28 – Океанология

**Актуальность темы диссертационной работы**

Диссертационная работа Пичугина М.К. посвящена детальному исследованию холодных вторжений на акватории Японского моря. Взаимодействие с подстилающей поверхностью является основным фактором циркуляции атмосферы на всех пространственно-временных масштабах. Это вызвано тем, что основным источником и стоком тепла, влаги и импульса для атмосферы является подстилающая поверхность. Качество прогноза погоды, воспроизведение современного и будущего климатов во многом зависит от того, насколько адекватно описывается обмен атмосферы теплом, влагой и импульсом с сушей и океаном.

Климат высоких и средних широт во многом определяется холодными вторжениями - быстрой адвекцией холодной воздушной массы с континента или с ледяного покрова в более низкие широты. Распространение холодного сухого воздуха над относительно теплой морской поверхностью вызывает интенсивный теплоперенос с поверхности в атмосферу за счет турбулентных потоков явного и скрытого тепла. Потоки тепла могут достигать экстремальных значений, что оказывает существенное влияние как на атмосферную, так на океанскую циркуляцию и на продуктивность моря. Вторжения над морской поверхностью характеризуются штормовым ветром и волнением, образованием и дрейфом льда, интенсивным переносом тепла и влаги из океана в атмосферу. Поэтому важна разработка теоретических моделей и параметризаций взаимодействия атмосферы и океана при холодных вторжениях для включения в современные мезомасштабные модели. Но если по особенностям холодных вторжений в Атлантическом секторе северных морей существует обширная литература, тихоокеанский

сектор из рассмотрения практически выпадал. Статистические исследования интенсивных холодных вторжений над дальневосточными морями практически отсутствуют. С этой точки зрения работа М.В. Пичугина является уникальной и пионерской. Автор использует мультисенсорный анализ, то есть для описания явления привлекается весь доступный набор спутниковых данных на всех возможных диапазонах частот. Кроме того, автор оперирует данными реанализа и результатами наземных наблюдений. Основная цель работы – исследование структуры, характеристик и эволюции холодных вторжений над Японским морем, является актуальной, так как дает материал для прогноза опасных гидрометеорологических явлений в регионе.

### **Содержание диссертационного исследования**

Работа состоит из пяти глав, введения и заключения. Во введении раскрывается актуальность диссертационной работы, представляется новизна результатов, их научная и практическая значимость, формулируются положения, выносимые на защиту. В первой главе на основе обзора литературы приводится описание физико-географических особенностей Японского моря. Рассмотрены характеристики основных центров действия атмосферы, синоптических условий и разномасштабных барических систем, типичных для холодного сезона года. Особое внимание уделено анализу ветрового режима и поверхностной циркуляции вод моря, в том числе распределения температуры поверхности океана во фронтальных системах, включая субарктический фронт.

Во второй главе содержится обзор современного состояния исследования теплообмена поверхности Японского моря с атмосферой. В ней представлены основные результаты оценок турбулентных составляющих теплового баланса морской поверхности, в том числе экстремальных значений в холодный сезон года. Обсуждаются причины значительных расхождений в оценках вертикальных потоков и связь холодных вторжений с их экстремальными значениями.

В третьей главе рассмотрены данные и методы исследования характеристик холодных вторжений, включая турбулентный теплообмен между океаном и атмосферой. Описан параметрический метод расчета вертикальных турбулентных потоков явного и скрытого тепла через морскую поверхность, приведены результаты сопоставления прямых измерений с потоками, рассчитанными по алгоритму COARE 3.0. Обращается особое внимание на значительные погрешности оценок экстремальных значений турбулентных потоков при штормовых (более 25 м/с) и ураганных (более 33 м/с) ветрах. Продемонстрированы возможности и преимущества спутниковых измерений в исследованиях разномасштабной изменчивости турбулентного теплообмена. Предложена методика мультисенсорного спутникового зондирования применительно к анализу характеристик холодных вторжений над морем и приведены основные характеристики используемых в работе спутников и установленных на них приборов.

В четвертой главе представлен детальный анализ структуры, характеристик и эволюции холодных вторжений за период 2000–2016 гг. в полях облачности, скорости и направления приводного ветра, интегрального содержания водяного пара в атмосфере, водозапаса облаков, интенсивности осадков, температуры поверхности океана, яркостных температур уходящего излучения системы подстилающая поверхность-атмосфера в инфракрасном и микроволновом диапазонах длин волн.

В пятой главе рассмотрены как общие закономерности, так и региональные особенности пространственно-временной изменчивости потоков явного и скрытого тепла, оценены их экстремальные значения и определен вклад  $XB$  в режим турбулентного теплообмена в холодный сезон года.

В заключении приводятся основные выводы и результаты работы.

### **Основные результаты и их новизна**

1. За 16 холодных сезонов (ноябрь – март) 2000–2016 гг. было зарегистрировано 403 вторжения холодного воздуха с континента на

Японское море со скоростью ветра у поверхности  $W \geq 10$  м/с. Типичные значения  $W$  варьировали в диапазоне от 10 до 20 м/с. В стадии максимального развития скорость ветра в наиболее интенсивных вторжениях достигала 25-27 м/с. Штормовой ветер отмечался преимущественно в открытой части моря юго-восточной залива Петра Великого и у северо-западного побережья о. Хонсю.

2. Вторжения возникали преимущественно в тылу внетропических циклонов синоптического масштаба (южных циклонов), перемещавшихся вдоль Японских островов со скоростью более 60 км/ч в северную часть моря или к северо-восточному побережью о. Хонсю.

3. Разработаны критерии регистрации  $XV$  над  $ЯМ$  по векторным полям приводного ветра и спутниковым видимым / ИК изображениям облачности.

4. Впервые показано, что продолжительность холодных вторжений над  $ЯМ$  меняется от 0,5 до 7 сут. Плотность распределения продолжительности вторжений описывается экспоненциальной функцией. Максимальное количество вторжений (146) имеют продолжительность  $D < 1$  сут. Скорость ветра в 30% таких вторжений превышала 20 м/с, что обуславливало экстремальный тепло- массоперенос через морскую поверхность в атмосферу.

6. Проведен сравнительный анализ пространственно-временной изменчивости турбулентного теплообмена между поверхностью  $ЯМ$  и атмосферой в холодный сезон года по данным массивов  $J-OFURO2$  и  $OAFlux$ . Показано, что в полях вертикальных потоков тепла из  $J-OFURO2$ , выделяются локальные зоны интенсификации теплопереноса в атмосферу у северо-западного побережья  $ЯМ$  как в среднемесячных полях (декабрь–февраль), так и осредненных за весь холодный сезон (ноябрь–март). В этих районах во время вторжений регистрируется местное усиления приводного ветра под действием прибрежной орографии с  $W$  на 30–40% выше фоновых значений.

7. Впервые выделена обширная область морской поверхности над Центральной котловиной севернее поднятия Ямато, с которой теплоотдача моря за счет  $S$  и  $LE$  минимальна. Область минимума выделяется в полях среднемесячных потоков на протяжении любого холодного сезона с 1988 по 2008 гг. и находится в пределах циклонического круговорота субарктической части моря.

8. Установлено, что синоптическая изменчивость турбулентного теплообмена поверхности моря с атмосферой в зимние месяцы определяется холодными вторжениями и характеризуется амплитудой колебания в  $400\text{--}500$  Вт/м<sup>2</sup> с экстремальными значениями потоков явного и скрытого тепла, достигающими  $500\text{--}700$  и  $700\text{--}900$  Вт/м<sup>2</sup>, соответственно. Для северо-западной части моря в холодный сезон года характерно преобладание потока явного тепла над скрытым со средним отношением Боуэна  $B = 1,6\text{--}1,8$  однако во время  $XB$   $B$  достигает  $2,5\text{--}3$ .

9. Определено, что суммарная продолжительность вторжений варьирует от 17 до 29% от продолжительности холодного сезона (ноябрь–март), однако их вклад в теплоперенос с морской поверхности в атмосферу достигает 54%. Такие оценки показывают, что  $XB$  являются ключевым атмосферным процессом синоптического масштаба, определяющим режим турбулентного теплообмена Японского моря в холодный сезон года.

10. Выявлена статистическая взаимосвязь между повторяемостью  $XB$  и межгодовой изменчивостью температуры воздуха у поверхности ( $T_a$ ), взятой из реанализа высокого разрешения *NCEP-CFSR*. Наиболее тесная обратная корреляция количества вторжений и  $T_a$  ( $> |0,80|$ ) отмечается для области с центром на  $47,5^\circ$  с.ш.,  $135,5^\circ$  в.д. над континентальной частью Дальнего Востока.

Все результаты, выносимые на защиту в данной работе, получены впервые. Достоверность и обоснованность полученных результатов подтверждается: использованием апробированных методов обработки спутниковых данных в различных диапазонах длин волн и современных

алгоритмов восстановления гидрометеорологических параметров; многолетним опытом дешифрирования спутниковых измерений. При интерпретации учитывались опубликованные результаты численного моделирования мезомасштабной валиковой и ячейковой конвекций в пограничном слое атмосферы. Все количественные оценки турбулентного теплообмена между океаном и атмосферой получены с использованием репрезентативных источников, опирающихся на согласованные данные спутникового дистанционного зондирования, контактных наблюдений и реанализа.

### **Степень обоснованности научных положений и достоверность полученных результатов**

Автором изучены и проанализированы известные литературные источники по теоретическому описанию пограничного слоя атмосферы при холодных вторжениях. Список использованной литературы содержит 216 наименований, что подчеркивает полноту проведенного анализа. Достоверность полученных результатов и сделанных выводов обоснована с помощью теоретических расчетов, сравнением с данными наблюдений и с исследованиями других авторов. Обоснованность основных результатов подтверждена публикациями в российских научных журналах, а также представлением их на российских и международных конференциях. По теме диссертации опубликовано 24 работы, из них 8 – в рецензируемых журналах, входящих в список ВАК. Результаты исследований докладывались на научных семинарах, российских и международных конференциях.

### **Ценность для науки и практики результатов работы**

Работа имеет огромное практическое значение, так как выявленные региональные особенности режима турбулентного теплообмена поверхности Японского моря с атмосферой необходимо учитывать и в задачах численного моделирования циркуляции вод бассейна, в том числе формирования глубокой конвекции на материковом склоне. Результаты исследования долгопериодной изменчивости повторяемости ХВ могут представлять

интерес в исследованиях динамики климатической системы Азиатско-Тихоокеанского региона.

### **Замечания по диссертационной работе в целом**

Основные замечания к диссертационной работе связаны с небрежностью ее оформления и изложения материала. Много несогласованных предложений, в некоторых местах отсутствуют подписи к рисункам.

Первое замечание касается знака потоков. При судовых и прямых наблюдений за потоками поток считается положительным, если он направлен в атмосферу. В работе это почему-то наоборот.

В качестве причин расхождения рассчитанных и измеренных значений турбулентных потоков не указано уменьшение коэффициента сопротивления при скоростях ветра больше 25 м/с, что связано как с наличием пены и брызг, так и с изменением геометрии морского волнения.

Отдельный подраздел посвящен мезомасштабным циклонам, но ничего не сказано о механизмах их формирования. В том числе и когда холодное вторжение формируется не над ледяно поверхностью, а над сушей.

В работе много внимания уделено спутниковым методам определения потоков. При этом отсутствует обзор использования данных дистанционного зондирования для непосредственного определения потоков, минуя балк-формулы. В настоящее время накоплен определенный опыт использования методов спутниковой СВЧ- и ИК-радиометрии для анализа теплового взаимодействия между океаном и атмосферой. Разработаны и апробированы методы определения среднемесячных значений потоков скрытого (латентного) тепла на границе раздела океана и атмосферы и их сезонной изменчивости, основанных на существовании прямых либо -косвенных соотношений между яркостной температурой, измеряемой с ИСЗ, и такими компонентами тепловых потоков, как температура поверхности океана, температура, влажность и скорость ветра в приводном слое атмосферы.

В качестве основных положений, выносимых на защиту, указан архив мультисенсорных спутниковых данных. Находится ли этот архив в свободном доступе? В тексте диссертации ни где не указан интернет-адрес разработанного архива. И не хватает его детального описания.

Связь изменчивости числа Боуэна с холодными вторжениями требует дополнительных обоснований. И известно, что в конвективных условиях и при сильных ветрах блк-формулы, используемые во всех реанализах, дают завышенные значения потоков. Поэтому представленные автором экстремальные значения потоков могут быть не столь экстремальны.

Работа носит, в основном, описательный характер. Автор представляет значительный фактический материал, но ни где не обосновывает как, в частности, его результаты могут быть использованы для регионального моделирования и прогноза опасных гидрометеорологических явлений в указанном регионе.

Указанные замечания не снижают общей ценности диссертационной работы и не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации.

#### **Заключительная оценка**

Диссертационная работа Пичугина Михаила Константиновича является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно на хорошем научном и техническом уровне. Работа базируется на анализе данных спутниковых мультисенсорных наблюдений и использовании современных реанализов. Работа имеет огромное практическое значение, так как вносит значительный вклад в развитие методов прогноза опасных гидрометеорологических явлений. В работе приведены научные результаты, позволяющие квалифицировать их как законченное и значимое научное исследование. Полученные автором результаты имеют новый уровень, являются достоверными, а выводы и заключения обоснованными.



Результаты диссертационной работы своевременно опубликованы в 24 печатных трудах, 8 из которых – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертационного исследования.

Диссертация удовлетворяет всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 25.00.28 – океанология, а ее автор Пичугин Михаил Константинович заслуживает присуждения ученой степени кандидата географических наук по этой специальности.

Официальный оппонент

Заведующая Лабораторией взаимодействия атмосферы и океана  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Института физики атмосферы им. А.М. Обухова  
Российской академии наук (ИФА им. А.М. Обухова РАН),  
Доктор физико-математических наук  
Тел. 8-495-951-85-49, e-mail: repina@ifaran.ru  
119017, Москва, Пыжевский пер. 3



Репина Ирина Анатольевна

25.05.2017

Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики атмосферы им. А.М. Обухова  
Российской академии наук (ИФА им. А.М. Обухова РАН)



Краснокутская Л.Д.