

## **Отзыв официального оппонента**

**Репиной Ирины Анатольевны**

**на диссертационную работу Максимова Артема Алексеевича «Комплексный мониторинг ледовых условий в Каспийском море на основе спутниковых данных», представленную на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 25.00.30 – Метеорология, климатология. агрометеорология**

### **Актуальность темы диссертационной работы**

Диссертация Максимова А.А. посвящена исследованию ледовых условий Каспийского моря. Каспийское море является крупнейшим внутренним водоемом и играет значимую роль в экономике его прибрежных стран, включая Россию, как запас рыбных ресурсов, так и район добычи полезных ископаемых, в том числе углеводородом. Ледяной покров водоема носит сезонный характер и формируется в его мелководной Северной части, и, несмотря на относительно небольшую продолжительность ледового сезона, представляет серьезную опасность для хозяйственной деятельности и судоходства. Кроме того, ледовые условия находятся в прямой связи с колебаниями уровня моря, которые служат важным индикатором климатической изменчивости региона. Образующийся на мелководье лед Каспия подвержен процессам деформации, в результате которых образуются опасные для судоходства и хозяйственной деятельности на шельфе образования - навалы, торосы, гряды торосов, стамухи и др. Поэтому мониторинг ледового режима Каспийского моря является актуальной задачей. Причем, не только для картирования ледяных образований в конкретный сезон, но и для определения связи ледовых условий и климатической изменчивости региона. Последнее дает также информацию для прогноза тенденций дальнейших изменений ледовой обстановки и повторяемости появления опасных ледяных образований. Цель настоящей диссертационной работы состоит в развитии и усовершенствовании методик и технологий космического мониторинга, предназначенных для решения задач оперативного картирования ледовой обстановки, контроля опасных ледовых образований и изучении долговременных характеристик ледяного покрова Каспийского моря и, безусловно, является актуальной.

### **Содержание диссертационного исследования**

Работа состоит из трех глав, введения и заключения. Во введении раскрывается актуальность диссертационной работы, представляется новизна результатов, их научная и практическая значимость, формулируются положения, выносимые на защиту.

В Главе 1 приводится обзор и анализ общих региональных характеристик, особенностей гидрометеорологических и ледовых условий Каспийского моря, спутниковых данных, используемых для мониторинга ледяного покрова. Рассмотрены преимущества и недостатки спутниковых данных видимого, инфракрасного и микроволнового диапазонов, получаемых с отечественных и зарубежных космических аппаратов.

Глава 2 посвящена развитию методов и технологий мониторинга морского ледяного покрова. Приведен анализ методического обеспечения картографирования параметров морского льда и построения ледовых карт, в том числе с использованием российских спутников. В частности, данные ИК-радиометра МСУ-ИК-СРМ используются для детализированного мониторинга ледовой обстановки, что особенно важно для построения ледовых карт в бухтах, заливах, проливах и в других непротяженных акваториях. Представлены принципы интерактивного дешифрирования ледовых объектов с использованием комплексирования спутниковых данных различных спектральных диапазонов и разного пространственного разрешения. Представлены рекомендации по визуальному дешифрированию ледовых объектов и параметров морского льда на спутниковых изображениях, на основе анализа спутниковых данных с новых космических аппаратов, новой бортовой аппаратуры, в том числе высокого пространственного разрешения, а также опыте применения этой информации для картографирования характеристик морского ледяного покрова. Представлены рекомендации по визуальному дешифрированию опасных ледяных образований – стамух на спутниковых изображениях морского ледяного покрова. Сформулированы признаки выявления стамух, а также описаны наиболее эффективные спутниковые данные для их обнаружения.

Третья глава посвящена анализу долговременных изменений ледового режима и климатических условий Каспийского моря, который был проведен на основе анализа многолетних рядов ледовых карт, построенных автором на основе спутниковых данных и синоптических карт. Оценена связь ледовитости каспийского моря и синоптических условий в регионе. Также исследована связь изменения морфометрических свойств льда, в частности, образования стамух, с климатической изменчивостью.

В заключение приводятся основные результаты работы и выводы.

В приложении представлены копии свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ и акт внедрения усовершенствованной технологии картирования ледовой обстановки в ФГБУ «Северное УГМС» Росгидромета.



## **Основные результаты и их новизна**

В процессе работы получены следующие результаты:

1. Усовершенствованы методики построения ледовых карт Каспийского моря на опыте применения данных современных космических аппаратов и новой бортовой аппаратуры, в том числе высокого пространственного разрешения. Показано преимущество использования высокодетальных спутниковых изображений для картографирования ряда характеристик ледяного покрова.
2. Подготовлено методическое пособие по созданию карт морского ледяного покрова на основе спутниковых данных оптического, инфракрасного и микроволнового диапазонов. Центральной методической комиссией по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам Росгидромета пособие рекомендовано для использования в практике работы учреждений и НИУ Росгидромета (Решение №140-08930/20и от 23.11.2020 г.).
3. Разработана и внедрена в практику технология обработки разнородных (по спектральным диапазонам и пространственному разрешению) и разновременных спутниковых данных для оперативного картирования в многофункциональной программной среде «PlanetaMultiSat».
4. На основе ледовых карт Каспийского моря, построенных автором за период 2004-2021 гг. определена повторяемость еженедельных значений площади, занятой неподвижным (припаем) и дрейфующим льдом.
5. Исследованы сезонные и межгодовые изменения ледовитости Каспийского моря за период 2004-2021 гг. Выявлена значительная изменчивость ледовитости, как в течение холодного периода, так и от года к году. Отмечено, что в период 2004-2010 гг. ледовитость достигала максимальных значений в первые две декады января. В последующие годы максимум ледовитости все чаще стал приходиться на первые две декады февраля, что связано с увеличением количества дней с циклональным характером циркуляции атмосферы в январе. С 2016 г. прослеживается уменьшение влияния на рассматриваемый регион отрога Сибирского антициклона, что сказывается на развитии ледяного покрова Каспийского моря и вызвано изменяющимися климатическими условиями.
6. Получена пространственно-временная изменчивость характеристик припая и дрейфующего льда при разных синоптических ситуациях, как индикаторов климатических

изменений. Отмечено существенное сокращение площади припайного льда в последнее десятилетие.

7. Выполнен анализ синоптических процессов, при которых происходило более позднее начало ледообразования в северной части Каспийского моря. В период 2009-2018 гг. (за исключением ледовых сезонов 2011-2012, 2014-2015, 2016-2017 гг.) ледообразование начиналось в 1-й, 2-й декадах декабря, что значительно позже среднемноголетних значений. Процессы таяния ледяного покрова в марте стали протекать значительно быстрее, что связано с увеличением влияния антициклонального характера погоды и более интенсивного прогрева подстилающей поверхности.

8. Установлено, что в последние годы фиксируется большее количество стамух, а также увеличиваются их размеры и акватория распространения.

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

Автор диссертации принимал непосредственное участие в разработке методик обработки и представления спутниковой информации. Обоснованность и достоверность полученных результатов и выводов подтверждается результатами апробации созданных технологий на реальных данных, сравнением с результатами, полученными в других российских и зарубежных ледовых центрах, а также с данными наземных наблюдений, результатами массовой обработки спутниковой информации в оперативном режиме, стабильным спросом потребителей на выходную информационную продукцию, созданную с помощью разработанных методик и технологий. Результаты исследований докладывались и обсуждались на ряде совещаний, семинаров, международных и российских конференциях.

По теме диссертации опубликовано 19 работ, из них 3 – в рецензируемых журналах, входящих в список ВАК.

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

Результаты работы создают научную основу для применения методик дистанционного зондирования в исследовании ледовых условий внутренних водоемов. Созданный в рамках работы многофункциональный программный комплекс «PlanetaMultiSat», в программной среде которого проводится полный цикл построения ледовых карт по спутниковым данным, в том числе в международном векторном формате Sigrid-3, позволяет оперативно выпускать карты ледовой обстановки Каспийского моря.



Карты ледовой обстановки Каспийского моря применяются в качестве исходной информации для оперативной прогностической модели Каспийского моря в Лаборатории морских прикладных исследований «Гидрометцентра России», что позволяет использовать модель в ледовый период.

Долговременные ряды ледовой продукции по Каспийскому морю, выпускаемой в НИЦ «Планета», размещаются на русскоязычном (СЕАКЦ) и англоязычном (SEAKC) сайтах Северо-Евразийского климатического центра и используются в качестве индикаторов изменения климата.

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

Основные замечания к работе носят скорее редакционный характер – много ошибок и несогласованных предложений, что затрудняет восприятие работы. В частности, слово «раннее» (ледообразование) постоянно пишется как «ранее».

Отсутствуют сведения в каких публикациях отражены основные выводы диссертации и материалы ее глав.

Замечания по структуре. Первая глава занимает треть объема диссертации, но при этом содержит только справочную информацию, доступную в любой энциклопедии. Географическая информация про Каспийское море занимает явно избыточный объем. П. 2.1 скорее относится к 1 главе, ибо продолжает обзор используемых спутниковых данных. При этом практически отсутствует обзор литературы по исследованию ледовых условий и, главное, климатической изменчивости Каспийского региона, в частности, изменения уровня Каспия.

Рисунки 2 и 3 подготовлены автором диссертации или взяты из источников (ссылки?).

«В последнее время происходит существенная перестройка климатических процессов, которая сказывается на повторяемости суровых зим, так очень суровая зима наблюдалась в зимний сезон 1968-1969 гг.» - на временных масштабах, с которыми работает автор 1968 год - это все-таки не последнее время.

Соломон Андрэ летал на Северный полюс в 1897, но никак не в 1987. И визуальные наблюдения за льдом с воздушного шара трудно назвать дистанционными. Также можно считать дистанционными наблюдения за льдом с борта Фрама во время экспедиции Нансена.

Роль спутниковых наблюдений возросла не в связи с уменьшением самолетных. В 70-е годы два вида ледовой разведки существенно дополняли друг друга, а в настоящее

время большие перспективы у использования беспилотников. Спутники дают несколько другой класс информации.

«Ограничивающими факторами использования данного вида информации является наличие плотной облачности и температуры воздуха в районе проведения космической съемки (не выше  $-6^{\circ}$  ÷  $-8^{\circ}$  C)». Чем отрицательные температуры воздуха ограничивают использование ИК излучения?

«Отсутствие у ИК радиометров высокого пространственного разрешения»: последние миссии лишены этого недостатка.

«Спутниковые СВЧ-радиометры имеют значительную разницу излучательной способности открытой воды и льда» - спутниковые радиометры излучательную способность не имеют, а измеряют...

«Чем выше частота измерений, тем меньше радиояркий контраст между льдом и водой при более высоком пространственном разрешении». – требуется разъяснение.

Откуда взялась информация про тонкую миллиметровую пленку воды на поверхности льда в летний период? На поверхности льда в летний период образуются снежницы – лужи, глубиной до 1 м., которые действительно мешают распознаванию льда и открытой воды, но никакой пленки воды на льду нет. Также фантазией автора является летящий надо льдом аэрозоль, все покрывающий мокрой пленкой...

Нигде не указано, что для определения характеристик ледяного покрова по данным микроволновых радиометров применяются соответствующие алгоритмы. Это касается не только микроволновых радиометров. К сожалению, именно алгоритмам восстановления характеристик ледяного покрова по данным излучения в различных спектральных интервалах в диссертации внимания не уделяется.

«На спутниковых изображениях малого и среднего разрешения торосы определяются только по косвенным признакам (донесениям с береговых морских станций)» - а как быть в Арктике? Существуют методы определения конфигурации и площади торосов по данным альтиметров, скатерометров, PCA съемки (Gupta et al., 2014, Shepherd, 2012, Kwok et al., 2006). В работах (Nolin et al., 2002, Nolin, Mar, 2019) представлен метод восстановления высоты ледяных полей по данным съемки многоугольного сканирующего спектрорадиометра MISR.

Заснеженность льда определяется не только по дешифрированию снимков, но и по разнице излучательной способности снега и льда в различных спектральных диапазонах.

Для оценки зависимости толщины льда от суммы градусодней существует комплекс формул. Хорошо бы привести данные других параметризаций для выбора оптимальной.



Лед не является для атмосферы неисчерпаемым источником влаги, а скорее наоборот.

Почему для анализа климатической изменчивости выбран только 17-летний период? Спутниковые данные есть с 1978 года. Характерный период климатической изменчивости составляет 30 лет – по 17-летнему периоду выводы делать затруднительно.

В диссертации совсем не исследован факт колебаний уровня Каспия. Что может оказывать значительное влияние в том числе на ледовую обстановку и процессы ледообразования. И в качестве интегрируемой спутниковой информации отсутствуют данные альтиметрии.

В качестве примеров использования разрабатываемых методик почему-то приводятся данные по Азовскому и Берингову морям, но не по Каспию.

И в качестве методик восстановления ледяного покрова по мультиспектральной информации широко используются методы машинного обучения. Планируется ли развитие в эту область?

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

#### **Заключительная оценка**

Диссертационная работа Максимова А.А. является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно на хорошем научном и техническом уровне. В работе приведены интересные исследования связи характеристик ледяного покрова и климатической изменчивости Каспийского региона, предложены важные практические методы и алгоритмы. Работа имеет огромное практическое значение, так как вносит значительный вклад в развитие методов прогноза опасных ледовых явлений. В работе приведены научные результаты, позволяющие квалифицировать её 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 19 печатных трудах, 3 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 25.00.30 – **Метеорология, климатология, агрометеорология**, а ее автор Максимов Артем Алексеевич 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 по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы

Тел. 8-495-951-85-49, e-mail: repina@ifaran.ru

119017, Москва, Пыжевский пер. 3

- Репина Ирина Анатольевна

15.08.2022

Я, Репина Ирина Анатольевна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

«15» августа 2022 г.

Подпись И.А. Репиной заверяю:

Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Института физики атмосферы им. А.М. Обухова

Российской академии наук (ИФА им. А.М. Обухова РАН)



Краснокутская Людмила Дмитриевна