

УТВЕРЖДАЮ

Ректор ФГБОУ ВПО «Российский
государственный гидрометеороло-
гический университет»,
профессор, д.ф.-м.н. Л.Н. Карлин



« » сентября 2014 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Лебедева Сергея
Анатольевича *«Спутниковая альтиметрия Каспийского моря»*,
представленную на соискание ученой степени доктора физико-
математических наук по специальности 25.00.29 – «физика атмосферы и
гидросферы»

Каспийское море имеет очень важное значение для многих отраслей экономики прибрежных государств, в том числе для России. В частности, для рыбной промышленности, сельского хозяйства, нефтегазовой отрасли, морского транспорта и др. Однако традиционные системы гидрометеорологических наблюдений, объем которых сократился за последние 25 лет в несколько раз, не могут обеспечить качественной информацией потребителя. Наиболее реальный выход из данной ситуации – это привлечение спутниковой информации, дающей приемлемое пространственно-временное разрешение. В частности, спутниковая альтиметрия помимо измерений морского уровня предоставляет уникальную информацию о модуле скорости приводного ветра и высотах ветровых волн. В связи с этим актуальность диссертации С.А. Лебедева, посвященной выявлению закономерностей гидрометеорологического и гидродинамического режимов Каспийского моря и его мониторингу на основе спутниковой альтиметрии, не вызывает сомнений.

Автором решалось 8 научных задач, направленных на разработку теоретического обоснования и методов исследования гидрометеорологического режима Каспийского моря. Результаты 7 из них представлены в научной новизне. Исключение составляет задача исследования прохождения паводка реки Волга по акватории Каспийского моря по альтиметрическим данным. Однако в самом тексте работы (раздел 6.3) результаты по данной задаче представлены.

В рассматриваемой диссертации основные положения, выносимые на защиту (7 пунктов), идентифицируются с научной новизной, что представляется неверным, ибо это не одно и то же. Научную новизну следует рассматривать как результат защищаемых автором положений. Результаты работ автора докладывались на многочисленных международных и всероссийских конференциях.

Работа состоит из введения, 6-ти глав, заключения, списка сокращений, списка использованных источников из 523 наименований (из них 302 на зарубежные источники) и приложения. В ней содержится 350 страниц, 24 таблицы и 150 рисунков. Однако стоит отметить, что, несмотря на внушительный список источников, в списке литературы приведены не все ссылки, которые есть в тексте. По теме диссертации автором опубликовано более 40 работ, в том числе 2 монографии в соавторстве, 12 статей в отечественных и 5 в зарубежных рецензируемых журналах (из них 11 из списка ВАК). Так как С.А. Лебедев успешно занимается проблемой использования спутниковой информации в гидрометеорологических целях два десятилетия, то его личный вклад в представленные в диссертации научные результаты сомнений не вызывает.

Первые две главы диссертации носят преимущественно обзорный характер, однако по своему объему (106 стр.) их вклад достигает около 40 % от общего объема работы. Очевидно, первая глава «Особенности гидрометеорологического и гидродинамического режимов Каспийского моря» могла быть либо сильно сокращена, либо полностью исключена из

текста работы, а необходимые сведения о гидрометеорологическом режиме моря можно было дать в других главах. Вторая глава «Метод спутниковой альтиметрии» также является обзорной. В ней подробно обсуждаются физические основы метода, весь комплекс поправок к показаниям альтиметра и дается довольно полный обзор использования спутниковой альтиметрии в науках о Земле. Глава снабжена обширным числом ссылок на источники, однако, как уже указывалось выше, не все они приведены в списке литературы. Представляется, что данная глава может быть весьма полезной для молодых специалистов и студентов как введение в спутниковую альтиметрию.

В третьей главе «Обработка данных спутниковой альтиметрии для региона Каспийского моря» реализованы две научные задачи, выносимые на защиту: выполнено уточнение методов и алгоритмов расчета поправок при обработке данных альтиметрических измерений и осуществлена разработка алгоритма регионального адаптивного ретрекинга для обработки данных спутниковой альтиметрии в прибрежной зоне моря и для внутренних водоемов.

Автором предложены оптимальные алгоритмы расчета основных поправок («сухая» тропосферная поправка, поправка на влажность и ионосферная поправка) для акватории Каспийского моря (1-й пункт научной новизны, раздел 3.2). Первая из указанных поправок определяется по данным об атмосферном давлении на уровне подстилающей поверхности с обязательной коррекцией по измерениям на прибрежных метеостанциях. Для поправки на влажность используется разработанный автором алгоритм ее расчета по данным о радиояркостной температуре бортового многоканального микроволнового радиометра с обязательной коррекцией данных в прибрежной зоне на основе зависимости соотношения площадей суша–море, построенной на основании численной модели рельефа или положения береговой линии. Величина ионосферной поправки

рассчитывается по данным обеих частот альтиметра с обязательным сглаживанием вдоль трека с окном 25 км.

Замечание по данному разделу: в методике расчета поправки на влажность по данным микроволнового радиометра непонятно как изменяются эмпирические коэффициенты при проведении коррекции радиояркостной температуры. Используемые автором в методике расчета поправки на влажность атмосферы по радиояркостной температуре всех каналов микроволнового радиометра (формулы 3.5 и 3.6) вызывают определенные сомнения, поскольку функция изменчивости радиояркостной температуры вдоль трека при переходе вода-суша по теории должна носить ступенчатый характер.

В разделе 3.3 представлено теоретическое обоснование и практическая реализация алгоритма регионального адаптивного ретрекинга (2-й пункт научной новизны), основными принципами которого являются:

- создание кусочно-постоянной топографической модели подстилающей поверхности;
- решение прямой задачи определения модельных форм отраженных импульсов на основе топографической модели подстилающей поверхности;
- формулировка критериев отбора телеметрических импульсов;
- пошаговое решение обратной задачи путем порогового и улучшенного порогового ретрекинга.

К сожалению, в данном разделе отсутствует в виде рисунка схема алгоритма регионального адаптивного ретрекинга, которая могла бы улучшить понимание сути данного алгоритма. Опыт применения регионального адаптивного ретрекинга для пяти водохранилищ Волжского каскада доказал его преимущество перед стандартными алгоритмами и дал возможность увеличить число значимых измерений в прибрежной зоне Каспийского моря более чем в 10 раз на 10-ти километровом расстоянии от береговой линии и уменьшить более чем в 2,5 раза среднеквадратичное отклонение результатов обработки альтиметрических измерений. Отметим,

что данный алгоритм разрабатывался автором совместно с коллегами из Института прикладной физики РАН и Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, при этом диссертант принимал непосредственное участие как в теоретическом обосновании метода, так и в его практической реализации для акватории Каспийского моря.

В качестве частного замечания можно отметить следующее. При разработке адаптивного регионального ретрекинга использовалась преобразованная формула Брауна (2.7) в предположении, что плотность вероятности высот зеркальных (рассеивающих) точек соответствует распределению Гаусса. Однако результаты анализа распределения скорости ветра по данным метеостанции Юрьевец за период с 1 сентября 1992 г. по 31 декабря 2012 г. (рис. 3.26) и распределения значимых высот ветровых волн по данным натурных измерений 29 июля 2009 (рис. 3.27) показывают, что распределение скорости ветра и высот волн не соответствует распределению Гаусса.

Учитывая уникальный характер и высокую практическую значимость алгоритма адаптивного регионального ретрекинга в качестве перспективы его дальнейшего развития желательно осуществить учет реального распределения значимых высот волн, которое может рассчитываться по данным радара с синтезированной апертурой. В качестве примера сошлемся на спутник Sentinel-3, в котором альтиметр объединен с радаром с синтезированной апертурой в один прибор (SARAL – Synthetic Aperture Radar ALtimeter).

В четвертой главе «Интегрированная база данных спутниковой альтиметрии» рассматривается разработанное автором специализированное программное обеспечение для обработки данных каждого спутника. По причине большого объема рабочей информации и периодического обновления данных, алгоритмов и численных моделей было принято решение формировать новую базу по запросу пользователя в зависимости от временного интервала и района исследований. Таким образом, программное

обеспечение становится составной частью базы данных, которая объединяет их в новую базу. Данный подход был назван автором «принципом интегрированности», который рассматривается в диссертации как научная новизна (3-й пункт) и вынесен на защиту. Однако такое утверждение, на наш взгляд, является спорным, поскольку в большей степени это новое технологическое решение данной задачи. Более важным представляется его практическая значимость, а именно, создание интегральной базы данных спутниковой альтиметрии для Каспийского моря, которая зарегистрирована в Государственном реестре баз данных.

Пятая глава «Гидрометеорологический режим Каспийского моря по данным спутниковой альтиметрии» по сути является центральной, так как в ней представлены основные результаты по исследованию морского уровня, ветрового режима, волнения, ледового режима. В разделе 5.1 приводятся оценки межгодовой и сезонной изменчивости уровня Каспия и залива Кара-Богаз-Гол. В качестве научной новизны (4-й пункт) автор предлагает считать выделение двух периодов роста (1992–1995 гг. и 2001–2005 гг.) и двух периодов падения (1995–2001 гг. и 2005–2012 гг.) уровня Каспийского моря и заполнение залива Кара-Богаз-Гол после разрушения дамбы. Указанные периоды роста и падения морского уровня известны и без использования альтиметрической информации, поэтому для докторской диссертации подобный результат вряд ли можно считать научным. Более интересным с научной точки зрения является то, что диссертантом впервые выявлен процесс заполнения залива Кара-Богаз-Гол после разрушения дамбы между морем и заливом и выхода его на естественный гидрологический режим, так как там отсутствуют уровенные посты.

В разделах 5.2 и 5.3 приводятся результаты исследования диссертантом ветра в приводном слое атмосферы над морем и ветрового волнения. При этом верификация скорости приводного ветра и высот ветровых волн, рассчитанных по данным спутниковой альтиметрии, проводилась по данным инструментальных измерений на метеостанциях и на волномерном посту

Нефтяные Камни соответственно. Результаты сравнения показали репрезентативность результатов расчета по данным дистанционного зондирования со спутников. Это позволило автору *впервые* построить ежемесячные карты скорости приводного ветра и высоты волн по всей акватории моря за период 1993–2012 гг. и осуществить анализ их пространственно-временной изменчивости (*5-й пункт научной новизны*). В межгодовой изменчивости высот ветровых волн и скорости приводного ветра автором выделены три временных интервала синхронного роста и один уменьшения этих параметров.

В разделе 5.4 автором показана перспективность альтиметрических измерений для исследования ледяного покрова Каспийского моря на основе анализа повторяемости соотношений коэффициента обратного рассеяния и нормированной радиояркостной температуры подстилающей поверхности по данным бортового многоканального микроволнового радиометра. Недостатком расчетов ледяного покрова по данным спутниковой альтиметрии является тот факт, что измерения проводятся только вдоль треков. Однако этих данных оказалось достаточным для того, чтобы показать уменьшение площади ледяного покрова и продолжительности ледового периода в Северном Каспии за последние 20 лет.

Шестая глава «Гидродинамический режим Каспийского моря» посвящена построению модели средних высот морской поверхности (СВМП) Каспийского моря и анализу ее использования применительно к пространственной изменчивости скорости изменения уровня моря, а также изучению на этой основе полей динамической топографии, геострофической циркуляции и оценке продвижения паводка реки Волги по акватории моря.

В разделе 6.1 региональную модель СВМП Каспийского моря предлагается вычислять как функцию не только широты и долготы, но и времени с фильтрацией сезонной и синоптической изменчивости высот морской поверхности. При этом необходимо постоянное обновление модели СВМП по мере поступления новых данных спутниковой альтиметрии. Для

каждого года данные высот морской поверхности усредняются и интерполируются на регулярную сетку методом разложения на радиальные базисные функции с учетом климатической динамической топографии Каспия. Это чуть ли не дословное описание методики построения СВМП. Но поскольку сама методика в тексте не изложена, то приходится верить диссертанту на слово. Построение СВМП Каспийского моря позволило *впервые* выявить пространственную неоднородность скорости подъема и падения уровня и объяснить ее связь с особенностями гравитационного поля (6-й пункт научной новизны). Однако связь СВМП с гравитационным полем представлена весьма поверхностно.

Впервые автором рассчитаны среднемесячные и среднегодовые поля динамической топографии как суперпозиция климатической динамической топографии и соответствующих аномалий уровня относительно построенной модели средних высот морской поверхности (7-й пункт научной новизны). При этом важным представляется выполненный диссертантом анализ сезонной и межгодовой изменчивости полей среднемесячной и среднесезонной синоптической динамической топографии и завихренности поля скоростей геострофических течений (раздел 6.2). Показано, что в Северном и Среднем Каспии, как и в море в целом, преобладает циклоническая циркуляция, тогда как в южной части моря — антициклоническая циркуляция на протяжении всего года. Совместный анализ изменчивости среднегодовых величин скоростей течений и завихренности поля течений, рассчитанных по данным альтиметрических измерений, показывает обратную корреляцию средних скоростей течений и завихренности поля скоростей течений.

В качестве частного замечания можно отметить, что поскольку зимой большая часть Северного Каспия покрыта льдом и количество альтиметрических измерений в этом районе невелико, то при построении графиков сезонной и межгодовой изменчивости геострофических скоростей

и их завихренности, более оправданно было бы зимой давать не сплошную линию, а пунктирную или же отмечать периоды с присутствием льда.

Значительный интерес представляет выполненный автором анализ пространственной изменчивости скорости прохождения паводка реки Волга вдоль 092 трека спутников Т/Р и J1/2 и ее межгодовой изменчивости (раздел 6.3) по данным аномалий уровня Каспийского моря, рассчитанным относительно СВМП. *Впервые* показано, что скорость продвижения паводка изменяется не только по пространству, но и зависит от падения или роста уровня Каспийского моря. Максимальная средняя скорость наблюдается в Среднем Каспии в районе южного свала глубин Дербентской впадины, где расположен минимум градиента аномалий силы тяжести. К сожалению, этот важный результат не включен в научную новизну.

Подводя итоги диссертационной работы, перечислим ряд недостатков, свойственных диссертации в целом:

1. Неверное отождествление научной новизны с положениями, выносимыми на защиту. В соответствии с критериями ВАК научная новизна является результатом защищаемых автором положений.
2. Исследование прохождения паводка реки Волга по акватории Каспийского моря по альтиметрическим данным входит в число задач диссертации, однако в научную новизну по непонятным причинам полученные результаты не включены.
3. Диссертация перегружена графическим материалом, который в некоторых случаях излишен, например, рисунки 3.13–3.16.
4. Слишком велик список использованных источников, включающий 523 работы, причем целый ряд ссылок в списке литературы в тексте не приводится.
5. Объем первых двух обзорных глав составляет примерно 40% текста самой работы и содержит более 80% ссылок.
6. В тексте много опечаток и несогласованности падежей и времен.

Принципиально важно, что большинство отмеченных выше замечаний носит частный характер и лишь косвенно затрагивают основные научные результаты, многие из которых получены С.А. Лебедевым *впервые* и могут рассматриваться как *значительный* вклад в достижения спутниковой океанологии. Несомненно, полученные автором научные результаты являются *достоверными*, поскольку подтверждаются сравнением данных инструментальных измерений на *уровенных постах*, гидрометеостанциях и волномерных постах с результатами обработки данных спутниковой альтиметрии с применением уникального алгоритма регионального адаптивного ретрекинга. Кроме того, *научная и практическая значимость* выполненных автором исследований подтверждается тем, что они проводились по *Федеральной* целевой научно-технической программе «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники на 2002–2006 гг.» а также в рамках 7 проектов Российского фонда фундаментальных исследований и 2 международных проектов. Другим подтверждением научной значимости является то, что результаты работы докладывались на большом количестве семинаров в ведущих российских и зарубежных научных центрах и на представительных российских и международных конференциях.

Общий итог состоит в том, что диссертационная работа С.А. Лебедева является законченным научным исследованием, представляющим значительный научный интерес и высокое практическое значение, в котором существенно усовершенствована технология обработки данных спутниковой альтиметрии, осуществлено на новом уровне решение *крупной научной* задачи, а именно, выявлены, в том числе впервые, некоторые закономерности гидрометеорологического и гидродинамического режимов Каспийского моря. Диссертация С.А. Лебедева соответствует пункту 9 «Положения о присуждении ученых степеней» от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к докторским диссертациям и содержит решение научной проблемы, имеющей важное экономическое значение.

Аннотация полностью соответствует содержанию диссертации.

Таким образом, диссертационная работа С.А. Лебедева «*Спутниковая альтиметрия Каспийского моря*» отвечает всем требованиям ВАК, а ее автор достоин присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 25.00.29 – «*Физика атмосферы и гидросферы*».

Отзыв подготовлен профессором, д.г.н. Валерием Николаевичем Малининым

Профессор кафедры промышленной
океанологии и охраны природных
вод, д.г.н.

Mayne

Малинин Валерий Николаевич

Работа была доложена и одобрена на расширенном семинаре Лаборатории Спутниковой Океанографии РГГМУ 23 сентября 2014 (протокол семинара № 2/14)

Исполнительный директор
Лаборатории спутниковой
океанографии, д.ф.-м.н.

Кудрявцев Владимир Николаевич

Кудрявцев Владимир Николаевич



Личную подпись Мамонина В.И., Кудрявцева О.И.
 с.с. Мамонин заверяю
 Управление кадров РГГМУ