

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор МГУ имени М.В.Ломоносова
начальник Управления научной политики
д.ф.м.н., профессор А. А. Федянин



2021 г.

ОТЗЫВ

Ведущей организации — Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»
на диссертационную работу **Абрамовой Анастасии Сергеевны**
*«Методика оценки точности и качества математико-картографического
моделирования рельефа дна океана (на примере Западной Арктики)»,*
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 25.00.33 — Картография

I. Актуальность темы диссертационного исследования

Работа Анастасии Сергеевны Абрамовой связана с моделированием рельефа океанического дна с помощью компьютерных технологий. Конкретно в диссертации идет речь об оценке точности широко используемых батиметрических цифровых моделей рельефа (ЦМР) и трактовки получаемых результатов. Одной из основных проблем общедоступных батиметрических ЦМР является их пространственная неравномерность по качеству, что обусловлено использованием разнородных источников данных, обладающих разной точностью. При этом информация о точности батиметрических ЦМР зачастую довольно скудна, в связи с чем возникает неопределенность в оценке точности производных результатов, которые получаются на их основе. В контексте обозначенных проблем исследование А. С. Абрамовой является несомненно актуальным.

II. Оценка содержания и качества работы

Работа состоит из введения, семи глав, заключения и списка литературы, состоящего из 236 наименований. Общий объем текста составляет 202 страницы, включая 92 рисунка и 15 таблиц.

В первой, вводной главе диссертации, автор дает общую характеристику проблемы, обсуждает ее основные вопросы, делает обзор исследований в этой области. Из материалов, изложенных в этой главе, можно сделать заключение, что автор диссертации, безусловно, уверенно владеет материалом, понимает проблемы и задачи построения и оценки батиметрических ЦМР. Не ясно, однако, как авторская «комплексная методика оценки точности» (предложена в § 1.4, подробно рассмотрена в гл. 5) соотносится с аналогичными методиками для оценки ЦМР суши. В § 1.4 есть ссылки на работы автора, но нет никаких упоминаний о существовании аналогичных методик для суши. Между тем, все предложенные шаги выглядят довольно естественными и для ЦМР суши.

Во второй главе диссертации излагаются методические и технические аспекты построения как проверяемых на точность ЦМР (IBCAO, GEBCO, ETOPO, GT, SRTM30_Plus), так и эталонных ЦМР, созданных автором по результатам данных многолучевого эхолотирования (в получении которых она принимала участие).

Представляется правильным то, что автор предусмотрела в данной главе не только описание проверяемых ЦМР в их результирующем виде, но также и методик, которые использовались создателями этих ЦМР для их получения — это важно для понимания генезиса и величины присущих этим моделям ошибок и артефактов. В то же время, качество представления этих методик нельзя назвать удовлетворительным. В частности, вызывает недоумение исключительно текстовое описание используемых для создания ЦМР методов интерполяции (раздел 2.1). Создается впечатление, что автор недостаточно разобралась в математическом аппарате используемых методов. При этом даже в текстовых описаниях можно встретить ошибки. Так, например, упоминается «метод бикубического сплайна Бриггса» (стр. 52), но в работе Бриггса речь в двумерном случае идет о т.н. естественных сплайнах (thin plate splines), которые не являются бикубическими. Иногда их называют сплайнами Дюшона. Термин «бикубический» используется Бриггсом, а также Смитом и Весселом в часто цитируемой автором работе, лишь в качестве образной аналогии с одномерным случаем. Последующее описание сплайнов с натяжением похоже на плохой перевод и также выглядит некомпетентно.

Далее, в § 2.5, где излагаются детали создания эталонных ЦМР, не хватает подробностей. Написано, что «для интерполяции ЦМР применялся пакет Golden Software Surfer» (стр. 67), но не указан алгоритм интерполяции, применяемые коэффициенты, шаг сетки. В §2.5.1 вводится показатель суммарной перенесённой неопределённости (СПН), которая зависит от локального уклона (формула 1),

указывается, что «были построены карты уклонов», но эти карты не показаны и не используются, вместо этого коэффициент за уклон либо опускается (рис. 2.23), либо принимается равным 45° (рис. 2.24). Зачем тогда было строить карты углов наклона? Кроме того, из текста неясно, можно ли создать «карту» СПН — это было бы очень полезно для оценки качества эталонной ЦМР. § 2.5.2 уместно было бы снабдить картой (схемой) пересечения упоминаемых данных, полученных с ледоколов Healy и Oden, с данными, на которых основывается работа. В § 2.5.3 утверждение о том, что артефакты сглаживаются после пересчёта на регулярную сетку, также следовало бы доказать или хотя бы проиллюстрировать.

Есть замечания и по версиям используемых ЦМР. В частности, рассматривается модель IBСАО v.2.23, хотя еще в 2012 году опубликована версия 3.0, а в 2020 году и версия 4.0, причем в работе есть ссылки на них без упоминания номеров версий (стр. 10). В дальнейшем выбор старой версии обосновывается тем, что эталонные данные (рейсов Академик Страхов) вошли в новые версии, но это ничем не подтверждается (нет ссылок). В любом случае, желательно приводить описание именно новейших версий.

В третьей главе диссертации речь идет об оценке точности данных, по которым строятся батиметрические ЦМР. Общий стиль изложения материала, характерный для предыдущей главы, сохраняется, т.е. дается словесное описание того, что сделано, но не представлена формализация действий в виде математических формул и вычислительных алгоритмов. Это определенным образом снижает воспроизводимость используемого автором подхода и уровень доверия к нему.

В частности, непонятно, как и каким образом производятся трансформации числовых массивов, которые анонсируются в наименованиях блоков, представляющих схемы алгоритмов (рис. 3.1, 3.3). Например, автор делает пересчет значений глубин из одной системы координат в другую, повернутую относительно первой, хотя и не объясняет, как это делается. Однако при таком пересчете заведомо изменится число точек в ячейках и после последующего осреднения данных по ячейке (процедуру которого автор также не объясняет) не ясно, в какой мере осредненные значения матрицы ЦМР сопоставимы со значениями «эталонной» ЦМР и в какой мере разности значений двух ЦМР характеризуют точность тестируемой ЦМР. Обо всем этом можно было бы сказать определенно, если бы автор привела в диссертации численные примеры и результаты тех этапов, которые декретированы в методе, представленном, однако, лишь в виде блок-схемы на рис.3.1.

В целом, предложенный алгоритм «расчета матрицы разности значений глубин в батиметрических ЦМР, построенных в разных картографических проекциях, с различным пространственным разрешением и с несовпадающими по размерам и ориентации сетками» (раздел 3.1), тривиален, и не может рассматриваться как

достижение автора. Это один из множества хорошо известных способов, и не факт, что лучший в данной ситуации. Во всяком случае, не рассмотрены другие известные варианты расчета и не проведено их сравнение, в том числе и для моделей с разным способом регистрации (по терминологии автора), с целью выбора наиболее подходящего из них. Все то же самое в полной мере относится и к § 3.2 (стр. 97), содержащему способ оценки точности исходных данных батиметрических ЦМР.

Неясно также, как фактически была произведена реализация этапов обработки данных в пакете GMT — был ли это просто набор действий в графическом интерфейсе или автор написала скрипт для автоматизации процесса.

Отметим, что считать очевидными и не требующими математического описания можно только те алгоритмы, которые однозначно общеприняты и излагаются в учебниках по геодезии и картографии. Те же методы, которые имеют неоднозначную трактовку (реализацию) или не являются общепринятыми, требуют разъяснения в основном тексте диссертации или в приложении к ней.

В главе 4 диссертации рассматривается способ «оценки точности батиметрических ЦМР». Однако, как и в предыдущих главах, сам способ оценки излагается весьма скупо: в § 4.1 (1,5 стр.) дано лишь его словесное описание. Содержание отдельных этапов, хотя и указывается (стр. 109–110), однако использованный математический аппарат не раскрывается и никаких численных данных не приводится. Вместо этого, в § 4.3 (стр. 110) сразу же приводятся результаты апробации способа, полученные с помощью пакета компьютерных программ GMT (Generic Mapping Tools). Данные таблиц 4.1–4.6 и на 14 рисунках 4.2–4.16 нуждаются в более подробном разборе и интерпретации, чем это сделано автором. Это позволило бы существенно подкрепить утверждение о достоверности полученных результатов.

В выводах по гл. 4 (стр. 127) указано только, что разработанный (автором) способ оценки позволяет оценить точность ЦМР и что он успешно апробирован. Более того, нужно ли было выполнять столько работы, чтобы прийти к довольно тривиальному заключению главы 4: «На точность батиметрической ЦМР оказывает влияние сочетание точности исходных данных, плотности покрытия исходными данными, а также метод интерполяции, использованный для перехода от нерегулярной сетки точек исходных данных к регулярной ЦМР»?

В целом, *методы, изложенные в Главах 3-4, стандартны, аналогичные методы давно и широко применяются, поэтому относить их к методической новизне работы представляется безосновательным.* Основное достижение автора здесь — это, конечно, фактические оценки точности данных и ЦМР, которые были получены с применением эталонных моделей.

Глава 5 диссертации. Все сказанное выше относительно стиля изложения используемых или разработанных методов, относится в полной мере и к

содержанию гл. 5 (22 стр., примерно 10% от объема работы), посвященной оценке точности интерполяции значений глубин в батиметрических ЦМР.

Казалось бы, что в п. 5.1 работы «Способ оценки точности интерполяции значений глубин батиметрических ЦМР» должны были бы содержаться по меньшей мере, методы такой интерполяции (которых существует достаточно много), однако ничего подобного в работе нет. В § 5.1 на 1,5 страницах дается лишь словесное описание метода оценки; в п§ 5.2, занимающем также 1,5 страницы, бегло и весьма расплывчато говорится об апробации метода. Однако дальше на 6 страницах работы в виде множества изображений приведены результаты вычислений, при этом без должного внимания к их интерпретации.

В целом, главы 3-5 переполнены рисунками и таблицами, но им остро не хватает качественной интерпретации. Каждому рисунку следовало бы уделить индивидуальное внимание, описать наблюдаемые на нем закономерности как в целом, так и по пространству.

Заметим, что содержание Главы 5, вообще говоря, не вполне соответствует ее названию. Оценкой точности интерполяции можно назвать дисперсию в методе кригинга, здесь же речь идет о том, как в результате интерполяции распространяется ошибка в точках с исходными данными с увеличением расстояния до этих точек. Причем в итоге мы видим только констатацию факта, что эта ошибка уменьшается с увеличением расстояния до опорных точек при использовании сплайнов с натяжением: на расстоянии 4—6 ячеек ЦМР от исходных данных (полигоны 1 и 3) или 12,5 ячеек от исходных данных (полигоны 2, 4). Это интересный факт, но здесь явно не хватает исследования такого поведения ошибки для различных методов интерполяции на искусственных модельных примерах. Такое исследование помогло бы выработать рекомендации по выбору метода интерполяции в зависимости от вида исходных данных. Соответственно, без проведения такого исследования совершенно непонятно, на чем основан один из выводов по Главе 5: «Расстояние, на котором уменьшаются ошибки, контролируется параметром натяжения, используемым в алгоритме сплайн-интерполяции Смита-Вессела, плотностью исходных данных, а также количеством точек с измеренными значениями глубин в пределах полигона». Представленный факт требует более внимательного изучения — по возможности, на большем числе примеров или с использованием модельных поверхностей. Более того, получается так, что заключение об ошибках зависит от принятой настройки метода. Но тогда требуется изложить этот метод и рассказать о том, как осуществлять его настройку.

Главы 6 и 7 диссертации посвящены так называемым артефактам, т.е. недостоверным результатам при построении батиметрических ЦМР, возникающим из-за дефектов метода восстановления поверхности или ошибок экспериментального измерения глубин. Результаты этих глав представляются наиболее интересными в структуре работы. Выглядит правдоподобным перечень

причин, приводящих к возникновению артефактов в батиметрических ЦМР (стр. 141), а метод оценки степени выраженности артефактов имеет потенциал для его широкого использования. Хотелось бы, однако, увидеть больше подробностей относительно его фактической реализации, на основе которой автор строит свои заключения (§ 7.1., стр. 158). Например, «Определение размера окна для расчета изменчивости глубин» — как эти размеры определяются? Или, «Диаметр буферной зоны ЗВИД» — как определяется этот диаметр в модели? Или «Расчет модели Лапласиана для определения диаметра ЗВИД» — что делается в этом блоке? Все это не раскрыто в работе. Рисунок 7.3 не расшифрован. Аналогично рисунки 7.4 и 7.5. Например, что можно заключить из рисунков 7.4 и 7.5 (б) о Лапласиане, как трактовать представленные результаты? Стоит сказать несколько слов о Лапласиане. На стр. 162 приведена одна из двух имеющихся в диссертации формул, формула (7.1). Символ ∇^2 обозначает лишь знак оператора Лапласа, но не какую-то определенную математическую величину. Следовало бы написать $\nabla^2 z$. Лапласиан — это не функция частных производных, а это обозначение суммы вторых частных производных от функции $z(x,y)$:

$$\nabla^2 z \equiv \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} = \text{div}(\text{grad } z)$$

Кроме того, равенство (7.1) внешне похоже на тождество с переобозначением второй производной $\frac{\partial^2 z}{\partial x^2}$ посредством r , а второй производной $\frac{\partial^2 z}{\partial y^2}$ — посредством t (которые далее нигде не используются). Таким образом, (7.1) — это не уравнение и не тождество, а нечто «среднее математическое». Но самое главное состоит в том, что непосредственное двукратное дифференцирование дискретных батиметрических глубин ЦМР по направлениям x и y с помощью конечно-разностных аналогов вторых производных привело бы к фантастическим численным погрешностям. Если же для вычислений Лапласиана были использованы сплайны того или иного порядка, то следовало бы объяснить, как это делалось, какой математический аппарат построения сплайнов применялся? Конечно, можно было бы использовать вычисление Лапласиана для выявления областей выпуклости и вогнутости рельефа дна, поскольку тот равен $\text{div}[\text{grad}(z(x,y))]$. Однако, по меньшей мере, нужно было бы объяснить, как это делается, и какие новые артефакты от такой операции могут генерироваться.

В **заключении** (стр. 173), подводящем итоги, не видно большой разницы между пп. 2 и 3. По сути, делается одно и то же, только на разных наборах данных. Об этом говорит и сам автор на стр. 109. Не вполне ясно, для чего нужно таким способом оценивать исходные данные для моделирования и что с этим потом делать, если можно точно так же оценить саму модель.

III. Общие замечания по диссертационной работе

1. В названии работы заявлена «Методика оценки точности математико-картографического моделирования...», при этом о самом понятии «математико-картографического моделирования рельефа» не сказано ничего, есть только сноска во Введении на стр. 9, в которой приводится определение понятия «математико-картографическое моделирование». В итоге точность и качество чего оценивает автор непонятно. Из текста, однако, следует, что в предлагаемой методике оценивается точность и качество некоторых общедоступных батиметрических ЦМР. Вообще, термин «математико-картографическое моделирование» (МКМ) представляется несколько устаревшим, особенно применительно к рельефу. Более уместным было бы говорить о методах геоморфометрии.
2. Изложенная в работе комплексная методика опирается на эталонные участки, которые могут быть получены в настоящее время только качественной съемкой с помощью многолучевого эхолота. Поэтому для большей части исследователей она практически бесполезна. С этой точки зрения сами результаты проведенного исследования выглядят намного более полезными для рядового пользователя при выборе модели для конкретного исследования, чем представленная методика. Тем более что большинство моделей снабжаются дополнительной информацией об источнике данных в каждом узле сетки модели. И здесь наиболее интересной выглядит часть методики, связанная с выявлением артефактов.
3. Акценты в работе зачастую сделаны на тех аспектах, которые трудно отнести к научным достижениям диссертанта, в то время как действительно новые, важные и полезные результаты, к сожалению, остаются в тени. Собственно, сама предлагаемая методика является набором хорошо известных стандартных приемов оценки точности и качества моделей или данных при наличии эталона, или просто при проведении сравнительного анализа различных наборов данных, в том числе и пространственных. К по-настоящему новым методическим элементам можно отнести только часть, связанную с анализом артефактов. Вместе с тем, весьма ценными представляются фактические данные по точности ЦМР, полученные автором с применением изложенных методов. Однако недостаточное внимание, уделенное автором анализу полученных карт и графиков, не позволяет этим результатам быть представленными ярко и значимо. Более того, автор почему-то очень скромно и незаметно упоминает о том, что созданные ею эталонные ЦМР вошли в более поздние версии ЦМР GEBCO, GT, IBCAO и SRTM30_Plus (§ 2.4, стр. 67), в то время как этот замечательный факт стоило бы выделить особо и вынести во введение к автореферату в разделе «Внедрение результатов» (который также отсутствует).

4. Значительный объем замечаний можно высказать к общему стилю изложения алгоритмов и математических методов, зачастую есть ошибки в их описании, во многих случаях не хватает формул, которые дают гораздо больше для понимания, чем их словесное изложение.

IV. Научная новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, форма представления материала исследования

Анализ содержания диссертационной работы, автореферата, а также опубликованных работ позволяет выделить два основных аспекта новизны результатов, полученных автором:

1. Предложена оригинальная классификация артефактов батиметрических ЦМР, а также метод оценки степени выраженности артефактов батиметрических ЦМР.
2. Впервые получены конкретные количественные оценки точности математико-картографического моделирования находящихся в открытом доступе батиметрических ЦМР по выбранным эталонным участкам, включая оценки выраженности артефактов.

Новизна же предложенной автором «комплексной» методики оценки точности и качества математико-картографического цифрового моделирования рельефа дна океана весьма условна. По сути, эта методика является компиляцией хорошо известных методов и подходов к оценке точности цифровых моделей рельефа, в которой лишь составляющая, связанная с артефактами, является по-настоящему оригинальной компонентой, разработанной автором.

V. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов, рекомендаций и заключений

Исследование А. С. Абрамовой опирается на широкую теоретическую базу, включающую труды как отечественных, так и зарубежных ученых. Используемые ею методы хорошо известны и зарекомендовали себя в задачах оценки точности ЦМР. Применяемые ею подходы в общих чертах соответствуют тем целям и задачам, которые поставлены в диссертации. Выводы и заключения, сделанные в работе, обоснованы конкретными количественными результатами и картами оценок точности, соответствуют им. В то же время, достоверность полученных результатов не вполне убедительна в силу того что математический аппарат используемых в работе методов представлен слабо.

VI. Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации

Полученные в работе А. С. Абрамовой результаты будут полезны всем специалистам, которые работают с батиметрическими ЦМР. В частности, предложенные ею подходы позволят определить генезис и степень выраженности артефактов в общедоступных моделях такого вида. Помимо этого, полученные конкретные оценки точности батиметрических ЦМР на территорию западной Арктики ценны при проведении геоморфометрических исследований по тем же ЦМР, для которых даны оценки точности. Их знание позволит более точно рассчитать итоговую точность получаемых производных поверхностей.

VII. Заключение о соответствии диссертационной работы критериям, установленным положением о порядке присуждения ученых степеней

Диссертация А. С. Абрамовой представляет собой комплексное, завершенное, самостоятельное научное исследование, в котором на примере западной Арктики получены новые результаты оценки точности и качества математико-картографического моделирования рельефа дна океана.

Выполненное исследование в точности отвечает пункту 12 паспорта специальности 25.00.33 — Картография: Использование карт в науке и практике, картометрия, математико-картографическое моделирование, точность и надежность исследований по картам.

Результаты диссертационной работы А. С. Абрамовой отражены в ряде публикаций в журналах, индексируемых системами Web of Science и /или Scopus, а также входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов ВАК, были апробированы в рамках научных конференций в течение нескольких лет.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Замечания, высказанные в настоящем отзыве, не отменяют общего впечатления о том, что А.С. Абрамова провела большую исследовательскую работу, которая завершилась получением новых методических и практических результатов, в том числе с использованием уникальных полевых данных о рельефе морского дна.

Подводя общий итог, можно заключить, что диссертационная работа А. С. Абрамовой *«Методика оценки точности и качества математико-картографического моделирования рельефа дна океана (на примере Западной Арктики)»* соответствует требованиям Положения о порядке присуждении ученых степеней ВАК, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013, №842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, **Абрамова Анастасия Сергеевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.33 — Картография.**

Отзыв подготовлен доктором географических наук, профессором Лурье Ириной Константиновной; кандидатом географических наук, ведущим научным сотрудником Кошелем Сергеем Михайловичем; кандидатом географических наук, ведущим научным сотрудником Самсоновым Тимофеем Евгеньевичем; кандидатом географических наук, инженером Энтиным Андреем Львовичем. Обсужден и одобрен на заседании кафедры картографии и геоинформатики Географического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова, протокол заседания №14 от 12 мая 2021 г.

Декан географического факультета
МГУ имени М.В.Ломоносова,
доктор географических наук,
член-корреспондент РАН



Добролюбов
Сергей Анатольевич

Заведующий кафедрой
картографии и геоинформатики
географического факультета,
доктор географических наук,
профессор



Лурье
Ирина Константиновна

Ведущий научный сотрудник
кафедры картографии и геоинформатики,
кандидат географических наук



Кошель
Сергей Михайлович

Ведущий научный сотрудник
кафедры картографии и геоинформатики,
кандидат географических наук



Самсонов
Тимофей Евгеньевич

Инженер
кафедры картографии и геоинформатики,
кандидат географических наук



Энтин
Андрей Львович

Федеральное государственное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова»

Адрес: 119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1

Адрес официального сайта в сети «Интернет»: <http://www.msu.ru>

Адрес электронной почты: info@rector.msu.ru

Телефон: +7 (795) 939-10-00

Согласие на обработку персональных данных

Я, Добролюбов Сергей Анатольевич, даю свое согласие на включение своих персональных данных в аттестационное дело А. С. Абрамовой и их дальнейшую обработку

«13» мар 2021 г.



С. А. Добролюбов

Я, Лурье Ирина Константиновна, даю свое согласие на включение своих персональных данных в аттестационное дело А.С.Абрамовой и их дальнейшую обработку

«13» мар 2021 г.



И. К. Лурье

Я, Кошель Сергей Михайлович, даю свое согласие на включение своих персональных данных в аттестационное дело А. С. Абрамовой и их дальнейшую обработку

«13» мар 2021 г.



С. М. Кошель

Я, Самсонов Тимофей Евгеньевич, даю свое согласие на включение своих персональных данных в аттестационное дело А. С. Абрамовой и их дальнейшую обработку

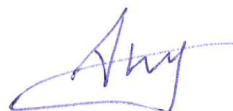
«13» мар 2021 г.



Т. Е. Самсонов

Я, Энтин Андрей Львович, даю свое согласие на включение своих персональных данных в аттестационное дело А. С. Абрамовой и их дальнейшую обработку

«13» мар 2021 г.



А. Л. Энтин