

### Отзыв официального оппонента

на докторскую диссертацию Харитонов Виктора Витальевича «ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ ТОРОСОВ ПО ДАННЫМ ТЕРМОБУРЕНИЯ» (Диссертация представлена на соискание ученой степени доктора технических наук, научная специализация: 1.6.17. Океанология)

Диссертационная работа Харитонов Виктора Витальевича посвящена исследованию внутреннего строения ледяных образований (торосов и стамух) на основе метода термобурения. Научная значимость темы определяется необходимостью объективной количественной оценки вклада торосистых образований в суммарный баланс объема арктического морского льда, что принципиально важно в современных условиях, когда этот объем постепенно сокращается. Насколько наблюдаемые изменения объема морского льда в Арктике обусловлены термодинамическими факторами (таяние/замерзание), насколько динамическими (вынос в сопредельные бассейны или региональная аккумуляция), а насколько деформацией ледяного покрова (торошение/распльвы) на сегодняшний день является предметом дискуссий. Прикладной аспект диссертационной работы связан с опасностью торосов и стамух для навигации и морской инженерной инфраструктуры – нефтедобывающих платформ, трубопроводов, терминалов и др. Таким образом, тема диссертации безусловно является актуальной, как для фундаментальной климатической науки, так и для информационного обеспечения хозяйственной деятельности в российских арктических морях в условиях постепенного нарастания интенсивности такой деятельности.

Несомненным достижением соискателя является разработка технических средств для получения информации о внутреннем строении торосов и стамух, развитие методов обработки и анализа получаемой информации и последующего практического применения созданного инструментария при проведении полевых работ, что позволило постепенно совершенствовать методы обработки и анализа получаемых данных. Построение диссертационной работы является логичным и стройным, что обеспечивает естественную взаимосвязь отдельных глав. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Общий объем текста составляет 298 страниц, включая 141 рисунок и 23 таблицы. Список использованных источников включает 246 наименований, в том числе 117 на английском языке.

Во **Введении** обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, определена его научная новизна, фундаментальная и практическая значимость, дана оценка достоверности полученных результатов, и приведены сведения о личном вкладе автора, апробации работы, публикациях по теме диссертации и о структуре диссертации.

В **Главе 1** рассмотрено современное состояние исследований торосов и стамух, включая вопросы изученности, техники и методов обработки получаемых данных. Описаны основные

структурные особенности торосов, известные из полевых наблюдений. Отдельно выделены остающиеся нерешенными проблемы исследования структуры торосов и стамух, решение которых в значительной степени содержится в последующих разделах диссертации. Изложены принципиальные основы метода исследования торосов с помощью бурения. Проанализированы достоинства и недостатки существующих методов термобурения, обоснованы преимущества водяного термобурения перед электрическим и, представлены физические основы методики исследования торосов с помощью термобурения. В частности показано, что скорость бурения обратно пропорциональна объемному содержанию твердой фазы льда, что обеспечивает принципиальную основу методики исследования торосов с помощью данной технологии. Описана последовательность разработки и создания технических средств для теплового бурения льда с записью параметров бурения и приведены общий вид и схема установки для электротермобурения льда с записью скорости бурения. Также подробно описан и проиллюстрирован процесс бурения и роль отдельных элементов буровой установки в достижении требуемого результата. Приведено описание выполненных соискателем экспериментов, с целью выяснения времени замерзания скважины в образцах льда различной солености при различной температуре. Описана методика бурения горячей водой и рассмотрены основные технические характеристики установки водяного бурения льда. Представлены результаты испытаний, проведенных соискателем в ледовом бассейне АНИИ, в задачу которых входило создание разнообразных моделей ледяных образований с различной структурой и характеристиками с целью выявления изменений скорости бурения в зависимости от физико-механических характеристик льда. В отдельном подразделе описана методика резания льда горячей водой, применяемая при комплексном исследовании торосистых ледяных образований для выполнения экспериментов по прочностным характеристикам ледяного покрова. Представлена экспериментальная проверка зависимости скорости термобурения от физических характеристик льда, веса термобура и наличия грязевых включений во льду. В целом, на основе материалов, представленных в Главе 1, решена проблема разработки специальных средств и методов, позволяющих одновременно с проникновением внутрь торосистого образования, получить характеристики его внутреннего строения, что может быть квалифицировано, как создание нового класса технических средств термобурения для определения морфометрических параметров ледовых образований.

В **Главе 2** представлена разработанная соискателем методология исследования торосистых образований на основании материалов, полученных представленными в Главе 1 техническими средствами. В отдельных подразделах данной главы подробно рассмотрены: методика обработки записей скорости бурения, методика определения расположения границ консолидированного слоя (КС), методика определения расположения границы льда и грунта

при исследовании стамух, визуализация внутреннего строения тороса с использованием зависимости между скоростью термобурения и объемного содержания твердой фазы льда (VCI). В заключении к данной главе обобщены основные методические результаты, полученные лично соискателем и при его непосредственном участии. Предложена методика определения по записи скорости погружения термобура границ участков плотного льда, рыхлого льда и пустот при тепловом бурении торосов и стамух. При участии автора предложены несколько методик определения границ консолидированного слоя: по записи скорости бурения, измерению давления воды в скважине, измерению солёности талой воды, с откачкой талой воды по переходу от воздушно-водяной смеси к постоянному потоку воды. Предложена методика определения расположения границы льда и грунта при исследовании стамух. Сформулированы методические основы определения обобщенных характеристик внутреннего строения торосов, в частности объемного содержания твердой фазы льда. При участии автора разработаны и внедрены две модификации термозонда для экспресс-измерения температуры тороса с целью определения расположения нижней границы консолидированного слоя тороса. Получена функциональная связь скорости бурения и локальной прочности льда. Установлено, что определенной скорости термобурения соответствует диапазон локальной прочности льда, а при возрастании прочности льда и уменьшении скорости бурения диапазон изменения характеристик прочности льда увеличивается и понижается соответствие прочности скорости бурения. Впервые автором применена новая методика исследования строения торосов, представляющая собой бурение скважин с записью скорости вдоль перпендикулярно секущего гребень тороса профиля с различным интервалом между скважинами.

В **Главе 3** представлены результаты экспериментальной проверки разработанных соискателем методов для российских морей с постоянным и сезонным ледяным покровом. В заключительной части данной главы проанализированы и обобщены данные о морфометрии и внутреннем строении однолетних торосов, полученные в экспедиционных исследованиях с участием автора, а также уже в опубликованные ранее обзорах. Сделан вывод, что многолетняя экспериментальная проверка метода исследования внутреннего строения торосов на основе технологии термобурения подтвердила адекватность и достоверность получаемых результатов, а выбранный метод позволяет получить новую, надежную информацию при комплексной взаимосвязи с другими методами исследования.

В **Главе 4** исследованы закономерности строения торосов и их временной эволюции. Показано, что изменение толщины консолидированного слоя внутри тороса связано с изменением толщины кила. На примере статистической обработки массива данных о геометрических характеристиках и толщине консолидированного слоя торосов

проиллюстрировано, что по мере удаления от точки на поперечном сечении тороса, где киль имеет максимальную осадку, на периферию тороса толщина консолидированного слоя также уменьшается. Установлено, что в неконсолидированном киле наблюдается общее уплотнение льда и уменьшение пористости по мере приближения к поверхности воды (зоне образования консолидированного слоя). Обнаружено, что в результате формирования типичного тороса, еще до образования консолидированного слоя в области наибольшего килля зона низкой пористости является наиболее протяженной по глубине, а по мере удаления от точки максимального килля наблюдается сужение этой зоны. По результатам обработки и осреднения большого количества записей бурения торосов представлена в графическом виде зависимость пористости от глубины. Выделена общая тенденция увеличения пористости с высотой в парусе и с глубиной в киле тороса. На глубине ниже уровня моря наблюдается излом линии пористости. Выше этого излома характер осредненной линии пористости определяется распределением положения нижней границы консолидированного слоя, а ниже этого излома – распределением блоков льда неконсолидированной части килля. Пористость неконсолидированной части килля торосов увеличивается с глубиной. Выявлена зависимость пористости в нижней части килля от соотношения длины и толщины блоков льда, составляющих торос. Установлена связь уплотняемости с толщиной и средней температурой торосающегося льда. Впервые повторно, с интервалом в одиннадцать месяцев исследовано внутреннее строение выбранного тороса, что позволило уточнить существующие представления об эволюции размеров и строения торосов. Нельзя не согласиться с соискателем, что уникальность этого результата позволяет рассматривать исследованный торос как контрольный образец для проверки гипотез эволюции тороса.

**В Заключение** представлены основные выводы диссертационного исследования.

В диссертации имеется следующие недостатки:

- Утверждения, выносимые на защиту, сформулированы нетрадиционно (стр. 7). В соответствии с определением, эти утверждения должны содержать некое новое знание (или новую технологию), достоверность (практическую применимость) которого (которой) соискатель защищает на основе результатов выполненного исследования. Например, второе утверждение соискателя корректнее было бы сформулировать следующим образом: «Разработана методика получения информации о внутреннем строении торосистых образований ....». Третье утверждение следовало бы расширить и конкретизировать, т.е. явно указать какие именно «неизвестные ранее закономерности пространственных изменений толщины консолидированного слоя и пористости килля тороса» были установлены в результате исследования соискателя.

- Трудно согласится с мнением автора, что представленная диссертация находится «на стыке техники и географии» (стр. 6). «Географичность» работы достаточно формальна и определяется только различными районами проведения полевых исследований. Реальная географическая «привязка» диссертации могла бы состоять в выявлении сходств и различий торосистых образований в различных морях и возможной связи параметров торосов с атмосферными и гидрологическими условиями, чего в работе нет.

Указанные недостатки не являются принципиальными и не снижают общей высокой оценки диссертационной работы.

### **Заключение по диссертации**

Докторская диссертация Харитонов Виктор Витальевича «ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ ТОРОСОВ ПО ДАННЫМ ТЕРМОБУРЕНИЯ» представляет собой законченное научное исследование, в котором на основе оригинальных исследований соискателя представлены обоснованные выводы, совокупность которых может быть квалифицирована как решение крупной научно-технологической задачи. Исследование выполнено соискателем самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты, свидетельствующие о личном вкладе автора диссертации в науку. Основные научные результаты опубликованы, в диссертации автор правильно ссылается на цитируемые источники, заимствованные материалы и их авторов. Таким образом, считаю, что диссертационная работа Харитонов Виктор Витальевича «ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ ТОРОСОВ ПО ДАННЫМ ТЕРМОБУРЕНИЯ» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11. 2021 г. № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», а соискатель Харитонов Виктор Витальевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 1.6.17 - Океанология. Пункты 9 и 11 указанного Приказа соискателем не нарушены.

Член диссертационного Совета,  
главный научный сотрудник кафедры океанологии географического факультета  
Московского Государственного университета им. М.В. Ломоносова,  
доктор физико-математических наук



Иванов Владимир Владимирович

Подпись В.В. Иванова заверяю:

Декан географического  
факультета МГУ  
С.А. Додрашобов

