

## О Т З Ы В

официального оппонента

на диссертационную работу Цыденова Баира Олеговича

“Численное моделирование эффекта весеннего термобара в глубоком озере”,  
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических  
наук по специальности 01.02.05 – “Механика жидкости, газа и плазмы”

На оппонирование представлена диссертационная работа на 145 листах, включающая 81 рисунок и 149 наименований используемых литературных источников. Диссертация состоит из введения, пяти глав основной части, заключения и списка используемой литературы.

Работа посвящена вопросам разработки комплексной математической модели и эффективного численного метода для воспроизведения и исследования особенностей гидродинамических процессов, сопровождающих весенний термобар в глубоком озере.

Вертикальный водообмен играет важную роль в функционировании экосистемы глубоких водоемов, поскольку благодаря ему происходит насыщение кислородом и минеральными веществами глубинных слоев. В результате такого довольно устойчивого процесса обновления глубинных вод относительное насыщение придонных слоев растворенным кислородом составляет около 80%. Однако, механизм этого обновления до конца не изучен. Кроме этого, вертикальный водообмен часто рассматривают как явление, которое может оказать существенное влияние на процессы распространения загрязнения в водоёме.

Современные средства измерения позволяют выполнять достаточно детальные исследования различных процессов, протекающих в глубинных водах водоёма. Возможные механизмы интенсивно обсуждаются на многих конференциях и в печатных работах. Существуют гипотезы, когда в качестве такого механизма рассматривают вынужденную конвекцию, вызванную наличием притока с водами более высокой плотности, чем в водоёме. Представляют бесспорный интерес исследования процессов водообмена с помощью математических моделей, которые могли бы помочь при анализе предлагаемых гипотез.

В данной работе выполнено численное моделирование нестационарного течения для реальных условий южного бассейна озера Байкал, рассмотрен процесс распространения загрязняющих веществ под действием механизмов естественной конвекции, порождаемых речным термобаром.

**Актуальность темы**, прежде всего, определяется необходимостью создания новых высокоэффективных методов прогнозирования и мониторинга состояния экосистемы водоёма, что позволит оценить возможные масштабы загрязнения. Особый научный и практический интерес вызывают исследования механизмов

естественной конвекции, участвующих в гидродинамических процессах экосистемы водоёмов. Особое внимание уделяется данной тематике в последние годы в связи с проблемой взаимодействия человечества с окружающей средой. Загрязнение водоёмов с пресной водой ведёт к истощению водных ресурсов. Понимание природных механизмов озёрной гидродинамики необходимо для правильного выбора стратегии предотвращения загрязнения воды. Сегодня математика является основным методом теоретического исследования и практическим орудием в естествознании и технике, без математики совершенно невозможно проводить серьезные научные и инженерные расчеты. Очень часто проведение полномасштабного натурного эксперимента сопряжено с губительными или непредсказуемыми последствиями для исследуемой экосистемы, или с опасностью для жизни людей. В этих случаях вычислительный эксперимент может стать основным средством исследования.

**Степень обоснованности научных положений**, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается строгостью математических выкладок и соответствием физических постановок рассматриваемых задач фундаментальным законам и постулатам.

**Достоверность** получаемых в диссертации результатов полностью обеспечивается широко представленными вариантами тестовых расчетов имеющих течений, хорошим согласование полученных решений с известными экспериментальными данными и численными результатами других авторов.

**Научная новизна** полученных в работе результатов подтверждается уровнем решаемых задач. Основные результаты диссертационной работы формулируются следующим образом: разработана новая негидростатическая модель для исследования закономерностей гидродинамических процессов в крупном озере; при расчете течения с учетом плавучести, для согласования рассчитываемых полей скорости и давления, используется новая эффективная процедура; с помощью разработанной математической модели получены численные результаты для озера Камлупс, которые соответствуют описаниям натуральных наблюдений; получены результаты численных расчётов весеннего речного термобара и связанных с ним распространением концентрации загрязняющих веществ в озере Байкал с учётом реальных морфометрических, метеорологических, гидрохимических условий исследуемого региона.

**Практическую значимость** выводов и результатов, полученных в диссертации, можно оценить как существенную, с учетом следующих рекомендаций по их использованию. Созданная математическая модель может быть использована для оценки гидротермодинамической картины движения водных масс в период существования речного термобара, а так же для прогноза возможной картины

распространения загрязняющих веществ под действием сил естественной конвекции, что является важным с точки зрения прогнозирования экологического состояния воды в озере. Представленная модель позволяет оценить условия, при которых возможно возникновение явления термобара, что важно при решении задач рационального природопользования.

**По содержанию диссертационной работы** в целом хочется отметить следующее. Основные научные результаты опубликованы в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, внесенных в Перечень журналов и изданий, утвержденных Высшей аттестационной комиссией. В диссертации в полной мере выполняется требование по оформлению ссылок на авторов и источники, откуда заимствуются материалы или отдельные результаты. Содержательная часть диссертации показывает, что работа написана единолично, содержит совокупность новых научных результатов и положений, выдвигаемых автором для публичной защиты, имеет внутреннее единство, а так же свидетельствует о личном вкладе соискателя в науку.

В диссертации соблюдены все необходимые **принципы**:

- полученные результаты полностью соответствуют поставленной цели и задачам;
- содержание автореферата соответствует содержанию диссертации;
- содержание диссертации соответствует содержанию и качеству опубликованных работ;
- тема диссертации соответствует заявленной научной специальности.

Вместе с этим нельзя не отметить и некоторые недостатки, которые, впрочем, не являются существенными для общей положительной оценки рассматриваемой работы.

В качестве замечаний можно указать:

- во второй главе уравнения представлены в размерном виде, но нет единой системы размерности, в уравнении (2.7) одновременно используются  $кг/м^3$ ,  $г/кг$ ,  $^0С$ ,  $бар$ ;
- во второй главе нет четкого обоснования равенства между собой коэффициентов диффузии для уравнений количества движения, энергии, солености, концентрации примеси;
- во второй главе, при рассмотрении созданной математической модели, большинство ссылок на используемую литературу имеют год издания в прошлом веке;
- результаты расчетов в четвертой и пятой главе показывают большие градиенты исследуемых переменных в придонной области, около твердой поверхности, поэтому использование равномерной сетки является не совсем оправданной.


В целом, рассматриваемая диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится решение задачи, имеющей значение для развития знаний о функционировании экосистемы глубоких водоемов, что полностью соответствует п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней. Полученные в ней результаты имеют несомненное научное и практическое значение. По актуальности, научной новизне, практической значимости, объему выполненных исследований, количеству и объему публикаций она удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

Автор диссертации, Цыденов Баир Олегович, вполне достоин ученой степени кандидата физико-математических наук по этой специальности.

Официальный оппонент Брендаков Владимир Николаевич, доцент, кандидат физико-математических наук, заведующий кафедрой «Высшей математики и информационных технологий» Северского технологического института – филиала Национального исследовательского ядерного университета МИФИ, Северск Томской области, пр. Коммунистический 65, раб. тел. 8 (3823)-780-188, e-mail: vnbrendakov@mephi.ru

Подпись Брендакова В.Н. подтверждаю,  
Руководитель СТИ НИЯУ МИФИ  
д.т.н., профессор



  
24.04.2014 г

А.Н. Жиганов