

**Заключение диссертационного совета Д.002.040.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института водных проблем Российской академии наук (ИВП РАН) по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета Д.002.040.01 от 28.03.2019 №8/2019

О присуждении **Асламову Илье Александровичу** (гражданину РФ) ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация **«Теплообмен на границе вода-лед и структура подледного слоя воды в озере Байкал»** по специальности 25.00.27 — Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия **принята к защите 24.01.2019г.** (протокол № 4/2019) диссертационным советом Д.002.040.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института водных проблем Российской академии наук (119333, Москва, ул. Губкина, дом 3, в соответствии с приказом Министерства образования и науки РФ №105/нк от **11.04.2012** г. диссертационный совет Д.002.040.01 признан соответствующим Положению о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук). Состав совета утвержден приказом Министерством науки и высшего образования Российской Федерации № 377/нк от 20 декабря 2018 года.

Соискатель **Асламов Илья Александрович** 1984 года рождения, в 2005 году **окончил** кафедру радиоп физики и электроники физического факультета Иркутского государственного университета по специальности «радиофизика и электроника», **учился** в аспирантуре ЛИН СО РАН с 2005 по 2008 гг. по

специальности 25.00.27 «Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия», **работает** в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Лимнологическом институте Сибирского отделения Российской академии наук в должности научного сотрудника.

**Диссертация выполнена** в Лаборатории гидрологии и гидрофизики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Лимнологического института Сибирского отделения Российской академии наук.

**Научный руководитель** – кандидат географических наук (специальность 11.00.07), Гранин Николай Григорьевич, заведующий Лабораторией гидрологии и гидрофизики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Лимнологического института Сибирского отделения Российской академии наук.

**Научный соруководитель** - доктор физико-математических наук (специальность 01.01.02), профессор Казаков Александр Леонидович, г.н.с. Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова Сибирского отделения Российской академии наук

**Официальные оппоненты:**

1. Показеев Константин Васильевич, Россия, доктор физико-математических наук по специальности 11.00.08, профессор, заведующий кафедрой, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», физический факультет, кафедра физики моря и вод суши

2. Степанова Евгения Вячеславовна, Россия, кандидат физико-математических наук по специальности 01.02.05, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт

проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской Академии Наук (ИПМех РАН, г. Москва), лаборатория геомеханики  
**дали положительные отзывы на диссертацию.**

**Ведущая организация** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГиЛ СО РАН, г. Новосибирск) в своем **положительном заключении**, составленным заведующим лабораторией экспериментальной прикладной гидродинамики ИГиЛ СО РАН д.ф.-м.н. Е.В. Ерманюком, подписанным директором ИГиЛ СО РАН, д.ф.-м.н. С.В. Головиным, указала, что диссертация Асламова И.А. представляет собой завершенную научно-исследовательскую работу в области комплексных натурных исследований массо- и теплообменных процессов на границе вода-лёд в крупных пресноводных водоемах. Диссертация органично сочетает решения сложных задач, разработки методики, средств измерений и сбора данных, проведения комплексного мониторинга на натурных объектах, математической обработки больших массивов данных, разработки и верификации математической модели изучаемого явления. Диссертационная работа характеризуется полнотой, завершенностью и систематическим подходом к исследованию и изложению материала, обладает несомненной актуальностью, и высокой научной и практической значимостью.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается** их высокой научной квалификацией и большим авторитетом в той области знаний, к которой предметно относится рассматриваемая диссертационная работа.

**Соискатель имеет 19 опубликованных работ** по теме диссертации общим объемом 10 печатных листов, в том числе 7 статей в научных журналах

и изданиях, которые включены в перечень российских рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций. 12 работ опубликовано в материалах российских и международных конференций.

**Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:**

В рецензируемых журналах:

1. **Асламов И.А.** Универсальный программируемый модуль для сбора, обработки и хранения информации с локально-распределенных систем на базе 1-wire шины // Вестник ИрГТУ. – 2007. – Т. 2 (30).– № 2. – С. 74-76.

2. **Асламов И.А.,** Козлов В.В., Мизандронцев И.Б., Кучер К.М., Макаров М.М., Горнов А.Ю., Гранин Н.Г. Автоматизация инженерно-гидрологических испытаний// Современные технологии. Системный анализ. Моделирование.– 2010. – № 3(27). – С. 132-139.

3. **Aslamov I.A.** Kozlov V.V., Kirillin G.B., Mizandrontsev I.B., Kucher K.M., Makarov M.M., Gornov A. Yu., Granin N.G. Ice-water heat exchange during ice growth in Lake Baikal // Journal of Great Lakes Research. – 2014. – 40(3). – P. 599-607.

4. **Асламов И.А.,** Козлов В.В., Мизандронцев И.Б., Кучер К.М., Гранин Н.Г. Оценка потока тепла на границе вода-лед на Байкале по экспериментальным данным. // ДАН. – 2014. – 457(4). – P. 477-480.

5. **Асламов И.А.,** Козлов В.В., Кириллин Г.Б., Мизандронцев И.Б., Кучер К.М., Макаров М.М., Гранин Н.Г. Исследование теплового потока и структуры подледного слоя воды на границе со льдом в Южном Байкале. // Водные ресурсы.– 2017.–№ 44(3). – С.296-310.

6. Kirillin G., **Aslamov I.A.**, Leppäranta M., Lindgren E. Turbulent mixing and heat fluxes under lake ice: the role of seiche oscillations // Hydrology and Earth System Sciences. – 2018. – V. 22. – № 12. – P. 6493–6504. DOI: 10.5194/hess-22-6493-2018.

7. Гранин Н.Г., Мизандронцев И.Б., Козлов В.В., Цветова Е.А., Гнатовский

Р.Ю., Блинов В.В., **Асламов И.А.**, Кучер К.М., Иванов В.Г., Жданов А.А. Кольцевые структуры на ледовом покрове озера Байкал: анализ экспериментальных данных и математическое моделирование // Геология и геофизика. – 2018. – Т. 59. – № 11. – С. 1890-1903.

На диссертацию и автореферат поступило **три отзыва без замечаний**, которые предоставили:

1. Казанцев С.А. — к.т.н., с.н.с. лаборатории естественных геофизических полей ФГБУН ИНГГ СО РАН.
2. Ингель Л.Х. — д.ф.-м.н., в.н.с. ФГБУ «НПО «Тайфун».
3. Цветова Е.А. — к.ф.-м.н., в.н.с. лаборатории математического моделирования гидродинамических процессов в природной среде ИВМиМГ СО РАН.

На диссертацию и автореферат поступило **шесть отзывов с замечаниями и пожеланиями**, которые предоставили:

1. Большаков А.А. (д.т.н., профессор, профессор кафедры САПРиУ СПбГТИ(ТУ)). Замечания к работе:

- Не приведено исследование обратной задачи Стефана для определения эффективной температуропроводности на корректность постановки по Адамару.
- Целесообразно зарегистрировать полученные результаты как объект интеллектуальной собственности в Роспатенте РФ: способ и устройство измерения толщины льда, а также универсальный программируемый модуль для сбора, обработки и хранения информации с локально-распределенных систем в виде программы для ЭВМ.

2. Богданов С.Р., (д.ф.-м.н., в.н.с. лаборатории гидрофизики ИВПС КарНЦ РАН). Замечания к работе:

- На Рис. 60 приведена рассчитанная зависимость скорости диссипации  $\varepsilon$  от глубины, начиная с расстояний в несколько сантиметров ото льда.

Однако справедливость оценок  $\varepsilon$  для малых глубин весьма спорна: протяженность инерционного интервала достигала 0,4 м, и, поскольку это значение можно рассматривать как пороговое для выполнения условия локальной однородности, оценки на меньших по значению глубинах весьма условны. Кроме того, в пограничном слое турбулентность анизотропна, и оценки  $\varepsilon$ , выполненные по продольной корреляционной функции, могут приводить к значительным погрешностям.

- Возникают вопросы к приведенным в главе 5 «прямым количественным оценкам интенсивности перемешивания» и, соответственно, к строгости определяемых понятий. Указанные оценки в основном увязаны с параметром  $\varepsilon$ , однако в строгой постановке «эффективность перемешивания» (*mixing efficiency*) определяется по скорости диссипации  $\varepsilon_p$  потенциальной энергии.
- Вывод автора об определяющей роли сдвиговой неустойчивости в зимнем переносе тепла представлялся бы более убедительным, если бы в работе были представлены количественные оценки таких важнейших параметров, как  $Ri$  и  $Re_b$ , с последующим расчетом коэффициента турбулентной диффузии на основе соотношения Осборна. Следует также иметь в виду, что в некоторых новейших публикациях (см., например, Yang, B., Young, J., Brown, L., & Wells, M. (2017). High-frequency observations of temperature and dissolved oxygen reveal under-ice convection in a large lake. *Geophysical Research Letters*, 44, 12,218–12,226. <https://doi.org/10.1002/2017GL075373>) представлены альтернативные выводы о механизмах зимнего теплообмена в крупных озерах, так что вопрос о значимости различных механизмов (включая радиационную конвекцию) генерации турбулентности и передачи тепла все же открыт.
- Оценки потока тепла, выполненные на основе использования Колмогоровских диссипативных масштабов, несколько эклектичны.

Остается неясным, в частности, содержание основной гипотезы: пропорционален ли поток Колмогоровской скорости или обратно пропорционален диссипативному масштабу? Не лишними в данном разделе были бы оценки и других определяющих масштабов: Ozmidova  $L_O = (\varepsilon/N^3)^{1/2}$  и Болджиано  $L_B = \varepsilon^{5/4} \varepsilon_g (\beta g)^{-3/2}$

- Из текста на с. 72 не совсем ясно, как аппроксимировалась зависимость эффективной температуропроводности воды от  $z$  при решении прямой задачи Стефана? Приведены лишь значения  $a_{ef}$  для трех горизонтов.
- Работа хорошо структурирована, основные положения четко сформулированы, для текста характерен ясный стиль. В то же время в материале есть опечатки и неточности, которые в ряде случаев искажают смысл:

С. 55. ... Динамика изменения толщины ледового покрова  $\xi(t)$ , рассчитанная по модели (1) - (7) для станций 1 и 2...

С. 58. средний вертикальный градиент в верхних 10 метрах составлял  $0.6^\circ\text{C}...$  ? Хотя из Рис. 31 – понятно.

С. 93. Исходя из пропорциональности  $2/3$  верхняя граница инерционного интервала достигала 0.1-0.4 м, в то время как меньшие значения соответствовали более сильным флуктуациям (рис. 59). ???

С. 94. Как и скорости диссипации ТКЭ, профили средних скоростей течений имеют логарифмический характер, ???

С. 67. Рис. 44. Подпись не соответствует содержанию.

3. Коротенко К.А. (д.ф.-м.н., главный научный сотрудник лаборатории морской турбулентности ФГБУН «ИОРАН»). Замечания к работе:

- 1. В работе (Wiles et al., 2006) описан метод определения диссипации ТКЭ по лучам 4-х лучевого доплеровского профилографа скорости (ADCP). При этом важным вначале было определением пространственной однородности турбулентности как критерия, без чего

применять метод структурных функций нельзя. При применении однолучевого прибора, каким, как следует из описания, является «HR Aquadorp» необходимо привлекать дополнительные сведения о структуре турбулентного течения. В автореферате нет этого анализа, возможно, он есть в диссертации.

- 2. Судя по скорости, представленной в рис. 11а, в подледном подслое воды 0-0.3 стратификация должна подавлять турбулентность, однако по величине скорости диссипации этого не видно. Возможно, что автор неудачно выбрал цветовую гамму на рис. 11в.
- 3. Для сравнения в рис. 11 можно бы добавить также профили сдвига скорости и/или числа Ричардсона, тогда причины изменчивости величины диссипации можно было бы легко обосновать.
- 4. В стратифицированном подледном подслое баланс, описываемый ур. (3), неочевиден. Более того при неоднородной шероховатости нижней поверхности льда турбулентность может быть нелокальной, т.е. она может приноситься в точку измерения адвекцией из удаленной более шероховатой части подледного слоя воды. Поэтому упрощение уравнения баланса до ур. (3) надо обосновывать.

4. Мизандронцев И.Б. (д.г.н., с.н.с. лаборатории гидрохимии и химии атмосферы ФГБУН Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук). Замечания к работе:

- Диссертант при описании структуры подледного пограничного слоя исходит из схемы Кармана, согласно которой на контакте жидкости с твердой поверхностью существует ламинарный подслой. На стр. 14 автореферата говорится: «На полученных профилях можно выделить *вязкий ламинарный подслой...*». То же на стр.22 : «Определена толщина *вязкого ламинарного слоя* подледной воды...» (курсив мой- И.М.). Следует четко различать строго ламинарный подслой (гипотеза Прандтля, схема Кармана) и вязкий подслой, в котором, по гипотезе



Ландау, Лифшица (1944) и Левича (1943), при переходе от буферного слоя «турбулентное движение не исчезает внезапно, но постепенно затухает по мере приближения к стенке» (Левич, 1956, стр.38). Теория вязкого подслоя Стернберга (Sternberg, 1962) описывает поле действия турбулентности между стенкой и полностью турбулентной частью течения.

5. Науменко М.А. (д.г.н., профессор, заведующий лабораторией географии и гидрологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт озероведения РАН.). Замечания к работе:

- возникает некоторое недоумение по поводу соотношения количества рисунков (77 рис.) и общего объёма диссертации (130 стр.). Вместе с этим, автореферат перегружен фактическими данными, которые должны были быть обобщены в выводах. Выводы, к сожалению, не достаточно полно отражают полученные результаты.
- следует указать на стилистические неточности и шероховатости, например, “слабость течений”, или “ в воду излучается модулированная акустическая посылка”.

6. Белоненко Т.В. (д.г.н., профессор кафедры океанологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»). Замечания к работе:

- В качестве небольшого замечания можно отметить погрешности в тексте реферата, например, использование странной для океанолога размерности солёности в виде г/кг (стр. 3), так как в автореферате не указано, как это соотносится с единицами «‰» (промилле) или PSU (Practical Salinity Units) практической шкалы солёности, используемой в TEOS-10.

**Все отзывы положительные, в отзывах с замечаниями указано, что указанные замечания не снижают научно-квалификационного уровня и научной значимости работы.**

**В дискуссии приняли участие:** доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией гидродинамики ИВП РАН Валерий Николаевич Зырянов; доктор технических наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией динамики русловых потоков и ледотермики ИВП РАН Владимир Кириллович Дебольский; научный руководитель ИВП РАН, доктор экономических наук, член-корреспондент РАН Виктор Иванович Данилов-Данильян; доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник лаборатории гидродинамики ИВП РАН Михаил Абрамович Соколовский.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**предложен** новый принцип измерения толщины льда и скорости его нарастания, **разработана** оригинальная аппаратура для регистрации гидрометеорологических параметров в системе атмосфера-лед-вода с высоким пространственным и временным разрешением;

**получены** уникальные комплексные данные о структуре пограничного слоя вода – лёд в условиях реальных водоемов (на примере оз. Байкал и оз. Килписьярви (Финляндия)), при разных уровнях заснеженности льда, величинах объёмного поглощения проникающей солнечной радиации, значениях подлёдной температуры и скорости течений;

**разработана и верифицирована** математическая модель теплообмена в системе вода-лед, являющаяся обобщением задачи Стефана для системы нелинейных параболических уравнений теплопереноса;

**предложена** методика определения тепловых потоков на границе вода-лед на основе полученных экспериментальных данных;

**обнаружено**, что толщина подлёдного ламинарного слоя на Байкале значительно меньше, чем в малых озерах.

**Теоретическая значимость** исследования обоснована тем, что:

В работе **впервые экспериментально получены** детальные характеристики пограничного слоя вода – лёд и **определены** тепловые потоки на границе фазового перехода при различных гидрометеорологических условиях. Для оценок тепловых потоков на границе вода – лёд **впервые** были использованы разные методы расчета: по толщине льда и тепловому потоку во льду, по градиенту температуры в ламинарном слое, по течениям и турбулентному обмену в подлёдном слое воды, по решению обратной задачи Стефана о росте ледового покрова. **Результаты**, полученные в диссертационной работе, **дают** уникальный экспериментальный материал для последующих теоретических разработок, **углубляют** наши представления о физике процессов, **улучшают** имеющиеся модели эволюции ледового покрова озера, **указывают** на значительную роль подледных течений в процессах передачи энергии из воды в лед.

**Значение** полученных соискателем **результатов** исследования для **практики** подтверждается тем, что **разработанное оборудование** позволяет дистанционно получать экспериментальные данные о динамике роста льда и распределении температуры в системе атмосфера-лед-вода. Полученные натурные данные могут служить основой для улучшения существующих и построения новых физических и численных моделей реальных водоемов, необходимых для гидрофизических и экологических исследований, мониторинга состояния природной среды, коррекции хозяйственной деятельности и предупреждения чрезвычайных ситуаций. **Предложенные методики** дают возможность напрямую рассчитывать потоки тепла на границе фазового перехода по экспериментальным данным. **Полученные результаты** могут быть использованы при проведении комплексных научных исследований различных ледовых объектов, в том числе арктического региона. Исследования

относятся к области рационального природопользования, которая является **приоритетным направлением развития науки в РФ.**

**Оценка достоверности** результатов исследования **выявила обоснованность и достоверность** положений и выводов представленной диссертационной работы. Степень достоверности основных научных положений и результатов работы обеспечивается применением оригинальной измерительно-регистрирующей аппаратуры с высокой разрешающей способностью, откалиброванной по поверенным приборам, большим объемом накопленного экспериментального материала, согласованностью результатов, полученных разными методами, включая математическое моделирование, между собой и с опубликованными данными других исследователей.

**Личный вклад** соискателя **состоит** в непосредственном участии во всех этапах диссертационной работы: разработке и изготовлении уникальных аппаратно-программных комплексов, в планировании и проведении лабораторных испытаний и полевых исследований, обработке и анализе натуральных данных, в обсуждении и интерпретации полученных результатов, а также соискателем уточнена и верифицирована математическая модель нарастания ледового покрова, и предложен ряд методик определения потока тепла на границе вода-лед по данным измерений.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследования, а также концептуальностью и взаимосвязью выводов. Диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых

степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г.

**На заседании 28 марта 2019 г. диссертационный совет Д.002.040.01 при ИВП РАН принял решение присудить Асламову Илье Александровичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.27 — Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия.**

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 23 человека (из них 4 доктора наук по специальности 25.00.36 и 19 докторов наук по специальности 25.00.27), участвовавших в заседании, из 30 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 23, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель Диссертационного совета

д.э.н., чл.-корр. РАН



В.И. Данилов-Данильян

Ученый секретарь Диссертационного совета

д.ф.-м.н.

М.А. Соколовский

«28» марта 2019 г.