

Минобрнауки России
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки
**Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр
Российской академии наук»
(КарНЦ РАН)**

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор КарНЦ РАН
член-корр. РАН

О.Н. Бахмет

« *августа* » 20 22 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОСТИ СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ ЖИДКОСТИ»**

НАУЧНАЯ СПЕЦИАЛЬНОСТЬ

1.6.16. ГИДРОЛОГИЯ СУШИ, ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ, ГИДРОХИМИЯ

г. Петрозаводск

2022

Разработчик: Богданов Сергей Рэмович, ведущий научный сотрудник ИВПС КарНЦ РАН,
доктор физико-математических наук, доцент.

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения программы аспирантуры

Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины:

Формулировка компетенции	Планируемые результаты обучения (индикаторы достижения компетенции)
Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	<p>Знать: текущее состояние современных научных достижений в области тепломассообмена.</p> <p>Уметь: использовать современные методы обработки и анализа экспериментальных данных, генерировать новые идеи при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.</p> <p>Владеть: способностью к анализу и оценке современных научных достижений.</p>
Готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач	<p>Знать: текущее состояние современных научных достижений в области тепломассообмена.</p> <p>Уметь: вести научно-исследовательскую деятельность.</p> <p>Владеть: современными методами и технологиями научной коммуникации на государственном и иностранном языках организационными, коммуникативными навыками, позволяющими осуществлять работу в исследовательских коллективах широкого профиля.</p>
Владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности	<p>Знать: текущее состояние методологии научных исследований, современных научных достижений.</p> <p>Уметь: Осуществлять теоретические и экспериментальные исследования на современном уровне.</p> <p>Владеть: навыками обработки информации и анализа полученных данных, основными методами научных исследований, навыками проведения вычислительного эксперимента.</p>
Владение культурой научного исследования, в том числе с использованием современных информационно-коммуникационных технологий	<p>Знать: Базовые методы современных научных исследований.</p> <p>Уметь: эффективно использовать математические модели в научных исследованиях.</p> <p>Владеть: Способностью использования современных информационно-коммуникационных технологий для для обработки и анализа больших объемов данных.</p>
Владение навыками самостоятельной организации научного	<p>Знать: научный аппарат сбора, обработки и анализа данных в гидрологии, географии, гидрохимии, геоэкологии, природопользовании.</p>

<p>исследования с использованием базовой гидрологической, метеорологической и географической информации и научного аппарата сбора, обработки и анализа данных в гидрологии, географии, гидрохимии, геоэкологии, природопользовании</p>	<p>Уметь: планировать этапы исследования, проводить вычислительные эксперименты, разрабатывать математические модели.</p> <p>Владеть: навыками структурирования сложных задач, планирования и постановки экспериментов, организации междисциплинарных исследований.</p>
<p>Способность к развитию аналитических и численных методов оценки, расчета и прогноза гидрологических и гидрохимических характеристик и моделирования происходящих в них явлений</p>	<p>Знать: современные методики проведения вычислительных экспериментов, обработки массивов геофизических данных, современную методологию программирования.</p> <p>Уметь: проводить вычислительные эксперименты, разрабатывать математические модели, алгоритмы и численные методы, использовать программные комплексы и среды для математического моделирования геофизических процессов.</p> <p>Владеть: навыками обработки и анализа больших массивов данных, описывающих нестационарные поля скорости, температуры, концентрации; иметь представление о специфике работы с аномально большими массивами (Big Earth Data).</p>

2. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры и язык преподавания

Дисциплина «Проблемы устойчивости стратифицированной жидкости» входит в образовательный компонент учебного плана программы аспирантуры по научной специальности 1.6.16 Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия, раздел 2.1.2 «Дисциплины по выбору».

Согласно учебному плану дисциплина изучается в 1-м и 2-м семестрах.

Изучение дисциплины опирается на знания, умения и навыки, приобретенные при освоении образовательной программы предыдущего уровня.

Язык преподавания – русский.

3. Виды учебной работы и тематическое содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единицы, или 72 академических часа.

3.1. Виды учебной работы

Виды учебной работы	Объем в академических часах
Общая трудоемкость дисциплины по учебному плану	72
В том числе:	
Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем). Всего	36
В том числе:	
Лекции (Л)	16
Практические занятия (Пр)	20
Лабораторные занятия (Лаб)	0
Вид промежуточной аттестации	зачет
Самостоятельная работа обучающихся (СР) (всего)	36
В том числе:	
Самостоятельное изучение разделов дисциплины, подготовка к занятиям	32
Подготовка к промежуточной аттестации	4

3.2. Краткое содержание дисциплины по разделам и видам учебной работы

№ п/п	Раздел дисциплины (тематический модуль)	Трудоемкость по видам учебных занятий (в академических часах)					Оценочное средство
		Всего	Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа обучающихся	
Семестры № 1, 2							
1	Стратифицированные сдвиговые потоки.	20	4	4	0	12	собеседование
2	Бароклинная неустойчивость. Внутренние волны.	24	4	8	0	12	собеседование
3	Неустойчивая стратификация. Проблема Рэлея-Бенара.	28	8	8	0	12	зачет
Вид промежуточной аттестации в 1 и 2 семестрах: зачет							
Итого:		72	16	20	0	36	

3.3. Содержание аудиторных занятий

Содержание лекционных занятий

№ раздела	№ лекции	Основное содержание	Количество часов	В т.ч. с использованием ДОТ (*)
Семестры № 1, 2				
1	1	Устойчивость сдвигового потока со стратификацией. Постановка задачи. Критерий Ричардсона Ri .	2	0
1	2	Классическая задача Майлса. Задача Куэтта для вращающейся жидкости.	2	0
2	3	Внутренние волны. Постановка задачи. Частота Брента – Вайсяля.	2	0
2	4	Нормальные моды бароклинных колебаний. Дисперсионное соотношение для внутренних волн.	2	0
2	5	Механизмы генерации и разрушения внутренних волн; проблема tidal conversion в океанологии	2	0
3	6	Конвективная неустойчивость. Нормальные моды. Критерий Рэля Ra .	2	0
3	7	Критическое значение параметра Ra , волновые числа неустойчивых мод.	2	0
3	8	Критериальные соотношения для потока тепла в задаче Рэля-Бенара. Зависимость параметра Нуссельта Nu от определяющих параметров Ra и Pr .	2	0
Итого:			16	0

Содержание практических занятий

№ раздела	№ занятия	Основное содержание	Количество часов	В т.ч. с использованием ДОТ (*)
Семестры № 1, 2				
1	1	Экспериментальные и численные исследования неустойчивости Кельвина-Гельмгольца. Циркуляция Ленгмюра. Дрейф Стокса. Параметрическая неустойчивость осциллирующих потоков.	2	0
2	2	Внутренние волны на шельфе.	2	0
2	3	Нелинейные внутренние волны.	2	0
2	4	Механизмы генерации внутренних волн в океане и озерах. Спектр частот.	2	0
3	5	Проблема селекции волновых чисел в задаче Рэля-Бенара.	2	0
3	6	Конвективные структуры.	2	0

3	7	Большие степени надкритичности.	2	0
3	8	Нелинейная задача.	2	0
3	9	Тепловой конвекционный поток в режиме полностью развитой турбулентности.	2	0
3	10	Ultimate regime (Lepot).	2	0
Итого:			20	0

3.4. Организация самостоятельной работы обучающегося

№ раздела	Основное содержание	Количество часов	В т.ч. с использованием ДОТ (*)
Семестры № 1, 2			
1	Стратифицированные сдвиговые потоки.	12	0
2	Бароклинная неустойчивость. Внутренние волны.	12	0
3	Неустойчивая стратификация. Проблема Рэлея-Бенара.	12	0
Итого:		36	0

4. Образовательные технологии по дисциплине

Лекции, практические занятия, коллоквиум, дискуссия, собеседование, зачет. В течение семестра обучающиеся выполняют практические работы, указанные преподавателем. Внеаудиторная работа обучающихся сопровождается рекомендацией литературы для самостоятельного изучения.

5. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

5.1. Текущий контроль осуществляется преподавателем дисциплины при проведении занятий в форме: коллоквиума, собеседования, дискуссии.

Оценочные средства для текущего контроля.

Вопросы к коллоквиуму, темы дискуссий и собеседований:

1. Конвективная неустойчивость. Нормальные моды.
2. Расчет малых возмущений при неустойчивой стратификации. Критерий Рэлея Ra и его физический смысл.
3. Проблема селекции волновых чисел в задаче о конвективной неустойчивости.
4. Устойчивость сдвигового потока со стратификацией. Постановка задачи. Критерий Ричардсона Ri .
5. Классическая задача Майлса.
6. Параметрическая неустойчивость осциллирующих потоков.
7. Внутренние волны. Постановка задачи. Частота Брента – Вайсяля.
8. Нормальные моды бароклинных колебаний. Дисперсионное соотношение для внутренних волн.
9. Механизмы генерации внутренних волн.
10. Особенности внутренних волн. Групповая и фазовая скорости.
11. Понятие нормальных мод колебаний. Расчеты длин волн баротропных и

бароклиных колебаний.

12. Неустойчивая стратификация. Критерий Рэлея Ra и его физический смысл. Критериальные соотношения, связывающие параметры Рэлея и Нуссельта.
13. Классический критерий Ричардсона Ri . Расчет его критического значения для стратифицированной среды.
14. Потокочисло Рейнольдса в контексте задач перемешивания.
15. Параметрическая неустойчивость как механизм возбуждения колебаний.
16. Внутренние волны. Механизмы генерации. Частота Брента – Вэйсяля.
17. Дисперсионное соотношение для внутренних волн. Проблема конверсии приливов в океане.

5.2. Промежуточная аттестация проводится в виде зачета.

Подробно средства оценивания для проведения промежуточной аттестации обучающихся приведены в Фонде оценочных средств по данной дисциплине.

6. Методические рекомендации обучающимся по дисциплине, в том числе для самостоятельной работы

Самостоятельная работа включает следующие виды работ:

- работа с лекционным материалом, предусматривающая проработку конспекта лекций и учебной литературы;
- выполнение домашнего задания – решение задач, выдаваемых на практических занятиях;
- чтение статей, рекомендованных преподавателем, по темам для самостоятельного изучения;
- подготовка к зачету и экзамену.

Рекомендации обучающимся при освоении лекционного материала:

- конспектирование основного содержания лекций;
- для лучшего усвоения материала после лекции рекомендуется прочесть конспект и соответствующий параграф или главу учебника.

7. Методические рекомендации преподавателям по дисциплине

Коллоквиум, собеседование, дискуссия и зачет оцениваются по системе: зачтено, незачтено. На практических занятиях контроль осуществляется при ответе у доски и при проверке решений задач.

Самостоятельная работа обучающихся должна быть направлена на решение следующих задач:

- развитие навыков работы с разноплановыми источниками;
- осуществление эффективного поиска информации;
- развитие навыков самостоятельной работы с периодическими источниками, в том числе, на иностранном языке.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

8.1. Основная литература:

1. Винников С.Д. Викторова Н.В.. Физика вод суши. – Санкт-Петербург, 2009.

2. Обухова, Е. В. Задачи диффузии при учете конечной скорости массопереноса / Е. В. Обухова; Дальневосточный федеральный университет. - Владивосток: Издательский дом Дальневосточного федерального университета, 2013. - 94 с. Электронный каталог библиотеки КарНЦ РАН
3. Фундаментальная и прикладная гидрофизика: сборник научных трудов / Санкт-Петербургский научный центр Российской академии наук, Научный совет по проблемам фундаментальной и прикладной гидрофизики; [гл. ред. А. А. Родионов ; ред. совет: О. В. Алёшин и др.]. - Санкт-Петербург: Наука, 2012.
4. Чубаренко И.П.. Горизонтальная конвекция над подводными склонами. – Калининград.: Терра Балтика, 2010.

Дополнительная литература:

1. Alford M.H., Pinkel R. Observations of overturning in the thermocline: the context of ocean mixing // J. Phys. Oceanogr. – 2000. – 30, № 5. – P. 805 – 832.
2. Chris Garrett and Eric Kunze. Internal Tide Generation in the Deep Ocean. Annu. Rev. Fluid Mech. 2007. 39:57–87.
3. Garrett C., Munk W. Space time scales of internal waves // Geophys. Fluid Dyn. – 1972. – 3, № 3. – P. 225 – 264.
4. Petrov M.P., Terzhevik A.Yu., Zdrovennov R.E., Zdrovennova G.E., 2006, Vodnye Resursy, 2006, Vol. 33, No. 2, pp. 154–162.
5. Tian J., Yang Q., Zhao W. Enhanced diapycnal mixing in the South China Sea // J. Phys. Oceanogr. – 2009 – 39, № 12. – P. 3191 – 3203.
6. Гершуни Г.З., Жуховицкий Е.М. Конвективная устойчивость несжимаемой жидкости. - М.: Наука, 1972.
7. Должанский Ф.В. Лекции по геофизической гидродинамике. – М.: ИВМ РАН. 2006. – 378 с.
8. Зилитинкевич С.С.. Проникающая турбулентная конвекция. – Таллинн.: Валгус, 1989. 207 с.
9. Ингель Л.Х., Калашник М.В.. Нетривиальные особенности гидротермодинамики морской воды и других стратифицированных растворов. Успехи физических наук. 2012. Т. 182, № 4. с. 379-406.
10. Миронов Д.В., Тержевик А.Ю.. Весенняя конвекция в пресноводных озерах, покрытых льдом. Изв. АН, Физика атмосферы и океана. 2000, т. 36, № 5, с. 681-688.
11. Монин А.С., Яглом А.М. Статистическая гидромеханика. Ч.1. – М.: Наука. 1965.
12. Педлоки Дж.. Геофизическая гидродинамика. – М.: Мир, 1984.
13. Самодуров А.С., Глобина Л.В.. Диссипация энергии и вертикальный обмен в стратифицированных бассейнах за счет сдвиговой неустойчивости в поле квазиинерционных внутренних волн // Морской гидрофизический журнал. – 2010. – № 6. – С. 16 – 27.
14. Тернер Дж. Эффекты плавучести в жидкостях. – М.: Мир. 1977
15. Folkard, A. The Multi-Scale Layering-Structure of Thermal Microscale Profiles. Water 2021, 13, 3042. <https://doi.org/10.3390/w13213042>
16. Vladou, A. et al. Mixing efficiency from microstructure measurements in the Sicily Channel. Ocean Dynamics, [s. l.], v. 69, n. 7, p. 787–807, 2019. DOI 10.1007/s10236-019-01274-2.
17. Ivey, G. N., Bluteau, C. E., Gayen, B., Jones, N. L., & Sohail, T. (2021). Roles of shear and convection in driving mixing in the ocean. *Geophysical Research Letters*, 48, 2020GL089455. <https://doi.org/10.1029/2020GL089455>

18. Numerical simulations of the three-dimensionalization of a shear flow in radiatively forced cold water below the density maximum. Andrew P. Grace, Marek Stastna, K. G. Lamb, and K. Andrea Scott. *Phys. Rev. Fluids* 7, 023501 (2022).
19. Craik, A.D.D.; Leibovich, S. (1976), "A Rational model for Langmuir circulations", *Journal of Fluid Mechanics*, 73 (3): 401–426, doi:10.1017/S0022112076001420
20. Austin JA (2019) Observations of radiatively driven convection in a deep lake. *Limnol Oceanogr* 64: 2152–2160. doi: 10.1002/lno.11175.
21. Bouffard D, Wüest A (2019) Convection in lakes. *Annu Rev Fluid Mech* 51:189–215 doi: 10.1146/annurev-fluid-010518-040506
22. Grace A, Stastna M, Lamb KG, Scott KA (2022) Numerical simulations of the three-dimensionalization of a shear flow in radiatively forced cold water below the density maximum. *Phys Rev Fluids* 7 023501 <https://journals.aps.org/prfluids/accepted/1807eS60X0a11a02314214a6e1b4b7f1ad2cdd686>
23. Li Q, Fox-Kemper B (2020) Anisotropy of Langmuir turbulence and the Langmuir-enhanced mixed layer entrainment. *Phys Rev Fluids* 5(1):013803 <https://doi.org/10.1103/PhysRevFluids.5.013803>

8.3. Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Обучающиеся и преподаватели КарНЦ РАН имеют доступ к ряду электронных библиотечных систем, к которым подключена Научная библиотека КарНЦ РАН. Для электронных ресурсов используется лицензионное программное обеспечение.

Для поиска учебной и научной литературы аспиранты используют следующие ЭБС:

- Электронная библиотека Республики Карелия <http://elibrary.karelia.ru/>
- Электронная библиотечная система «Университетская библиотека онлайн» <http://biblioclub.ru/>
- другие базы данных размещены на сайте Научной библиотеки КарНЦ РАН в разделах «Электронные научные ресурсы» и «Электронные библиотеки» <http://library.krc.karelia.ru/section.php?plang=r&id=894>, <http://library.krc.karelia.ru/section.php?plang=r&id=499>.

Интернет-ресурсы	
www.garant.ru	Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы
http://biblioclub.ru	Университетская библиотека Online
http://www.elibrary.ru	Электронная библиотека
http://ndce.edu.ru	Каталог учебников, электронных ресурсов для высшего образования
http://edu.ru	Федеральный портал «Российское образование»
http://windows.edu.ru	Портал «Единое окно доступа к образовательным ресурсам»
http://school.edu.ru	Российский общеобразовательный портал

http://webofknowledge.com	Библиографическая и реферативная база данных Web of Science
http://www.scopus.com/	Библиографическая и реферативная база данных Scopus

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Материально-техническая база КарНЦ РАН обеспечивает проведение всех видов дисциплинарной и междисциплинарной подготовки, практической и научно-исследовательской работы обучающихся, предусмотренных учебным планом и соответствует действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам.

Минимально-необходимый перечень для информационно-технического и материально-технического обеспечения дисциплины:

- аудитория для проведения лекционных и практических занятий, оснащенная рабочими местами для обучающихся и преподавателя, доской, мультимедийным оборудованием;
- библиотека с читальным залом и залом для самостоятельной работы обучающегося, оснащенное компьютером с выходом в Интернет, книжный фонд которой составляет специализированная научная, учебная и методическая литература, журналы (в печатном или электронном виде).