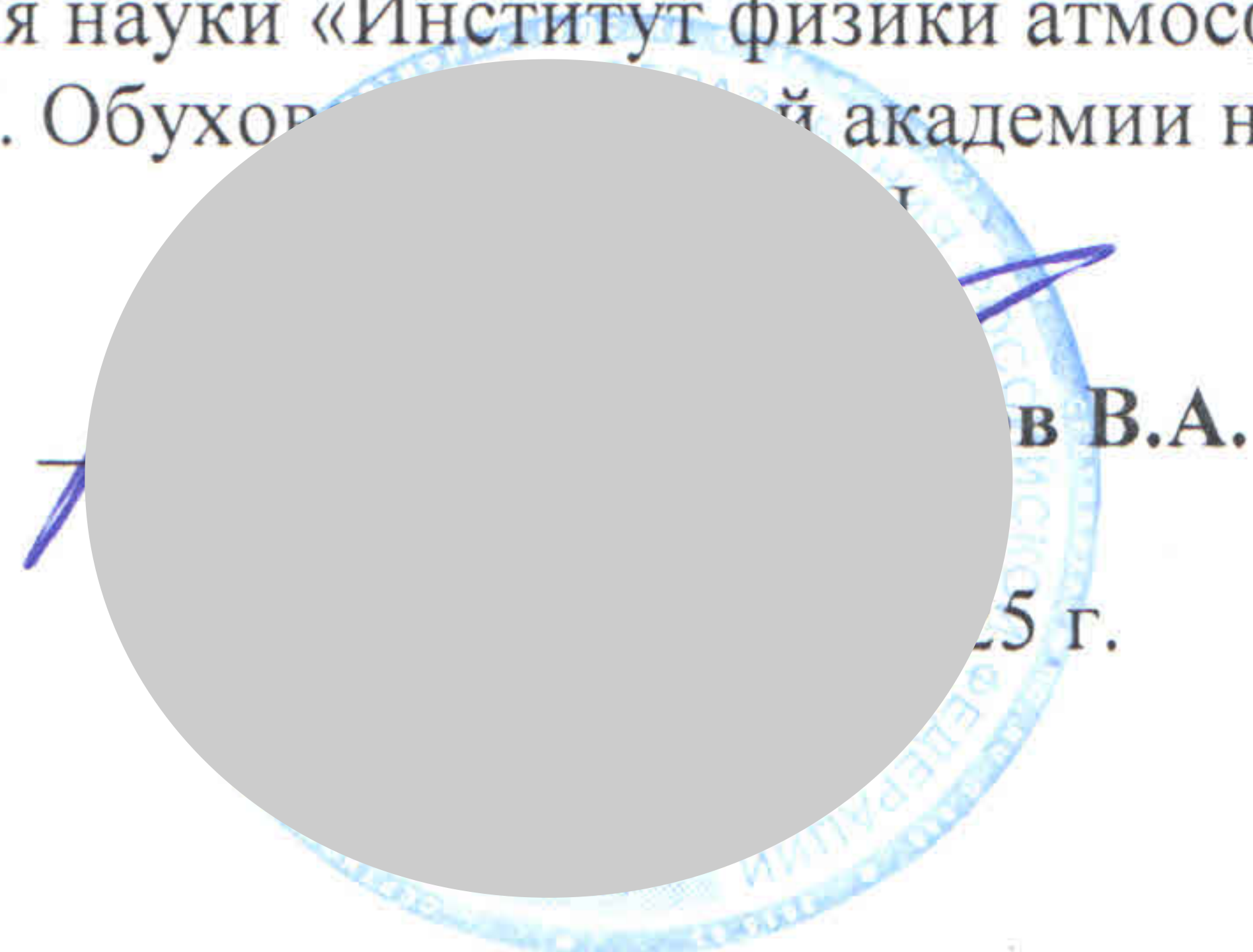


"УТВЕРЖДАЮ"

Директор Федерального государственного бюджетного
учреждения науки «Институт физики атмосферы имени
А.М. Обухова Российской академии наук»,



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

**Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт физики
атмосферы имени А.М. Обухова Российской академии наук»
о диссертационной работе Вергелеса Сергея Сергеевича
«Генерация когерентных течений регулярными и хаотическими источниками»,
представленной на соискание учёной степени
доктора физико-математических наук
по специальности 1.3.3. Теоретическая физика**

Диссертационная работа Вергелеса Сергея Сергеевича выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау Российской академии наук» и посвящена решению нескольких актуальных и важных научных задач в области исследования фундаментальной научной проблемы нелинейного взаимодействия среднего потока с наложенными на него изменяющимися во времени возмущениями (воздействиями).

Актуальность темы работы. Исследование нелинейного взаимодействия волн с вихревыми структурами в жидкости является одной из важнейших проблем современной геофизической гидродинамики и, несмотря на большое число работ, выполненных в этом направлении, содержит целый ряд задач, ждущих тщательного физического и математического подхода к их решению. Такой подход и отличает данную диссертацию. В ней детально исследуется генерация поверхностными гравитационными волнами приповерхностных вихревых структур в тяжелой вязкой жидкости, покрытой сверху тонкой жидкой пленкой. Также автор подробно рассматривает процесс взаимодействия инерционных волн с геострофическим течением во вращающейся жидкости на предмет возможной генерации устойчиво существующих когерентных структур в такой системе. В диссертации также рассматривается остающаяся актуальной для геофизической гидродинамики задача о перемешивании пассивного скаляра случайным полем скорости, в том числе при наличии в этом поле сильной сдвиговой компоненты.

Целью работы является построение и развитие теории взаимодействия вихревых структур с волнами. Для достижения поставленной цели диссертантом был решен целый ряд конкретных научных задач в рамках трех основных направлений исследований. Во-

первых, взаимодействия поверхностных волн и приповерхностных вихрей в присутствии жидкой пленки на поверхности океана. Во-вторых, взаимодействия инерционных волн и геострофических вихрей во вращающейся жидкости. В-третьих, связи статистических свойств поля пассивного скаляра, переносимого полем скорости, со статистикой последнего.

Структура и содержание диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных литературных источников и трех приложений. Общий объем диссертации составляет 286 страниц, включая 27 рисунков и 1 таблицу. Список литературы содержит 218 наименований.

Во *введении* дана общая характеристика работы, обоснована актуальность темы диссертации, обсуждается степень разработанности темы исследования, приведены цели и задачи исследования, а также основные положения, выносимые на защиту, обсуждены научная новизна и практическая, а также теоретическая, значимость работы, описана методология исследования, обоснована достоверность полученных результатов, описана апробация результатов исследования, указан личный вклад автора и отмечены основные публикации автора по теме диссертации.

Первая глава посвящена проблеме возбуждения вихревых течений поверхностными гравитационными волнами в присутствии жидкой пленки на поверхности жидкости. Глава состоит из 8 основных разделов, включая подразделы. Она начинается с введения с подробным обзором предшествующей литературы. Затем формулируются уравнения движения жидкости и граничные условия на поверхности с учетом присутствия жидкой пленки на ней. Дается описание волнового движения в линейном приближении. Производится разделение течения жидкости на волновое движение и массовый транспорт, который в случае слабовязкой жидкости включает в себя стоков дрейф и медленное эйлерово течение. Далее анализируется влияние степени сжимаемости пленки на этот массовый перенос. Два раздела посвящены проблеме генерации вихревого течения двумя волнами, распространяющимися под прямым углом друг к другу, а также проблеме генерации крупномасштабного (с масштабом, сравнимым с горизонтальными размерами бассейна) вихревого течения, двумя волнами, распространяющимися под малым углом друг к другу. В последнем случае распространение волн по-прежнему подчиняется уравнениям для глубокой воды, но уравнения на медленное крупномасштабное течение должны, вообще говоря, учитывать присутствие дна. В главе также приведено сравнение теоретических результатов с экспериментальными данными, что указывает на их общее согласие, а также кратко обсуждаются условия применимости полученных результатов.

Во *второй главе* рассматривается распространение инерционных волн на фоне геострофически сбалансированного течения во вращающейся жидкости. Глава состоит из 7 основных разделов, включая подразделы. Во *введении к главе* приводится основная мотивация исследования. Далее обсуждаются уравнение на среднее течение в вихре, динамика и статистика турбулентных пульсаций, которые в пределе очень быстрого

вращения жидкости представимы инерционными волнами. По аналогии с динамикой внутренних гравитационных волн в окрестности критических уровней в сдвиговых потоках устойчиво стратифицированной жидкости в диссертации исследуется распространение волновых пакетов инерционных волн в слабо неоднородном геострофическом течении.

В третьей главе описываются радиальные профили когерентных геострофических вихрей. Глава состоит из 6 основных разделов, включая подразделы. После введения в главе рассматривается радиальный профиль азимутальной скорости в вихре в пределе малого числа Россби, а также обсуждается влияние конечности числа Россби на профиль скорости. Обсуждаются свойства линейно-логарифмического профиля скорости в циклонах и антициклонах, указывается на циклон-антициклонную асимметрию в случае конечных чисел Россби. Производится учет влияния горизонтальных границ течения, на которых возникает экмановский пограничный слой. Здесь возможным асимптотическим решением на далеких расстояниях от оси вихря является плоский профиль скорости в нем. Наконец, в последнем разделе главы исследуется динамика малых радиальных возмущений когерентного вихря и показано, что она существенно зависит от того, необходимо или нет учитывать наличие экмановского пограничного слоя.

В четвертой главе, связанной методически с предыдущими, но которая возможно стоит несколько особняком в диссертации, изучена проблема перемешивания пассивного скаляра на малых масштабах случайным с линейным по координатам полем скорости с сильной средней сдвиговой компонентой и случайным внешним источником примеси (пассивного скаляра), с акцентом на изучение эволюции со временем статистических свойств скалярного поля. Особое внимание уделяется корреляционным функциям второго и четвертого порядков. Решение для первой из них связывается также с решением уравнения Фоккера–Планка. А функция четвертого порядка характеризует полосчатость пространственного распределения поля скорости, так что клякса пассивной примеси, будучи исходно изотропной формы, может становиться сильно вытянутой. Метод, используемый в этой главе, позволил оценить плотность распределения вероятностей пассивной примеси, которая при относительно малых концентрациях гауссовская, а с ее увеличением переходит в экспоненциальную – явление, которое более тридцати лет назад экспериментально обнаружено для мелкомасштабного поля скорости в развитом турбулентном потоке.

В главах 2, 3 и 4 используется единый подход – рассмотрены линеаризации для возмущений скорости или скаляра (уравнения 2.21, 3.47, 3.48, 4.3, 4.4) относительно линейного по координатам (глава 4) или модифицированного логарифмическим множителем линейного по радиусу поля скорости с добавлением внешнего случайного воздействия. Далее выписываются общие решения уравнений, с помощью которых можно перейти к исследованиям различных статистических характеристик, включая энергию и корреляционные функции.

В *заключении* представлены основные выводы диссертации, даны рекомендации по использованию полученных в работе результатов, намечены перспективы дальнейших исследований.

В *приложениях* к работе сведены результаты автора, носящие математический характер, и приведенные там, чтобы не затруднять восприятие основного текста.

Из результатов работы, научная новизна которых не вызывает сомнений, можно выделить следующие:

- Рассчитаны характеристики обусловленного слабой вязкостью жидкости вихревого транспорта как для модели несжимаемой жидкой пленки на поверхности жидкости, так и с учетом ее конечной сжимаемостью, и проведено детальное сопоставление величины вихревого транспорта со стоковым дрейфом.
- Детально рассмотрен механизм взаимодействия пакетов инерционных волн с когерентными геострофическими вихрями во вращающейся жидкости и на этой основе предсказаны линейно-логарифмический и плоский профили азимутальной скорости в вихрях; последний – в случае доминирования влияния экмановского пограничного слоя на горизонтальных границах жидкости.
- Установлена связь разноточечных корреляционных функций пассивного скаляра со статистикой градиента поля скорости. Решена задача о перемешивании скалярного поля в случайном гладком двумерном течении с сильной средней сдвиговой компонентой и установлена статистика моментов скалярного поля.

Степень достоверности результатов и апробация работы. Достоверность полученных результатов и выводов обеспечивается использованием современных методов теоретической физики. Данное исследование проводилось в тесном контакте с экспериментальными исследованиями, благодаря чему ряд теоретических результатов в главах 1–3 диссертации получил экспериментальные подтверждения. Это удостоверяет адекватность предложенных моделей. Основные результаты докладывались на многочисленных отечественных и зарубежных конференциях и опубликованы в рецензируемых изданиях. По теме диссертации опубликовано 13 работ в изданиях, рекомендованных ВАК и индексируемых международными базами данных и "Белым списком" Минобрнауки РФ.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертационной работы.

Теоретическая и практическая значимость работы определяется, во-первых, применимостью построенной в главах 1–3 теории к интерпретации экспериментальных данных. Во-вторых, данная работа, имеющая теоретический характер, имеет и несомненную чисто теоретическую значимость, определяемую новизной и содержанием решенных в ней задач.

В качестве **замечаний** по диссертационной работе можно отметить следующее:

1. Диссертация в целом написана хорошим языком, легко читается, но в диссертации достаточно много очевидных опечаток. Кроме того, имеется ряд мелких замечаний, связанных с оформлением. В частности, на стр. 174 параметр λ в выражении для

диффузионного масштаба нуждается в определении. На стр. 167 непонятно словосочетание «...возбуждённых не-аксиально симметричных мод...». С точки зрения математики не вполне понятна фраза на стр. 35: «Система уравнений имеет решение, которое является суммой частного решения (потенциальное течение) и общего решения (вихревое течение)». В формуле (4.117) имеется описка в знаке в показателе экспоненты под знаком интеграла.

2. Утверждение автора на стр. 171 и 238: «Локальная скорость вращения жидкости в циклоне возрастает при приближении к его оси, тогда как в антициклоне она падает. Иными словами, абсолютное значение числа Россби при приближении к оси падает в циклоне и увеличивается в антициклоне.» все же нуждается в разъяснении. Как при этом определяется число Россби? К этому рассуждению об антициклонах предложение «трехмерная турбулентность разрушает антициклон» также нуждается в объяснении, по крайней мере, к разрушению антициклона могут ли приводить какие-то изгибы по вертикали антициклонического вихря?

3. На стр. 107–110 встречаются фразы: «главный вклад в интеграл», «интеграл насыщается», «набирается кинетическая энергия», «интеграл набирается на временах...». Если в первых из них смысл интуитивно более-менее понятен, то последнее не общепринятое выражение неоднозначно: это что, наибольший вклад? Интеграл все-таки математическое понятие.

4. В части работы в качестве базисного состояния выбирается линейное по координатам поле скорости, относительно которого рассматриваются линеаризации для скорости или пассивной примеси. Имеется история использования такого подхода в геофизической гидродинамике с учетом сдвигов скорости и с вязкостью, для протопланетных дисков. А более сорока лет тому назад использовался аналогичный подход для трехмерной неустойчивости (Bauly 1986, Craik 1989). Было бы не лишним в диссертации упомянуть работы этих, а также других возможных направлений, и определить, какую роль может иметь логарифмическая поправка базисного течения.

Высказанные замечания имеют в основном редакционный характер и не снижают общего высокого мнения о диссертационной работе. Полученные в диссертации теоретические результаты могут быть использованы в научных учреждениях РАН и Росгидромета для усовершенствования параметризации процессов динамического и термического взаимодействия «океан–атмосфера» при наличии пленок загрязняющих веществ на поверхности воды, а также для развития гидродинамических моделей интенсивных атмосферных вихрей, таких как торнадо (смерчи) и тропические циклоны (ураганы). В целом, рассматриваемая диссертация представляет собой завершенную научно-квалификационную работу и полученные в ней результаты вносят крупный научный вклад в развитие гидродинамики, как неотъемлемый раздел теоретической физики, в части изучения взаимодействия волновых и вихревых движений жидкости.

Диссертационная работа была заслушана на семинаре в ФГБУН «Институт физики атмосферы имени А.М. Обухова Российской академии наук» 29.10.2024 г.

Заключение. Диссертационная работа Вергелеса С.С. «Генерация когерентных течений регулярными и хаотическими источниками» в полной мере удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВАК при Минобрнауки России к докторским диссертациям, в частности требованиям п. 9 Постановления Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, а её автор – Вергелес Сергей Сергеевич – заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.3. Теоретическая физика.

Отзыв подготовили:

доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник,
главный научный сотрудник Лаборатории геофизической гидродинамики
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
«Институт физики атмосферы имени А.М. Обухова Российской академии наук»,



Гледзер Евгений Борисович
«21» апреля 2025 г.

Адрес: Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер., 3 стр. 1

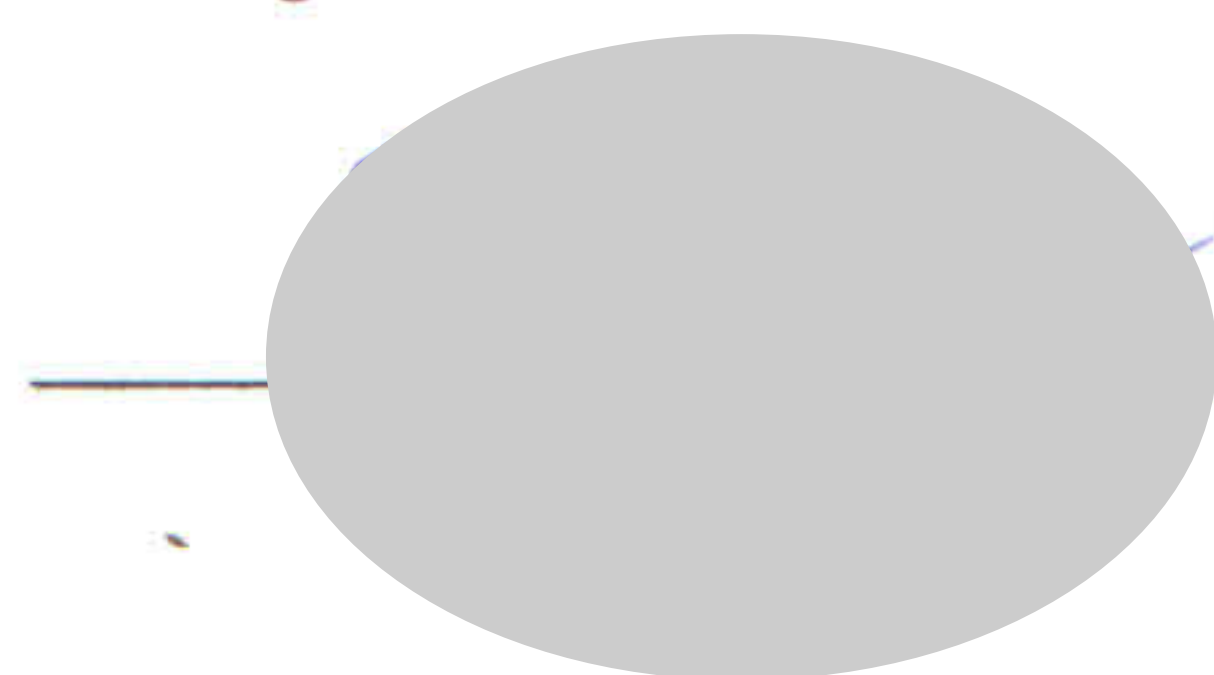
ФГБУН «ИФА им. А.М. Обухова РАН»

Сайт: <http://www.ifaran.ru/>

Эл. почта: ifaran@ifaran.ru

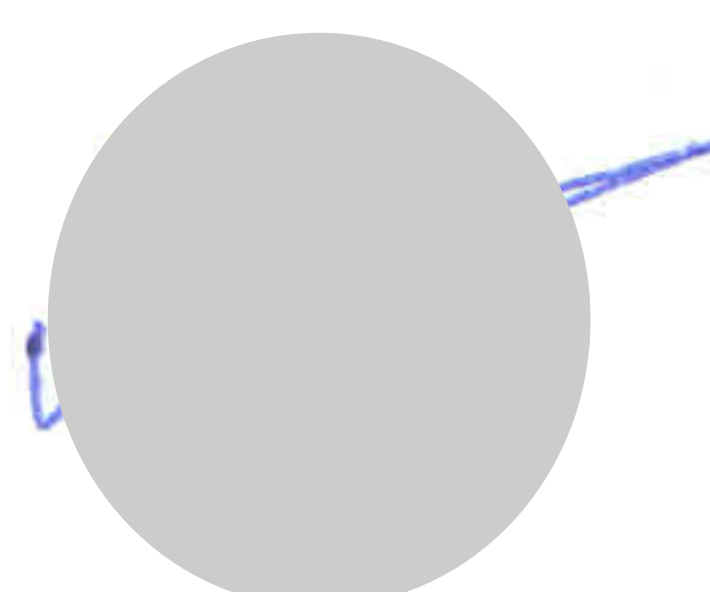
Телефон: +7 (495) 951-55-65

Я, Гледзер Евгений Борисович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.



/ Гледзер Е.Б. /

доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник,
главный научный сотрудник Лаборатории геофизической гидродинамики
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
«Институт физики атмосферы имени А.М. Обухова Российской академии наук»,



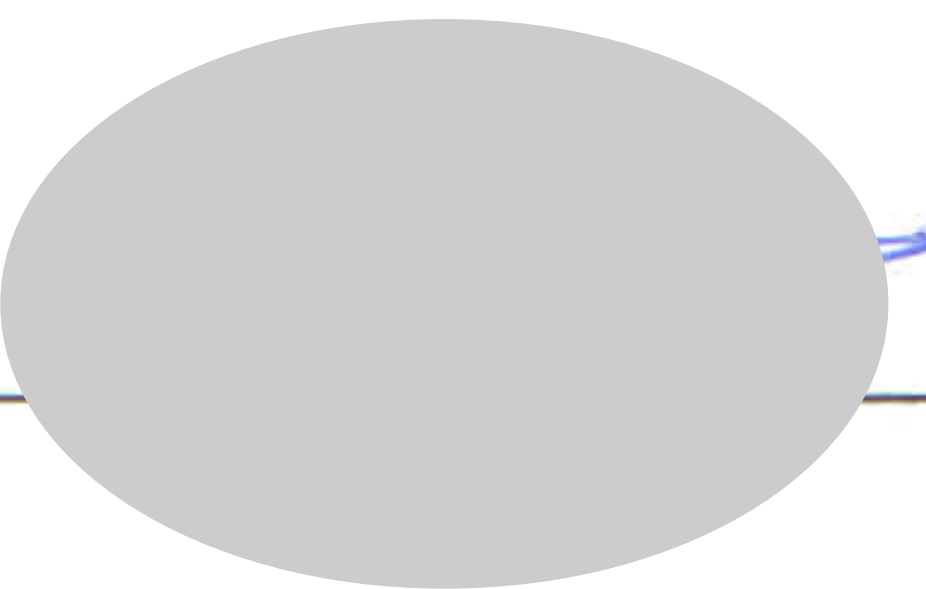
Курганский Михаил Васильевич
«21» апреля 2025 г.

Адрес: Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер., 3 стр. 1

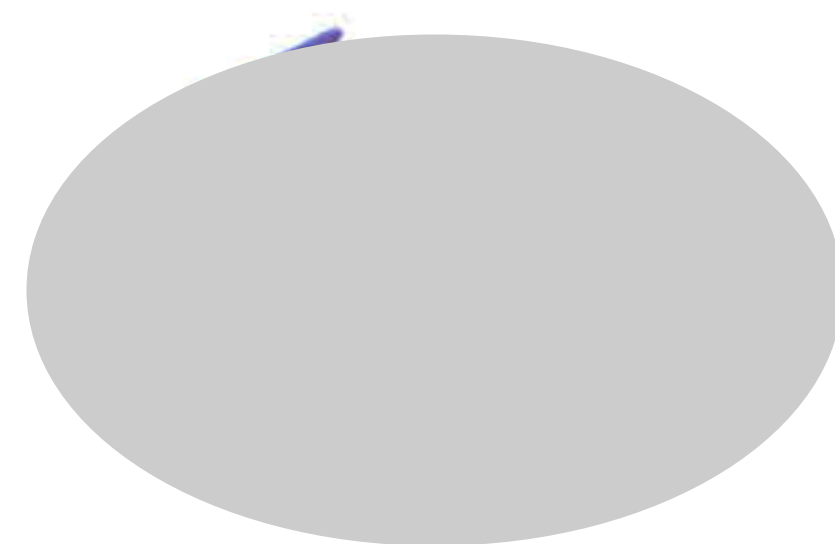
ФГБУН «ИФА им. А.М. Обухова РАН»

Сайт: <http://www.ifaran.ru/>
Эл. почта: ifaran@ifaran.ru
Телефон: +7 (495) 951-55-65

Я, Курганский Михаил Васильевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

 / Курганский М.В. /

кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник Лаборатории геофизической гидродинамики
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
«Институт физики атмосферы имени А.М. Обухова Российской академии наук»,



Гледзер Алексей Евгеньевич
«21» апреля 2025 г.

Адрес: Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер., 3 стр. 1
ФГБУН «ИФА им. А.М. Обухова РАН»
Сайт: <http://www.ifaran.ru/>
Эл. почта: ifaran@ifaran.ru
Телефон: +7 (495) 951-55-65

Я, Гледзер Алексей Евгеньевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

 / Гледзер А.Е. /

"Подписи Гледзера Е.Б., Курганского М.В. и Гледзера А.Е. заверяю",
Заведующий отделом кадров и делопроизводства ФГБУН «Институт физики атмосферы
имени А.М. Обухова Российской академии наук»

Орлова Валерия Валентиновна

