

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН

г. Москва, 21 мая 2024 года

Конференция-семинар

**«Случайные процессы, волны и турбулентность в природных средах»,
посвященная памяти профессора, Лауреата Государственной премии СССР
в области науки и техники, Валерия Исааковича Кляцкина**



Валерий Исаакович Кляцкин родился 11 апреля 1940 г. в г. Москве. В 1950 г. переехал в Тбилиси, где закончил с золотой медалью школу №66 в 1957 г. Тогда же в 1957 г. поступил в МФТИ на радиотехнический факультет, который закончил в 1964 году по специальности «теоретическая ядерная физика».

Валерий Исаакович начал работу в ИФА под руководством А.М. Обухова в 1964 г. и в течение короткого времени стал специалистом в области статистического описания физических полей с высокой математической культурой, характерной для отечественной школы теории вероятности и ее приложений. Наряду с этим он приобрел широкий взгляд на колебательные процессы различной физической природы, активно участвовал в знаменитом семинаре С.М. Рытова. Тогда же проявился у Валерия Исааковича талант теоретика, благодаря которому ему удавалось находить решения трудных задач математической физики. До сих пор не утратили своего значения его статьи по излучению волн вихрями и шумам в гидродинамических системах. Целый ряд имеющих принципиальное значение результатов получены Валерием Исааковичем в области статистической радиофизики. В первую очередь эти результаты относятся к теории распространения волн в случайно-неоднородных средах. Валерий Исаакович развил общий подход к анализу стохастических динамических систем, который позволяет решать многочисленные задачи, относящиеся к различным областям науки и техники, в том числе и физики атмосферы. В этом подходе особенно проявился характерный для Валерия Исааковича взгляд на уравнения «глазами физика».

В 1968 защитил кандидатскую диссертацию **«Нелинейные эффекты в однородной изотропной слабо сжимаемой турбулентной среде»** под руководством А.М. Обухова, научным консультантом был В.И. Татарский. В 1975 г. в Акустическом институте АН СССР защитил докторскую диссертацию **«Приближение дельта-коррелированного случайного процесса и его применение в статистических задачах гидродинамики и теории распространения волн»**

С 1964 г. работал в ИФА стажером-исследователем, мнс, снс. Ученое звание снс присвоено в 1974 г. С 1978 г. работал в Тихоокеанском океанологическом институте ДВО АН СССР, где был заведующим отделом волновых процессов и лаборатории статистической гидродинамики. В 1988 г. присвоено ученое звание «профессор» и с 1992 по 2017 работал в ИФА главным научным сотрудником.

Лауреат Государственной Премии СССР 1990 г. за исследования в области распространения волн в турбулентной атмосфере (1964-1980 гг.).

В последние годы Валерий Исаакович успешно и продуктивно работал над теорией когерентных явлений в стохастических системах, в рамках которой ему удалось объяснить явления кластеризации пассивных и векторных примесей в случайных гидродинамических системах и формирования экстремальных образований в волновых средах.

Был членом редколлегий журналов *Waves in Random Media Journal* – 1988 -1992 гг. и *Известия Академии наук, Физика атмосферы и океана* – 1997 - 2012 гг.

Он автор 16 монографий:

1. **Нелинейные системы гидродинамического типа** (Москва, Наука, 1974, в соавторстве с Ф.В. Должанским, А.М. Обуховым, М.А. Чусовым,);
2. **Статистическое описание динамических систем с флуктуирующими параметрами**, (Москва, Наука, 1975);
3. **Стохастические уравнения и волны в случайно-неоднородных средах** (Москва, Наука, 1980);
4. **Ondes et Équations Stochastiques dans les Milieux Aléatoirement non Homogènes** (Besançon Cedex, Les Éditions de Physique, 1985, in French);
5. **Метод погружения в теории распространения волн**, (Москва, Наука, 1986);
6. **Стохастические уравнения глазами физика** (Москва, Физматлит, 2001);
7. **Динамика стохастических систем** (Курс лекций) (Москва, Физматлит, 2002);
8. **Диффузия и кластеризация пассивной примеси в случайных гидродинамических потоках** (Москва, Физматлит, 2005);
9. **Dynamics of Stochastic Systems** (Amsterdam, Elsevier, 2005);
10. **Stochastic Equations through the Eye of the Physicist** (Amsterdam, Elsevier, 2005).
11. **Стохастические уравнения** (Теория и ее приложения к акустике, гидродинамике и радиофизике) в 2-х томах. Том 1. Основные положения, точные результаты и асимптотические приближения (Москва, Физматлит, 2008);
12. **Стохастические уравнения** (Теория и ее приложения к акустике, гидродинамике и радиофизике) в 2-х томах. Том 2. Когерентные явления в стохастических системах (Москва, Физматлит, 2008);
13. **Lectures on Dynamics of Stochastic Systems** (Amsterdam, Elsevier, 2010).
14. **Очерки по динамике стохастических систем** (Москва, URSS, 2012).
15. **Статистический анализ когерентных явлений в стохастических динамических системах** (Москва, URSS, 2015).
16. **Основы стохастического естествознания** (Москва, URSS, 2018).

О статистике статей В.И. Кляцкина:

- Известия Академии наук. Физика атмосферы и океана: **16** статей с 1966 по 2008.
- ЖЭТФ: **19** статей с 1969 по 2009.
- УФН: **13** статей с 1973 по 2016.
- Известия вузов. Радиофизика: **20** статей с 1969 по 1985.
- Теоретическая и математическая физика: **5** статей с 1973 по 2016.
- Physical Review E: **4** статьи 2010, 2015, 2017, 2019.
- Waves in Random Media: **5** статей 1991-1993.
- Прикладная математика и механика: **2** статьи 1969, 1972.
- Доклады академии наук: **2** статьи 1977, 1984.
- Теория вероятностей и ее применения: **1** статья 1969 Распределение вероятностей для площади, ограниченной гауссовским случайным контуром (совместно с В.И. Татарским).
- Механика жидкости и газа: **1** статья 1966 – Излучение звука системой вихрей.

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Памяти В.И. Кляцкина

И.Г. Якушкин

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

Валерий Исаакович Кляцкин, которому посвящено наше собрание, принадлежал к поколению энтузиастов, все силы которых были отданы науке. Научные достижения В.И. были очень значительны. Не пытаясь охарактеризовать их в целом, я бы хотел отметить несколько моментов в его работе, которые произвели на меня наибольшее впечатление. Прежде всего, это связь с традицией. Как и его близкий друг Феликс Должанский, он принадлежал к школе Колмогорова–Обухова, в которой интерес к проблемам механики (в том числе к эксперименту) сочетался с работой в области теории вероятности и случайных полей. Следствием сочетания этих научных направлений явилась, в частности, работа А.Н. Колмогорова, о которой недавно написал Г.С. Голицын. Наряду с этим В.И. также как и А.М. Обухов и В.И. Татарский обратился к проблеме распространения волн в случайных средах. В этой области он следовал школе С.М. Рытова, чьи семинары проходили в ИФА. На этих семинарах возникал вопрос, что общего между случайными полями разной физической природы.

Этому вопросу В.И. уделял особое внимание. Основным подходом, содержащим ответ на поставленный вопрос, был подход, основанный на модели гауссова статистически однородного случайного поля и его спектра. Уже марковская модель, которую развивали В.И. Татарский и В.И. Кляцкин, выходила за пределы гауссовой. Но этого оказалось недостаточно. На необходимость другого подхода к анализу случайных полей указал в известной статье Я.Б. Зельдович с соавторами. В.И. полнее всех ответил на эту статью, хотя использовал другую терминологию. Недостатком гауссовой модели было то, что она плохо объясняла большие выбросы случайного поля. Поэтому при построении альтернативной модели случайного поля естественно брать за основу не компоненту разложения Фурье, а значение поля в одной фиксированной точке и закон распределения вероятности этих значений. На этой основе В.И. построил свою теорию случайных полей. Замечу, что он называл свою теорию теорией когерентных полей, так как не рассматривал моменты поля, полученные его усреднением. Отвергал он популярный термин «перемежаемость», так как считал, что одноточечная плотность вероятности хорошо описывает участки поля с большими и малыми амплитудами. Важное эвристическое значение имеет использованное В.И. понятие «статистической топографии» случайных полей.

Среди следствий из общей теории, построенной В.И., особое место занимает вывод о кластеризации случайного поля. Для оптического поля в неоднородной среде этому соответствует случайная фокусировка и возникновение сильных флуктуаций интенсивности поля. В.И. описал сходные явления в сжимаемой жидкости, показав тем самым их универсальный характер.

Оставался вопрос, как происходит кластеризация в несжимаемой жидкости. Ответ содержится в работе В.И. о процессах на морской поверхности. Поверхностное течение в отличие от полного поля обладает конечной дивергенцией, а следовательно на поверхности возникают области растяжения и сжатия, т.е. кластеризация. Заметим, что это явление может носить как случайный, так и структурный характер, но существо его заключается в наличии двух компонент поля скорости с конечной дивергенцией.

Общая теория развитая В.И. имеет и другие следствия, которые требуют дальнейшей разработки. Мне хотелось бы пожелать всем присутствующим чаще обращаться к трудам В.И., где они могут найти для себя источник новых идей.

Anomalous structures on the sea surface as an object of statistical topography.

Numerical modeling

K.V. Koshel

V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Vladivostok, Russia

Based on the idea of the statistical topography, we analyze the problem of emergence of stochastic structure formation in quasilinear problem described by first-order partial differential equations. The appearance of a parametric excitation on the background of a Gaussian pump is a specific feature of these problems. We obtain equations for the probability density of the solutions of these equations, whence it follows that the stochastic structure formation emerges with probability one, i.e., for almost every realization of the random parameters of the medium.

Drivers of the clustering of floating parcels on the Subpolar Front of the Japan Sea

D.V. Stepanov, K.V. Koshel

V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Vladivostok, Russia

Using high-resolution model outputs, the clustering of the floating parcels is investigated on the Subpolar Front of the Sea of Japan from April to May 2009. The simulated velocity field consists of the basin-scale currents, mesoscale eddies, and sub-mesoscale activity. The Lagrangian simulations show that the floating parcels can be aggregated in the clusters with the smallest area and the highest parcel “density”. Having decomposed the simulated velocity field on the geostrophic component, including the basin-and mesoscale dynamics, and the ageostrophic component, including the submesoscale dynamics, allowed us to quantify the impact of both components on the floating parcel clustering. It was confirmed the leading role of the ageostrophic component associated with the high divergence/convergence regions, where the floating parcels were clustered. However, the geostrophic component can enhance/suppress the floating parcel clustering. The floating parcel clustering can be suppressed when adding the stochastic component to the geostrophic component.

Лидарные исследования термосферы

Б.М. Шевцов

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,
с. Паратунка, Камчатский край, Россия

Динамические процессы в термосфере представляют интерес в связи с исследованиями солнечной активности и ее воздействий на верхние слои атмосферы, состояние которых можно рассматривать как проявления погодных и климатических изменений. Знания оптических свойств термосферы необходимы для развития коммуникационных систем. В этом сообщении будут рассмотрены задачи дистанционного зондирования термосферы, лидарные системы, условия наблюдений, основные оптические слои атмосферы, целевые компоненты термосферы и их возбужденные состояния, характеристики лидарных сигналов, выделение сигналов резонансного рассеяния на фоне шумов, под которыми поются свечения ночной атмосферы и темновой ток фотоприемников. Также будут обсуждаться динамическая калибровка сигналов рассеяния, обратные задачи резонансного рассеяния, решения лидарных уравнений и результаты определения возбужденных состояний компонентов термосферы.

Ключевые слова: термосфера, лидарные системы, обратные задачи резонансного рассеяния, высотные профили коэффициента рассеяния, возбужденных состояний компонентов термосферы

Lidar researches of the thermosphere

B.M. Shevtsov

Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation FEB RSA

Dynamic processes in the thermosphere are of interest in connection with studies of solar activity and its effects on the upper atmosphere, the state of which can be considered as manifestations of weather and climatic changes. Knowledge of the optical properties of the thermosphere is necessary for the development of communication systems. This report will cover the tasks of remote sensing of the thermosphere, lidar systems, observation conditions, the main optical layers of the atmosphere, the target components of the thermosphere and their excited states, the characteristics of lidar signals, and the specifications of resonant scattering signals against a background of noise that reflects the glow of the night atmosphere and the dark current of photo detectors. Dynamic calibration of scattering signals, inverse resonance scattering problems, solutions of lidar equations, and the results of determining the excited states of thermospheric components will also be discussed.

Keywords: thermosphere, lidar systems, inverse resonance scattering problems, high-altitude scattering coefficient profiles, excited states of thermosphere components

О затухании средней интенсивности низкочастотного звукового сигнала при распространении в 2D волноводе арктического типа со взволнованной поверхностью

О.Э. Гулин, И.О. Ярошук

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки,
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева
Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия

Рассмотрена статистическая задача о распространении и рассеянии низкочастотного акустического сигнала в условиях мелководного волновода со случайно-шероховатой свободной поверхностью и горизонтальным поглощающим жидким дном. Такой двумерно-неоднородный волновод исследуется в рамках метода поперечных сечений с помощью теории локальных мод. Для модовых амплитуд краевая задача переформулируется с использованием метода погружения в соответствующую задачу с начальными условиями. В приближении однонаправленного распространения (рассеяния вперед) уравнения погружения для модовых амплитуд решаются посредством матрицанта, что позволяет эффективно выполнить статистическое моделирование характеристик поля, представляющих интерес. В работе представлены расчеты затухания и флуктуаций интенсивности сигнала в случайном волноводе арктического типа, для которого пренебрегается влиянием стратификации скорости звука в водном слое. Проведено количественное сравнение результатов различных методов для решения данной статистической задачи: адиабатического, приближения ВКБ и однонаправленного распространения. Обсуждаются вопросы выбора корреляционной функции (пространственного спектра) флуктуаций поверхности, а также ансамбля случайных реализаций, достаточного для получения достоверных результатов при выполнении статистического моделирования.

Ключевые слова: мелководный волновод арктического типа, случайно-шероховатая свободная поверхность моря, метод поперечных сечений, локальные моды, уравнения погружения, однонаправленное распространение, адиабатическое приближение, метод ВКБ.

Двухмодовая модель солнечного динамо с памятью

Г.М. Водинчар, Е.А. Казаков

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,
с. Паратунка, Камчатский край, Россия

Описание турбулентного динамо Солнца в приближении среднего поля с механизмом альфа-эффекта с помощью маломодовых систем гидродинамического типа имеет давнюю историю. При заданном крупномасштабном поле скорости (кинематическое динамо) необходимо минимум две магнитные моды — тороидальная и полоидальная. Для ограничения роста поля требуется введение в той или иной форме подавления альфа-эффекта, которое в полной МГД-системе реализуется силой Лоренца. В простейшем случае алгебраического подавления в получаемой двухмодовой системе невозможно получать хаотических компонент поля. В случае динамического подавления вводится поправка в альфа-эффект и составляется эволюционное уравнение для нее, что уже дает возможность хаотических решений. Например, классическая система Лоренца может описывать двухмодовое динамо с динамическим подавлением альфа-эффекта (Зельдович, Рузмайкин, 1981).

Известно, что существенную роль в работе динамо может играть память в отклике альфа-эффекта на изменение магнитного поля (Hori, Yoshida, 2008; Brandenburg, 2009). В том числе, при моделировании наблюдалась и задержка этого отклика (Фрик, Соколов, Степанов, 2006).

В представляемом докладе описывается схема построения двухмодового приближения для динамо Солнца, где реализована память (с возможностью задержки) в подавлении альфа-эффекта. Математически он выражается во введении поправки к альфа-эффекту, определяемой функционалом от средней спиральности и/или энергии поля. Ядро этого функционала определяет тип памяти: наличие или отсутствие задержки, величину эффективного интервала памяти или его отсутствие. Система Лоренца оказывается частным случаем такой схемы.

Вывод модельной системы осуществляется из уравнения индукции поля стандартным приемом проектирования на моды свободного затухания, восходящим к работам Н.Н. Брушлинской и О.А. Ладыженской. В качестве поля скорости использована аппроксимация дифференциального вращения Солнца по данным гелиосейсмологии (Кичатинов, 2005).

Приводятся результаты численного моделирования, обсуждается влияние памяти и задержки отклика альфа -эффекта на динамические режимы.

Распределение вероятностей по энергии и площадям в процессах, описываемых уравнением случайных движений Колмогорова 1934 года

Г. С. Голицын

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

Это уравнение $\frac{\partial P}{\partial t} + u_i \frac{\partial P}{\partial x_i} = D \frac{\partial^2 P}{\partial u_i^2}$, где $P = P(t, \mathbf{u}, \mathbf{x})$ – плотность вероятности

случайных движений, $D = \varepsilon$ – скорость генерации случайных движений, подробно описано автором в [1], являющимся кратким изложением книги [2], но там недостаточно внимания уделено вероятностным распределениям, интегральным и дифференциальным, для процессов, описываемых этим уравнением. Интегральное распределение для космических лучей выведено лишь методом подобия и размерности, а распределение горизонтальных длин, L , облаков вовсе не объяснено. Здесь же эти недоработки легко исправляются, а результаты могут быть полезны и для других целей.

1. Голицын Г. С. УФН. **194** (1), 86 (2024).
2. Голицын Г. С. Вероятностные структуры макромира: землетрясения, ураганы, наводнения... (М.: Физматлит. 2022).

Динамика струй и температурных пятен во вращающемся слое

В. П. Гончаров

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

В тонком вращающемся слое несжимаемой жидкости рассматривается крупномасштабная динамика температурных областей, вдоль границ которых под влиянием Кориолиса и силы тяжести развиваются достаточно тонкие струи. Вывод уравнений, описывающих соответствующую контурную динамику этих объектов, основан на использовании вариационного принципа и теории возмущений. Для фронтальных границ раздела, найдены частные решения в виде сворачивающихся логарифмических спиралей, петлевых солитонов и тепловых пятен. Показано, что спектральная плотность энергии поля скорости, которое создает статистический ансамбль круглых тепловых пятен, имеет степенные асимптотики $E \propto k^\alpha$ с показателями $\alpha = 2$ при $kR < 1$, и $\alpha = -1$ при $kR > 1$, где R – средний радиус пятен.

Эффекты множественной рефракции внутренних волн на ансамблях неоднородностей гидрофизических полей

В.В. Жмур

Институт океанологии им. П.П. Ширшова, Москва, Россия

Изучается множественная рефракция внутренних волн в горизонтально неоднородном океане в модовом приближении по вертикали. В качестве горизонтальных неоднородностей рассматривается ансамбль круглых в плане “пятен” с физическими характеристиками, отличающимися от их фоновых значений. Предложено от неоднородностей гидрофизических полей перейти к эквивалентным коэффициентам преломления лучей внутренних волн на указанных неоднородностях. Рассматривается около десятка моделей как самого океана, так и типов неоднородностей. Все неоднородности по свойствам коэффициента преломления n разделились на четыре группы: два случая **изотропных** $n > 1$ и $n < 1$, не зависящих от направления распространения волн, и два случая **анизотропных** n , в которых коэффициент преломления n зависит от взаимного направления распространения волн и некоторого выделенного направления, связанного с вектором течения в невозмущенной среде или в пятнах неоднородностей. В цикле работ рассматриваются эффекты множественной рефракции при прохождении внутренних волн через область, занятую ансамблем неоднородностей. Главное внимание уделялось эволюции распределения волн по углам распространения в горизонтальной плоскости при выходе из зоны ансамбля неоднородностей по мере увеличения количества неоднородностей в ансамбле. Теоретически и численно показана тенденция к быстрой изотропизации углового спектра поля волн по направлениям для случая $n < 1$. Случай $n > 1$ приводит к менее эффективной изотропизации углового распределения, требующего для заметной изотропности большего количества пятен неоднородности. В работе приведены модели ансамблей пятен неоднородности с анизотропными n , демонстрирующие сильно отличающиеся свойства. В частности в режиме глобальной анизотропии пятен неоднородности существуют направления, вдоль которых $n = 1$. Эти направления разделяют пятно на части с $n > 1$ и $n < 1$. При множественной рефракции на ансамбле подобных пятен лучи концентрируются вдоль указанных направлений $n = 1$ распространения независимо от первоначального направления облучения указанного ансамбля. К таким эффектам приводит модель двухслойного по плотности океана с горизонтальным течением с вертикальным сдвигом, где в качестве пятен неоднородности выступают линзы промежуточной плотности на границе раздела слоев. Интересно отметить, что внутренние волны концентрируются по направлениям, не совпадающим с направлением течения. Другой тип анизотропии коэффициента преломления n реализуется на ансамблях мезомасштабных вихрей. Анизотропия связана с локальным течением в вихрях и приводят к общему повороту направлений

системы волн в сторону вращения жидкости в вихрях с одновременным их рассеянием. В конечном результате эффект множественной рефракции сводится к значительному обратному “высвечиванию” волн от ансамбля неоднородностей.

Статьи по указанной тематике опубликованы в совместных работах с Л.А. Бунимовичем и М.К. Бежановой

Солитоны и солитонный газ в слабо нелинейных и слабо диспергирующих средах

Диденкулова¹ Е.Г. Пелиновский² Е.Н.

¹Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,

Нижний Новгород, Россия

²Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН,

Нижний Новгород, Россия

Солитонный газ (солитонная турбулентность) является предметом интенсивных исследований из-за его большой важности для многих физических систем. Обычно этот термин используется для интегрируемых моделей, где солитоны взаимодействуют упруго. Однако солитонная турбулентность может быть также частью неинтегрируемой динамики, где могут существовать долгоживущие решения в виде почти солитонов.

В настоящей работе динамика ансамблей уединенных волн изучается в рамках неинтегрируемого уравнения Шамеля, нелинейный член которого содержит модуль волновой функции. Некоторые важные статистические характеристики (функции распределения, моменты и т. д.) рассчитаны численно для однополярных и разнополярных солитонных газов. Качественно дается сравнение результатов с интегрируемыми моделями: уравнением Кортевега–де Вриза и модифицированным КдВ. Динамика однополярных газов оказалось очень похожей. Однако неупругое взаимодействие разнополярных солитонов приводит к передаче энергии от меньших солитонов к большим в рамках неинтегрируемых моделей. С увеличением числа разнополярных солитонов в волновой системе этот эффект передачи энергии от меньшего солитона к большему, а также возникновение дисперсионных волн при каждом взаимодействии солитонов приводит к существенному увеличению эксцесса (четвертого статистического момента), который в интегрированных системах оставался бы квази-стационарным. Демонстрирует возможность образования аномально больших импульсов в результате эволюции таких волновых полей.

О «вихревой температуре» в задаче В.И. Кляцкина об излучении звука парой вихрей

М.В. Курганский

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова, Москва, Россия

Рассматривается впервые решенная В.И. Кляцкиным задача об излучении звука парой идентичных точечных вихрей, вращающихся вокруг общего центра завихренности. Обсуждается аналогия между таким излучением звука в слабосжимаемой жидкости и излучением энергии черным телом в термодинамике, когда угловая скорость вращения вихрей является аналогом абсолютной температуры, а энергия взаимодействия вихрей – аналогом термодинамической энтропии. Указывается, что аналогом внутренней энергии в термодинамике является неадвективный поток спиральности в задаче о вихрях.

Clustering of Floating Tracers in the Ocean

P. Berloff

Imperial College, UK, London

Examples of floating tracers include marine pollution, marine biomass, brash ice, observational floats, etc. Floating and passive tracers have distinctly different characteristics, and the main feature of the former ones is their inherent tendency to get clustered, that is, to become organized in compact features with large density, surrounded by density voids. Despite of many practical aspects, dynamics of floating tracers and their clustering process remain poorly understood. In this talk we discuss some early theoretical advances on the subject and provide perspectives on the future research.

Бимодальные распределения флуктуаций температуры и скорости

в конвективном слое

Е.А. Малиновская, О.Г. Чхетиани

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова, Москва, Россия

При высокочастотных (1000 Гц) измерениях конвективной турбулентности в приповерхностном слое воздуха над нагретой поверхностью на опустыненной территории (Калмыкия, 2022-2024 гг.) в условиях летней жаркой погоды при слабых ветрах в дневное время (в 11:00-13:00 и 14:00-15:00) были обнаружены двухпиковые (бимодальные) распределения для пульсаций температуры.

Движения и теплообмен вблизи разогретой поверхности рассматриваются в приближении Буссинеска и с учетом приповерхностного градиента температуры, достигающего здесь больших значений. Полагая, что жидкая частица движется вдоль характеристической кривой $r(t)$, приблизительно вертикально, и с учётом случайных флуктуаций температуры и скорости получено уравнение для плотности вероятности. Отмечается, что для масштабов $\sim 1-5$ м при различных параметрах турбулентности увеличение градиентов температур и средней вертикальной составляющей скорости способствует возникновению распределений с двумя пиками и асимметрией, также часто наблюдаемой в измерениях.

Исследования выполнены при поддержке РНФ, проект № 25-17-00346.

Конечные времена корреляции и диффузионные явления в турбулентности

О.Г. Чхетиани

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова, Москва, Россия

Значительное количество стохастических эффектов успешно описывается в рамках приближения дельта-коррелированного случайного процесса. В то же время для ряда явлений оказывается необходим учёт конечности времён корреляции. Одним из первых методов, позволяющих решать такие задачи, стало диффузионное приближение Кляцкина–Татарского и родственные ему приближение Орзага в теории турбулентности и τ -приближение в физической кинетике. Так только при учёте конечности времён корреляции обнаруживаются эффективное увеличение диффузии пассивного и активного скаляра, турбулентной вязкости при наличии спиральности турбулентности. При максимально возможной спиральности величина эффекта может достигать 30-40%. Другие эффекты конечности времён корреляции – изменение структуры напряжений Рейнольдса, в конечном итоге влияющих на крупномасштабную гидродинамическую устойчивость течений, в частности, в экмаповском слое или к дополнительному диффузионному переносу.

Исследования выполнены при поддержке РНФ, проект № 25-17-00346.