

# НОВЫЙ МЕХАНИЗМ КОНВЕКТИВНОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ В ВЕРХНЕМ СЛОЕ СОЛЕННОЙ ВОДЫ

Ингель Л. Х.

ГУ НПО «Тайфун», 249038 г.Обнинск Калужской обл, пр.Ленина, 82,  
тел./факс (08439)66735, e-mail: [lingel@obninsk.com](mailto:lingel@obninsk.com)

The attention is called to the previously unknown mechanism of a convective instability in the upper layer of marine water stably stratified on density. A linear analysis of stability showed that instability can occur not due to the differences between values of transport coefficients for heat and salt, but owing to the differences between boundary conditions on the horizontal bound for the two substances.

Обращается внимание на неизвестный ранее механизм конвективной неустойчивости в верхнем слое морской воды, стратифицированной по температуре и солености. Линейный анализ устойчивости показал, что устойчиво стратифицированная по плотности среда может, тем не менее, терять устойчивость не вследствие различия значений коэффициентов переноса для тепла и соли (известный механизм), а благодаря различию краевых условий на горизонтальной границе для двух субстанций. Возможность такой неустойчивости может представлять значительный интерес, поскольку, в отличие от известного механизма ("двойной, дифференциальной диффузии"), могла бы реализоваться и при турбулентном обмене, когда эффективные коэффициенты переноса для тепла и соли практически равны. Это в гораздо большей степени отвечает реальным условиям в верхнем слое океана.

Физическая идея заключается в следующем. Пусть, например, при устойчивой температурной стратификации и неустойчивой стратификации солености некоторый объем среды вблизи поверхности немного сместился вверх. Поскольку стратификация плотности устойчива, он, казалось бы, должен приобрести при этом отрицательную плавучесть (будучи холоднее окружающей среды) и испытывать действие возвращающей силы. Но его плавучесть зависит также и от процессов обмена с окружающей средой. Если температура горизонтальной поверхности среды более жестко фиксирована, чем соленость (краевые условия для двух субстанций различаются), то отклонение температуры в рассматриваемом смещенном объеме среды, при прочих равных условиях, быстрее релаксирует, чем

возмущение солёности. Поскольку последнее возмущение в данном случае вносит положительный вклад в плавучесть рассматриваемого объема среды, а сохраняется лучше, чем отрицательное температурное возмущение, здесь видна принципиальная возможность положительной обратной связи.

Исследовалась конвективная устойчивость полуграниченного слоя соленой воды  $z \leq 0$  (ось  $z$  направлена вертикально вверх). Пренебрегалось деформацией свободной поверхности; помимо условия непротекания, на поверхности предполагалось также выполнение условий

$$\frac{\partial u}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial T}{\partial z} = -\frac{T}{h_T}, \quad \frac{\partial s}{\partial z} = -\frac{s}{h_s} \quad \text{при } z = 0.$$

Здесь  $u$  - составляющая возмущения скорости в направлении горизонтальной координаты  $x$  (для простоты ограничиваемся двумерной задачей, которая содержит основные новые результаты);  $h_T, h_s$  - заданные масштабы длины. Исследованы нейтральные кривые и структура нейтральных возмущений для монотонной неустойчивости.

Один из важнейших безразмерных критериев в данной задаче (аналог числа Рэлея)  $S = (1/\nu k^4) (N_T^2/\lambda + N_s^2/\chi)$ . Здесь  $N_T = (\alpha g \gamma_T)^{1/2}$ ,  $N_s = (-\beta g \gamma_s)^{1/2}$  - "термическая" и "солёностная" частоты плавучести (Брента-Вяйсяля),  $\alpha$  - термический коэффициент расширения среды,  $\beta$  - коэффициент ее солёностного сжатия,  $\nu$  - кинематический коэффициент вязкости,  $\lambda$  - коэффициент температуропроводности,  $\chi$  - коэффициент диффузии примеси,  $g$  - ускорение свободного падения,  $k$  - горизонтальное волновое число рассматриваемого возмущения,  $\gamma_T$  и  $\gamma_s$  - постоянные значения фоновых вертикальных градиентов температуры и солёности. Показано, что при  $S \gg 1$  области неустойчивости соответствует неравенство

$$\frac{\alpha \gamma_T / \lambda}{\beta \gamma_s / \chi} < \frac{(1 + kh_T)(\varepsilon + kh_s)}{(1 + kh_s)(\varepsilon + kh_T)} = \frac{(1 + kh_T)}{(\varepsilon + kh_T)} \frac{(\varepsilon + kh_s)}{(1 + kh_s)},$$

где  $\varepsilon = 3/2S^{1/6}$  - безразмерный параметр (малый в рассматриваемой асимптотике). Если краевые условия для температуры и солёности различаются ( $h_T \neq h_s$ ), то последнее условие может быть значительно мягче, чем в случае обычной дифференциально-диффузионной неустойчивости. Иными словами, различие краевых условий может

приводить к существенному расширению области неустойчивости даже при весьма устойчивой стратификации плотности.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 04-05-64027) и МНТЦ (проект G-1217).