

## ОСОБЕННОСТИ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ РЕЧНОГО ПЛЮМА ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

П.О. Завьялов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

## INTERNAL STRUCTURE OF RIVER PLUME AS REVEALED BY HIGH RESOLUTION IN SITU MEASUREMENTS

P.O. Zavialov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

*На основе гидрооптических (лидарных) и гидрофизических измерений высокого разрешения (отединицметров) описана внутренняя структура и короткопериодная изменчивость плюма, образованного стоком из лагуны Патус на шельфе Южной Бразилии.*

*An internal structure and short-period variability of Patos Lagoon plume on South Brazilian shelf is described based on optical (LiDAR) and hydrological measurements at very high spatial resolution.*

Речные плюмы, посредством которых реализуется один из основных механизмов обмена между морем и сушей, были и остаются объектом многих исследований, см., например, недавний обзор [1]. Однако, как отмечается в этом обзоре, "... хотя многие отдельные аспекты удалось прояснить, общее описание взаимодействия и относительных вкладов разных процессов перемешивания и переноса в речных плюмах пока не получено" (перевод наш). Отчасти это связано с тем, что натуральных данных необходимого пространственного и временного разрешения накоплено мало.

Предлагаемая работа основана на натуральных измерениях, выполненных на шельфе южной Бразилии во взвесенесущим опресненном плюме, созданном материковым стоком из крупнейшей в мире лагуны Патус. Эта лагуна собирает сток нескольких рек, который затем поступает на морской шельф через соединяющий лагуну и океан канал. Измерялись поля концентраций взвеси и растворенного органического углерода (РОУ). Для измерений использовался судовый ультрафиолетовый флуоресцентный лидар, что позволило обеспечить очень высокое пространственное разрешение (порядка 1 м) вдоль траектории судна и получить большой объем данных (всего 79387 одновременных определений взвеси и РОУ в течение 3 последовательных суток). Эти лидарные измерения были дополнены стандартными гидрологическими измерениями (ADCP, проточный и погружаемый STD) с борта судна и на установленной на период наблюдений заякоренной станции. Это позволило проследить за короткопериодной и синоптической изменчивостью структуры плюма. Разработан и применен оригинальный метод, позволяющий рассчитывать скорости выноса взвеси из плюма в окружающие морские воды на основе совместного рассмотрения изменений концентраций взвеси и РОУ. Основные показатели структуры плюма и содержания в нем растворенных и взвешенных веществ в зависимости от расстояния от устья показаны на Рис. 1. В результате данного анализа в плюме выделены 4 области, которым свойственны существенно разные динамические характеристики (Рис. 2). В районе вблизи источника (устья) наблюдается полная перемешанность водной колонны. Именно здесь отмечена наибольшая интенсивность гравитационного осаждения взвеси. Далее в «ядре» плюма (2-6 км от устья) формируется стратификация, и преобладают потери взвеси за счет турбулентного перемешивания. В третьей зоне, названной нами «внутренний плюм», интенсивность турбулентного перемешивания снижается, а плюм утоньшается. На периферии плюма («внешний плюм») концентрации терригенных взвеси и органики стабилизируются. Здесь осаждается не более 10% взвешенного вещества.

В целом, по нашим данным, вынос из плюма взвешенных веществ за счет турбулентного перемешивания превышал вынос за счет гравитационного осаждения взвеси примерно в 1.6 раза, за исключением относительно узкой области шириной около 2 км, непосредственно примыкающей к устью, в которой отмечена обратная ситуация.

Плюм энергично реагировал на ветровое воздействие в подсуточных временных масштабах, причем наивысшая корреляция между напряжением трения ветра и скоростью поверхностного течения соответствовала сдвигу около 8 часов. Прибрежный ветровой апвеллинг существенно модулировал изменчивость плюма. При смещениях плюма отмечалась генерация цугов короткопериодных (10-20 мин) внутренних волн.

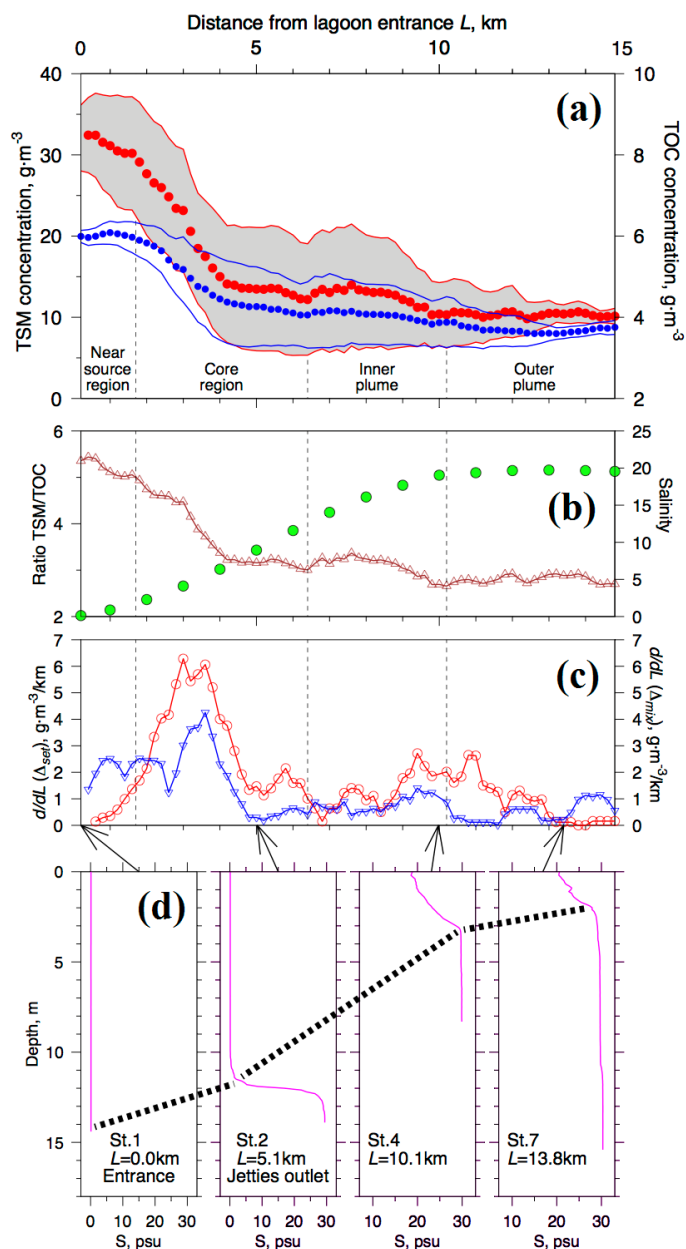


Рис. 1. (a) – Зависимости концентраций взвеси и РОУ от расстояния от устья. Интервалы вокруг точек указывают СКО; (b) – Аналогичные зависимости для отношения концентраций взвеси и РОУ (линия) и солёности (точки); (c) – Аналогичные зависимости для интенсивности выноса взвеси из плюма за счет турбулентного перемешивания (треугольники) и гравитационного осаждения (кружки); (d) – вертикальные профили солёности на разных расстояниях от устья.

По нашему мнению, подход, связанный с высокоразрешающими измерениями и совместным анализом растворенных и взвешенных трассеров, является перспективным средством исследования различных аспектов динамики материковых плумов в море. Более подробно методические аспекты таких измерений изложены в нашей статье [2].

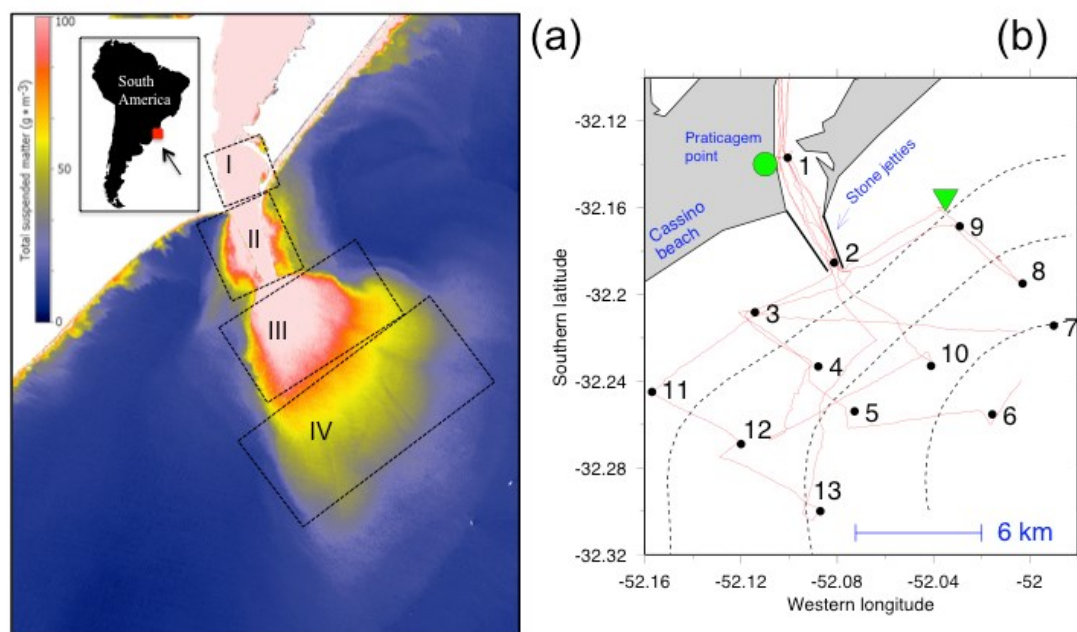


Рис. 2. Схема измерений на полигоне (справа) и представление обсуждавшихся в тексте выделенных областей плума на спутниковом изображении (слева)

### Литература

1. Horner-Devine, A.R., Hetland, R.D., and MacDonald, D.G., 2015. Mixing and transport in coastal river plumes. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 47:569-594, doi: 10.1146/annurev-fluid-010313-141408
2. Zavialov, P.O., Pelevin, V.V., Belyaev, N.A., Izhitskiy, A.S., Kononov, B.V., Kremenskiy, V.V., Goncharenko, I.V., Osadchiov, A.A., Soloviev, D.M., Garcia, C.A.E., Pereira, E.S., Sartorato, L., Moller Jr., O.O., 2018. High resolution LiDAR measurements reveal fine internal structure and variability of sediment-carrying coastal plume, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 205, 40-45, doi:10.1016/j.ecss.2018.01.008.

*Работа выполнена в рамках темы Госзадания № 0149-2018-0002 при частичной поддержке гранта РФФ 14-50-00095.*

*The work was carried out as part of the theme of the state order No. 0149-2018-0002 with partial support from the grant of the Russian Science Foundation 14-50-00095.*