

## Дистанционные методы обнаружения глубоководных вихрей в океане

В.Е. Скляр

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
117851 Москва, Нахимовский проспект, 36  
E-mail: vsklyarov@km.ru*

Рассматриваются вопросы дистанционного обнаружения вихрей, расположенных на больших глубинах в океане. Применение спутниковой альтиметрии значительно расширяет возможности исследователей. Оказывается, что спутниковый альтиметр способен фиксировать аномалии уровня океана, связанные с местоположением ВТВ на глубинах порядка 800–1000 м. Приводится пример обнаружения и исследования ВТВ в Атлантическом океане традиционными гидрологическими методами в сочетании с наблюдениями из космоса. Показано, что имеется также и возможность слежения с помощью спутникового альтиметра за перемещением ВТВ в океане в течение длительного периода времени. Результаты такого слежения приводятся в настоящей работе в виде траектории перемещения ВТВ в Атлантике с октября 1992 г по май 1994 г. За это время наблюдаемый вихрь переместился примерно на 1200 км в юго-западном направлении.

**Ключевые слова:** дистанционные методы, внутритермоклинные вихри, спутниковая альтиметрия.

### Введение

В последние годы вызывает большой интерес принципиальная возможность обнаружения глубоководных вихрей из космоса. Такого рода вихри могут проявляться на поверхности океана в аномалиях гидрофизических полей (например, ринги Гольфстрима) или явно не проявляться (некоторые типы мезомасштабных вихрей открытого океана). Особый интерес вызывает возможность дистанционного обнаружения внутритермоклинных вихрей (ВТВ), распространяющихся в океане на больших глубинах (порядка 800–1200 м). Долгое время считалось, что эти вихри не оставляют следов на поверхности океана и обнаруживаются только в главном термоклине по сильным положительным аномалиям температуры и солёности.

Необходимо отметить, что оценка принципиальной возможности обнаружения ВТВ в инфракрасном и видимом диапазонах спектра предпринимались ранее. В докладе (Castellani, 2009) применялась специальная методика фильтрации первичной информации со спутников NOAA для района Кадисского залива и вблизи побережья Португалии. Автор (Castellani, 2009) подтверждал успешность сделанных попыток обнаружения вихрей. В сообщении (Scientists use satellites to detect deep-ocean whirlpools- [http://www.gisdevelopment.net/news/viewn.asp?id=GIS:N\\_vhxlmkqgyn](http://www.gisdevelopment.net/news/viewn.asp?id=GIS:N_vhxlmkqgyn)) говорилось о планах совместных работ группы ученых из разных стран по использованию информации со спутников NOAA и данных скаттерометра QuikScat для изучения ВТВ в Атлантическом и Тихом океанах. Впервые вопрос о возможности обнаружения ВТВ методами спутниковой альтиметрии был поставлен в работе (Stammer et al, 1991). По данным автора этой работы был получен положительный результат по обнаружению ВТВ из космоса в Кадисском заливе. Однако следует отметить, что альтиметрические наблюдения то время были еще несовершенны и требовали дополнительной и сложной обработки данных. И только спустя много лет в практически одновременно опубликованных работах (Березуцкий, Скляр, 2010; Carton et al, 2010) были использованы данные современных альтиметрических измерений. В работе французских исследователей (Carton et al, 2010) было успешно осуществлено наблюдение из космоса и одновременное исследование ВТВ судовыми гидрологическими методами. В нашей работе (Березуцкий, Скляр, 2010) в качестве синхронных спутниковым судовых наблюдений были привлечены данные сейсмоакустических разрез

ВТВ. В цитируемых работах и на экспериментальном материале была доказана принципиальная возможность обнаружения ВТВ по аномалиям уровенной поверхности океана.

### **Внутритермоклинные вихри**

Внутритермоклинные вихри встречаются в различных частях Мирового океана (Федоров, 1986). В Атлантическом океане ВТВ представляют собой линзы более теплых (на 4°C) и более соленых (на 1 промилле) вод средиземноморского происхождения. В Гибралтарском проливе расположены пороги-каньоны, которые и определяют особенности водообмена с Атлантическим океаном. Придонное течение, проходя через эти препятствия, образует выброс средиземноморских вод в Кадисский залив на глубинах 800–1300 м. Этот выброс образует в Атлантическом океане промежуточные воды Средиземноморского происхождения (СМПВ). Кроме того, он приводит к периодическому образованию ВТВ как антициклонического, так и циклонического вида. Образовавшиеся вихри движутся в основном в двух направлениях: 1 – прямо на запад в открытый океан и 2 – на северо-запад вдоль Иберийского полуострова. Средняя скорость перемещения вихрей составляет порядка нескольких см/сек, а период вращения 4–6 дней (Федоров, 1986; Алейник и др., 1998). В работе (Алейник и др., 1998) были получены весьма любопытные особенности образования ВТВ в Кадисском заливе Атлантики. Авторами (Алейник и др., 1998) было высказана гипотеза о первоначальном накоплении средиземноморских вод в неоднородностях («пазухах») рельефа дна и последующем выбросе этих вод в виде вихрей обоого знака. В те годы проводились довольно интенсивные экспедиционные исследования ВТВ в Атлантическом океане. И вскоре линзы соленых и теплых вод стали обнаруживать в Канарской котловине вблизи Срединно-Атлантического хребта и, даже, в Саргассовом море. Было установлено, что за два года своей жизни такие линзы проходят расстояние около одной тысячи километров. ВТВ переносят большое количество тепла и соли (Филюшкин и др., 2008) и поэтому имеют весомое влияние на климатические характеристики океана. Обнаружение ВТВ традиционными средствами измерений в морских экспедициях – это весьма непростая и дорогостоящая задача. В приводимых исследованиях рассматриваются возможности не только обнаружения, но и слежения за ВТВ дистанционными методами.

### **Результаты исследований**

В настоящей работе мы решили провести анализ альтиметрической информации для хорошо выраженного и уверенно определенного в океане традиционными методами внутритермоклинного вихря. Весьма подробные сведения о гидрофизических характеристиках и локализации этого вихря можно почерпнуть из работы (Tychensky, Carton, 1998)). Этот вихрь был обнаружен и исследован в июле 1993 г. в районе Канарской котловины с координатами центра вихря 36° с.ш., 28° з.д. На рис. 1 показаны разрезы этого вихря в полях температуры и солёности. Отличительной особенностью этого ВТВ является наличие двойного максимума для температуры и солёности. Их величины составляют 13.2.° C и 36.5 psu на глубине 850 м и 12.3.° C и 36.5 psu на глубине 1250 м. Обратимся вновь к рис. 1 и отметим, что максимальные аномалии в сравнение с окружающими водами достигали 4.1°C и 1.1 «промилле» на глубине 1250 м. Размер вихря в поперечнике составил 120 км. На рис. 2 представлены данные спутникового альтиметра на ту же дату 14 июля 1993 г.

Легко видеть, что локализация вихря совпадает с центром положительной аномалии уровенной поверхности. Горизонтальный масштаб вихря и аномалии также совпадают. В центре вихря аномалия составляет порядка 6 см. Столь высокий уровень аномалии позволяет устойчиво и надежно фиксировать сам факт наличия и местоположение ВТВ. Отметим также, что подъем уровенной поверхности соответствовал антициклоническому характеру вихря.

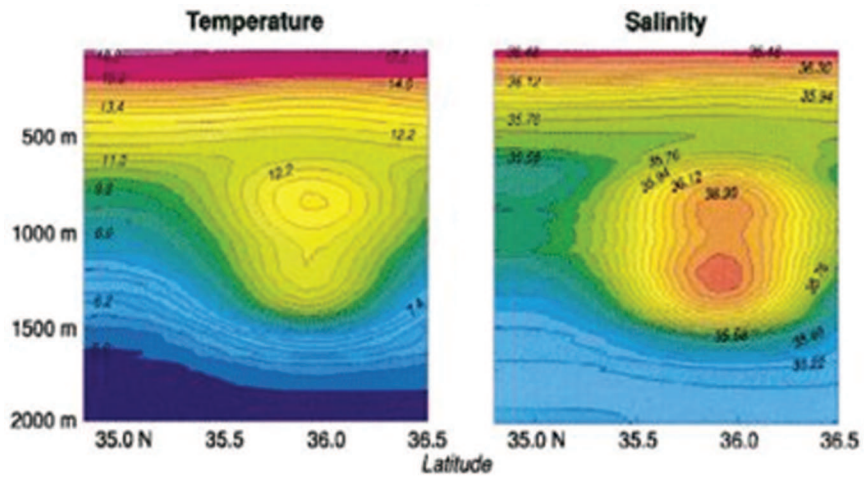


Рис. 1. Разрезы температуры и солёности через ВТВ, данные заимствованы из работы (Carton et al., 2010). Исследования были выполнены в июле 1993г. в районе 36° с.ш, 28° з.д.

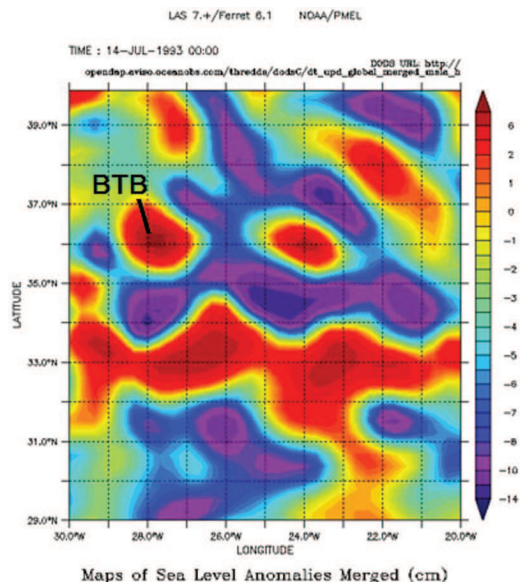


Рис. 2. Аномалии уровня океана на 14 июля 1993г. Стрелкой показано местоположение ВТВ. Альтиметрия получена с сайта [www.aviso.com](http://www.aviso.com)

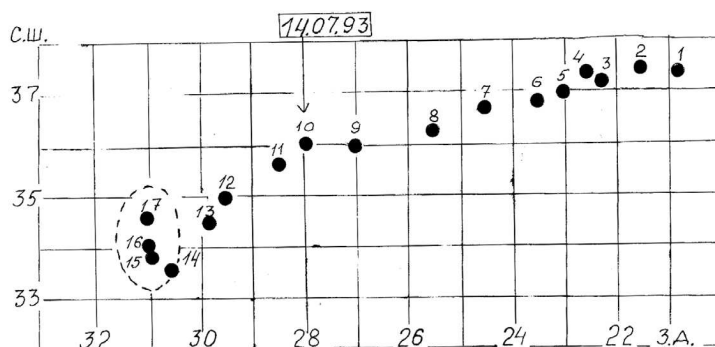


Рис. 3. Траектория перемещения ВТВ с середины октября 1992г. (точка1) по май 1994г. (область обозначенная пунктиром в левой части графика). Точка 10 соответствует времени проведения судовых работ (июле 1993г.)

Далее, представляется целесообразным ответить на вопрос – возможно ли слежение за перемещением ВТВ в океане используя только альтиметрические данные?

С этой целью нами были собраны данные спутникового альтиметра с шагом – один месяц, как вперед, так и назад по шкале времени от даты обнаружения ВТВ (14 июля 1993г.). На рис.2 представлены полученные результаты в виде траектории перемещения вихря начиная с середины октября 1992г. по май 1994г., то есть в течение 17 месяцев. Отметим, что перемещение вихря назад по шкале времени успешно восстанавливалось до точки с примерными координатами  $37,2^\circ$  с.ш.,  $20,8^\circ$  з.д. (14 октября 1992г.). Здесь мы были вынуждены остановиться, т.к. более ранние наблюдения просто отсутствовали в базе данных на сайте *aviso.com*. По шкале времени вперед мы смогли уверенно следить за ВТВ до весны 1994г. Однако весной (март–май) 1994г. наблюдаемый вихрь начал, по-видимому, сливаться с другими вихрями и образовал обширную положительную аномалию уровня (пунктир на рис.2) между  $33\text{--}35^\circ$  с.ш. и  $30.5\text{--}31.5^\circ$  з.д. Наблюдаемый вихрь потерял свои первоначальные пространственные очертания, и дальнейшее слежение за ним оказалось невозможным. Тем не менее, в целом, нам удалось проследить за перемещением ВТВ по данным спутниковой альтиметрии в течение 17 месяцев. За это время наблюдаемый вихрь переместился в юго-западном направлении примерно на 1000–1200 км.

### Выводы

На основании проведенных исследований, можно сделать вывод, что обнаружение и слежение за ВТВ из космоса возможно. При этом методы спутниковой альтиметрии являются одними из наиболее перспективных для решения этой задачи. Учитывая большую стоимость в настоящее время экспедиционных работ в океане, хочется надеяться на рост востребованности методов спутниковой океанологии при решении сложных научных и прикладных задач.

### Литература

1. *Алейник Д. Л., Плахин Е.А., Филлюшкин Б.Н.* К механизму формирования внутритермоклинных линз в районе каньонов континентального склона Кадисского залива // *Океанология*. 1998. Т. 38. № 5. С. 645–653.
2. *Березуцкий А.В., Скляр В.Е.* Дистанционные методы обнаружения внутритермоклинных вихрей в океане // *Современные проблемы дистанционного зондирования из космоса*, 2010. Т.7.№1. С. 228–237.
3. *Федоров К.Н.* (ред.) *Внутритермоклинные вихри в океане*. М.: ИОАН, 1986. 143 с.
4. *Филлюшкин Б.Н, Мошонкин С.Н., Кожелупова Н.Г.* Сезонная эволюция распространения вод Средиземного моря и Северной Атлантики // *Океанология*, 2008. Т. 48. №6. С.834–842.
5. *Castellani M.* Automatic detection of Mediterranean water eddies from satellite imagery of the Atlantic Ocean // *Report on IPROMS Conference 2009, 6–17th July 2009*.
6. *Carton X., Daniault N., Alves J., Cherubin L., and Ambar I.* Meddy dynamics and interaction with neighboring eddies southwest of Portugal: Observations and modeling // *J. Geophys. Res.*, 2010, Vol. 115, C06017, doi:10.1029/2009JC005646.
7. *Stammer D, Hinrichsen H-H, Kase R.H.K.* Can Meddies be detected by satellite altimetry? // *Journal of geophysical research*, 1991, vol. 96, №. c4, pages 7005–7014.
8. *Tychensky A., and. Carton X.* Hydrological and dynamical characterization of meddies in the Azores region: A paradigm for baroclinic vortex dynamics // *J. Geophys. Res.*, 1998, 103 (C11), 25 061–25 079.

# Remote sensing of the eddies in the deep ocean

V.E. Sklyarov

*P.P. Shirshov Institute of Oceanology, RAS  
36 Nakhimovsky Pr., Moscow, 117851, Russia  
E-mail: , [vsklyarov@km.ru](mailto:vsklyarov@km.ru)*

Questions of remote sensing of the located in the deep ocean eddies are considered. Application of a satellite altimeter considerably expands possibilities of the researchers. It appears that satellite altimeter is capable to detect anomalies of the sea surface level connected with location of eddy on the depths about 800–1000 meters. It is shown that is available as well tracking eddy (Meddy for Atlantic Ocean) moving during the long period of time. Results of such tracking are given in the form of a trajectory of Meddy moving in Atlantic Ocean since October 1992r till May 1994r. During this time the observable Meddy moved approximately on 1200 km in the southwest direction.

**Keywords:** remote sensing, Meddy, satellites altimetry.