

## ВЫПОЛНЕНИЕ РАЗРЕЗОВ SR1 И SR2 ЧЕРЕЗ ПРОЛИВ ДРЕЙКА И ОТ АФРИКИ ДО АНТАРКТИДЫ НА СУДАХ ИО РАН «АКАДЕМИК ВАВИЛОВ» И «АКАДЕМИК ИОФФЕ»

С.В.ГЛАДЫШЕВ (ИО РАН)

**Введение.** Институт океанологии им. П.П.Ширшова в рамках ФЦП «Мировой океан» и Программы Президиума РАН проводит ежегодные наблюдения в атлантическом секторе Южного океана с 2003 г. Географически эти наблюдения сконцентрированы на границах Тихого и Атлантического и Атлантического и Индийского океанов и по международной классификации соответствуют разрезам SR1 и SR2 программы CLIVAR.

Повторяемые гидрологические разрезы являются фундаментальной частью системы наблюдений в Мировом океане. Эти наблюдения обеспечивают получение образцов воды с различных глубин на гидрохимические, биологические, экологические, геохимические анализы. Наблюдения на гидрологических разрезах являются высокоточными, потому что датчики приборов калибруются перед началом измерений, в процессе измерений и после их окончания. Этот вид наблюдений позволяет одновременно использовать все имеющиеся виды датчиков и проводить измерения от поверхности до дна. Измерения с судов дают надежную оценку бароклинного транспорта океанских течений и возможность проводить непрерывные измерения многих параметров океанской среды по ходу движения судна.

Важность изучения Южного океана, прежде всего, определяется наличием самого мощного течения на планете - Антарктического Циркумполярного течения. Это течение связывает три океана и оказывает огромное влияние на глобальную циркуляцию и изменения климата на Земле. С другой стороны, это течение разделяет теплые субтропики и холодные полярные регионы. Сильные сезонные вариации альбедо в районах сезонного распространения антарктического плавучего морского льда, огромный потенциал колебаний уровня Южного океана, связанный с замерзающим или тающим ледяным щитом Антарктиды, таяние льда в результате апвеллинга циркумполярных глубинных вод вблизи антарктического шельфа, одновременно являющегося главным источником поступления нитратов в поверхностные воды, контролирующим колебания глобальной продуктивности, - этот неполный перечень явлений и процессов наглядно характеризует критическую роль Антарктического Циркумполярного течения и Южного океана в целом для всей планетарной системы.

Антарктическое Циркумполярное течение является глобальным регулятором, так как соединяет три океана из-за отсутствия барьеров в виде материков и, как следствие, определяет текущее среднее состояние этих бассейнов и осуществляет динамическую связь между ячейками глобального океанского конвейера. Сильный наклон изопикн поперек Антарктического Циркумполярного течения определяет интенсивный вертикальный обмен между глубинными и поверхностными водами. Основным механизмом обмена массой, теплом и импульсом является вихревой перенос в системе вод течения при участии сильной дрейфовой составляющей и работе сил плавучести. Интенсивный вертикальный обмен между поверхностными и глубинными слоями определяет скорость поглощения  $\text{CO}_2$  Южным океаном, и этот обмен также зависит от скорости ветра и вихревой активности в системе Антарктического Циркумполярного течения. Южный океан является самым активным поглотителем антропогенного тепла и углекислого газа на планете. Некоторые оценки показывают, что его доля в этом превышает 40 %, он также является главным источником 75 % нитратов, необходимых для формирования глобальной первичной продукции.

Современные исследования показывают, что Южный океан на данном этапе теплеет с более высокой скоростью, чем в среднем весь Мировой океан. Поверхностные воды Южного океана, вследствие потепления, распресняются в результате усилившихся атмосферных осадков и таяния плавучих антарктических льдов, а также, возможно, ледникового щита Антарктиды. Спутниковые данные демонстрируют рост уровня Южного океана и сильное смещение в пространстве термических фронтов Антарктического Циркумполярного течения. Увеличение поглощения углекислого газа приводит к изменению кислотности (PH) морской воды и растворимости в ней газов. Существуют отдельные доказательства связанного с предыдущими явлениями уменьшения скорости роста (известкования) раковин некоторых морских организмов.

Характерной особенностью экосистемы Южного океана является наличие базового вида антарктического криля (*Euphasia suberba*), который нахо-

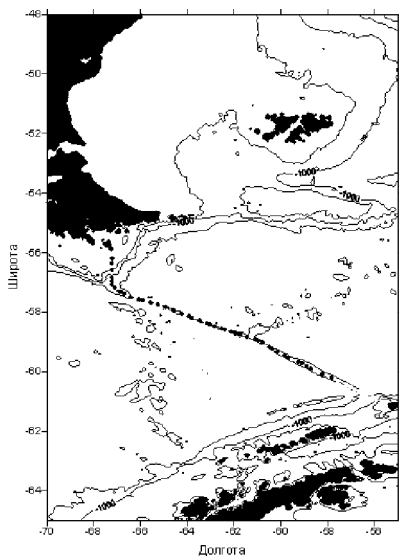


Рис.1. Гидрологический разрез вдоль разлома Шеклтона

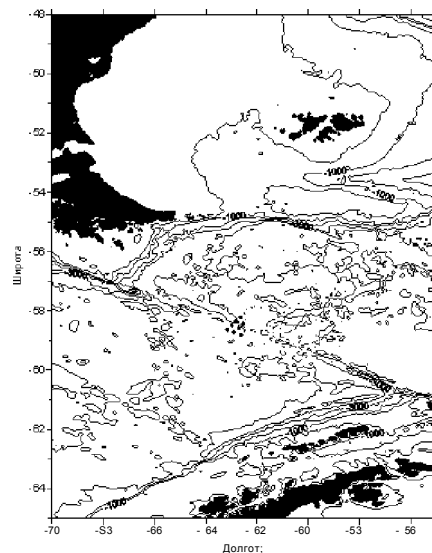


Рис. 2. Положение станций в проливе Дрейка в 2007-2008 гг. Станции показаны точками

дится в основании всей цепочки большой популяции организмов на более высоких трофических уровнях. Такая зависимость всей экосистемы лишь от одного биологического вида делает эту экосистему очень уязвимой к возможным резким климатическим изменениям. Это делает еще более актуальным изучение климата и его изменений в Южном океане.

**Исследования ИО РАН в рамках МПГ.** В 2007–2008 гг. Институтом океанологии РАН был выполнен гидрологический разрез вдоль разлома Шеклтона и гидрологическая съемка в районе глубоководных проходов этого разлома в проливе Дрейка (рис.1).

Наблюдения проводились в периоды 11-19 ноября 2007 г и 23 октября - 3 ноября 2008 г. Основной научный состав экспедиций погрузился на НИС «Академик Иоффе» и «Академик Сергей Вавилов» в порту Монтевидео (Уругвай) и высадился в порту Ушуйя (Аргентина).

Во время первой экспедиции были выполнены следующие работы:

- а) 53 CTD-станции зондом SBE 911plus, расстояние между которыми составляло 6-15 миль;
- б) на CTD-станциях проводились синхронные измерения течений при помощи двух погружаемых LADCP (Sentinel Workhorse 300 kHz Up and Down-looking) с частотой 1 Гц;
- в) измерения судовым VMADCP (RDI NB075 High Power) проводились непрерывно на ходу судна с частотой 0,5 Гц с 9 по 20 ноября;
- г) отбор проб воды на каждой гидрологической станции на 22 горизонтах и измерение концентрации различных гидрохимических трассеров (растворенного кислорода, кремния, фосфатов);
- д) измерение электропроводности морской воды и расчет солёности для калибровки датчиков зонда;
- е) на переходе Санта-Крус-де-Тенерифе - Мон-

тевидео осуществлялись высокоточные наблюдения за параметрами приповерхностной атмосферы (температурой, влажностью, давлением, ветром, облачностью и потоками тепла);

ж) отбор проб воды для измерения концентрации хлорофилла «а» и оценки первичной продукции на 10 горизонтах 10 станций.

Во время второй экспедиции были выполнены следующие работы:

- а) 66 CTD-станций зондом SBE 911plus, расстояние между которыми составляло 10 миль;
- б) на CTD-станциях проводились синхронные измерения течений при помощи двух погружаемых LADCP (Sentinel Workhorse 300 kHz Up and Down-looking) с частотой 1 Гц;
- в) измерения судовым VMADCP (RDI NB150 High Power) проводились непрерывно на ходу судна с частотой 0.067 Гц с 23 октября по 3 ноября;
- г) отбор проб воды на каждой гидрологической станции на 24 горизонтах и измерение концентрации различных гидрохимических трассеров (растворенного кислорода, кремния, фосфатов);
- д) измерение электропроводности морской воды и расчет солёности для калибровки датчиков электропроводности зонда;
- е) исследования пространственных изменений Chl<sub>a</sub> и первичной продукции на поверхности (PP0) в Южной Атлантике на перегоне от порта Монтевидео до пролива Дрейка и на полигоне. Выполнено 12 станций с определением первичной продукции в столбе воды и 11 станций для определения содержания хлорофилла «а» спектрофотометрическим методом (рис. 2). На этих станциях рассчитывалось содержание Chl в столбе воды (0-200 м) и изучалось его вертикальное распределение. На 33-х станциях вертикальное распределение Chl исследовалось в пробах с различных горизонтов с помощью флуориметри-

ческого метода. На промежуточных 31 станциях отбирались пробы только для определения ChlO;

ж) исследование загрязнения морских аэрозолей биотоксинами в юго-западной части Атлантического океана.

Основные задачи экспедиций:

а) анализ меж океанского переноса вод Антарктического Циркумполярного течения в проливе Дрейка;

б) исследование переноса антарктических промежуточных вод через пролив Дрейка;

в) исследование распространения модифицированных вод моря Уэдделла в придонном слое пролива Дрейка и течений западного направления в глубоководных проходах по данным прямых измерений течений;

г) мониторинг вихревых структур в проливе Дрейка;

д) оценка масштабов пространственной изменчивости хлорофилла, первичной продукции, ассимиляционного числа фитопланктона и связи этой изменчивости с характером циркуляции, особенностями вертикальной структуры гидрофизических и гидрохимических полей в Южной Атлантике и Южном океане. Получение информации для расширения банка данных по пространственным и временным изменениям содержания хлорофилла «а» и первичной продукции в Мировом океане;

е) получение интегральных оценок первичной продукции для малоизученного района Южного океана - центральной части пролива Дрейка на основе детального пространственного покрытия областей с различными абиотическими условиями. Проведение подспутниковых измерений концентрации хлорофилла «а» с целью разработки корректировочных коэффициентов для данных, полученных спутниковыми сканерами цвета океана. Сбор данных для верификации и дальнейшей разработки региональных алгоритмов расчета содержания хлорофилла и первичной продукции по спутниковым данным;

ж) исследование видового состава и количественных показателей развития фитопланктона;

з) исследование видового состава и количественных показателей развития зоопланктона;

и) оценка масштабов пространственной изменчивости, качественный и количественный состав различных групп зоопланктона в активном слое в гидродинамически сложном районе Южного океана и связи этой изменчивости с различными условиями среды.

Основные приборы:

1. Зондирующий комплекс в составе SBE 911plus / SBE 32 plus с датчиками температуры, электропроводности, давления, растворенного кислорода и мутности. На карусели были установлены 24 батометра емкостью от 5 до 12 л для отбора проб воды на гидрохимические и биологические анализы.

2. Комплект LADCP (Sentinel Workhorse 300 kHz Up and Down-looking) предназначенный для изме-

рения вертикального профиля течений с судна лещащего в дрейфе. Пара LADCP была закреплена на раме SBE 32.

3. Автоматический титратор 794 Basic Titrino производства фирмы Metrohm (Швейцария) с бюреткой объемом 10 мл (шаг дозирования составлял 0,001 мл, максимально возможная погрешность бюретки, согласно техническим данным, составляет  $\pm 20$  мкл на каждые 10 мл, а случайная ошибка -  $\pm 7$  мкл).

4. Спектрофотометры Cary 100 Seam Varian и Shimadzu UV-Visible mini-1240 для определения концентрации фосфатов и кремниевой кислоты.

5. Судовые VMADCP (RDI NB150 и 075 High Power), вмонтированные в днище судна и производящие измерения скорости течений в верхнем слое по ходу движения судна.

6. Термосолонограф SBE 21 для измерения температуры и электропроводности морской воды на глубине 5-6 метров по ходу движения судна (в среднем одно измерение через каждые 50 м, при скорости судна 9 узлов).

Точность измерений:

Параметр	Точность измерений
Температура	0,001 °C
Электропроводность	0,002 мСм/м
Давление	менее 1 дб
Скорость течений по LADCP	0,05-0,06 м/с
Растворенный кислород титрованием по Винклеру	0,01-0,02 мг/л
Кремний	относительная ошибка 2,5-4 %
Фосфор	относительная ошибка 1 %

Предварительные выводы.

1. Термохалинные фронты Антарктического Циркумполярного течения слабо выражены в поле горизонтальных градиентов термохалинных свойств.

2. На южной границе Антарктического Циркумполярного течения в проливе Дрейка наблюдается хорошо выраженное течение западного направления, которое переносит модифицированные глубинные воды моря Уэдделла в Тихий океан.

3. Интегральный геострофический транспорт над порогом, разделяющим Тихий и Атлантический океаны в проливе Дрейка, составляет только 93 Св. Это может означать, что рециркуляция атлантических и тихоокеанских придонных вод, не перетекающих этот порог, может составлять 10-15 Св.

4. Максимальный геострофический перенос вод наблюдается в районе Субантарктического фронта и составляет более 50 % всего переноса Антарктического Циркумполярного течения.

5. На увеличение содержания хлорофилла на поверхности оказал влияние только субантарктический фронт. Интегральные величины хлорофилла в слое фотосинтеза и в слое 0-200 м возрастают и на субантарктическом, и на полярном фронте.

6. Холодные циклонические вихри в полярной фронтальной зоне могут на порядок снижать содержание хлорофилла в поверхностном слое пролива Дрейка.

7. Низкое содержание растворенного кремния способно лимитировать развитие фитопланктона в Субантарктике и северной части полярной фронтальной зоны. Другим лимитирующим фактором могли быть невысокие значения температуры поверхностного слоя в антарктической зоне. Небольшая в целом толщина верхнего перемешанного слоя могла способствовать отсутствию угнетения роста фитопланктона из-за светового голодания.

8. Сравнение величин концентрации экспедиционного и спутникового хлорофилла показало значительные погрешности определения последнего, свя-

занные в основном с сильной пространственной изменчивостью на Патагонском шельфе. По данным сканера SeaWiFs, не отмечено кратковременное «цветение» фитопланктона в районе субтропического фронта, несмотря на отсутствие облачности.

9. По величинам содержания хлорофилла на поверхности фитопланктон в проливе Дрейка в ноябре находился в зимней стадии сезонной сукцессии в Антарктике и южной части полярной фронтальной зоны, в то время как в субантарктических водах началась весенняя фаза его развития.

10. Отмеченное разнообразие вертикальных профилей хлорофилла в Антарктике свидетельствует о невозможности использования «однородного» типа кривой распределения этого пигмента в моделях расчета первичной продукции.