

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЗАЛИВЕ ГРЁНФЬОРД (О. ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН) В РАМКАХ ЭКСПЕДИЦИИ А-162-Ш В 2006-2007 ГГ.

ПРЯМИКОВ С.М., О.Ф.ГОЛОВАНОВ, М.В.ТРЕТЬЯКОВ (ААНИИ);
Ф.НИЛЬСЕН (Университетский центр Шпицбергена)

Состояние климатической системы и природной среды Арктики находится под влиянием существенных аномалий климатообразующих процессов. В последние годы отмечается аномальное повышение температуры атлантических вод, поступающих в Северный Ледовитый океан, которое в отдельных районах значительно превысило средние значения за весь исторический период наблюдений, насчитывающий почти 150 лет.

Чтобы получить оценки климатических изменений и реакции на них окружающей среды Арктики, необходимые для последующей разработки рекомендаций по рациональному природопользованию, своевременного прогноза и предупреждения

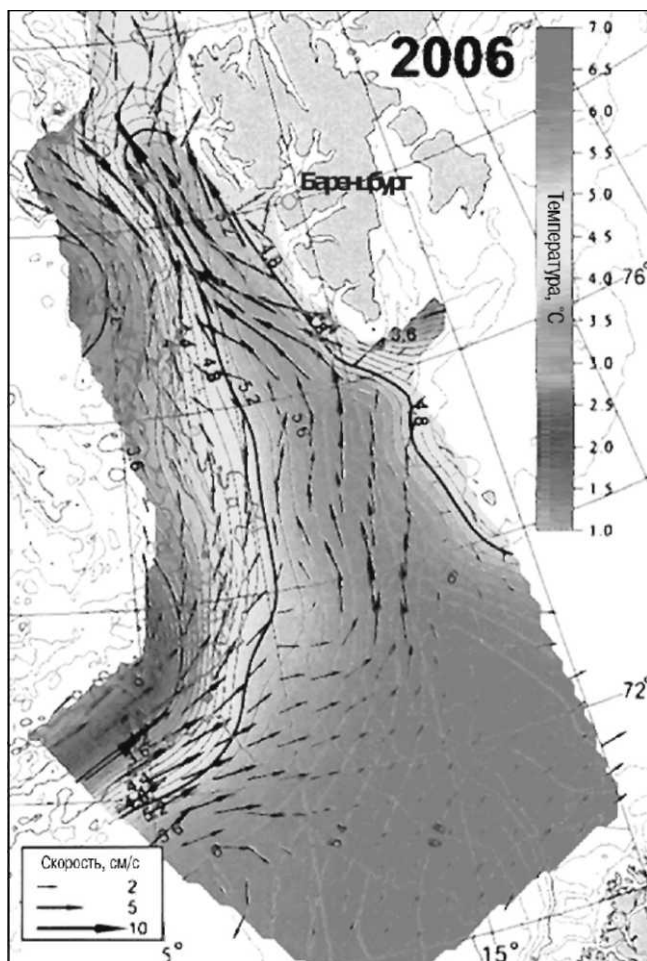


Рис.1. Схема циркуляции и максимальная температура вод в регионе архипелага Шпицберген [Walcowski W., Piechura J., 2007]

или минимизации нежелательных последствий, требуется проведение на постоянной основе комплексных морских исследований. При этом, чтобы минимизировать затраты, целесообразно найти репрезентативные точки наблюдений вблизи научных станций с развитой инфраструктурой.

Как показывают имеющиеся данные, залив Грэнфьорд (о. Западный Шпицберген) является удобным и достаточно репрезентативным районом для проведения комплексных наблюдений, позволяющих получить оценки масштаба и влияния климатических изменений на состояние природной среды, как следствие, на условия хозяйственной деятельности. Комплексные океанографические исследования в заливе Грэнфьорд, возобновленные ААНИИ в 2006 г [Третьяков М.В. и др., 2007], направлены на решение следующих основных задач:

- оценка возможности получения репрезентативного сигнала об изменчивости Западно-Шпицбергенского течения (WSC) (рис. 1) как индикатора изменчивости поступления тепла в Северный Ледовитый океан на базе анализа вариации затока атлантических вод в залив Грэнфьорд;
- изучение изменчивости океанографических полей в районе архипелага Шпицберген как части природной системы атмосфера-криосфера-гидросфера-биосфера в условиях быстрого изменения климата Арктики;
- оценка роли водных масс атлантического происхождения в формировании пресноводного баланса Грэнфьорда.

Залив Грэнфьорд расположен в западной части архипелага Шпицберген между 77,96 и 78,11° с.ш. и 13,95 и 14,32° в.д. Залив ориентирован с юга на север и имеет протяженность около 16,5 км. Ширина изменяется от 1,8 (в кутовой части) до 5,4 км на границе с Исфьордом. Площадь акватории составляет около 47 км². Рельеф дна залива имеет правильную корытообразную форму с уклоном в сторону открытой границы. Глубины изменяются от 50 (в кутовой части) до 170 м на выходе из фьорда. В залив впадают несколько рек и ручьев. Наиболее крупные реки на водосборе Грэнфьорда - Грэн, Грэнфьорд, Брефьерна, Альдегонда, Брюде и Конгресс. Эти реки в период максимального стока выносят в залив большое количество обломочного материала [Соловьянова И.Ю., Третьяков М.В., 2004]. Суммарный расход воды этих рек может достигать 30 м³/с.

Далее приведены основные результаты выполненных ААНИИ в 2006-2007 гг экспедиционных исследований состояния вод залива Грэнфьорд по океанографическим, гидрохимическим и гидробиологическим показателям. При этом часть работ проведена в сотрудничестве с Норвежским полярным институтом (NPI) и Университетским центром Шпицбергена (UNIS) в рамках проекта МПГ «Исследование текущего состояния климатической системы Шпицбергена».

Зондирование водной толщи залива Грэнфьорд производилось как с борта норвежских НИС «Лан-се» и «Хакон Мосби» (рис. 2), так и с российского катера при помощи мини-ТО-зонда.

Измерения температуры и солёности в заливе Грэнфьорд летом 2006 и 2007 гг. проводились по семи поперечным разрезам. Центральные точки поперечных разрезов и станция в вершине залива образуют продольный разрез. Расположение станций показано на рис. 3 и соответствует расположению стандартной сети гидрологических станций, выполненных зональной гидрометеорологической обсерваторией «Баренцбург» (ЗГМО) в 1980-х гг. В районах впадения во фьорд рек Альдегонда и Грэн выполнялись дополнительные наблюдения с зондированием до дна, а также с зондированием только верхнего слоя.

В 2007 г. впервые в истории исследований Грэнфьорда в центральной его части на траверзе мыса Финнесет была установлена автономная буйковая станция АБС-1 (точка Fin2 на рис. 3). Первая постановка ее была осуществлена 1825 июля. STD-зонд закреплялся на горизонте 106 м (при глубине места 143 м). Дискретность



Рис. 2. НИС «Хакон Мосби». Наблюдение за вертикальным распределением температуры и солёности в заливе 6 сентября 2007 г.

измерений задавалась равной 10 мин. Вторая постановка АБС-2 была выполнена 26 июля - 7 сентября с дискретностью измерений 30 мин с зондом на горизонте 120 м.

В 2006 и 2007 гг. проводился следующий комплекс гидрохимических наблюдений в заливе Грэнфьорд:

- анализ первого дня на определение температуры, pH, удельной электрической проводимости и содержания растворенного кислорода;

- отбор проб морской воды на определение некоторых биогенных элементов (концентраций фосфора реакционно-способного, фосфатов, кремния, нитратов, нитритов, аммония);
- отбор проб морской воды для определения качественных и количественных показателей развития бактерио-, фито- и зоопланктона.

Океанологические съемки залива Грэнфьорд относятся к различным фазам его гидрологического режима и выполнялись как в период максимального, так и в период пониженного речного стока. Данные, полученные NPI с судна «Лансе» в 2006 г., дают сведения о термохалинной структуре вод залива Грэнфьорд в самом начале летнего прогрева. Результаты работ в период экспедиции ААНИИ освещают переход от фазы летнего прогрева с максимальным влиянием речного стока к фазе осеннего выхолаживания с уменьшенным речным стоком. В начале осени 2007 г. работы в заливе Грэнфьорд проводились также с борта норвежского НИС «Хакон Мосби».

На рис. 4 представлено вертикальное распределение температуры и солёности в течение летних сезонов 2006 и 2007 гг. в центральной части залива Грэнфьорд.

Зондирование водной толщи залива Грэнфьорд в период 30 июля - 6 августа 2006 г. проводилось при значительном речном стоке, обусловленном интенсивным таянием снежного покрова и ледников, и показало, что температура воды изменяется от 1 до 7 °С, а солёность - от 0 до 34,88 ‰. Минимальные значения температуры и солёности соответствуют характеристикам речных вод, поступающих с водосборов суши. При попадании в залив речная вода достаточно быстро смешивается с морской и не проявляет свойств пресной воды уже на расстоянии нескольких метров от места впадения. Дальнейшее, до 100 м от места впадения реки, распространение смешанных вод происходит в тонком поверхностном слое толщиной около 30 см. Лишь на расстоянии 400-500 м поверхностный и однородный по температуре и солёности слой становится толще 0,5 м. Такая картина характерна для условий, близких к штилевым. Но под динамическим воздействием ветра распресненный поверхностный слой значительно более активно перемешивается с нижележащими слоями и формируется характерная вертикальная термохалинная структура (рис. 5). Распределение температуры и солёности во время съемки 30 июля - 6 августа (рис. 5 а, б)

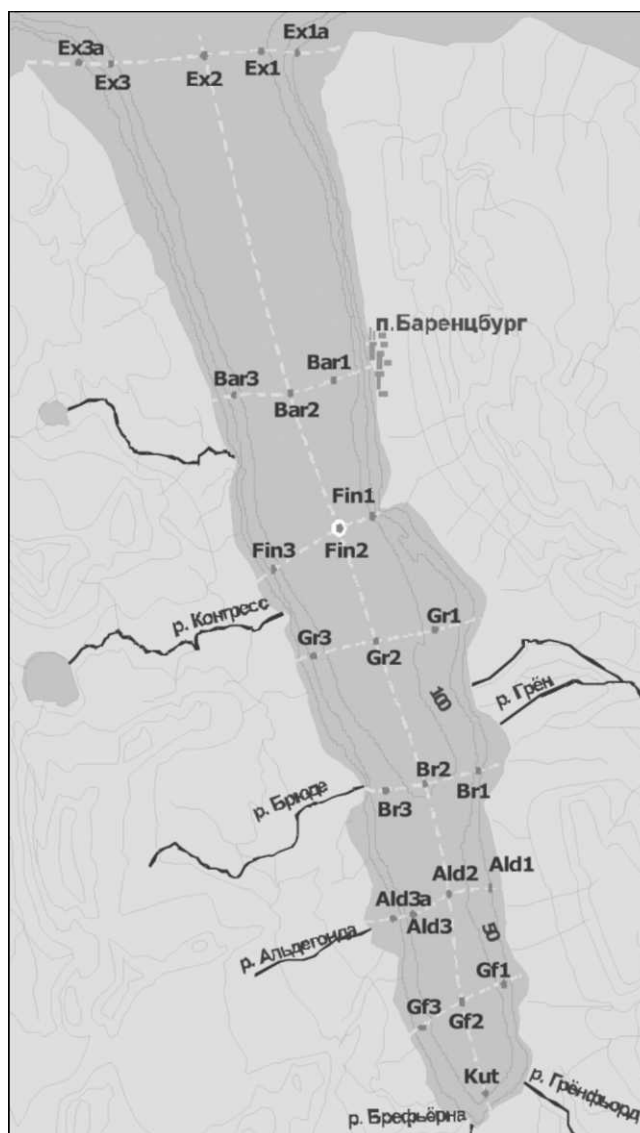


Рис. 3. Расположение океанологических станций и разрезов в заливе Грэнфьорд

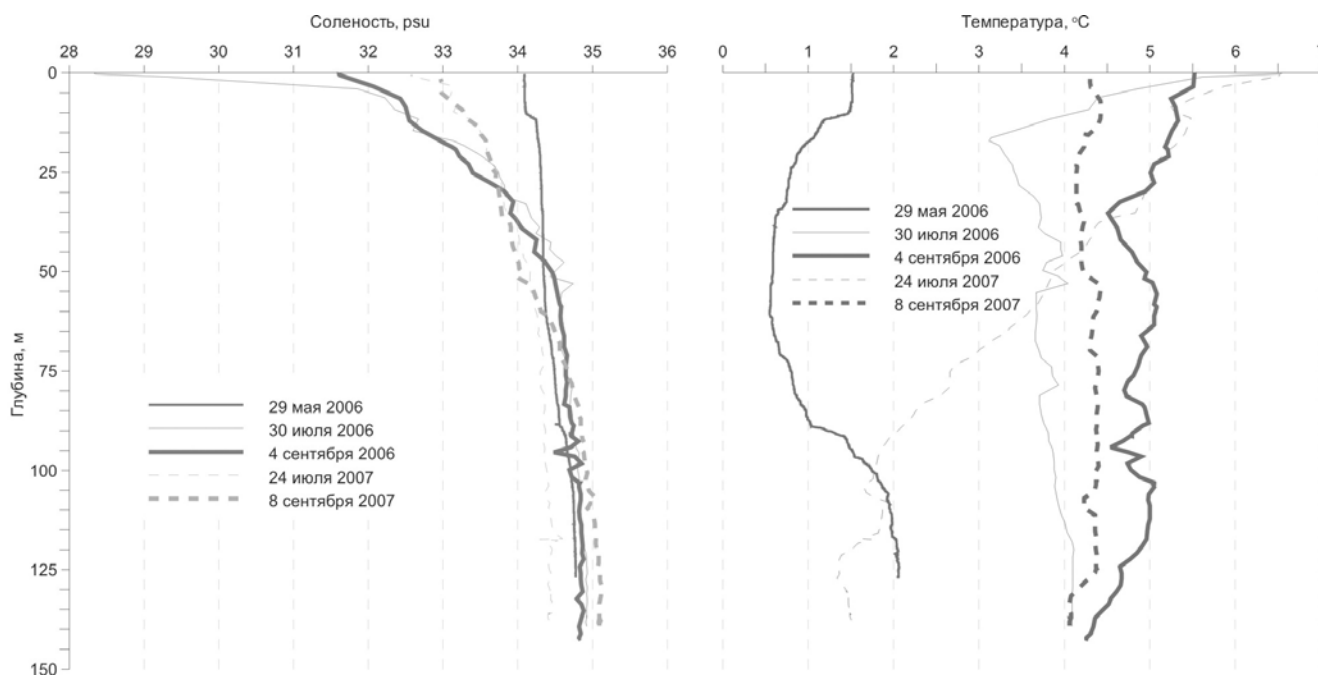


Рис. 4. Вертикальное распределение температуры и солёности в течение летних сезонов 2006 и 2007 гг. в центральной части залива Грёнфьорд

°C и толщиной 2-3 м в южной ку-товой части фьорда, где сосредоточен речной сток. В северной части на выходе из фьорда галоклин заглубляется до 10-15 м. Глубже расположены относительно холодные воды с минимальной температурой 3,25 °C и солёностью в диапазоне 32,34 ‰. Основной объём фьорда от горизонта 40 м до дна занимают чуть более теплые промежуточные воды (IW) с солёностью 34,0-34,7 ‰ [Svendsen *et al.*, 2002]. В средней, а также в кутовой части залива у самого дна присутствуют отдельные пятна с характеристиками трансформированной атлантической воды (TAW).

Съёмка 2-4 сентября проходила в условиях заметного уменьшения речного стока. При этом за несколько суток до съёмки и во время самой съёмки стояла слабовеетренная, практически штилевая погода. Температура воды по всей акватории залива Грёнфьорд на этот момент менялась от 2,49 до 5,77 °C, а солёность - от 28,1 до 35,25 ‰. Поверхностная вода с солёностью ниже 30 ‰ наблюдалась только на одной станции у западного берега залива южнее впадения р. Грён (станция Br1, см. рис. 3).

По данным съёмки 2-4 сентября, в вертикальном распределении температуры по сравнению с предыдущими съёмками произошли изменения. Исчезла относительно холодная прослойка между горизонтами 15 и 40 м. Поверхностная температура воды из-за ослабления потоков тепла из атмосферы уменьшилась, ее максимальное значение было на 1 °C меньше максимального значения при съёмке 22 августа, но при этом температура всей водной толщи возросла в среднем на 0,2 °C. У дна мощным слоем начиная с горизонта 100 м присутствовала трансформированная атлантическая солёностью 34,3-34,5 ‰ и с минимальной температурой 2,49 °C на горизонте 90 м у восточного борта фьорда. Дальнейшее распространение этой интрузии в глубь фьорда не наблюдалось.

Зондирование водной толщи залива Грён-фьорд в июле 2007 г. показало, что основной объём занимали промежуточные воды (IW) с температурой более 1 °C и солёностью 34,0-34,7 ‰ (рис. 4). Выше промежуточной воды располагались поверхностные воды (SW) - более прогретые и менее солёные из-за активного речного стока. Граница между ними в момент первой съёмки находилась в среднем на горизонте около 20 м. Во время второй съёмки (через 10 сут) граница опустилась ниже горизонта 50 м. При этом по всей длине залива структура водной массы оставалась практически постоянной (рис. 5 ж, з). Наибольшая пространственная изменчивость структуры наблюдалась в самом верхнем 10-метровом слое и объясняется исключительно неравномерностью притока речных вод по длине залива. В поперечном разрезе неоднородность в структуре водной массы была несколько больше. У западного берега граница между поверхностными (SW) и промежуточными (IW) водами находилась до 20 м ниже, чем у восточного берега. Такой характер пространственной неоднородности был хорошо проявлен внутри залива и менее выражен на выходе из залива.

В начале сентября 2007 г. температура всей водной толщи увеличилась в среднем до 4,4 °С, вместе с этим произошло и увеличение солёности. Поверхностные воды находились под слабым влиянием существенно сократившегося речного стока. Промежуточная водная масса (IW) занимала слой между горизонтами 60 и 80 м, под ними находились трансформированные атлантические воды (TAW), с горизонта 100 м и до дна залив занимала атлантическая водная масса (AW).

Таким образом, в течение летнего сезона для всей акватории залива было характерно наличие изменчивости термохалинных характеристик воды в поверхностном слое, находящейся под влиянием меняющегося речного стока, на фоне смены холодных водных масс на более теплые. При этом местные воды (LW), характерные для начала лета, сменялись промежуточными (IW) и трансформированными атлантическими водами (TAW). Последние к концу лета в придонных горизонтах могли быть заменены атлантическими водами (AW).

Сравнение с данными съемок, выполненных ММБИ в летний период 2001 и 2002 гг., показывает увеличение средней температуры воды во фьорде как минимум на 1 °С [Моисеев Д.В., Ионов В.В., 2006], что говорит об усиливающемся поступлении во фьорд вод атлантического происхождения, переносимых WSC.

Спектральный анализ данных АБС-1 и АБС-2, установленных в целом на период с 26 июля по 7 сентября 2007 г. (рис. 6 а), показал, что колебания глубины погружения прибора (связанные с приливом) соответствуют полусуточному приливу.

В оценках спектральной плотности колебаний температуры воды все пики слабо выражены. Наиболее выделяется пик, соответствующий суточной изменчивости. Кроме того, отмечаются пики на периодах 114 и 171 ч (примерно 7 сут). В оценках спектров колебаний солёности и плотности воды отмечены слабовыраженные пики, близкие к суточной периодичности колебаний. Более ярко выражены пики на колебаниях 35 и 73 ч (примерно 3 сут). Максимальный пик приходится на период 147 ч (чуть более 6 сут).

Таким образом, при ярко выраженных полусуточных приливах в придонном горизонте (отметка 0,8Н), на котором на АБС был установлен зонд, отмечена также слабая суточная изменчивость термохалинных свойств воды. При этом солёность имеет изменчивость с периодом 6 сут, которая находит отклик в изменчивости плотности. Эти колебания происходят на фоне повышающихся значений температуры и солёности воды, что связано с заток в Грэнфьорд более теплых и соленых вод атлантического происхождения. Изменения температуры отстают по фазе от изменений солёности на 4 сут (рис. 6 б).

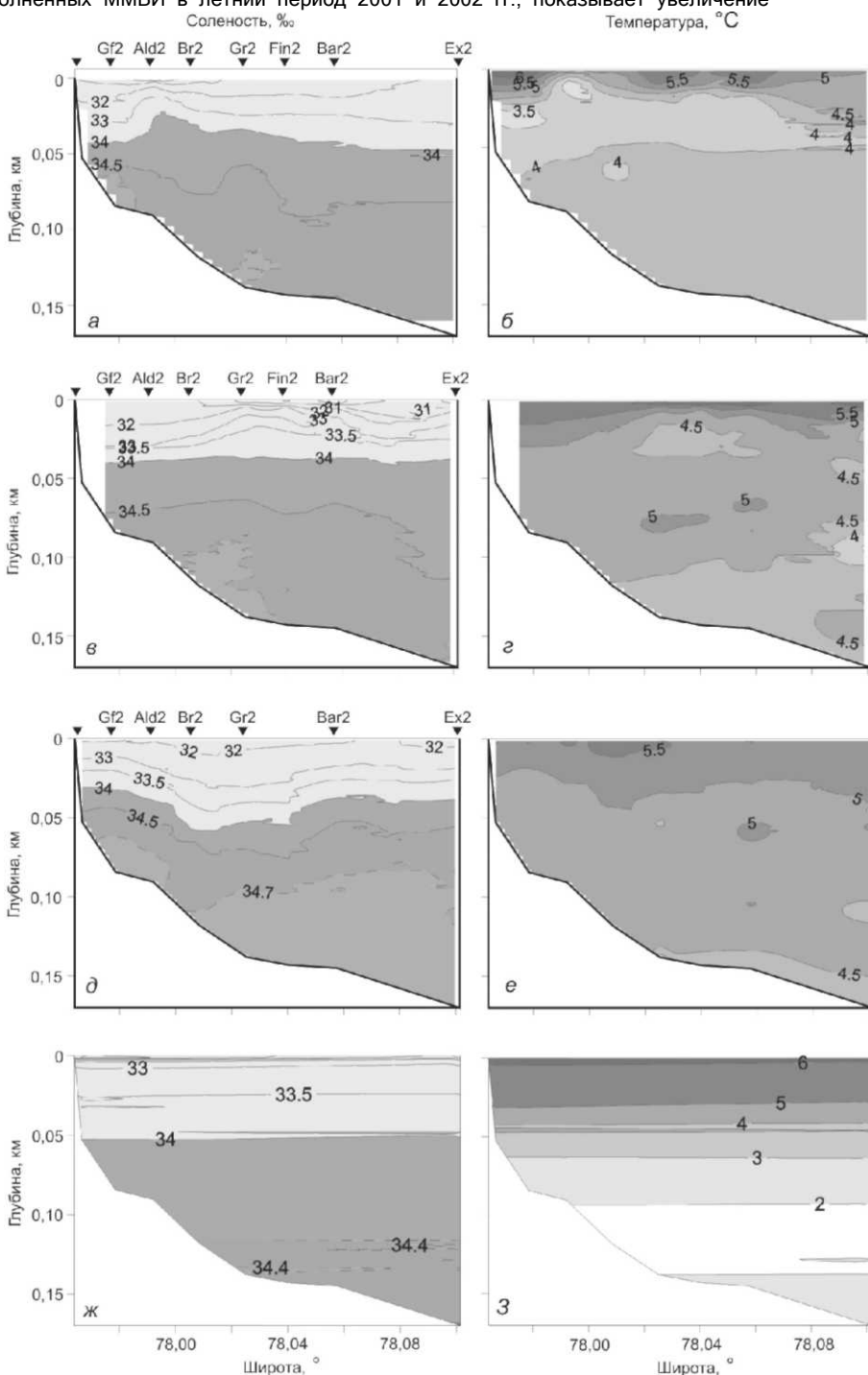


Рис. 5. Распределение температуры и солёности воды на продольном разрезе в заливе Грэнфьорд а и б - 30 июля-6 августа 2006 г., в и г - 22 августа 2006 г., д и е - 2-4 сентября 2006 г., ж и з - 24-25 августа 2007 г.

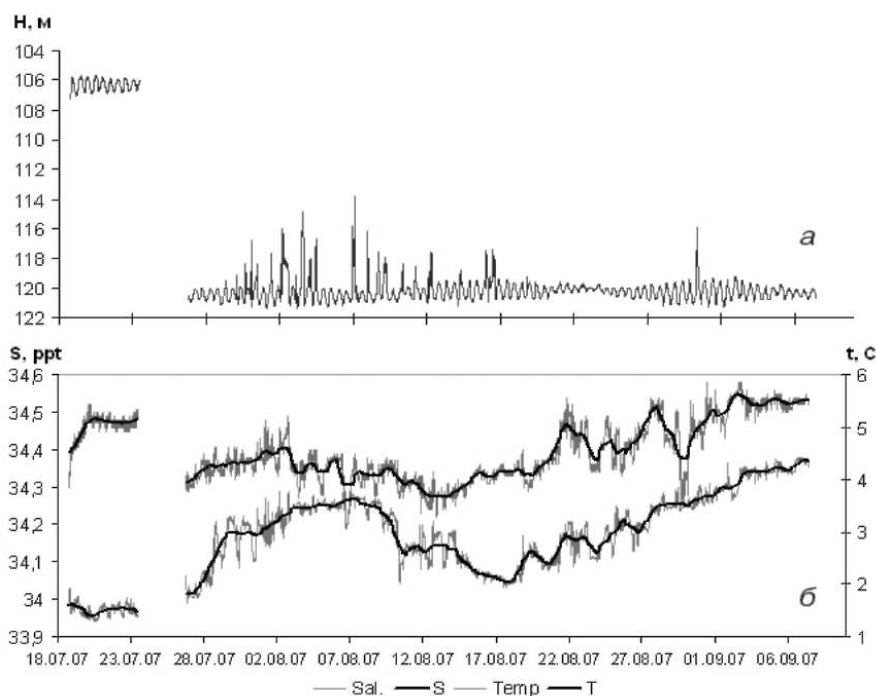


Рис. 6. Изменение температуры и солёности по данным АБС-1 и АБС-2
(черная толстая линия - сглаженный ход при 25-часовом осреднении)

Возможная причина этого феномена - эффект дифференциальной (двойной) диффузии в результате меандрирования WSC. То есть часть водной массы 4 сут назад была отделена от в какой-то степени неоднородной общей массы и далее двигалась в контакте с водными массами, имеющими другие свойства. Если принять среднюю скорость течения в придонном горизонте порядка 0,1 м/с (по данным норвежских АБС в этом районе), то место отделения затекшей в Грэнфьорд части водной массы от общего потока приходится на восточную периферию WSC. Таким образом, океанографические исследования, выполненные в течение летних сезонов 2006 и 2007 гг., особенно данные АБС 1, показали наличие в водах залива Грэнфьорд четко выраженного сигнала от Западно Шпицбергенского течения, что позволяет организовать мониторинг поступления тепла в пределы Северного Ледовитого океана. Результаты позволили также уточнить некоторые черты термохалинной структуры вод залива Грэнфьорд, характер распределения гидрохимических и гидробиологических параметров. Чтобы выявить климатическую составляющую изменчивости перечисленных параметров, необходимо продолжение мониторинга состояния залива Грэнфьорд, и прежде всего - при помощи автономных буйковых станций, оснащенных измерителями основных параметров состояния океана (температуры, солёности, направления и скорости течения, глубины).

Список литературы

- Моисеев Д.В., Ионов В.В. Некоторые результаты океанографических исследований в заливах и фьордах о. Западный Шпицберген летом 2001 и 2002 гг. // Комплексные исследования природы Шпицбергена. 2006. Вып. 6. С. 261–270.
- Соловьянова И.Ю., Третьяков М.В. Наблюдения за стоком взвешенных наносов рек бассейна залива Грэнфьорд // Комплексные исследования природы Шпицбергена. 2004. Вып. 4. С. 230–236.
- Третьяков М.В., Голованов О.Ф., Павлов А.К., Пряников С.М. и др. Результаты комплексных океанографических исследований залива Грэнфьорд (Западный Шпицберген) летом 2006 г. // Комплексные исследования природы Шпицбергена. 2007. Вып. 7. С. 164–176.
- Svendsen H., BeszczynskaCMøller A., Hagen J.O. et al. The physical environment of KongsfjordenCKrossfjorden, an Arctic fjord system in Svalbard // Polar Res. 2002. Vol. 21(1). P. 133–166.
- Walczowski W., Piechura J. Pathways of the Greenland Sea warming // Geophys. Res. Letters. 2007. Vol. 34. L10608, doi:10.1029/2007GL02.