

ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДОННЫХ ШЕЛЬФОВЫХ ВОД В ПРОЦЕССЕ СПОЛЗАНИЯ ПО ШЕЛЬФУ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО

Важова А.С., Зуенко Ю.И. (ТИНРО-Центр, anna.vazhova@gmail.com)

ВВЕДЕНИЕ

В Японском море, изолированном от Мирового океана, на глубинах свыше 200 м, вентиляция придонного слоя происходит в процессе местной склоновой конвекции и сопровождается каскадингом высокоплотных вод с шельфа зал. Петра Великого вдоль континентального склона. Высокоплотная донная шельфовая водная масса (ДШ) формируется каждую зиму во вторичных заливах зал. Петра Великого при льдообразовании. В момент формирования она очень богата кислородом. Но для каскадинга она должна переместиться из районов формирования к кромке шельфа, преодолев несколько десятков миль по дну, что занимает некоторое время. По многолетним наблюдениям, донные шельфовые воды с плотностью, достаточной для каскадинга, подходят к кромке шельфа залива лишь в конце зимы – в феврале-марте. Несмотря на ряд попыток исследований процесса формирования и распространения ДШ в зал. Петра Великого и успешное наблюдение самого процесса каскадинга, сведения о гидрохимических параметрах этой водной массы крайне скудные. Вместе с тем именно от содержания кислорода в донных шельфовых водах зависит эффективность вентилирования ими придонного слоя моря. Для того, чтобы понять хотя бы в принципе – что происходит с кислородом, растворённым в донных шельфовых водах, в процессе их эволюции на шельфе залива, выполнены гидрохимические наблюдения состояния ДШ на разных участках шельфа и проанализированы их результаты.

ДАННЫЕ

Представлены океанологические и гидрохимические данные, полученные 23-24 марта 2018 г. НИС «Профессор Кагановский» на меридиональном разрезе поперёк шельфа зал. Петра Великого (**рис. 1**). Наблюдениями зафиксирована донная шельфовая водная масса с ядром в центральной части шельфа, занимавшая практически всю его ширину, но однако не достигающая кромки шельфа. На станциях в верхней и нижней частях шельфа был произведен отбор воды для гидрохимического анализа непосредственно из ДШ (у дна) и из вышележащего конвективного слоя. В лабораторных условиях определено содержание в пробах растворённого кислорода и концентрации фосфатов, нитратов, нитритов, аммонийного азота, силикатов, общее содержание органического углерода и железо общее. Эти данные сопоставлены с данными наблюдений за этими же

параметрами в конце февраля подо льдом в центральной части Амурского залива, т.е. вблизи района формирования донных шельфовых вод.

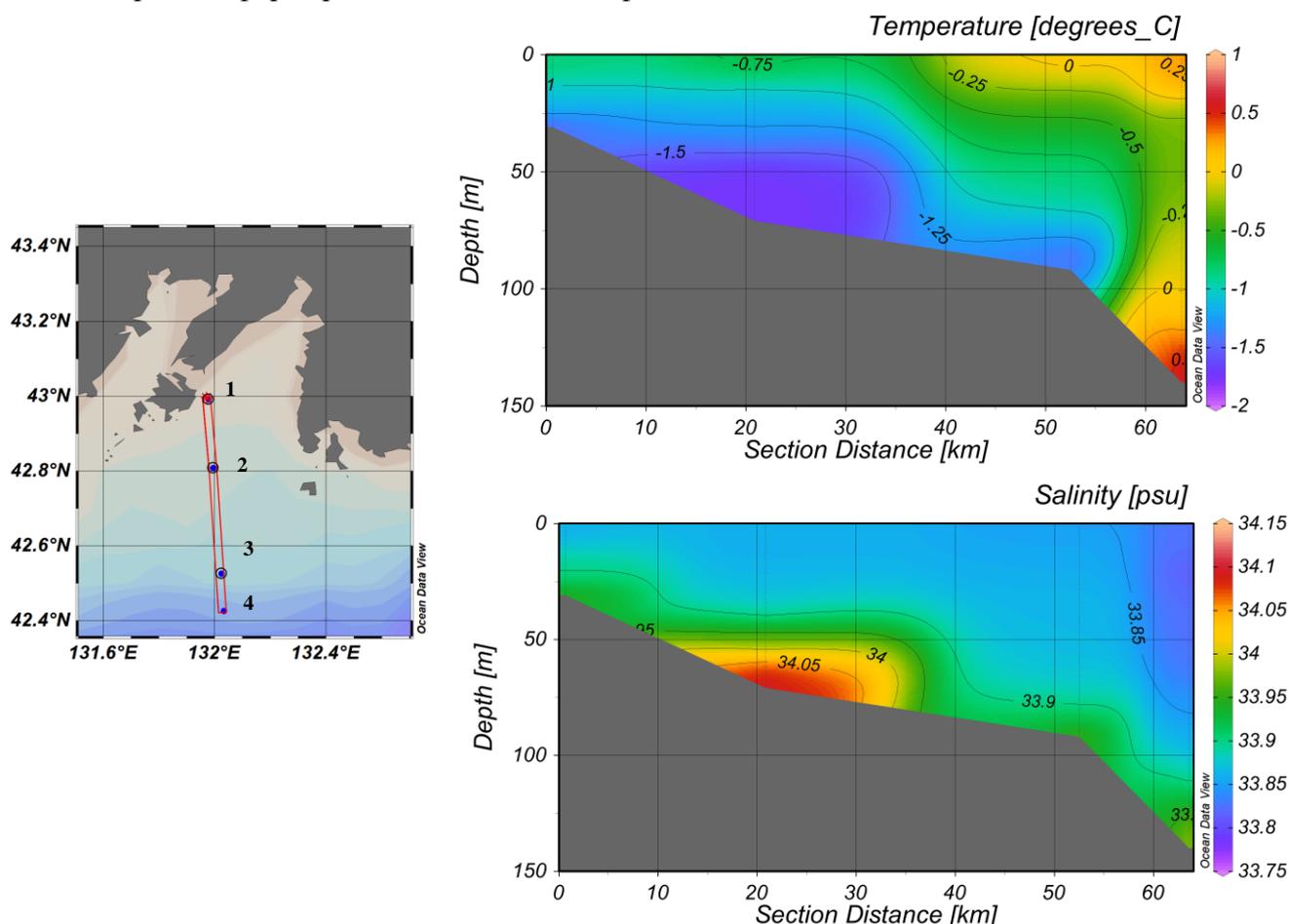


Рис. 1. Схема расположения разреза и распределение температуры и солёности на разрезе (НИС «Профессор Кагановский», 23-24 марта 2018 г.)

При анализе полученных результатов наибольшее внимание уделено изменениям содержания кислорода в донной шельфовой водной массе. Для выяснения источников и стоков кислорода, и оценки их вклада в наблюдаемые изменения, разработана лагранжева модель на основе механизма смешения вод.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Донная шельфовая водная масса отчетливо выделяется на разрезе (**рис. 1**) в виде придонного слоя толщиной до 30 м с температурой ниже -1°C и солёностью выше 33,9 ‰ (до 34,11 ‰ в ядре). Выше неё располагается менее холодный и солёный конвективный слой. Содержание кислорода в ДШ высокое ($\sim 8,6$ мл/л), но меньше, чем в районе их формирования ($\sim 10,4$ мл/л) и чем в конвективном слое ($\sim 9,8$ мл/л), который свободно сообщается с атмосферой. С одной стороны, это указывает на биохимическое потребление кислорода (полученного ДШ в момент формирования) за время сползания, когда эта водная масса была изолирована от атмосферы. С другой стороны, донная шельфовая

водная масса по мере сползания обогащается кислородом в процессе взаимодействия с конвективным слоем, который до появления ДШ распространялся на шельфе до дна. В результате одновременного действия этих разнонаправленных процессов, содержание кислорода в ДШ после резкого снижения при выходе на шельф открытой части зал. Петра Великого по мере дальнейшего сползания по шельфу меняется мало: в момент съёмки содержание кислорода в ДШ нижней части (ст. 3) шельфа было на 0,22 мл/л выше, чем в ДШ верхней его части (ст. 2) (табл.1).

Таблица 1. Параметры придонного слоя на станциях на шельфе зал.Петра Великого

№ ст.	Координаты десятичные		H, м	T °C	S ‰	pH	O ₂ , мл/л
1	42,99102	131,97669	30	-1,5568	33,9636	6,91	9,38
2	42,80832	131,99403	70	-1,7352	34,1087	6,98	8,63
3	42,52667	132,02450	87	-1,5859	33,9377	7,67	8,85
4	42,60852	132,03284	137	0,9137	34,0264	7,66	7,28

Помимо снижения солёности и слабого роста содержания кислорода, между станциями в верхней (ст. 2) и нижней частях шельфа (ст. 3) наблюдались следующие изменения параметров:

- температура повысилась (на 0,15° между 42°48' -42°30' с.ш.);
- водородный показатель pH повысился (на 0,69);
- концентрации биогенных элементов увеличились (Si на 10,81 мкМ/л; DIP на 0,22 мкМ/л; DIN на 0,48 мкМ/л);
- концентрация общего органического углерода (ТОС) уменьшилась (на 1,7 мг/л);
- концентрация Fe_{общ} уменьшилась (на 0,005 мг/л).

Для того, чтобы выяснить количество растворенного кислорода, потерянного донными шельфовыми водами на окисление и полученного из вышележащего слоя, предложена боксовая модель трансформации донных шельфовых вод по мере сползания их по шельфу на основе механизма смешения:

$$\begin{cases} \frac{dS_D}{dx} = \frac{k(S_C - S_D)}{1+k} \\ \frac{dO_D}{dx} = \frac{k(O_C - O_D)}{1+k} - \frac{\partial O_D}{\partial t} \end{cases} \quad (1)$$

где S_D , O_D – солёность и содержание кислорода в донной шельфовой водной массе,

S_C , O_C – солёность и содержание кислорода в вышележащем конвективном слое,

$k = V_C : V_D$ – соотношение объёмов вод конвективного слоя и ДШ при смешении,

$\frac{\partial O_D}{\partial t}$ – биохимическое потребление кислорода внутри ДШ (v – скорость сползания ДШ).

Изменения солёности и содержания кислорода в ДШ между любой парой станций можно рассчитать, интегрируя уравнения системы (1). И наоборот, решая обратную задачу, можно по разности солёности и содержания кислорода между парой станций определить неизвестные переменные в этих уравнениях, которых благодаря такому свойству солёности, как консервативность, всего две – k и $\frac{\partial O_D}{v \partial t}$.

Обратная задача решена численным методом для двух пар станций, расположенных вблизи района формирования ($43^{\circ}05'$ с.ш., глубина 18 м) и в верхней ($42^{\circ}48'$ с.ш., глубина 70 м) и нижней ($42^{\circ}30'$ с.ш., глубина 87 м) частях шельфа залива Петра Великого с шагом $dx = 1$ миля ($1'$ широты).

Для обеих пар станций получено, что наблюдаемое снижение солёности ДШ возможно при смешения ДШ с водами конвективного слоя в соотношении $k = 0.07$ на 1-мильном отрезке. При этом среднее по участкам биохимическое потребление кислорода составило 0,16 мл/л на милю на участке от района формирования до верхнего шельфа и 0,02 мл/л на милю на участке между верхним и нижним шельфом. Экстраполируя последний показатель до кромки шельфа ($42^{\circ}25'$ с.ш.) получаем, что в случае достижения кромки шельфа на всём 40-мильном пути ДШ потеряла бы 3,16 мл/л кислорода, из них около 80 % - на начальном участке.

В результате столь значительной потери кислорода сразу после формирования, почти на всём протяжении пути вниз по уклону шельфа ДШ беднее кислородом, чем покрывающие её воды конвективного слоя. При этом взаимодействие с водами конвективного слоя позволяет отчасти компенсировать потери на биохимическое потребление. Поэтому фактическая разность в содержании кислорода в ДШ в районе формирования и у кромки шельфа составляет около 2,0 мл/л.

Большой расход кислорода на биохимическое потребление на начальном этапе эволюции ДШ по-видимому обусловлен большим содержанием органического вещества в прибрежных водах и особенно в донных отложениях, взмучиваемых при скатывании донных шельфовых вод. Важно, что этот расход в значительной степени компенсируется при дальнейшем сползании по шельфу. Причём, поскольку компенсация связана со смешением, она имеет демпфирующий эффект: при увеличении биохимического потребления возрастёт и компенсация. С помощью модели (1) можно оценить этот эффект. Например, при увеличении темпов биохимического потребления на начальном участке вдвое (до 0,32 мл/л на милю), содержание кислорода в ДШ на верхнем шельфе упадёт на 1,55 мл/л, а на внешнем шельфе – лишь на 0,46 мл/л. Таким образом, можно ожидать, что вариации биохимического потребления кислорода в донных шельфовых

водах, если таковые существуют, не могут привести к существенному ухудшению вентилирующей способности этой водной массы. Гораздо важнее вариации объёмов ДШ, достигающих кромки шельфа. В момент выполнения разреза (23-24 марта) высокоплотные донные шельфовые воды не достигали кромки шельфа зал. Петра Великого, следовательно, каскадинг отсутствовал, придонный слой не вентилировался.

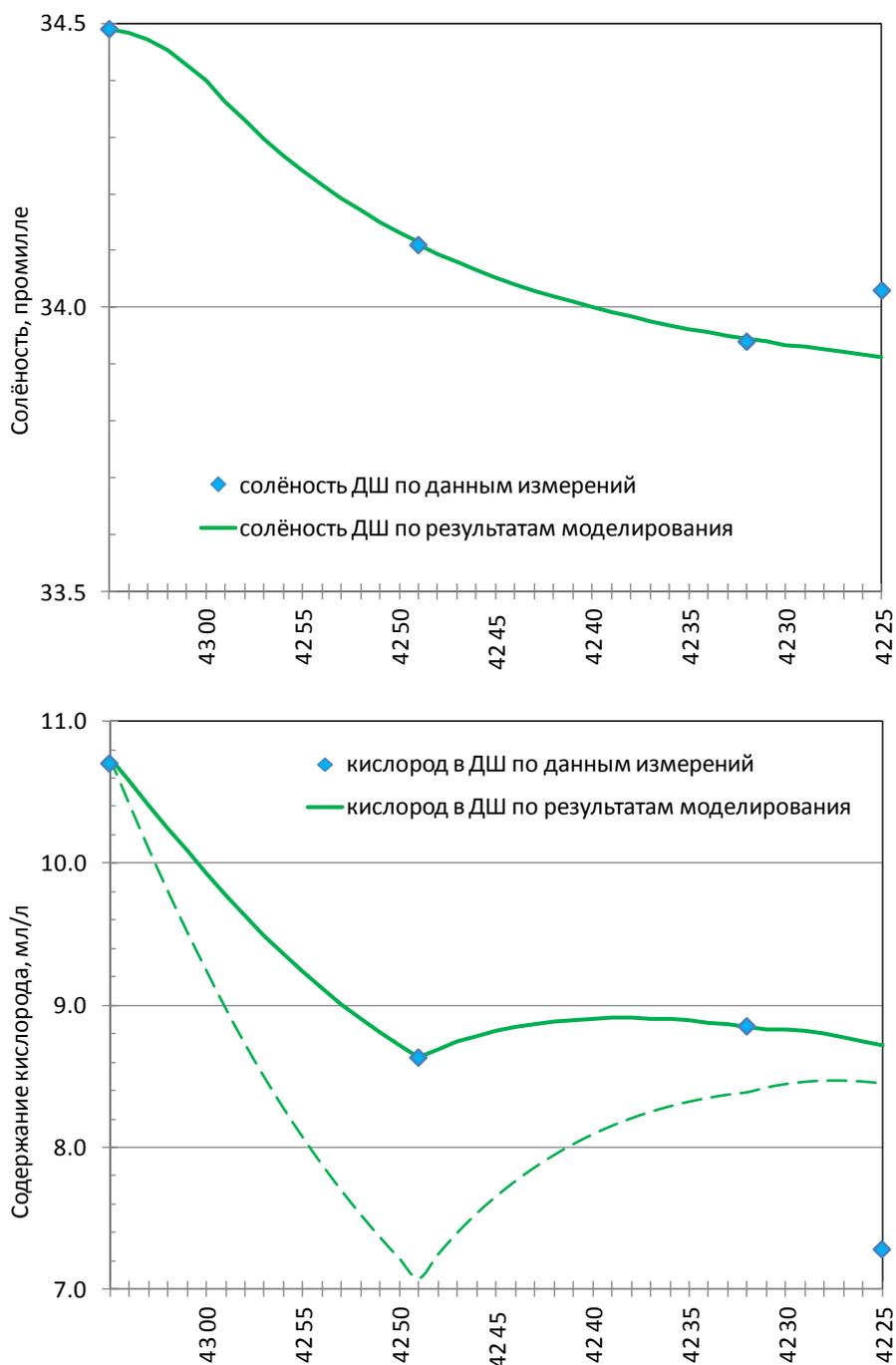


Рис. 2. Результаты моделирования изменений солёности и содержания кислорода в ядре донных вод по мере сползания по шельфу залива Петра Великого в марте 2018 г. Пунктиром показаны предполагаемые изменения содержания кислорода в случае увеличения вдвое расхода кислорода на биохимическое окисление на начальном участке.