

## СОВРЕМЕННОЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ И ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВОДНОЙ МАССЫ БОЛЬШОГО АРАЛЬСКОГО МОРЯ

**Завьялов П. О.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Россия, 117997, Москва, Нахимовский просп., д.36, [peter@ocean.ru](mailto:peter@ocean.ru)*

### ВВЕДЕНИЕ

История катастрофы Аральского моря хорошо известна. Общее понижение уровня моря с 1961 г составило на сегодня около 23 м, площадь поверхности и объем уменьшились примерно на 75% и 90%, соответственно. В 1988-1989 гг. от моря отделилась его относительно небольшая северная часть, известная как Малое море. Современная экологическая ситуация в Малом море может считаться достаточно благоприятной, поэтому в предлагаемой статье мы не касаемся этого района и обсуждаем южную, основную часть водоема, затронутую экологическим кризисом в наибольшей степени – Большое море. Последнее при понижении уровня сократилось по площади на три четверти и само почти разделилось на два отдельных бассейна – относительно глубокую (до 43 м) западную впадину и мелководную (~3 м), но большую по площади восточную часть, соединенные узким (около 2.5 км в наиболее узком месте) проливом. Соленость к настоящему времени приблизилась к 100 г/кг в западном бассейне, а в восточном составила 135 г/кг и выше. Осолонение сопровождалось массивным осаждением карбонатов кальция и магния, а затем гипса, что повлекло за собой значительные изменения ионно-солевого состава оставшейся водной массы. Лишь немногие биологические виды в бентосе и планктоне сумели приспособиться к экстремальной солености.

Изменение состояния Арала привело к значительному ухудшению социально-экономических и экологических условий в регионе. Необходимость мониторинга экологического состояния Аральского моря определяется не только связанными с этим прикладными вопросами, но и “методическим” значением Арала, как своего рода экстремальной природной модели отклика крупного внутреннего водоема на антропогенные вмешательства в режим речного стока. Подобные воздействия, хотя и выраженные обычно в менее крайних формах, характерны для многих других внутренних морей, озер и водоемов мира. Именно с этим связан постоянный интерес к проблеме Арала со стороны международного научного сообщества. Вместе с этим, большинство опубликованных после начала 1990-х гг. (т.е. в период наиболее глубоких изменений экосистемы) работ сводились к моделированию или анализу данных дистанционного зондирования, натурные же исследования в самом Аральском море, некогда очень хорошо обеспеченном данными, в этот период многократно сократились. Отчасти это объясняется прекращением судоходства и относительной труднодоступностью моря в его современных границах и связанными с этим техническими трудностями при организации полевых работ, отчасти – экономическими и политическими последствиями распада СССР. В результате многие базовые характеристики быстро меняющегося Аральского моря оказались к началу нового тысячелетия практически неизвестными. Особенно это относится к гидрологии и гидрохимии его водной массы.

На этом фоне в 2002 г Институтом океанологии РАН при участии Гидрометцентра РФ и совместно с Институтом геологии и геофизики АН Узбекистана, Национальным университетом Узбекистана, Каракалпакским государственным

университетом, Нукусским государственным педагогическим институтом (г.Нукус), Среднеазиатским научно-исследовательским гидрометеорологическим институтом (г.Ташкент) и Международным казахско-турецким университетом (г.Туркестан) была начата многолетняя программа экспедиционного мониторинга Аральского моря.

#### ДАННЫЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Краткая сводка сведений об экспедициях, реализованных к настоящему времени, приведена в таб. 1.

Таблица 1: Экспедиции, выполненные к настоящему времени, и виды исследований

Экспедиция	Когда	Где	Гидрология		Химия		Метеорология		Биология	
			CTD	Течения	Солевой состав	Газовый состав	Метеостанция	Шары-пилоты	Бентос	Планктон
1	Ноябрь 2002 г.	запад	+		+		+		+	
2	Октябрь 2003 г.	запад	+	+	+	+	+	+	+	
3	Апрель 2004 г.	запад	+		+				+	
4(1)	Август 2004 г.	запад	+		+	+	+	+	+	
4(2)	Август 2004 г.	пролив	+		+				+	
5(1)	Октябрь 2005 г.	запад	+	+	+		+		+	+
5(2)	Октябрь 2005 г.	пролив	+	+	+		+		+	+
5(3)	Октябрь 2005 г.	восток	+		+				+	+
6	Март 2006 г.	запад	+		+					

На рис. 1 показаны типичные вертикальные распределения температуры и солености в западной глубокой части моря, полученные в период с ноября 2002 г по март 2006 г. Обращает на себя внимание продолжающееся осолонение западного бассейна, где поверхностная соленость увеличилась от 82 г/кг осенью 2002 г до почти 99 г/кг весной 2006 г. Уровень поверхности Арала за время наблюдений упал лишь очень незначительно, что объясняется поступлением в море в последние годы довольно большого объема остаточных речных стоков. Поэтому рост минерализации вод западного бассейна должен связываться не столько с дальнейшим уменьшением объема моря, сколько с обменов с восточным бассейном, откуда через соединяющий бассейны пролив поступают более соленые воды. Соленость же восточной части моря в результате этих обменов в настоящее время постепенно уменьшается. Попадая в западную часть моря, более плотные воды восточного бассейна опускаются вдоль северного склона на свой изопикнический уровень в придонном слое западной впадины. Это создает исключительно мощную халинную и, в конечном счете, плотностную стратификацию западного бассейна (Рис. 2). Перепады солености между нижней границей верхнего квазиоднородного слоя и дном составляли в 2002-2003 гг до 12 г/кг (что соответствует разнице плотностей в 9-10 кг/м<sup>3</sup>) при толщине галоклина около 20 м. Такие экстремальные (с точки зрения классической океанологии) градиенты плотности приводят к подавлению вертикального перемешивания. Типичными следствиями этого являются осенне-

зимние инверсии температуры, видимые во многих профилях (рис. 1). Но наиболее ярким проявлением недостаточности вертикальных обменов в толще вод Арала является аноксия и сероводородное заражение в придонном слое.

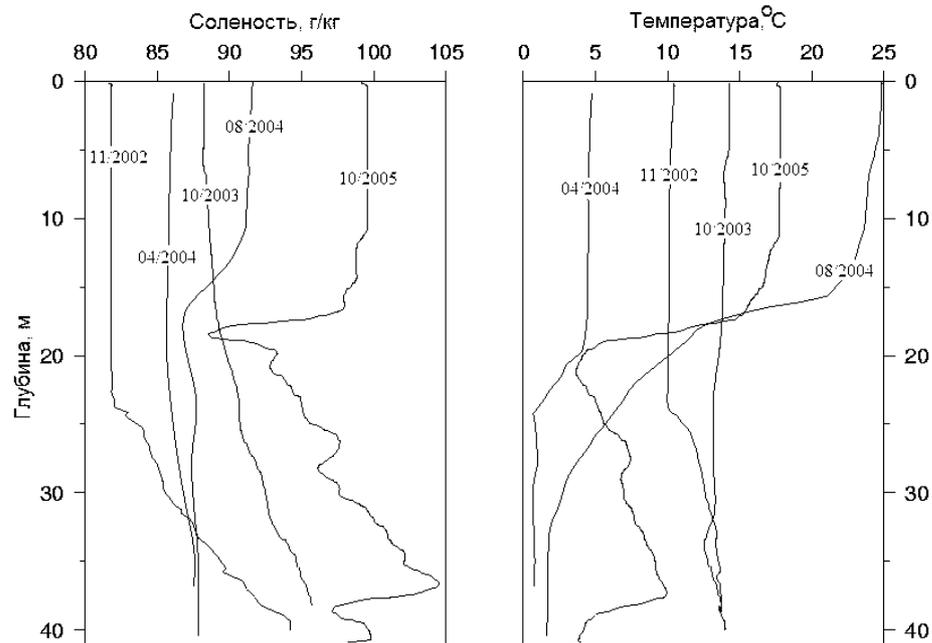


Рис. 1: Примеры вертикальных распределений солености и температуры в глубоком западном бассейне Аральского моря в период мониторинга.

Как отмечалось выше, до экологического кризиса (а также и в ходе его вплоть до начала 1990-х гг.) Аральское море было всегда хорошо перемешанным и полностью вентилированным. Обнаружение возникшей позднее вертикальной стратификации и целого спектра сопутствующих ей явлений – быть может, наиболее важный гидрологический результат программы мониторинга состояния моря. Следует отметить, однако, что в экспедициях весны и лета 2004 г устойчивой халинной стратификации и аноксии не наблюдалось. Перемешанность всей толщи вод в апреле 2004 г может являться результатом глубокой зимней конвекции. Все это указывает на не перманентный, а переменный характер стратификации и аноксии, приуроченный, вероятно, к изменчивости водо- и солеобменов через пролив. Как показывают результаты численного моделирования, эти последние определяются главным образом ветровым форсингом.

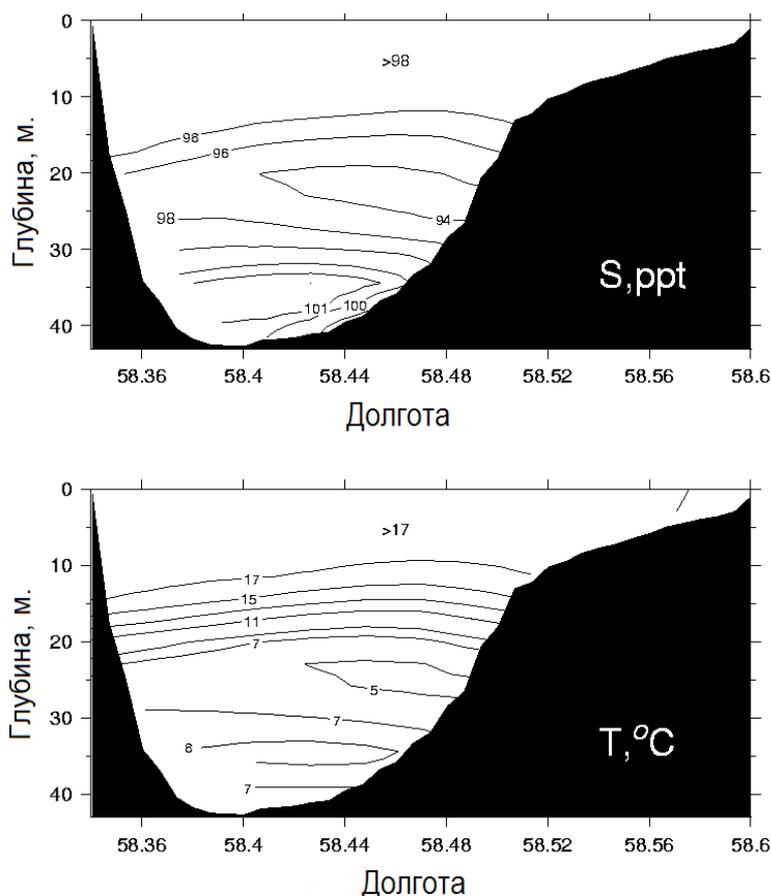


Рис. 2: Зональные вертикальные сечения солёности и температуры через западный бассейн в октябре 2005 г.

С целью выявления механизмов межбассейнового водообмена в западном бассейне и непосредственно в проливе нами были установлены заякоренные станции, оснащенные измерителями течений и приливными датчиками уровня, при одновременной регистрации ветра и основных метеоэлементов автоматической метеостанцией. Наблюдения осуществлялись непрерывно в течение 75 часов в условиях умеренного восточного ветра. При этом вся толща вод в проливе была вовлечена в движение в направлении западного бассейна со скоростью до 50 см/с коррелированной с касательным напряжением ветра при временном запаздывании около 5 час. За время работы заякоренной станции в проливе через него перешло из восточного бассейна в западный не менее  $0.5 \text{ км}^3$  воды. Это должно было привести к существенному наклону поверхности вдоль оси пролива с запада на восток и появлению соответствующего баротропного градиента давления в придонном слое. Именно за счет этого механизма осуществляется компенсация однонаправленных ветровых нагонов в проливе и обеспечивается равновесие в водообменах между западным и восточным бассейнами.

Измерения вертикальной термохалинной структуры труднодоступного восточного бассейна, впервые выполненные в 2005 г. на разрезе между бывшими островами Возрождения и Барсакельмес, показали, что, несмотря на свою мелководность и подверженность сильным ветровым воздействиям, восточный бассейн также является не перемешанным, а стратифицированным – на момент измерения солёность в нем менялась от 129 г/кг на поверхности до 134 г/кг у дна при глубине всего 2.5 м (рис. 3).

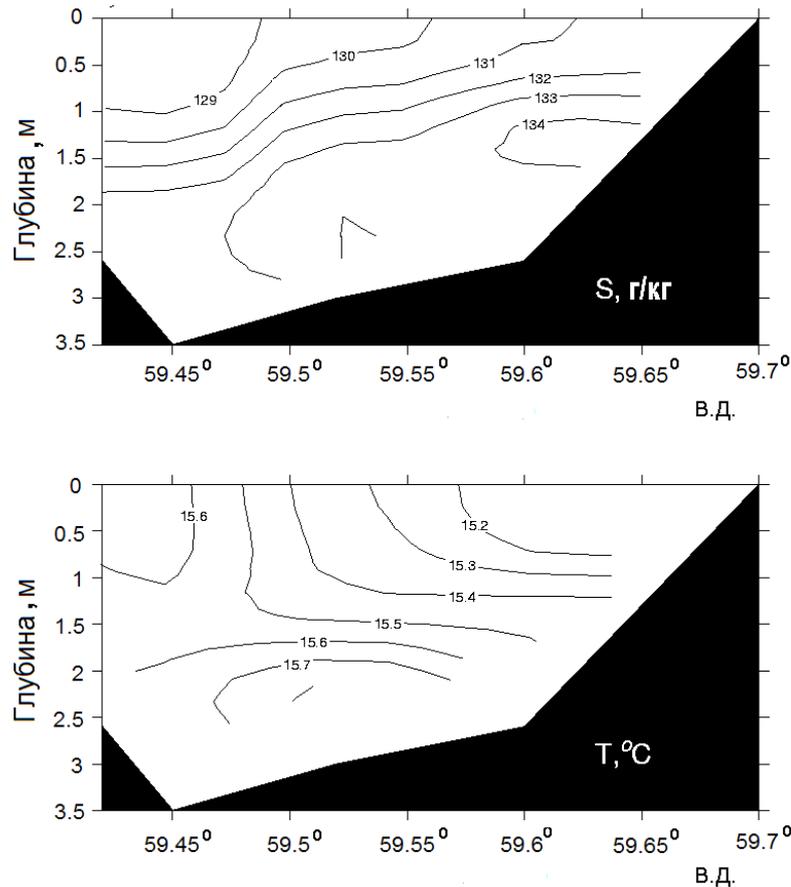


Рис. 3: Зональные вертикальные сечения солености и температуры через восточный бассейн в октябре 2005 г

## ВЫВОДЫ

Экологический кризис Арала повлек за собой глубокую перестройку всех компонентов экосистемы. Коренным образом изменилось само гидрофизическое состояние водоема: из солоноватого он стал гипергалинным, из перемешанного - сильно стратифицированным, из хорошо вентилированного – подверженным аноксии и сероводородному заражению. Анализ водного баланса моря указывает на то, что система близка к достижению равновесия, и если остаточные речные стоки и подземный сток сохранят значения, характерные для последних лет, в близком будущем можно ожидать стабилизации уровня и прекращения дальнейшего осолонения водоема. Однако и в этом случае в западном бассейне рост минерализации будет продолжаться еще некоторое время за счет межбассейнового водообмена до тех пор, пока солености в обоих бассейнах не уравниются. После этого следует ожидать снижения стратификации западной впадины, поскольку основной механизм ее поддержания – поступление более плотных вод с востока через пролив – перестанет работать.

Работа выполняется при поддержке Программы фундаментальных исследований ОНЗ РАН «Развитие технологий мониторинга и экосистемного моделирования природных ресурсов в условиях аридного климата», а также РФФИ.