

МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 551.465

ОБ ИЗМЕРЕНИИ СОЛЕННОСТИ В ГИПЕРГАЛИННЫХ ВОДОЕМАХ (НА ПРИМЕРЕ СОВРЕМЕННОГО АРАЛЬСКОГО МОРЯ)

© 2017 г. П. Н. Маккавеев, П. А. Стунжас

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

e-mail: makkaveev55@mail.ru, pastunzhas@mail.ru

Поступила в редакцию 16.02.2016 г.

При работе в водоемах с особенным составом солености возникают сложности при определении минерализации (солености) вод. Широко применяемые методы определения по электропроводности или, в прошлом, по хлорности могут давать значительную ошибку. В статье рассмотрены два метода определения минерализации вод: метод “сухого остатка” и по измерению скорости звука в водной среде. Проведено сравнение этих методов. Показано, что измерение скорости звука (и температуры) позволит проводить достоверное определение минерализации в экспедиционных условиях *in situ*, что практически недоступно для других методов, которые либо могут проводиться только в лабораторных условиях, либо не обладают достаточной точностью. Приведены результаты определения минерализации вод различных частей Аральского моря в 2012–2015 гг.

DOI: 10.7868/S0030157417060132

Достоверное определение минерализации (солености) вод при работе в изолированных водоемах представляет значительные сложности, особенно при работе в гипергалинных водоемах (с минерализацией более 50 г/кг). Самое распространенное в экспедиционной практике измерение солености (S) океанских и морских вод – измерение электропроводности и ее пересчет в соленость по “океанской” формуле ЮНЕСКО [18], когда величина солености попадает в пределы примерно от 1 до 42 г/кг (промилле) и состав солей близок к океанскому. Для бассейнов, не имеющих прямой связи с океаном и обладающих специфическим составом главных ионов, ошибка при таких определениях может быть весьма значительной. По той же причине затруднена оценка солености по хлорности, что широко практиковалось в прошлом. Иногда это пытаются обойти созданием особых, “региональных” формул пересчета электропроводности и хлорности в соленость (например, таблицы для Балтийского, Каспийского и Черного морей), но это невозможно без длительной и кропотливой методической работы, основа которой – это определение абсолютной минерализации вод.

Имеются два прямых метода измерения минерализации (солености) воды – весовой (по весу сухого остатка после испарения пробы) и по сумме ионов (путем определения полного или хотя бы основного ионного состава воды), и примыкающее к ним определение по плотности воды, с помощью ареометров, пикнометров или по гидростатическому взвешиванию на, так называемом, “приборе

Шулейкина” [6]. Но из этих методов только определение плотности ареометрами в прошлом часто проводилось непосредственно в полевых условиях [8], когда не было возможности применения более чувствительных методов. При интерпретации данных определения плотности возникает ряд трудностей, связанных с неточностью выражения уравнения состояния в водах, отличающихся по составу ионов от средних океанских вод, особенно, связи плотности с температурой воды. Остальные методы могут проводиться только в хорошо оснащенных аналитических лабораториях.

Но, все-таки, основной недостаток прямых методов в том, что они требуют лабораторных работ, в то время как наибольшую привлекательность имеют методы измерения солености (минерализации) *in situ*. В [17] было предложено использовать для этой цели измерение скорости звука. Это метод более грубый, чем электропроводность (так как для пресной воды скорость звука имеет порядок 1500 м/с, а ее увеличение при росте солености составляет примерно 1–2 м/с на 1 г/кг). С другой стороны, изменчивость скорости звука от солености может быть более простой, чем аналогичная зависимость электропроводности. Правда, в обоих случаях надо учитывать зависимость от температуры.

С 2002 г. ИО РАН проводит работы по мониторингу Аральского моря [3] в содружестве с Институтом геологии и геофизики им. Х.М. Абдуллаева АН Узбекистана, Нукусским государственным педагогическим институтом им. Ажинияза (Узбекистан), Каракалпакским государственным

университетом им. Бердаха и Международным казахско-турецким университетом им. Х.М. Ясави (Казахстан). С 2012 г. в этих работах выполняются и гидрохимические наблюдения [9]. Одна из задач этих работ – определение минерализации вод для оценки состояния моря и корректировки данных STD-зондирований. Для гипергалинных водоемов, к которым стало относиться Аральское море, последняя задача представляет определенные трудности. В 2012–2015 гг. в каждой экспедиции проводился сбор проб для последующей обработки в стационарных условиях. Определение минерализации было налажено в Лаборатории биогидрохимии ИО РАН, а определение ионного состава – в химической лаборатории кафедры Гидрологии суши МГУ.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СУХОГО ОСТАТКА

Весовой метод (пожалуй, наиболее старый, но один из наиболее надежных) основан на классическом определении солёности: солёностью называют суммарную массу в граммах всех твердых растворенных веществ, содержащихся в 1 кг морской воды, при условии, что все твердые вещества высушены до постоянной массы при 480 °С [14]. В методической литературе синонимом солёности, определенной весовым образом, часто выступает термин “сухой остаток” или “прокаленный сухой остаток”. Методы определения сухого остатка основаны на выпаривании до постоянного веса пробы воды определенного объема и веса. Выпаривание ведется вначале при температуре менее 100 °С, чтобы избежать потери солей при вскипании пробы. Но после начинаются значительные изменения различных методик. Из приведенного выше

определения солёности следует, что выпаривание проб следует вести при температуре 480 °С [5, 14, 20]. Но ряд руководств предлагают проводить выпаривание до постоянного веса при существенно более низких температурах: 105–110 °С [7, 16], 150–180 °С [1, 4, 13]. Естественно, что данные, полученные при таких температурах, могут быть существенно завышены из-за того, что не будет “сожжено” органическое вещество и освобождена вода, связанная в некоторых минералах. В старых методиках предлагалось, например, прокалывать тигли с пробой на газовой горелке до полного сгорания органического вещества и после при 110 °С выпаривать до постоянного веса [7]. В других руководствах рекомендуется после выпаривания до постоянного веса нагревать пробы до 600 °С [10] и даже 900 °С [16], называя это “прокаленным сухим остатком”. Существует, однако, опасение, что слишком большая температура может вызывать разложение некоторых химических соединений и, естественно, занижение результата.

В наших работах использовалась следующая методика. Пробой воды наполнялись предварительно откалиброванные колбы емкостью 100 мл, их взвешивание давало возможность определить плотность воды. После чего пробы переносились в никелевые чашки. Вначале выпаривание проводилось на водяной бане при температуре, не превышающей 100 °С, для того, чтобы не допустить вскипания и разбрызгивание пробы. После визуального исчезновения жидкой фазы пробы переносились в сушильный шкаф, температура повышалась до 150–180 °С, и выпаривание шло до достижения постоянного веса (разница между

Таблица 1. Средние величины минерализации вод различных частей Аральского моря

Место и дата отбора	Глубина, м.	Минерализация, г/кг	Плотность, кг/дм ³
Западный Арал, ст. А2. 2012 г.	поверхность	105.04	1.087
	придонный	144.33	1.112
Западный Арал, ст. А2. 2013 г.	поверхность	114.39	1.092
	придонный	126.83	1.102
Западный Арал, ст. А2. 2014 г.	поверхность	115.36	1.092
	придонный	121.45	1.098
Зал. Чернышева, 2014 г.	поверхность	130.10	1.112
	придонный	133.85	1.113
Зал. Чернышева, 2015 г.	поверхность	132.14	1.112
	придонный	243.68	1.214
Зал. Тшебас, 2014 г.	поверхность	91.92	1.071
	придонный	92.04	1.071
Зал. Тшебас, 2015 г.	поверхность	74.97	1.062
Малое море, зал. Шевченко, 2014 г.	поверхность	10.91	1.005
	придонный	10.92	1.005
Малое море, зал. Шевченко, 2015 г.	поверхность	9.264	1.004
	придонный	9.161	1.005
Сырдарья. 2015 г.	поверхность	1.387	1.001

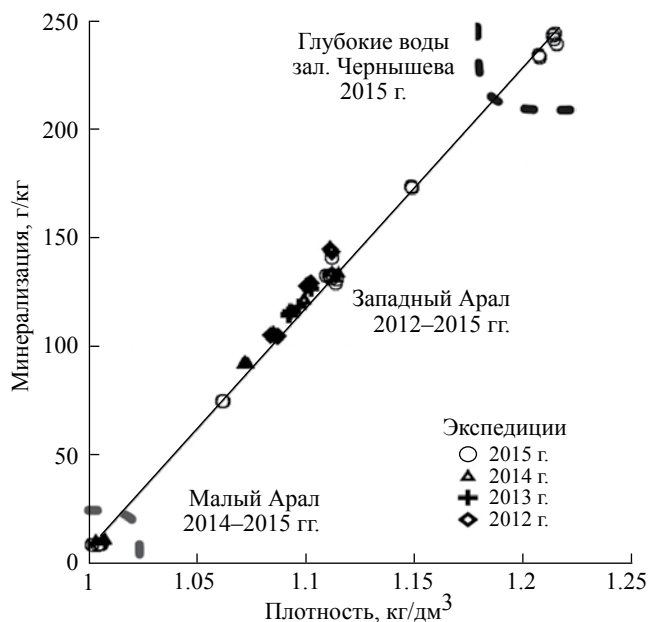


Рис. 1. Связь минерализации (г/кг) с плотностью (кг/дм³) в пробах воды Аральского моря 2012–2015 гг.

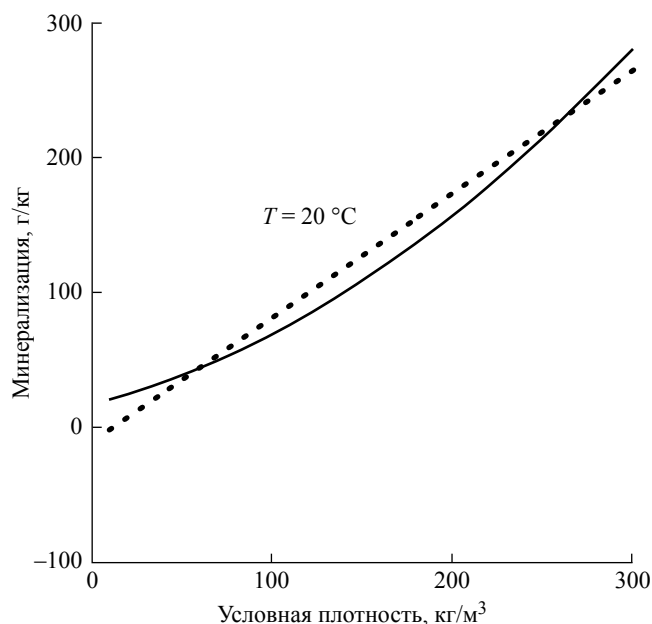


Рис. 2. Величина удельной плотности вод при температуре 20 °С: по уравнению состояния из [3] – сплошная линия, по соотношению плотности и минерализации, приведенным в данной работе – пунктир.

последовательными измерениями не более 1–2 мг). Затем пробу нагревали до температуры 480 °С для выжигания органического вещества. Эта температура была выбрана, исходя из приведенного выше классического определения солёности. Все пробы определялись минимум в 2 повторностях. Всего было обработано 39 проб,

взятых из Западного Арала, Малого Арала, заливов Чернышева и Тшебас и нижнего течения р. Сыр-Дарьи. Расхождение параллельных определений минерализации и плотности составило в среднем для всей выборки 0.4%, максимальное – до 2%. Средние величины минерализации различных частей Аральского моря приведены в табл. 1.

С 60-х годов XX века минерализация вод в западном бассейне Арала повысилась примерно с 10 до 100 г/кг и более, а в восточном бассейне по данным 2008 г. минерализация превышала 200 г/кг [3], и он несколько раз полностью высыхал. Наибольшее число определений минерализации вод проведено для ст. А2, которая соответствует наибольшей глубине моря в Западном Арале (45° 06' с.ш., 58° 23' в.д.), и где наблюдения проводились с 2002 г. ежегодно [3]. Последние измерения (табл. 1) показали, что всего за 3 года произошли значительные изменения профиля солёности, можно сказать, что год от года он “выравнивался”. Если на поверхности минерализация вод выросла примерно на 10%, то в придонном слое, напротив, уменьшилась почти на 15%. Вероятно, это связано с ослаблением влияния вод восточного бассейна, приток которых практически прекратился в последние годы [3]. Однако приблизительный расчет показывает, что общий запас солей в столбе воды за эти годы увеличился более чем на 10%, что более вероятно связано с адвекцией соли, например, из восточного бассейна или из залива Чернышева.

Интересно отметить, что, несмотря на значительный диапазон определявшейся минерализации (от 9 до 240 г/кг), связь минерализации с плотностью практически линейная (рис. 1). Для плотности, приведенной к 20 °С, ее связь с солёностью (минерализацией) может быть представлена как: $S = 1.09 \cdot \sigma_{20} + 11.76$, где σ_{20} – условная плотность воды. Отклонение измеренных величин минерализации от рассчитанных по плотности, определенной весовым методом, составило в среднем 3.9 г/кг. Несмотря на столь большое различие, плотность проб можно использовать для предварительной, но быстрой оценки солёности аральской воды и сравнения с таковой по измерению скорости звука (см. ниже). Из рис. 2 видно, что величина условной плотности, полученная этим уравнением, хорошо соотносится с результатом расчета по уравнению состояния, приведенному в [3].

Взвешивание проб показало, что разница веса твердого остатка после сушки до постоянного веса при температуре 150–180 °С и после прокаливания при 480 °С очень велика: в глубоких водах в Западном Арале она была 8–14 г/л, на поверхности залива Чернышева – достигала 22 г/л (рис. 3). Эта разница обусловлена, вероятно, долей органической составляющей минерализации, а также количеством связанной (кристаллизационной) воды.

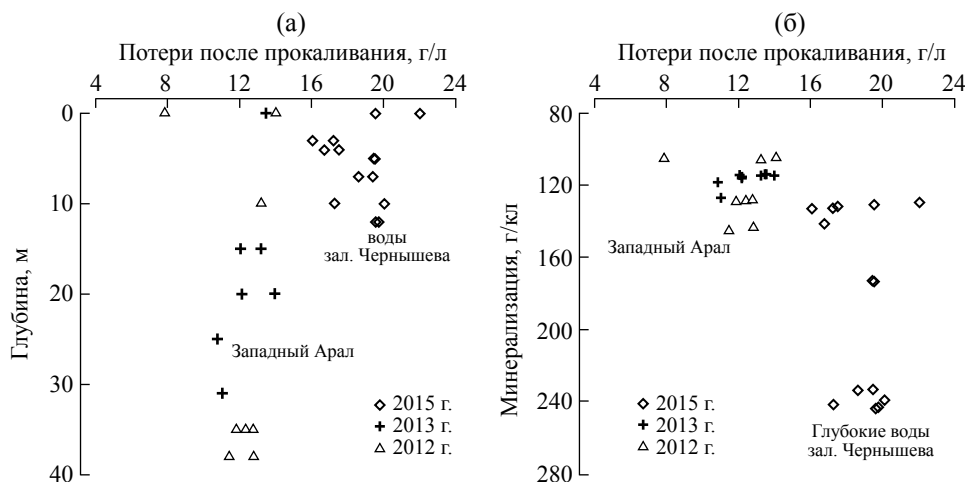


Рис. 3. Разница веса твердого остатка (г/кг) после сушки до постоянного веса при температуре 150–180°C и после прокаливания при 480°C. (а) – по глубине отбора, (б) – в зависимости от минерализации пробы.

В связи с этим можно отметить, что данные о солености Аральского моря за 2002–2009 гг. [3] содержали сведения как по солености по ионному составу, так и по сухому остатку. Последние были, как правило, выше на 6–9 г/кг для Западного моря и примерно на 25 г/кг для Восточного моря. Вероятной причиной этого, как следует из наших данных, была недостаточно высокая температура прокаливания проб. Заметим, что количество органики 10–20 г/л представляется очень высоким по сравнению с океанскими водами, где оно равно 2.5–4 мг/л [15]. Если оценивать количество растворенного органического вещества в воде Западного Арала по содержанию растворенного органического азота и фосфора [9], то для вод Западного Арала содержание органического углерода может составить от 20 до 50 мгС/л, даже считая, что углерод составляет около половины веса растворенного органического вещества [15], уменьшение веса после прокаливания пробы в 50–200 раз больше, чем можно приписать сжиганию растворенной органики. В подтверждение того, что разница веса пробы до и после прокаливания вызвана, главным образом, связанной (кристаллизационной) водой может служить и то, что можно отметить прямую связь между потерями веса при прокаливании и величиной минерализации проб (рис. 3б).

ИЗМЕРЕНИЕ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ПО СКОРОСТИ ЗВУКА

Прибор, использованный для измерений скорости звука, был изготовлен в Институте прикладной физики РАН (Нижний Новгород). Он состоит из приемника и измерителя, заключенного в цилиндр диаметром примерно 6 см, длиной 20 см. В его нижней части располагается излучатель, он же и приемник импульсов ультразвуковых волн, частотой 1 МГц.

Принцип действия: измерение разности фаз излучаемого и принимаемого сигналов. Время усреднения данных 1 с, период повторения измерений 5 с. Диапазон измерения: 1000–2000 м/с. Прибор также измеряет температуру с точностью ± 0.15 °С.

Акустика растворов, включая морскую воду, начала развиваться в 50-е годы XX века [2]. Скорость звука равна $V = (\rho\beta)^{-1/2}$, где ρ – плотность и β – сжимаемость жидкости. Добавка большинства солей увеличивает первую и уменьшает вторую характеристики растворов, тем не менее, скорость звука в растворах выше, чем в пресной воде, причем при равных мольных концентрациях, например, $MgSO_4$ и $NaCl$, скорость в первом выше, чем во втором. Скорость звука в пресной воде увеличивается с ростом температуры, но не линейно. Поэтому и для растворов она также не линейна [2]. Для морской воды при 15°C и солености 30 г/кг изменение скорости звука составляет примерно 3 м/с на 1 °С и 1.2 м/с на 1 г/кг, при возможной точности измерений 0.10–0.01 м/с, что определяет реальную чувствительность метода. Есть еще одна особенность измерения скорости звука, затрудняющая высокую абсолютную точность расчета по ней солености. В справочнике [12] приводятся 4 набора данных по измерению скорости, различие которых составляет примерно ± 0.5 м/с, это кажется большим расхождением, соответствующим примерно ± 0.5 г/кг, но справочные данные из [11] ниже этих на 5–10 м/с. Наши измерения в пресной воде были близки к такому в [12], поэтому ниже мы проводим сравнение только с ними.

В 2015 г. впервые были проведены измерения скорости звука на Аральском море in situ. Работы проводились в Казахской части моря и включали такие объекты как: залив Чернышева (2 точки), залив Тшебас на Большом (Западном) море, а также 2 точки на Малом море. Данные представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты измерений *in situ* температуры и скорости звука, а также увеличение скорости звука по сравнению с пресной водой при той же температуре [11]. В последнем столбце даны величины солености методом сухого остатка (наши измерения)

Место	Глубина, м	T , °C	Скорость звука, м/с	$V_s - V_o$, м/с	S , г/кг
Зал. Тшебас	0	14.2	1551.8	88.3	74.97
Зал. Чернышева	0	17.83	1637.4	161.8	130.18
	4	18.29	1637.0	159.8	136.44
	дно	21.13	1708.6	222.7	243.67
Малое море	0	9.37	1455.7	10.2	9.12
	дно	10.05	1460.6	12.3	9.16

В табл. 2 показаны результаты измерений температуры и скорости звука *in situ* (т.е. после отбора проб с резиновой лодки и измерений прямо на берегу моря), а также увеличение скорости звука по сравнению с пресной водой при той же температуре [12]. В последнем столбце даны величины солености методом сухого остатка (наши измерения), позволяющие найти приближенную зависимость увеличения скорости звука по сравнению с пресной водой (рис. 4). Из рисунка видно, что по первичным данным (квадраты) эта зависимость получается нелинейной. Причин может быть несколько: измерения проводились при разной температуре (9–21 °C), разным может быть ионный

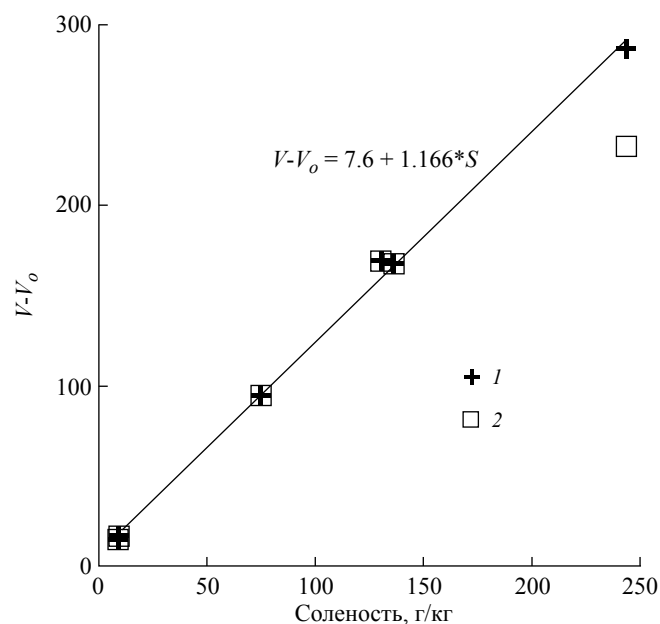


Рис. 4. Данные по измерению скорости звука на Аральском море, представленные в виде разницы измеренной скорости и табличных значений для пресной воды при той же температуре (T). Приведено также исправленное значение скорости для пробы с максимальной соленостью (2) по лабораторным измерениям (см. текст). Через эти данные проведена линия экстраполяции, параметры которой приведены на рисунке.

состав воды, кроме того, возможны и ошибки измерения скорости звука, которые следуют из описания метода измерения. Последняя причина в нашем случае оказалась самой главной, что видно из рис. 4 (кресты), где величина скорости звука исправлена по лабораторным измерениям в пробе воды с максимальной соленостью (см. ниже).

Для выяснения возможностей более точных измерений рассмотрим лабораторные измерения более подробно. В пробах воды емкостью 0.5 л (это важно, так как доставка проб очень трудоемка и дорога) были сделаны попытки измерить зависимости скорости звука от температуры. Работа оказалась очень трудоемкой. В пресной воде (дистиллированной или водопроводной, но дегазированной при помощи водоструйного насоса) показания были стабильны ($\Delta V = \pm 0.2$ м/с, $\Delta T = \pm 0.2$ °C). Но в пробах соленой воды измеритель работал менее стабильно. Например, в пробе А10 ($S = 136.4$ г/кг) регистрируется следующая последовательность показаний скорости звука (без цифры 1): 637.3, 637.7, 554.1, 638.0, 554.4, 554.7, 638.2, 478.7, 554.2 и т.д. при постоянной температуре в лаборатории 19.99–20.10 °C. Как видно из этой последовательности, кроме больших значений 637.3–638.2, прибор показывает также величины 554 (довольно часто), а реже 478 и даже 347 и 258. Очевидно, что все значения, кроме 637–638 являются заниженными, а значит, неправильными. Причем в них есть выделенные значения (554), регистрируемые чаще, а другие – очень редко. Отметим, что значения скорости 478, а тем более 347 (1478 и 1347 м/с) при 20 °C, это ниже, чем скорость звука в пресной воде. Такая последовательность показаний обусловлена, видимо, двумя причинами. Уменьшение скорости звука имеет место, когда в воде есть пузырьки воздуха, так как сжимаемость пузырьков гораздо больше, чем воды, то средняя сжимаемость становится больше. А скорость звука обратно пропорциональна корню из сжимаемости. Стабильная пониженная величина возникает, видимо, из-за того, что в воде присутствуют очень мелкие (медленно всплывающие) пузырьки. Иногда помогали резкие движения измерителя вверх-вниз,

благодаря чему вода перемешивалась, а пузырьки, видимо, уносились и зоны измерения и повышенные значения стабилизировались. Другая причина (и, кажется, более важная) состояла в том, что какие-то процессы газообразования происходили непосредственно на излучателе. Такой вывод можно сделать из того, что часто повышению показаний помогала протирка электрода гидрофильной жидкостью (например, Pril для мытья посуды).

Такие обстоятельства вызывали большую трату времени на проведение измерений даже при одной температуре. Кроме того, они создают некую неопределенность, а действительно ли были зарегистрированы истинные, а не заниженные значения скорости звука? Ответ такой. Если при 3-х циклах с промежутком в несколько дней, получаются одинаковые результаты, то, скорее всего, они правильные. Более точный способ: надо сравнить свой результат с табличным (хотя в большинстве литературы есть данные только для растворов индивидуальных солей). Эти данные получались на аппаратуре, работающей на других принципах, например, оптическое измерение длины волны и др., и потому свободны от влияния пузырьков [2].

Результаты лабораторных измерений представлены на рис. 5 в виде зависимости скорости от солености для температур 20 и 36.7 °С. Они экстраполированы прямыми:

$$V = 1478.4 + 1.206 \cdot S \text{ и } V = 1537.6 + 0.998 \cdot S, \text{ соответственно.}$$

Отметим, что величина свободного члена, соответствующая экстраполяции на нулевую соленость, для 20 °С очень мала (примерно на -3 г/кг для морской воды) и отличается от табличного значения 1482 м/с, что означает, что линейность должна сохраняться практически во всем диапазоне изменения солености 0–235 г/кг. Это результат неожиданный, так как для растворов индивидуальных солей эта зависимость не всегда линейна [2]. Для второй температуры обсуждаемая разница свободного члена уравнения и табличного значения составляет примерно +17 г/кг, так что общая зависимость при 37°С получится частично выполаживающейся.

Из приведенных формул можно сделать вывод о возможной реальной точности измерения солености. Предельная точность измерения скорости звука нашим измерителем составляет примерно 0.1 м/с (без учета выше упомянутых сложностей работы с солевыми растворами), что соответствует примерно 0.1 г/кг. Для океанских вод эта точность на 2–3 порядка ниже, чем дает измерение электропроводности, но для современного Аральского моря, как показано в [17], электропроводность не является подходящим методом для расчета солености. Она требует приведения данных по электропроводности к одной температуре и последующей

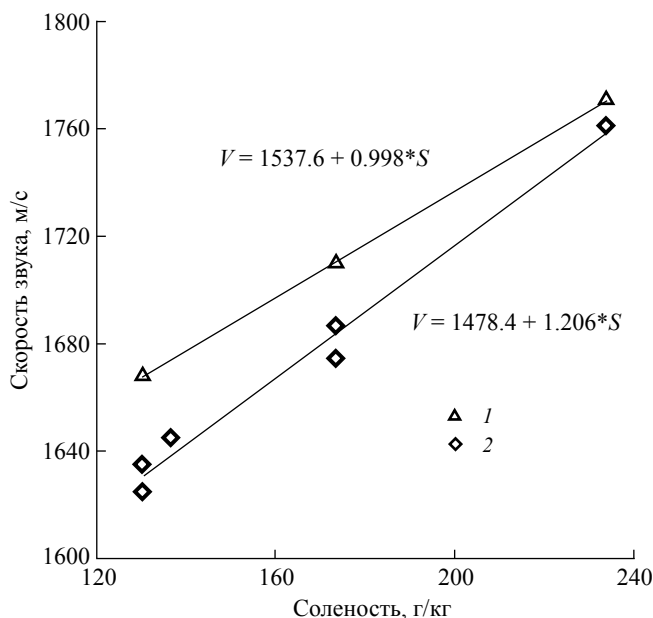


Рис. 5. Данные лабораторных измерений зависимости скорости звука в пробах воды Аральского моря от солености для температуры 20 и 36.7 °С, соответственно (1) и (2). Приведены также линии экстраполяции и их параметры.

калибровки, зависящей от ионного состава воды, т.е. разной для поверхностного и придонного слоев. Поэтому оценивать точность измерения солености через электропроводность можно только для конкретных случаев. В этом плане скорость звука является гораздо более подходящим параметром.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При определении минерализации гипергалинных водоемов методом выпаривания очень важно проводить “дожигание” пробы, как это рекомендовалось для классического определения солености. Для вод Аральского моря разность между прокаленным и не прокаленными осадками может достигать 5–10% и более.

Показано, что измерение скорости звука является подходящим и перспективным методом измерения солености гипергалинных водоемов при соблюдении определенных предосторожностей. Еще один довод в пользу измерения скорости звука — возможность теоретического расчета ее величины [19] по ионному составу раствора (в статье приводятся данные для Мертвого моря и других гипергалинных водоемов).

Отдельный вопрос, можно ли измерять скорость звука in situ по-настоящему, т.е. посредством зонда. Существующие океанские приборы вряд ли подойдут для этой цели. Например, прибор Reson svp14 (Великобритания) имеет верхний предел 1600 м/с, чего для Аральского моря явно недостаточно.

Кроме того, требуется использовать такой метод измерения, при котором были бы полностью исключены (или хотя бы минимизированы) проблемы кажущегося занижения показаний, обсуждавшиеся выше.

Авторы благодарят всех участников Аральских экспедиций, особенно П.О. Завьялова, П.В. Хлебопашева и А.С. Ижвицкого за отбор и доставку проб воды и за проведение измерений скорости звука в полевых условиях, а также И.Н. Диденкулова за предоставленную возможность использования измерителя скорости звука.

Работа поддержана РНФ (грант № 14-50-00095) и Комитетом Науки МОН РК в рамках научного проекта 2439/ГФ 4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бахман В.И., Крапивина С.С., Флоренский К.П.* Анализ минеральных вод. Изд. 2-е. М.: Изд-во Министерства здравоохранения РСФСР, 1960. 223 с.
2. *Бергман Л.* Ультразвук. М.: Изд-во иностран. литературы, 1956. 726 с.
3. Большое Аральское море в начале XXI века: физика, биология, химия / Ред. Завьялов П.О. и др. М.: Наука, 2012. 229 с.
4. Вода питьевая. Методы анализа, Сборник. М.: Издательство стандартов, 1984. 239 с.
5. *Ефимов Н.Н.* Об определении сухого остатка в соленой раппе. Л.: Изв. Ин-та физико-химического анализа. 1926. Т. 1. Вып. 2. 399 с.
6. *Иванов Р.Н.* Исследование гидростатического способа определения солености // Труды Морского гидрофизического института. Т. 5. М.: Изд-во АН СССР, 1955. С. 3–14.
7. *Малинина В.С.* Руководство для практических занятий по исследованию воды пресноводных водоёмов (физико-химическое исследование). Изд. 2-е. М. – Л.: Снабтехизат, 1933. 96 с.
8. *Макаров С.О.* Океанографические работы. М.: Географиз, 1950. 277 с.
9. *Маккавеев П.Н., Гордеев В.В., Завьялов П.О. и др.* Гидрохимические наблюдения на Аральском море 2012–2013 гг. // Водные ресурсы. В печати.
10. Методика выполнения измерений массовой концентрации сухого и прокаленного остатков в пробах питьевых, природных и сточных вод гравиметрическим методом. ПНД Ф 14.1:2:4.261–10. М.: Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. 2010.
11. Океанографические таблицы. Изд. 4-е. Л.: Гидрометеоздат, 1975. 478 с.
12. *Попов Н.И., Федоров К.Н., Орлов В.М.* Морская вода. Справочное руководство. М.: Наука, 1979. 327 с.
13. *Резников А.А., Муликовская Е.П., Соколов И.Ю.* Методы анализа природных вод. Изд. 2-е. М.: Гостехиздат, 1963. 404 с.
14. Руководство по методам химического анализа морских вод / Ред. Орадовский С.Г. Л.: Гидрометеоздат, 1977. 208 с.
15. *Скопичев Б.А., Бордовский О.К., Иваненков В.И.* Углерод растворенного органического вещества. Океанология. Химия океана. Т. 1. Химия вод океана. М.: Наука, 1979. С. 251–259.
16. *Строганов Н.С., Бузинова Н.С.* Практическое руководство по гидрохимии. Изд. 2-е. М.: Изд-во МГУ, 1980. 196 с.
17. *Стунжас П.А.* О расчете электропроводности воды Аральского моря и коррекции “зондовой” солености 2002–2009 гг. // Океанология. 2016. Т. 56. № 6. С. 861–868.
18. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater // Unesco technical papers in marine science. Unesco, 1983. V. 44. P. 6–8.
19. *Sharp J., Albehadili M., Millero F., Woosley R.* Estimating the Density and Compressibility of Natural Hypersaline Brines Using the Pitzer Ionic Interaction Model // Aquatic Geochem. 2015. DOI 10.1007/S10498-015-9252-4
20. *Wanklyn J.A.* Water Analysis. London: Balantyne, Hanson & Co, 1907. 239 p.

About the Measurements of Salinity of Hypersaline Brines by the Example of the Modern Aral Sea

P. N. Makkaveev, P. A. Stunzhas

When working in the water body with the peculiar composition of salinity take place the difficulties when measuring the water salinity. Widely used the methods of conductivity or of chlorinity, in the past may give the considerable mistake. In the article two methods of determination of waters are examined – the method of solid residual and measuring of the sound speed in water. The comparison of these two methods were carried out. The results of the measurement of the sound speed and to will allow to carry out the reliable measurement of mineralization in the expedition “in situ” which is practically inaccessible for other methods which either can be carried out only in laboratory conditions or the results of which be trusted not accurate enough. The results of measurement of mineralization of water in different parts of the Aral sea (2012–2015) are shown in this article.