

## КРИТИЧЕСКИЕ ЗАМЕТКИ О НЕКОТОРЫХ ПРИБОРАХ И МЕТОДАХ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕЧЕНИЙ В МОРЯХ И ОКЕАНАХ

Р.А.Балакин,\* А.Л.Бондаренко\*\*

- \* Научно-исследовательский институт  
Арктики и Антарктики, 199327,  
г. С.-Петербург, ул. Белкина, 38  
\*\* Институт водных проблем РАН,  
117735, г. Москва, ул. Губкина, 3

*Приведено описание некоторых приборов и методов, с помощью которых получают корректные и некорректные измерения течений в морях и океанах. Демонстрируется на конкретных примерах, как по некорректным измерениям учеными были получены неверные представления об исследуемых течениях.*

В морях и океанах течения обусловлены разными явлениями и имеют сложный характер. Их параметры (скорость и направление) меняются во времени и пространстве в широком диапазоне периодов и длин. Измерение таких течений сопряжено с техническими трудностями и нередко осуществляются со значительными погрешностями, часто превышающими (и существенно) полезный сигнал. Это вызвано не столько погрешностями самих приборов, сколько методами измерения течений. Данные этих измерений обрабатываются, анализируются и по ним делаются научные выводы об изучаемых явлениях, естественно, в этом случае неверные. При этом зачастую, о недостатках в измерении течений не знают не только ученые, которые анализируют их и строят научные выводы об исследуемых процессах, но и те, которые измеряют и обрабатывают течения. Ученый, изучающий явление, связанное с течениями должен знать все особенности измерения течений и, исходя из этого, оценить достоверность измеренных течений и научных выводов.

Обычно, для измерения течений в фиксированных точках моря, используются различные приборы с чувствительными к скорости потока воды (течениям) датчиками, конструктивные особенности которых позволяют разделить приборы на два вида: векторные и компонентные. Векторные имеют отдельно датчики скорости и направления течений (Вертушки ВММ-типа

Экмана-Мерца, БПВ, ДИСК, Поток, «Вектор"-2). Компонентные имеют датчики компонент (взаимно перпендикулярных) скорости течения и датчики положения корпуса прибора относительно магнитного меридиана (например, АЦИТТ) [1]. По измерениям компонент скорости течения и положения прибора рассчитываются на ЭВМ все необходимые параметры течения: модуль, направление, проекции на параллель и меридиан.

В режиме нормальной работы приборов (типа вертушек ВММ, БПВ, Диск, Поток, АЦИТТ) измеряются средняя за интервал времени между отсчётами скорость течения и практически мгновенное его направление.

Обычно интервал времени между измерениями (дискретность отсчёта) принимается равным 15-60 мин.

Однако в реальных условиях приборы регистрируют не только исследуемые течения, но и погрешности, вызываемые движением самого прибора, течениями ветровых волн и зыби и т. д. Часто влияние этих процессов, создающие погрешности, бывает очень велико.

Основной объем информации о течениях в морях и океанах на ранней стадии океанографических исследований был получен путём измерения течений приборами типа вертушек ВММ, помещаемых в море на тросе с борта стоящего на якоре судна. В своё время В.Б. Штокман и И.И. Ивановский (1937 г.), выполняя контролируемый эксперимент, пришли к выводу, что течения подобным образом измеряются достаточно точно в "спокойную" погоду, а при волнении на море и ветре – с большими погрешностями. Сколь они велики, можно судить по исправленной (первая величина) и измеренной (вторая величина) скорости течения: 2-17, 7-28, 11-17, 10-8, 19-33, 16-36 см/с и т. д. Измеренные и действительные скорости течения различались на порядок.[2].

Исследования [3,4], выполненные по измерениям течений в Каспийском и Балтийском морях, показывают, что стоящее на якоре судно совершает колебательные движения в горизонтальной плоскости с периодом 6-7 мин. Скорость движения судна нередко достигает 40 см/с (а в отдельных случаях и больше) даже при слабых ветрах порядка 5-10 м/с, а само судно разворачивается на угол более 90°. При этом, чем сла-

бее течение, тем сильнее подвижки судна при одинаковых скоростях ветра. Движения судна создают потоки воды вдоль его корпуса. Таким образом, прибор зафиксирует все эти движения судна и воды, даже если скорости исследуемых течений равны нулю. При наличии на море ветровых волн и зыби прибор дополнительно к этому будет регистрировать ещё и течения волн. Анализ контролируемых измерений течений позволяет сделать такие выводы. При незначительных движениях судна скорости течения, измеренные вертушкой, завышены на 10-20%. При значительных движениях, происходящих обычно при ветре со скоростями больше 10 м/с, показания вертушек по скорости завышены в несколько раз, а направление чаще всего совпадает с направлением ветра, но не течения. Последнее объясняется тем, что судно и обтекающий его поток, который и измеряется в основном вертушкой, направлен преимущественно пответру. Таким образом, исследователями часто получалась информация, ложно демонстрирующая связь течений с ветром.

С 50-60 гг. и практически до настоящего времени в практике океанографических исследований применяются автономные измерители течений типа БПВ, Диск, Поток. Для постановки приборов в море обычно используются буйковые гидрологические станции, включающие буй притопливаемый или плавающий на поверхности воды, якорь, трос, соединяющий буй с якорем, к тросу с помощью кронштейнов крепятся приборы.

Эти измерители течений и применяемые для их постановки в море устройства могут быть использованы для корректных измерений течений, период изменчивости которых существенно больше дискретности отсчетов.

Вместе с тем в реальной ситуации в море присутствуют высокочастотные течения, создаваемые ветровыми волнами и зыбью, период которых существенно меньше дискретности отсчета. С одной стороны, они вызывают движение буя и, соответственно, через движения троса передаются прибору, а с другой сторон, воздействуют непосредственно на сами приборы. Эти движения могут перемещать приборы неким сложным образом так, что их показания будут существенно отличаться от пара-

метров исследуемых течений. Приборы могут перемещаться вместе с буюм и тросом, совершая вращательные и поступательные движения, и в результате ими будет зарегистрирована величина, близкая к средней скорости движения приборов, а датчики направления течения зарегистрируют произвольные значения, так как моменты их срабатывания происходят при произвольном, "непредсказуемом" положении приборов. Движения буя через трос передаются приборам, установленных не только на верхних горизонтах, но и на значительной глубине. Согласно исследованиям [5] и нашим, в условиях океана даже в рядовой ситуации, находящийся на поверхности буй часто совершает движения в горизонтальной плоскости со скоростями  $\sim 0,5$  м/с.

Практически с такой же скоростью будет перемещаться прибор, установленный близко от буя, на верхних горизонтах.

Трудно представить, как можно избавиться от описанных недостатков измерения течений приборами типа БПВ, Диск, Поток, ибо они должны обладать свойством свободно вращаться в горизонтальной плоскости и менять свое положение независимо от того, какими воздействиями оно вызвано. При этом дискретность отсчетов будет существенно больше периодов движения приборов. Чтобы исключить подобные погрешности в измерениях, буи притопливают до глубины, куда не проникают движения ветровых волн и зыби, что составляет для океана 100-200 м. Но в этом случае теряется информация о течениях зоны непосредственного контакта воды с атмосферой.

В 70-х годах отечественной промышленностью начали выпускаться компонентные приборы типа АЦИТТ [1]. При рекомендуемых методах измерения течений с буйковой станции прибор не исключает недостатки перечисленных выше векторных приборов. Последнее обусловлено тем, что компонентные приборы, как и ветровые, испытывая воздействия волн и движения буя, совершают вращательные движения вокруг троса и выдают осредненную информацию о скорости течений волн и движений буя и мгновенную о положении прибора.

Указанные выше недостатки приборов и методов измерений течений были устранены [4,6]. Для этого использовались компо-

нентные приборы, в данном случае АЦИТТы, закрепленные в потоке неподвижно. Ранее для подобных измерений течений в зоне обрушения волн мы использовали ультразвуковые компонентные измерители скорости течений. Так, что успешный опыт применения компонентных приборов у нас был. Преимущества с векторными приборами были нам очевидны. В этом случае автоматически исключаются погрешности за счёт движения прибора в потоке, ибо прибор неподвижен. При неподвижном приборе из измерений будут исключены и погрешности, создаваемые ветровыми волнами и зыбью. В этом случае показания датчика положения прибора будут постоянными, а движения воды, создаваемые ветровыми волнами и зыбью, на показаниях датчиков компонент скорости течения сказываться не будут. Действительно, пусть на один из датчиков действует постоянное  $U$  и волновое знакопеременное течение  $U_0 \sin \omega t$  (здесь  $U_0$  - амплитуда волнового течения,  $\omega = 2\pi/\tau$ ,  $\tau$  - период волны). Средняя скорость течения (измеренная прибором), за интервал времени  $E$ , равный дискретности отсчета, будет

$$U = \int_0^T U dt / T + \int_0^T U_0 \sin \omega t dt$$

В реальных условиях период волн редко превышает 10-15 с, и поэтому можно считать, что при дискретности отсчёта 15-60 мин второй член правой части уравнения может быть мал по сравнению с первым, и тогда  $U \approx U$ . Погрешность измерения течения можно оценить, если задать конкретные величины  $U$ ,  $U_0$ ,  $\tau$ ,  $T$ , в частности, по методике приведенной в [3,4].

Для установки в море компонентных приборов типа АЦИТТ могут использоваться следующие устройства (или способы), обеспечивающие их неподвижность: тренога, тренога с мачтой, буйковая гидрологическая станция для малых глубин, буйковая гидрологическая станция для средних глубин.

Тренога- устройство, имеющее форму тетраэдра, изготавливаемая обычно из металлических труб или уголка. Сторона тетраэдра может быть равна 5-6 м. Внутри треноги на растяжках жестко в вертикальном положении крепятся приборы. Основа

треноги загружается. С помощью такой треноги можно производить измерения течений на глубинах до 5-6 м, а также на больших глубинах, на придонных горизонтах [3].

Для постановки приборов на глубинах до 10-15 м может быть использовано устройство в виде мачты, прикрепленной к треноге.

Буйковая гидрологическая станция для малых глубин (рис. 1а) из буя (1), рей (2) с прикрепленным к ней грузом (3), тросов (4), рей (5), к которым крепятся АЦИТТы (6). Трос (7), груз (8) и поплавков (9) являются составными частями системы, служащей для обнаружения станции и подъема на борт судна. Практика использования таких станций показывает, что для устойчивого положения в море отношение длины нижней рей (2) к длине тросов (4) должно быть таким: 1/5. Обычно на стандартных буйковых станциях приборы устанавливаются на горизонтах не выше 10 м. В данном же случае приборы устанавливались на горизонте 5,5 м. При этом, даже сильное волнение на море не сказывалось на качестве измерений.

Иногда, при постановке прибора в море или во время его работы выходит из строя компасное устройство (с АЦИТТами это бывало довольно часто). При используемых нами способах постановки приборов в море существует возможность и при этом измерять параметры течений. Для этого в программу обработки измерений вводятся данные, характеризующие положение прибора в море относительно стран света. В качестве таковых могут быть использованы показания прибора до его выхода из строя во время работы в море или визуальные измерения положения прибора, производимые обычно аквалангистом, или же показания приборов установленных на других горизонтах. Последнее возможно, если известна ориентация их относительно друг друга. Обычно мы все приборы ориентировали в одном направлении. При измерении течений нередко один из датчиков компонент скорости течения продолжительное время выдает нулевые или очень малые (порядка 0,3-0,5 см/с). Подобное случается, когда течение вдоль ротора отсутствует или датчик не работает, предположим, из-за попадания в его ротор каких-либо предметов. Правильность поступившей с прибора ин-

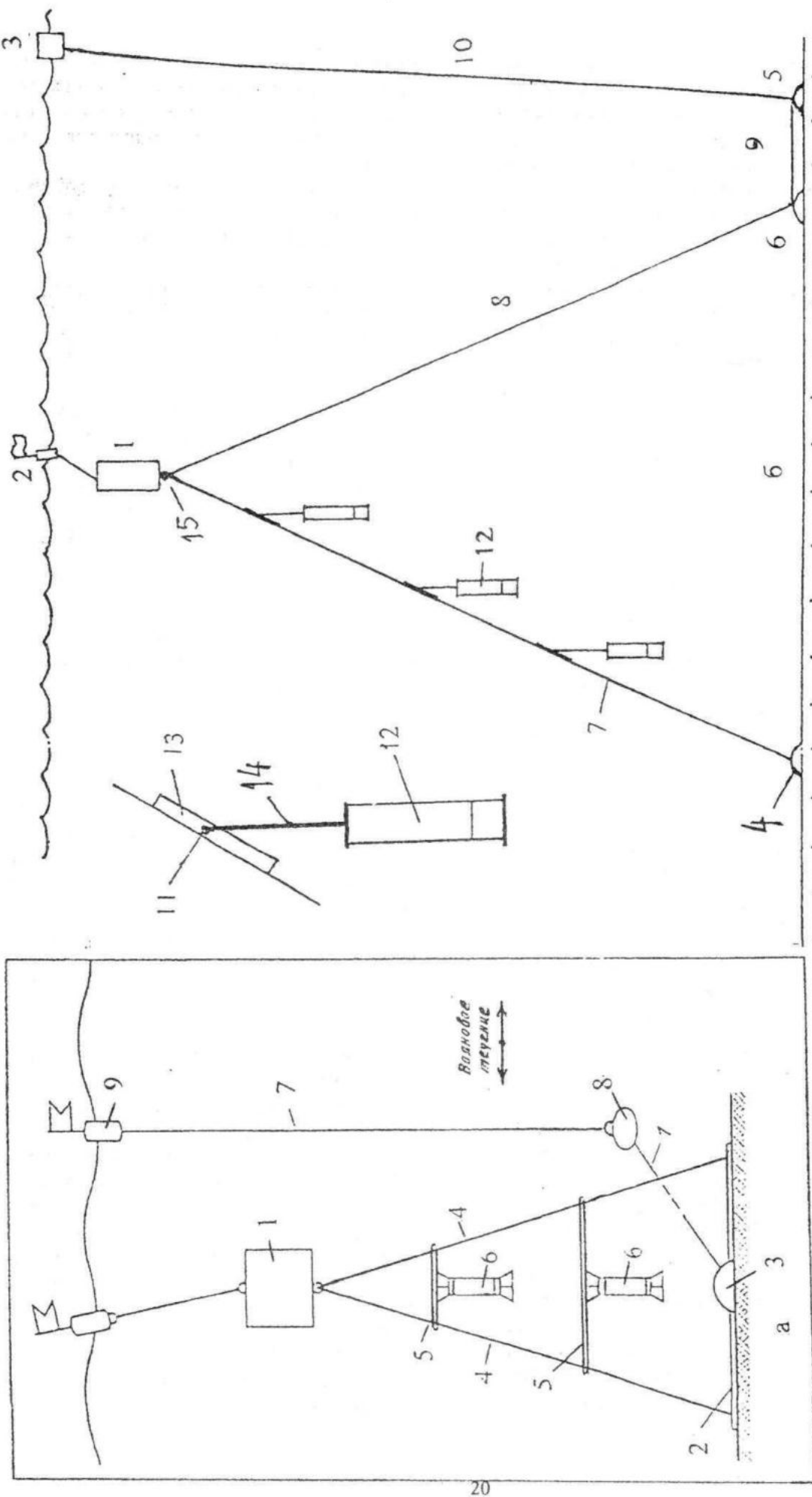


Рис. 1 – Буйковые гидрологические станции для малых (а) и средних (б) глубин

формации можно установить по показаниям датчиков компонент скорости течения, ориентации прибора, по известной информации о параметрах течений района исследований. Так, в частности, известно, что "нулевые" скорости течения могут наблюдаться в морях недолго (1-3 ч), в основном при изменении течения на противоположно направленное. Мы не наблюдали ни одного случая, когда за 15 мин (дискретность отчёта) скорость течения резко менялась, скажем, от 20 см/с до нуля и наоборот. Поэтому, если датчик фиксирует события, отличные от естественного хода процесса течений, то это должно вызвать у исследователя сомнение в правильности их работы. Достоверность информации можно повысить, если изучить изменчивость и параметры течения до появления нулевых значений или, если сравнить их с показаниями приборов, расположенных на соседних горизонтах и станциях. Для удобства анализа работы приборов и их погрешностей, а также анализа исследуемого течения, полезно результаты измерений течений представить в виде векторных диаграмм. Как мы отмечали, вектор не должен значительно изменять направление за непродолжительное время. Если он во времени сильно меняет направление, то это должно вызвать сомнение у исследователя в надёжности таких измерений.

Буйковая гидрологическая станция для средних глубин (до 300 м). Станция (рис. 1б) состоит из притапливаемого буйа (1), контрольного буйа (2), контрольного поплавка (3), грузов (4,5,6), тросов (7,8,9,11), измерителей течений типа АЦИТТ (12), крепёжной муфты с шарниром (13), жёсткого стержня (14), вертлюга (15), АЦИТТы крепятся к тросу (7) с помощью крепёжных муфт с шарниром. Муфта с шарниром и жестким стержнем удерживает АЦИТТ в вертикальном положении и не дает ему вращаться. АЦИТТ (12), крепёжной муфты с шарниром (13), жесткого стержня (14), вертлюга (15), АЦИТТы крепятся к тросу (7) с помощью крепёжных муфт с шарниром. Муфта с шарниром и жестким стержнем удерживает АЦИТТ в вертикальном положении и не дает ему вращаться. Эти раскачивания прибора при отсутствии вращательных его движений, как отмечалось ранее, не оказывает никакого влияния на

показания прибора, ибо они осредняются, интегрируются прибором.

Станция устанавливается в море с борта судна в такой последовательности. Опускается в море груз (4) на тросе (7), к которому крепятся приборы (12), а затем буй (1), который первоначально плавает на поверхности воды. Затем судно медленно отходит от буйа и при этом вытравливается трос (8), опускается груз (6) и выставляется буй (2). Судно отходит от буйа (1) до тех пор, пока буй (1) не погрузится в воду на заданную глубину, которое определяется по вертикальному положению троса (11), что и засвидетельствует о выходе прибора заданный горизонт. Достоинством этой станции является не только обеспечение точных измерений течений, но и возможность выхода приборов на строго заданный горизонт, что практически не возможно осуществить при установке приборов на обычной станции с притапливаемым буюм.

В [2, 4] приведены результаты анализа точности измерений течений приборами АЦИТТ при неподвижном их состоянии в море. Оценки такие. При точности отдельных измерений 1 – 2 см/с обеспечивается точность измерения крупномасштабных течений 0,4 см/с.

Кроме перечисленных выше достоинств компонентных приборов является также возможность измерения течения близко от поверхности моря. Так, при постановке приборов в море с гидрологической станции течения измерялись на горизонте 5 м, а при постановке с треноги и мачты – на глубине 1 м. В последнем случае была возможность измерять течения близко от поверхности воды, погрузив в воду только крылатку. Такие измерения можно осуществлять при отсутствии на море ветровых волн.

Измеритель течений "Вектор-2". Разработчиком этого прибора, впрочем, как и АЦИТТа, является Р.А.Балакин. Прибор вертушечного типа, векторный. Он предназначен для продолжительных автономных измерений течений в океанах и морях с обычной буйковой станции. Ранее мы отметили недостатки существующих векторных приборов, одним из которых является свойство приборов измерять среднюю за некоторый интервал времени скорость течения и в тоже время мгновенно направление, что

приводит к большим погрешностям в измерении течений и потере информации. Прибор "Вектор-2" исключает этот недостаток и достигается это за счет того, что прибор имеет систему опроса датчиков скорости и направления течений с высокой частотой опроса, намного превышающей частоту движений буй и волн. По этим измерениям удается исключить помехи создаваемые движениями прибора за счет перемещения троса и воздействия ветровых волн и в "чистом" виде зафиксировать параметры течений.

Прибор выпускается серийно. При постановке прибора в море рекомендуется в некоторых случаях все же притапливать буй, и выводить приборы на глубину ниже проникновения ветровых волн и зыби. Объясняется это тем, что не во всех случаях существует возможность полностью исключить из показаний приборов погрешности, создаваемые движением буя и воздействием волн на прибор. Это бывает в тех случаях, когда скорости течений меньше скоростей движений буя и течений ветровых волн. Учитывая это, мы рекомендуем для выполнения корректных измерений течений на малых и средних глубинах применять компонентные приборы типа АЦИТТ с использованием методов их постановки, предложенных нами ранее, а уже на больших глубинах — "Вектор-2". При этом все же необходимо оценить влияние движений буя и волновых течений на показания приборов с учетом частоты опроса датчиков и параметров течений, и уже после этого решать, притапливать буй или нет.

На следующих трех примерах мы продемонстрируем, как отражается погрешность в измерениях течений на результатах их исследований и представлениях о них.

**Пример I.** Ранее отмечалось, что первые представления о течениях морей в значительной степени были сформированы на некорректных их измерениях, выполненных вертушками типа Экмана-Мерца, опущенными в воду на тросе с борта, заякоренного судна. Реальные течения в этом случае сильно отличались от измеренных. Об этом мы уже говорили. Как, правило, показания прибора очень сильно отличались в своей последовательности по скорости и направлению течения. Вычисленный по ансамблю измерений за некоторый интервал времени средний вектор течений чаще всего совпа-

дал с направлением ветра или совпадал приблизительно. Почему так происходило, мы обсуждали ранее. Это давало основание исследователям сделать вывод: измеряемые течения вызваны ветром, о чем свидетельствует совпадение по направлению ветра и "течений". Поэтому считалось, что наблюдаемые "течения" ветровые. Большой "разброс" в измерениях "течений" объяснялся изменчивостью ветра во времени и пространстве, а также турбулентностью течений. Преимущественно на таких некорректных измерениях и была построена концепция доминирования в морях ветровых течений и были получены существенно завышенные величины связи ветра с течениями — ветровые коэффициенты.

В последние 10 — 15 лет при участии Бондаренко А.Л. были выполнены исследования течений Каспийского моря, базирующиеся на высокоточных их измерениях приборами АЦИТТ, закрепленными в потоке неподвижно. По этим измерениям было установлено доминирование в течениях бассейна течений долгопериодных волн, но не ветровых [3, 4, 5]. В спектрах течений доминируют в высокочастотной зоне течения инерционных волн с периодом 17.5 ч (рис. 2а), течения континентальных шельфовых волн (разновидность волн Россби) с периодом 140 ч, в низкочастотной зоне пульсационная часть крупномасштабных течений с периодом 1000 ч (рис. 2б), энергия которой корреляционно связана с энергией шельфовых волн и, следовательно, имеет волновое происхождение. По этим же измерениям было установлено, что рассчитанные ранее ветровые коэффициенты были завышены на порядок [3].

**Пример II.** В шестидесятых годах прошлого столетия при участии Бондаренко А.Л. на экваторе Атлантического океана производились измерения течений с заякоренного буя. После постановки станции возникло желание посмотреть, как ведет себя измеритель течений марки БПВ на горизонте 25 м. Для этого мы подплыли на шлюпке к бую и с поверхности моря с помощью маски наблюдали поведение прибора. Хорошо было видно, что прибор совершает движения вокруг троса с периодом приблизительно равным периоду волн зыби. Было ясно, что такие измерения не отражают реальную картину течений. И

действительно, когда начали обрабатывать измерения, то разброс показаний прибора, "течений" по направлению был настолько большим, что не представлялось возможным достоверно определить направление течения. Тогда нашим руководством было принято решение: принять скорость течения равной средней скорости по показаниям прибора за некоторый интервал времени, а направление принять таким, какое показывали приборы на более низких горизонтах, 50 м, 100 м. Сейчас мы видим, что скорость реального течения была завышена, но неизвестно насколько, а направление, скорее всего, оказалось неверным. Так, по высокоточным измерениям течений в экваториальной зоне Тихого океана [6] было установлено, что квазипостоянная часть поверхностного течения до горизонта 30 – 40 м направлена на запад, в то время как на более низких горизонтах – на восток.

Пример III. На рис. 2а приведен энергетический спектр течений, построенный по их измерениям в западной части Атлантического океана на горизонте 500 м с гидрологической станции при притопленном буйе [7]. Продолжительность измерений три года. Такие измерения течений следует считать корректными, т.к. на прибор и буй не оказывают влияние ветровые волны и зыбь.

Это типичный спектр течений океанов. Если корректно измерять течения в океанах, то по этим измерениям (особенно верхних горизонтов) должен получиться аналогичный спектр. В нем в виде энергетических максимумов выделяются течения инерционных и приливных волн в высокочастотной области и волн Россби в низкочастотной области течений. Обращает на себя внимание, что за пределами энергетических максимумов энергия течений практически равна нулю. Это дает основание утверждать, что течения указанных волн существенно доминирует в течениях океанов, а течения иного происхождения крайне малы. Спектр течений морей похож на спектр течений океанов, но в нем отсутствует приливной максимум. На доминирование течений длинных волн в переменных течениях океанов впервые (1979 г.) обратил внимание известный отечественный океанолог С.С.Лаппо [7]. В качестве подтверждения этой мысли он и привел этот спектр течений (рис. 2а).

На рис. 2г, д. приведены спектры течений, измеренных в аналогичных условиях Атлантического океана на горизонтах 1400 м (г) и 100 м (д) приборами, установленными на гидрологической станции с буйем, плавающим на поверхности воды [8]. Такие измерения течений должны содержать, и содержат погрешности, обусловленные движением буйа и троса, а также непосредственным воздействием зыби на приборы верхних горизонтов. Эти спектры течений даже внешне отличаются от спектров (рис. 2а, б и 2в). В правой части спектров заметно выделяются флуктуации, которые заполнили пространство между энергетическими максимумами, что свидетельствует о присутствии в измерениях случайных процессов, обусловленных движениями буйа и троса. На нижнем горизонте 1400 м эти движения меньше, соответственно меньше и флуктуации, на верхнем горизонте 100 м они больше и флуктуации больше. В спектре течений нижнего горизонта четко выделяются течения приливных и инерционных волн, а в спектре течений верхнего горизонта они отсутствуют и не потому, что они отсутствуют в структуре течений океана, а потому, что их "заглушил" приборно-методический "шум". Измеряются фактически некоторые движения буйа и троса, ничего общего не имеющие с естественным ходом развития течений.

Энергия шумов, присутствующая в спектре справа, увеличивается с уменьшением периода, в то время как реальная энергия течений справа от инерционного максимума быстро уменьшается и становится нулевой (см. рис. 2а, б, в). К сожалению, в работах, в которых приведены эти спектры [8], ничего не говорится о погрешностях измеренных течений, и эти флуктуации в спектрах рассматриваются, как турбулентные движения воды.

Итак. Течения зачастую измеряются с большими погрешностями, нередко превышающими сигнал от исследуемых течений. При этом полезный сигнал исследуемых течений искажается, а часто исчезает полностью, что определяется конструктивными особенностями приборов, методами и условиями их установки в море и состоянием его динамики. Выполненные по таким измерениям исследования течений неверно объясняют их природу, параметры и свой

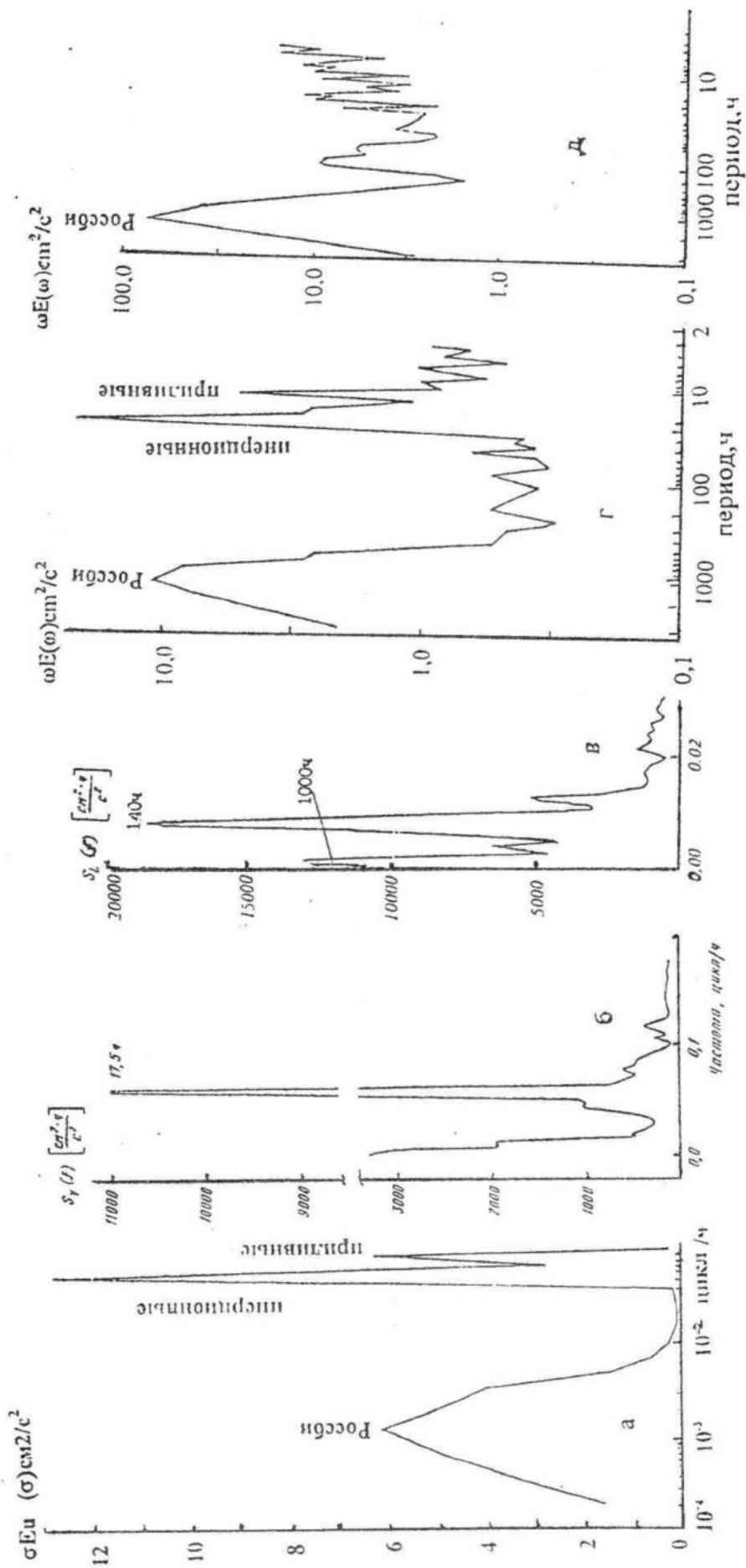


Рис. 2 – Энергетические спектры течений, полученные по измерениям течений: в Атлантическом океане на горизонте 500 м (а) при притоленном буре, в Каспийском море на горизонте 5 м (б, в) при притоленном буре, Атлантическом океане на горизонте 1000 м (г) и 100 м (д) при буре на поверхности



ства. Хотелось обратить на это внимание научной общественности и призвать к высочайшей осторожности при постановки измерений течений и их интерпретации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Коронкевич В.П., Тимец В.М. Методы и средства гидрометеорологических измерений. – С-П.; Гидрометеоздат. 2000. – 310 с.
2. Штокман В.Б., Ивановский И.И. Результаты структурного изучения течений у западного берега Среднего Каспия // Метеорология и гидрология. № 4. 1937. – С. 154–160.
3. Бондаренко А.Л. Течения Каспийского моря и формирование поля солёности вод Северного Каспия. – М.: Наука. 1993. – 122 с.
4. Бондаренко А.Л., Щевьев В.А. Измерение течений в мелководных морях // Тр. ГОИН. – М.: Гидрометеоздат. 1991. Вып. 199. – С. 51–64.
5. Бондаренко А.Л. О ветровых течениях в морях // Водные ресурсы., 2001. Т. 28. № 1. – С. 110–113.
6. Halpern D., Knox R.A. and Luther D.S. Observation of 20-Day Period Meridional Current Oscillations in the Upper Ocean along the Pacific Equator // J. Of Physical Oceanography. Vol. 18. November. 1988. –P.1514–1534.
7. Лаппо С.С. Среднемасштабные динамические процессы океана, возбуждаемые ветром. – М.: Наука. 1979. – 183 с.
8. Polimode the Atlas. Introduction by the Co-Chairmen of the Polimode organizing committee A.S. Monin and F.R. Robinson. Published by the Woods Hole Oceanographic Institution. Woods Hole / Massachusetts. U.S.A. 1986. – P. 375.