

ОЦЕНКА СКОРОСТЕЙ ГЛУБОКОВОДНЫХ ТЕЧЕНИЙ ПО ДАННЫМ ARGO

С.В. Герасимова*, Е.Е. Лемешко**

*Филиал Московского государственного университета в г. Севастополе

E-mail: svtgrsmv@rambler.ru

**Севастопольский национальный технический университет

В статье приводятся результаты семилетних наблюдений глубоководных буев-измерителей ARGO, запускаемых в северо-западной части Черного моря. В работе представлены: анализ траекторий движения дрейфтеров, оценка обеспеченности данных буев, а также расчеты скоростей глубоководных течений.

Введение. После 2000 г. активно стала развиваться программа использования всплывающих буев ARGO (<http://www.argo.ucsd.edu/>). Эти буи позволили получить новые данные о гидрологической структуре и циркуляции вод морей и океанов. К концу 2010 г. использовалось около 3000 поплавков нейтральной плавучести для всего Мирового океана. Эти данные внесли ценный вклад в понимание структуры глубоководной циркуляции океана и ее изменчивости. В Черном море буи ARGO применяются с 2002 г. по настоящее время, что позволило получить многолетний массив информации о профилях температуры, солености и координатах местоположения буев после каждого цикла измерений [1].

Таким образом, благодаря развитию дрейфтерной технологии появилась уникальная возможность получать данные о гидрологической структуре и динамике вод глубоководной части Черного моря. Исследования, проведенные в рамках HydroBlack и ComsBlack программы [2] в начале 1990-х годов предоставили наиболее полные для того времени гидрологические данные для изучения глубоководных физических характеристик Черного моря. Одним из наиболее важных результатов этих исследований было описание структурированных динамических образований – интенсивных вихрей (с характерным размером

около 100 км) на глубинах до 1000 м. Такой опыт оказался ценным для описания в качественном смысле крупномасштабной циркуляции и расчета геострофических скоростей для промежуточных и глубинных слоёв.

В северо-западной части Черного моря в районах интенсивных вихрей и ОЧТ авторами [3] было показано, что величины скоростей течений по данным ADCP в 1993 г. имели значения скорости до 50 см/с до глубин 150 м, а затем уменьшались до 20 см/с на глубинах 200 – 300 м. Однако, глубоководная динамика вод Чёрного моря до сих пор относится к ряду недостаточно изученных вопросов. Поэтому в результате проведенных измерений ARGO был получен уникальный гидрологический массив данных. Проанализировав данные, необходимо более детально изучить вертикальную структуру поля течений Чёрного моря и оценить её пространственно-временную изменчивость. Информация о местоположении ARGO позволяет воспроизвести траектории движения буев и оценить величины скоростей на разных горизонтах, что используется для мониторинга динамических образований и элементов циркуляции.

Целью настоящей статьи является изучение глубоководной динамики вод, визуализация и анализ траекторий движения дрейфтеров, описание пространственно-временной изменчивости циркуляции и оценка скоростей течений на разных глубинах.

Обзор данных измерений ARGO. С 2002 по 2009 гг. в Чёрном море было запущено десять всплывающих буев-измерителей ARGO. В работе используются данные по семи буям (табл. 1).

Буй совершает цикл погружения/подъема (http://www.argo.ucsd.edu/How_Argo_floats.html) и позволяет получить профили температуры и солёности как функции давления от поверхности до заданной глубины. Оказавшись на поверхности, дрейфтер в течение 6-12 часов передает полученную информацию и данные о местоположении орбитальным спутникам с помощью систем ARGOS [4], затем погружается на заданную глубину паркинга, на которой дрейфует в течение 5-7 дней. Затем цикла погружения/поднятия

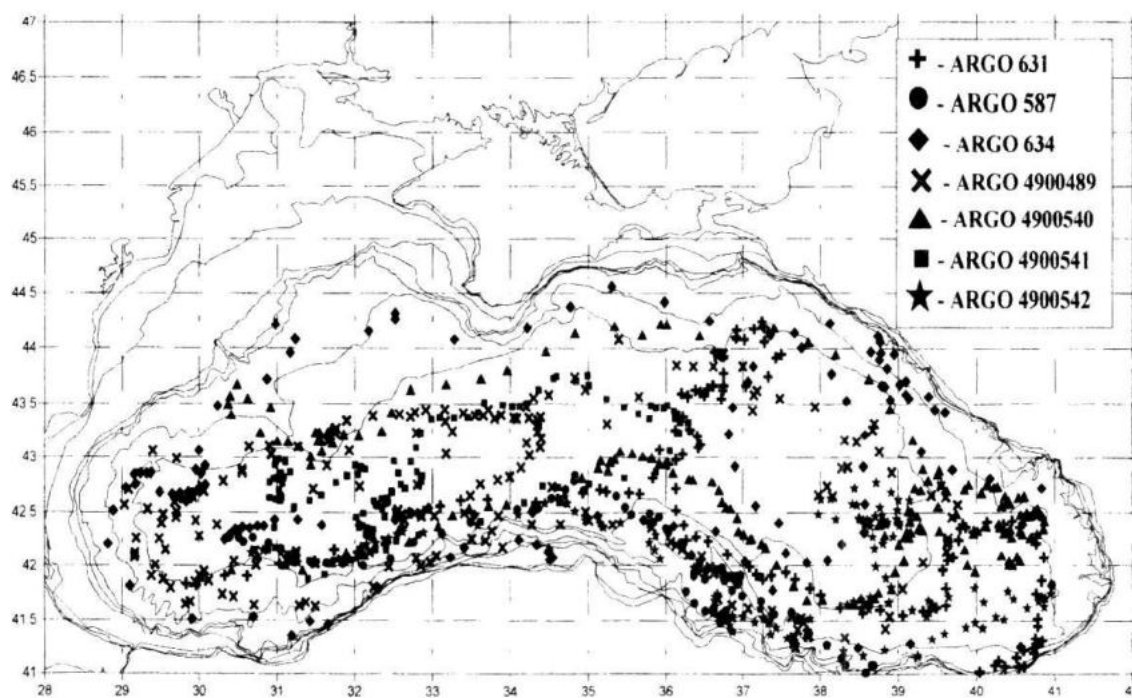
повторяется. Зная координаты местоположения буя после всплытия и время между циклами погружений, можно оценить с какой средней скоростью он двигался на заданном горизонте. Точность датчиков температуры, солёности и давления, как правило, не хуже, чем 0,005 °C, 0,01 епс и 5 м. Данные зондирования по температуре и солёности, а также координаты движения дрейфера, размещаются на сайте в оперативном режиме ([http:// flux.ocean.washington.edu /METU](http://flux.ocean.washington.edu/METU)). Средняя продолжительность работы измерителя ARGO в Чёрном море 2-3 года. (табл. 1). Буй № 4900489 проработал дольше всех остальных –

около 4-х лет. Пространственное распределение буев-измерителей оказалось не равномерным по акватории Чёрного моря. Траектории дрейферов локализованы в районах интенсивных синоптических вихрей в глубоководной части Черного моря и южной ветви Основного Черноморского течения (ОЧТ) (рис. 1). Проявление особенностей вихревой динамики по глубине отмечается вплоть до самого глубоководного горизонта – 1550 м, траектория дрейфера № METU0587 (табл. 1, рис. 1). Часть траекторий буев сосредоточена в области ОЧТ и в районах западного и восточного циклонического круговоротов.

Таблица 1

Обеспеченность информации глубоководных буев-измерителей ARGO за период 2002 – 2009 гг.

Номер буя	Период дрейфа	Глубина паркинга (Zp), м	Количество станций
METU0634	02.09.2002 – 16.04.2005	200	126
4900489	14.03.2005 – 18.01.2009	500	190
METU0631	02.09.2002 – 21.12.2004	750	116
4900540	14.03.2005 – 02.10.2008	1010	174
4900542	25.07.2006 – 27.05.2009	1500	132
4900541	25.07.2006 – 01.03.2009	1525	125
METU0587	02.09.2002 – 21.02.2004	1550	74



Р и с. 1. Траектории движения семи буев-измерителей ARGO за период с 2002 по 2009 гг.

По данным о местоположении буйев были рассчитаны скорости течений на горизонтах: 200; 500; 750; 1010; 1500; 1525; 1550 м. Оценка скоростей производилась по времени, за которое буй совершает цикл погружения/поднятия от момента погружения до момента передачи данных спутнику, и по расстоянию, которое прошёл дрейфтер на заданной глубине. Таким образом, были получены средние значения скорости за цикл (примерно раз в семь дней), которые далее подвергались низкочастотной фильтрации на основе метода скользящего среднего. Этот алгоритм использовался в разработанном авторами программном обеспечении для расчёта скоростей перемещения дрейфтеров.

Поведение буя-измерителя на горизонтах 200 и 750 м. С 2002 г. буи запускались в разные сезоны года в различных местах моря с использованием научных и коммерческих судов.

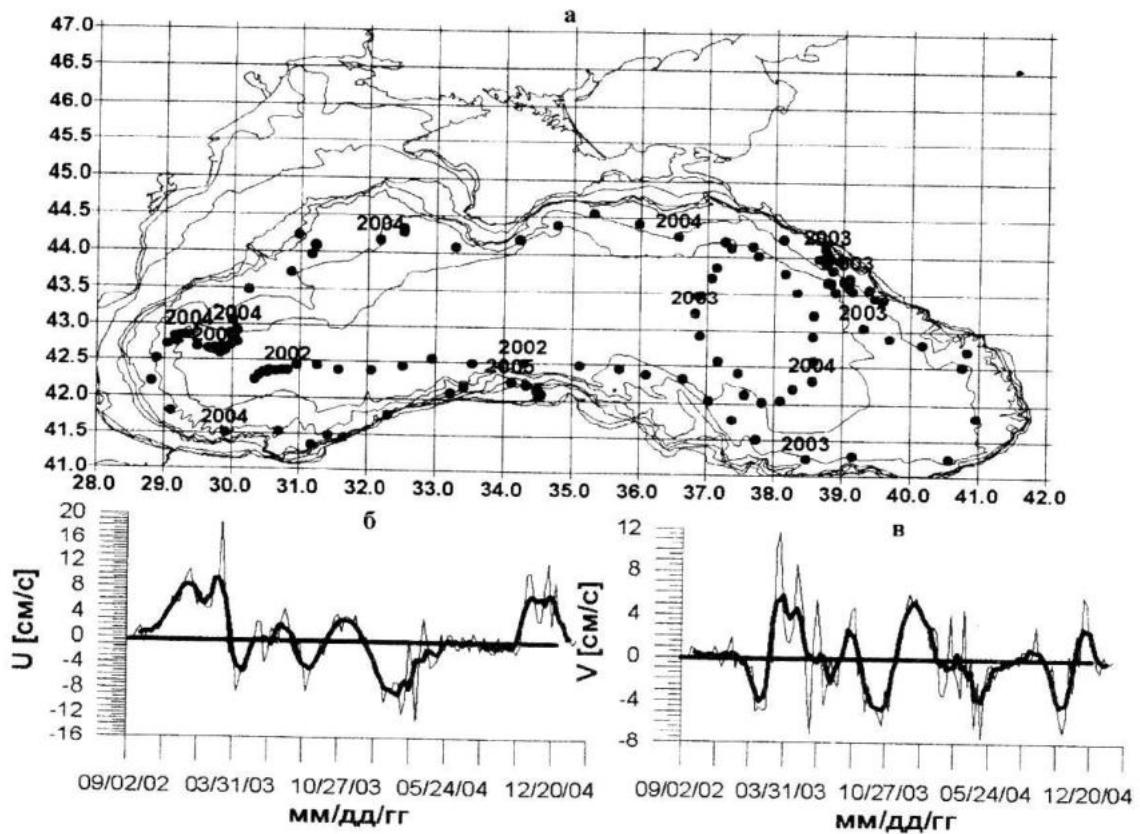
Дрейфтер METU0634 (глубина паркинга $Z_p = 200$ м) был выпущен 02.09.2002 в юго-западной части Чёрного моря (рис. 2) вблизи западного циклонического вихря, который идентифицируется по данным альтиметрии [5].

Вскоре после развертывания буй медленно дрейфовал на восток, значения компонент скорости $U \sim 1-2$ см/с, $V \sim 1$ см/с (рис. 2). На всех последующих графиках компонент скорости приведены исходные значения скорости (тонкие линии) и результат фильтрации методом скользящего среднего с шириной окна один месяц (жирные линии). До декабря 2002 г. буй продолжал движение на восток у берегов Турции вдоль свала глубин, подтверждая, таким образом проявление струи ОЧТ на глубине 200 м в этот период. Зональная компонента скорости дрейфтера увеличилась до плюс 6 см/с, а меридиональная практически равнялась нулю. За период с декабря по февраль буй двигался в юго-восточном направлении ($U = 10$ см/с, V равнялась минус 4 см/с). Максимальная скорость 15 см/с была зафиксирована в феврале-марте 2003 г. В марте буй миновал юго-восточную часть Черного моря ($U \sim 0$, $V \sim 12$ см/с),

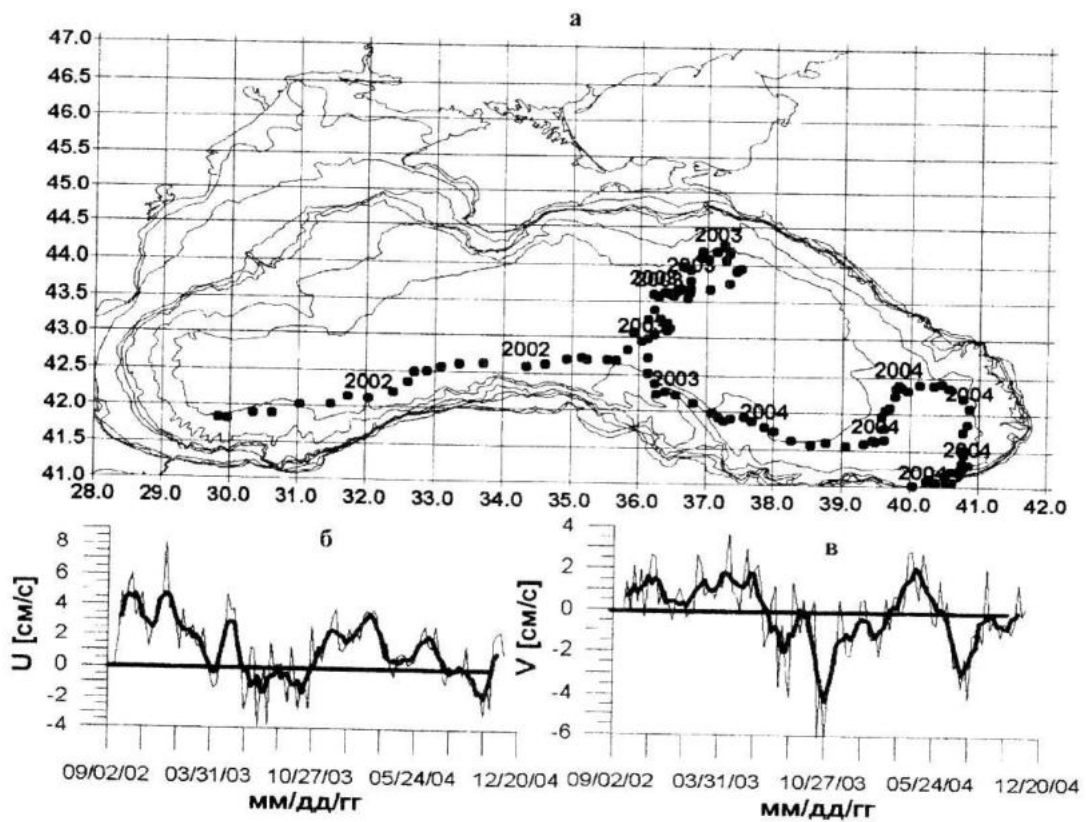
демонстрируя отсутствие Батумского вихря в наблюдаемый период, что также было отмечено по данным альтиметрии [7]. С марта по июнь 2003 г. дрейфтер двигался вдоль кавказского побережья (U менялась от минус 5 до 0 см/с, V – от минус 1 до плюс 3 см/с), а далее был захвачен антициклоническим вихрем ($D \sim 5$ км), где находился в течение всего лета 2003 г. Значение компонент скорости менялись таким образом: U от плюс 2 до минус 3 см/с, V от 0 до минус 2 см/с. Как известно, квазистационарные вихри у побережья Кавказа проявляются в весенне-летний период [6], поэтому, можно предположить, что буй оказался именно в таком вихревом образовании.

После антициклона дрейфтер продолжил движение на северо-запад, а компоненты скорости изменялись по величине и направлению: U равнялась минус 5 см/с, $V = 3$ см/с. В сентябре 2003 г. буй попадает в восточный циклонический круговорот ($D \sim 160$ км), траектория которого немного смещена к центру акватории. До конца 2003 г. буй движется на юг, вдоль западной периферии круговорота, со скоростью 6-10 см/с. В течение января-февраля 2004 г. дрейфтер поворачивает на север, и движется по восточной стороне вихря, а компоненты скорости меняются таким образом: U равна минус 8 см/с, $V = 6$ см/с. По достижении северного побережья, буй продолжает движение на запад, вдоль Крымского полуострова, а затем и северо-западного шельфа. Его зональная компонента колебалась от минус 4 до плюс 1 см/с, а меридиональная компонента равнялась нулю. В сентябре 2004 г. буй достигает северо-западной части акватории и к концу года, двигаясь в южном направлении, снова оказывается у побережья Турции. При этом его скорость составила 8 см/с. С января по апрель 2005 г. дрейфтер движется вдоль Турецкого берега со скоростью 2-6 см/с. В апреле 2005 г. буй прекратил работу.

Таким образом, дрейфтер METU0634 совершил полный оборот по периметру акватории Черного моря на глубине 200 м за два года.



Р и с. 2. Траектории движения буя METU0634 (а) и компонент скорости (б, в) на горизонте 200 м (объяснения в тексте) за период с 2002 по 2005 гг.



Р и с. 3. Траектории движения буя METU0631 (а) и компонент скорости (б, в) на горизонте 750 м за период с 2002 по 2005 гг.

Дрифтер METU0631, как и METU0634, был выпущен 02.09.2002 в юго-западной части Чёрного моря (рис. 3). Он дрейфовал на глубине 750 м. С сентября по декабрь 2002 г. траектория METU0631 вначале практически совпадает с траекторией METU0634, дрейфовавшего на горизонте 200 м. Оба буй двигались на восток вдоль Турецкого берега в южной струе ОЧТ. Скорость течения на глубине 750 м составила: U от плюс 3,1 до плюс 4 см/с, $V = 1$ см/с. Максимальное значение скорости буй было зафиксировано в декабре 2002 г. и составило 4,5 см. В январе 2003 г. буй METU0631 оказался в районе мыса Синоп, и далее, стал отклоняться от южного побережья Чёрного моря на северо-восток со скоростью 1 см/с. Следующие три месяца дрифтер продолжал медленно двигаться в северо-восточном направлении. Предположительно, такая смена направления движения связана с наличием циклонических вихрей в северной и восточной частях траектории [5]. Эта система, по видимому, заблокировала распространение промежуточных водных масс вдоль южного побережья в широтном направлении. К концу мая 2003 г., дрифтер достиг северо-восточного побережья, и был вовлечен в Керченский антициклонический вихрь ($D \sim 14$ км), где и пробыл в течение следующего месяца. В конце августа Керченский антициклон сменился системой циклонических вихрей. Буй начал дрейфовать на юго-запад акватории, а скорость увеличилась до 5 см/с. В середине ноября 2003 г. буй, побывав в серии вихрей, вернулся в позицию, близкую к той, что наблюдалась в феврале 2003 г. В конце ноября 2003 г. дрифтер был вновь захвачен южной струей ОЧТ, и продолжил движение на восток, вдоль турецкого побережья со скоростью 5 см/с (рис. 3). Буй продолжал движение в восточном направлении и с апреля до декабря 2004 г. находился в Батумском антициклоне ($D \sim 100$ км), а закончил работу 21.11.2004.

Таким образом, если исключить время нахождения дрифтера в циклонах и антициклонах, понадобилось около 310 дней от развертывания буй, до его последней позиции, что вдвое больше, чем у буй METU0634 ($Z_p = 200$ м), который прошел данный участок за 170 дней. Средняя скорость, с которой буй прошел данный участок на горизонте 750 м составила примерно 3,5 см/с, а на горизонте 200 м $\sim 7,5$ см/с. Можно сделать вывод, что для прохождения участка одинаковой длины на глубине 750 м дрифтеру необходимо вдвое больше времени, так как скорость при этом в два раза меньше, чем при прохождении такого же участка на горизонте 200 м.

Поведение буй-измерителя на горизонте 500 и 1010 м. Дрифтеры 4900489 и 4900540 были выпущены в юго-западной части Черного моря 14.03.2005. Глубина паркинга первого буй составила 500 м, а второго – 1010 м.

Дрифтер 4900489 ($Z_p = 500$ м) после развертывания сразу попал в западный циклонический круговорот (рис. 4). Весь 2005 г. и до конца мая 2006 г., буй пробыл в циклоническом вихре, который принял форму эллипса. Длина оси с юго-запада на северо-восток составил примерно 500 км, а оси с юго-востока на северо-запад ~ 120 км. Средняя скорость, с которой буй двигался в вихре равнялась 3,5 см/с, а максимальная – 10 см/с. В июне 2006 г. дрифтер попал в южную струю ОЧТ, и следующие полгода с мая по ноябрь двигался в восточном направлении вдоль свала глубин параллельно южному побережью Черного моря. Значения компонент скоростей менялись таким образом: $U \sim 2 - 5$ см/с, $V \sim 0 - 3$ см/с. В ноябре 2006 г. дрифтер достиг южной точки акватории и резко поменял своё направление и с ноября по декабрь 2006 г. двигался на северо-восток. Его широтная компонента скорости стала равна минус 5 см/с, а меридиональная минус 3 см/с. С февраля по апрель 2007 г. буй находился в антициклоническом вихре ($D \sim 15$ км), где сделал почти два полных оборота, а далее направился на юго-восток. В мае он достиг восточных берегов Турции и снова попал в струю ОЧТ. С апреля по август буй двигался в

северо-восточном, а потом в северном направлении вдоль свала глубин, со скоростью примерно 3 см/с. В конце августа дрейфер был захвачен циклоническим вихрем ($D \sim 40$ км), где пробыл до конца октября ($U \sim 2-3$ см/с, $V \sim 1-3$ см/с). Вспомним, что буй METU0634, дрейфовавший на глубине 200 м, попал в похожий циклонический вихрь в 2003 г. Характерный диаметр такого циклона составляет примерно 50 км, и, судя по имеющимся данным, можно сказать, что Кавказский вихрь проникает до глубины 500 м. В конце октября вихрь распался. В ноябре дрейфер двинулся в северо-западном направлении со скоростью 2 см/с. В январе 2008 г. дрейфер достиг свала глубин в районе Крыма, а оттуда направился в центр моря, где попал в циклонический вихрь с диаметром примерно 40 км. В марте 2008 г. буй дрейфовал на запад акватории и снова был захвачен западным циклоническим круговоротом с диаметром примерно 60 км. Средняя скорость буя в циклоне была около 4 см/с, а максимальная – 10 см/с. В июне буй освободился от влияния циклона и попал в основное Черноморское течение. В струе течения буй прошел с запада акватории в ее юго-восточную часть. Величины скоростей менялись от плюс 2 до плюс 4 см/с. Буй закончил работу 17.11.2008 у восточных берегов Турции.

Буй 4900540 (рис. 5) дрейфовал на глубине 1010 м. Был развернут вместе с буюм 4900489 (табл. 1) в юго-западной части акватории. Первые полгода буй двигался в восточном направлении вдоль турецкого берега. Его широтная компонента скорости менялась от плюс 4 до

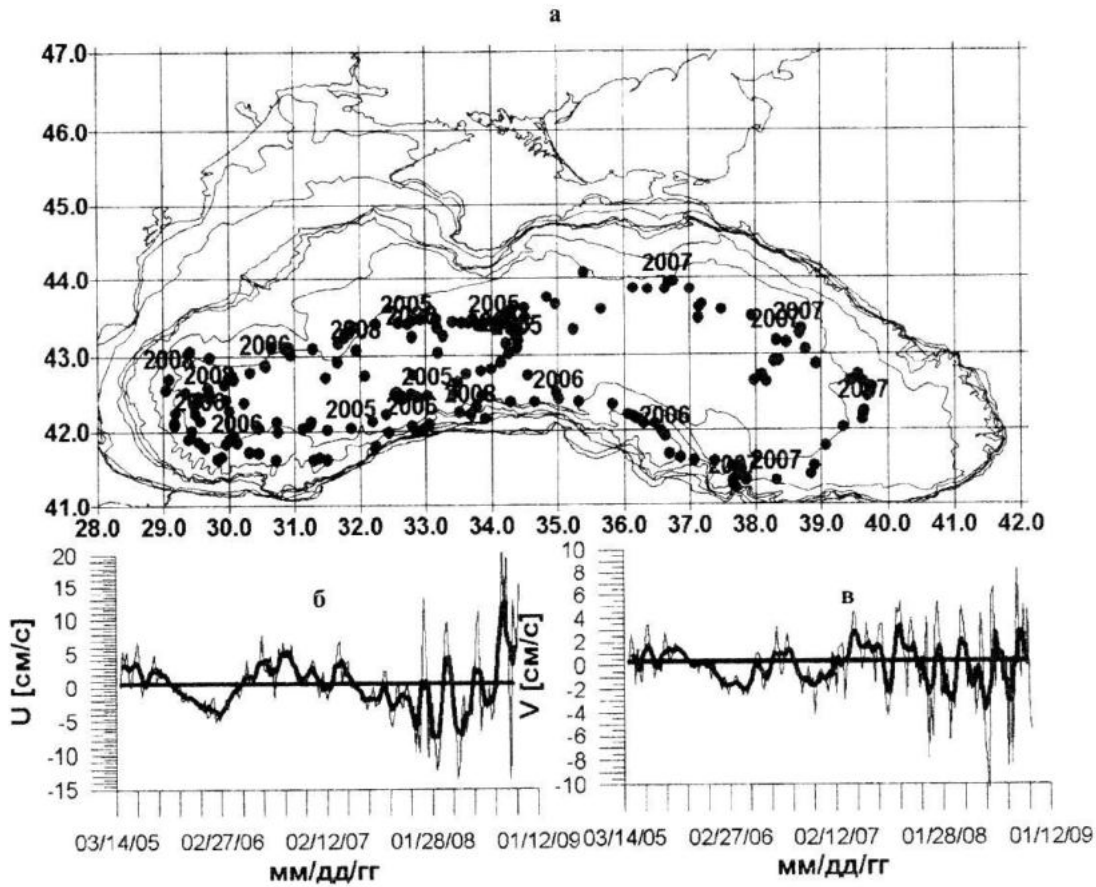
плюс 0,5 см/с, а меридиональная – от 0 до 1,5 см/с. С июня по июль 2005 г. траектория дрейфера отклонилась к центру моря, а скорость уменьшилась до 1 см/с. С июля по декабрь буй двигался на юго-восток, величины скоростей менялись от плюс 1 до минус 2 см/с. В январе 2006 г. буй дрейфовал на восток вдоль свала глубин.

В марте дрейфер двинулся в северном направлении, а с апреля по июнь находился в циклоническом вихре ($D \sim 30$ км). В июле он снова направился на восток ($U = 5$ см/с, $V = 0$ см/с), и в сентябре был захвачен циклоном у побережья Кавказа. В циклоническом вихре буй находился с сентября 2006 г. по июль 2007 г., а его компоненты скорости менялись U от 3 до минус 2 см/с, V от минус 2 до минус 0,5 см/с. В конце июля буй вышел из-под влияния антициклона, попал в струю основного течения и со скоростью 2 см/с направился на северо-запад вдоль Крымского побережья и северо-западного шельфа. В конце апреля 2008 г. дрейфер оказался в западной части Черного моря, а с мая по июнь был захвачен антициклоническим вихрем ($D \sim 20$ км). В июне буй продолжил движение в юго-западном направлении со скоростью достигла 3 см/с, а в июле он снова был захвачен антициклоническим круговоротом и до октября 2008 г. прошел по западной периферии вихря, а 2.10.2008 буй закончил работу.

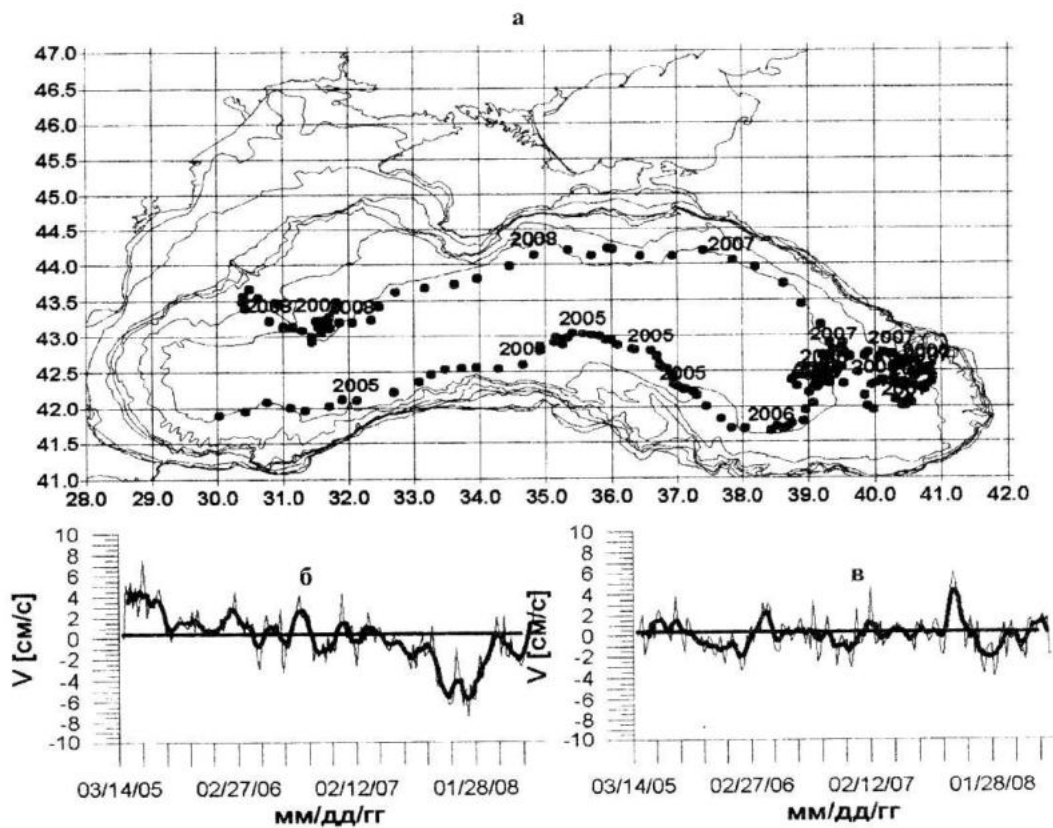
Таблица 2

Средний модуль скорости для буюв на каждом горизонте

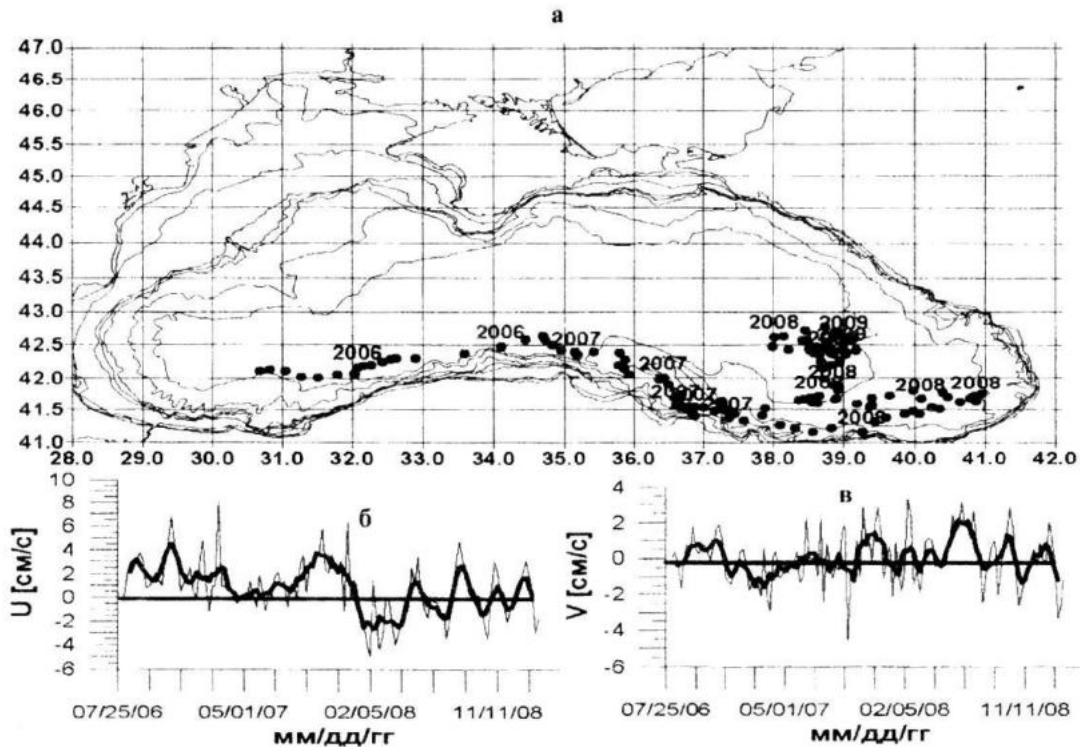
Номер буя	(Zp), м	«Время жизни», год	Средняя скорость, см/с
METU0634	200	2,5	5,1
4900489	500	~4	4,0
METU0631	750	2	2,7
4900540	1010	3,5	2,6
4900542	1500	~3	2,2
4900541	1525	2,5	2,4
METU0587	1550	1,5	2,3



Р и с. 4. Траектории движения буя 4900489 (а) и компонент скорости (б, в) на горизонте 500 м за период с 2005 по 2009 гг.



Р и с. 5. Траектории движения буя 4900540 (а) и компонент скорости (б, в) на горизонте 1010 м за период с 2005 по 2008 гг.



Р и с. 6. Траектории движения буя 4900542 (а) и компонент скорости (б, в) на горизонте 1500 м за период с 2006 по 2009 гг.

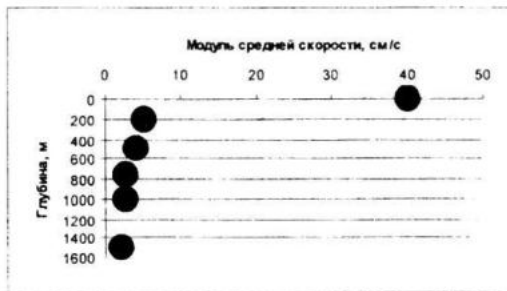
Поведение буя-измерителя на горизонте 1500 м. 25.07.2006 на юго-западе акватории был развернут буй 4900542 (рис. 6) и дрейфовал на глубине 1500 м на восток. Его скорость первые два месяца колебалась от 1 до 2 см/с. С сентября 2006 г. по конец октября буй замедлился ($U = 1,5$ см/с, $V = 0$ см/с). В ноябре дрейфтер направился в центральную часть моря со скоростью около плюс 4 см/с, а с декабря по апрель он двигался на юго-восток. В конце апреля 2007 г. буй совершил небольшую петлю в циклоническом направлении ($D \sim 7$ км) и продолжил медленно двигаться на юго-восток со скоростью близкой к нулю. В июле 2007 г. буй достиг шельфовой зоны Турции. Он дошёл до изобаты 100 м, затем повернул в обратном направлении. Достигнув изобаты 300 м, буй продолжал движение вдоль турецких берегов вплоть до января 2008 г. Январь-февраль буй двигался на восток (U до минус 3 см/с, $V = 0,5$ см/с), а в конце февраля был захвачен Батумским антициклоном в восточной части акватории, в котором находился до начала мая, а скорость его движения в вихре колебалась от плюс 2 до плюс 3 см/с. В середине мая он дрейфовал в направле-

нии центра моря, но в конце июня попал в циклон ($D \sim 20$ км), где пробыл еще два месяца. В начале сентября буй двинулся на северо-восток со скоростью $U = 3$ см/с, V равно 1 см/с, но в октябре был захвачен циклоническим вихрем с диаметром около 40 км. Там он находился до конца ноября, далее двигался на восток акватории, при этом его скорость почти не изменилась. В начале декабря буй снова совершил небольшую петлю ($D = 5$ км). Далее буй попал в более крупный циклонический круговорот ($D \sim 50$ км), где дрейфовал весь январь и февраль 2009 г. со скоростью 2-3 см/с. С марта по май 2009 г. дрейфтер был захвачен антициклоническим вихрем. Последняя станция была сделана 27.05.2009.

Оценка скоростей течений. Так как цикл погружения/поднятия буя составляет в среднем семь дней, можно, определив расстояние между станциями, посчитать и оценить среднюю скорость, с которой он передвигается на горизонте. На поверхности дрейфтер проводит лишь 6-12 часов, поэтому, весьма сложно сделать выводы о временной изменчивости поверхностных течений. Однако по всем данным поверхностных SVPB дрейфтеров из базы данных Морского гидрофизического института нами были рассчитаны

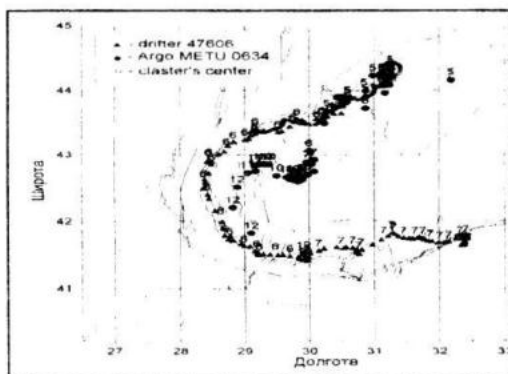
средние скорости течений за данный период (примерно 40 см/с). Таким образом, были произведены вычисления значений компонент скоростей, модуля скорости на каждом горизонте и среднего значения за весь период работы дрейфтеров. Эти данные отражены в табл. 2. По результатам вычислений прослеживается четкая вертикальная структура поля течений (рис. 7).

Значение скоростей на поверхности примерно в восемь раз больше, чем на глубине 200 м, в десять раз больше, чем на 500 м и примерно в двадцать раз больше, чем на всех остальных горизонтах (табл. 2).



Р и с. 7. Распределение величины среднего модуля скорости для каждого горизонта

Вертикальная структура поля течений в слое 0 – 200 м продемонстрирована на рис. 8. Для этого мы сопоставили движение кластера из шести поверхностных дрейфтеров и буя ARGO 0634 с мая по декабрь 2004 г. Центр кластера дрейфтеров и дрейфтер 47606 двигались в основном вдоль свала глубин в районе изобат 500–800 м (рис. 8) со средней скоростью 25 см/с. Буй ARGO двигался на глубине 200 м с мая по июнь вдоль изобаты 1000 м, затем вдоль изобаты 2000 м с июля по октябрь 2004 г. со средней скоростью 5 см/с.



Р и с. 8. Траектории движения скоростей поверхностного SVPB буя 47606 и буя ARGO 0634 с мая по декабрь 2004 г.



Р и с. 9. График изменения величины модуля средних скоростей поверхностного SVPB буя 47606 и буя ARGO 0634

Графики изменения величины модуля скорости течений (рис. 9) указывают на высокую корреляцию течений до глубины 200 м. Тенденция временной изменчивости между течениями на поверхности и разными горизонтами имеет место лишь для низкочастотных процессов.

Масштабные коэффициенты между поверхностными, промежуточными (750 м) и глубинными (1550 м) слоями, соответственно, 0,06 для зонального потока и 0,045 для меридионального потока [5].

Заключение. В работе систематизированы данные по семи глубоководным буям-измерителям ARGO, которые были развернуты с 2002 по 2009 гг. на северо-западе Черного моря. Буи дрейфовали на глубинах 200; 500; 750; 1010; 1500; 1525 и 1550 м, что позволило получить уникальную информацию об изменчивости водной среды от поверхности до глубин 1550 м за длительный период, получить большой массив гидрологических данных, оценить скорости течений на заданных горизонтах. Данные ARGO позволили более подробно описать региональные особенности синоптических процессов в Черном море и проследить их изменчивость по глубине. Детально описаны пространственная структура циклонических и антициклонических вихрей в разные сезоны года, и оценены их пространственные масштабы, которые составили от 5 до 50 км. Было отмечено отсутствие Батумского антициклона в 2003 г. Скорость ОЧТ по периметру бассейна на глубине 200 м достигала 15 см/с, а величины скоростей на глубинах 500 – 1550 м в разные сезоны менялись от 0 до 10 см/с. Это согласуется с результатами ADCP измерений [7].

Также были выявлены проявления квазистационарных мезомасштабных вихрей на данных горизонтах. Особенности течений в глубинных слоях оказались расположены в основном вдоль топографического склона, а регулярно наблюдаемые петли траекторий буев, указывают на важность топографических зон в формировании вихрей в Черном море. Циклонические и антициклонические вихри наблюдались на всех глубинах вплоть до 1500 м. Течений в антициклоническом направлении (противотечения ОЧТ) не наблюдалось.

Эти результаты дают более глубокое понимание в изучении динамики промежуточных и глубинных слоев Черного моря и могут быть использованы при планировании новых дрейферных экспериментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Argo* data management. USER'S MANUAL Version 2.1 June 9th, 2008.
2. *Ivanov L.I., Shkvorets I.Yu.* Thermohaline structure of abyssal and near-bottom waters of the Black Sea. – *Physical Oceanography*, 1996. – P. 438.
3. *Oguz T., Besiktepe S., Ivanov L.I., Diacanu V.* On the ADCP-derived Rim current structure, CIW formation and the role of mesoscale eddies on transport in the Black Sea: results from April 1993 observations. – Kluwer, "Ecosystem Modeling as a Management Tool for the Black Sea", edited by L.I. Ivanov and T. Oguz, 1997. – P. 93–118.
4. *Толстошеев А.П., Лунев Е.Г., Мотыжев В.С.* Развитие средств и методов дрейферной технологии применительно к проблеме изучения Черного моря. – *Океанология*, 2008, том 48, № 1. – С. 149–158.
5. *Korotaev G.K., Oguz T.* Intermediate and deep currents of the Black Sea obtained from autonomous profiling floats. – *Deep-Sea research II* 53, 2006. – P. 1901–1910.
6. *Korotaev G.K., Oguz T., Nikiforov A., Koblinsky C.J.* Seasonal interannual and mesoscale variability of the Black Sea upper layer circulation derived from altimeter data. – *Journal of Geophysical Research* 108 (C4), 2003. – 3122. – P. 16.
7. *Ilyin Yu.P., Ivanov V.A., Lemeshko E.M., Besiktepe S., Ozsoy E., Sur H., Gungor H.* Western Black Sea currents by the ship measurements and satellite imagery. – Kluwer, "Ecosystem Modeling as a Management Tool for the Black Sea", edited by L.I. Ivanov and T. Oguz, 1998. – P. 119–129.