

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ И АНОМАЛИИ ТЕЧЕНИЯ ЦИКЛОНИЧЕСКОГО КРУГОВОРОТА В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОМ СЕКТОРЕ СРЕДНЕГО КАСПИЯ¹

© 2019 г. А. К. Амбросимов^{1,*}

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

Россия 117997 Москва

*e-mail: ambrosimov@ocean.ru

Поступила в редакцию 06.11.2016 г.

После доработки 18.09.2017 г.

Принята к публикации 29.09.2017 г.

Представленные в статье экспериментальные данные показывают, что в северо-восточном секторе Среднего Каспия в районе Песчаномысского поднятия наблюдается возмущение течений, вызванное взаимодействием циклонического круговорота с южным склоном поднятия. В результате этого взаимодействия воды циклонического круговорота разделяются на ветви – нижнюю и верхнюю. Нижняя придонная ветвь отбрасывается поднятием в юго-западном направлении, где у мыса поднятия она сталкивается с водами, стекающими по дну Южно-Бузачинского прогиба в юго-восточном направлении, а верхняя ветвь, состоящая из приповерхностных и промежуточных холодных вод, выталкивается вверх и переваливает через поднятие. В результате подъема холодных вод в поверхностном слое образуется апвеллинг, который распространяется на весь северо-восточный район моря.

Ключевые слова: циклонический круговорот, северо-восточная часть Среднего Каспия, Песчаномысское поднятие, Южно-Бузачинский прогиб, придонные течения, изменчивость, апвеллинг.

DOI: 10.31857/S0321-0596465485-495

До настоящего времени основу знаний о динамике течений Каспийского моря составляли в основном теоретические модели и эпизодические результаты натурных исследований [11, 12, 14–16, 21], при этом большую часть натурных наблюдений составляли данные, полученные в прибрежной зоне.

Первые расчеты геострофической циркуляции Среднего Каспия представлены в работе [21], из которой следует, что зимой в Среднем Каспии над котловиной должен существовать циклонический круговорот. Согласно последним теоретическим исследованиям [13], ветер, бароклинность и испарение формируют и поддерживают циклоническую циркуляцию вод над котловиной, при этом циклонический круговорот над котловиной Среднего Каспия имеет квазипостоянный характер. В экмановском слое движение вод может маскироваться наложени-

ем ветровой дрейфовой составляющей. В работе [18] сделан вывод, что течения в глубинных слоях ниже термоклина круглогодично носят стабильный циклонический характер. Теоретические расчеты в Институте вычислительной математики РАН показали, что циклонический круговорот в Среднем Каспии – непостоянный и существует только для осредненного верхнего слоя толщиной 50–100 м [14, 15]. К сожалению, долговременных натурных измерений на различных глубинах и в различных районах моря выполнено мало, и практически нет данных по придонным течениям [11, 12, 16]. Все это затрудняет построение объективной картины течений Каспийского моря, в том числе и осуществление привязки теоретических моделей. Исследование Каспийского моря из космоса обладает рядом достоинств при изучении поверхностных течений, однако измерения требуют привязки

¹ Обработка материалов выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 14-27-00114 “Седиментобиогеохимические исследования морей европейской части России (рассеянное осадочное вещество, донные осадки, диагенез). Взаимодействие геосфер, потоки вещества и энергии”). Интерпретация данных частично проведена в рамках Государственного задания ИО РАН на 2015–2017 гг. (темы № 0149-2014-0025, № 0149-2014-0026).

к судовым данным. Космические измерения показали, что существует ответвление от западной части циклонического круговорота, по которому часть вод из Среднего Каспия вдоль западного побережья переносится в Южный [19].

Анализ литературных данных показывает, что наиболее полной информацией об изменчивости системы течений Каспийского моря являются натурные долговременные наблюдения *in situ* на различных горизонтах водной толщи.

В последние годы более чем в 20 экспедициях Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН были проведены исследования практически всей акватории Среднего Каспия. Получены новые данные и результаты о системе течений Среднего Каспия [1, 2, 6, 7]. В исследованиях в 2004–2016 гг. были задействованы суда НИС “Рифт”, “Тантал” и “Никифор Шуреков”, с которых осуществлялись постановки притопленных буйковых станций (ПБС) с доплеровскими измерителями течений, STD-зондирования, буксировки профилографов течений и т.д.

Несмотря на большой объем натурных данных и новых научных результатов, которые были получены в последние годы, остается еще много вопросов по сезонной изменчивости и динамике течений в различных районах Каспийского моря. Новые данные необходимы также для коррекции теоретических моделей.

Анализ научной литературы по Каспийскому морю показывает, что существует большой пробел в знании о динамике течений восточной части Среднего Каспия, роль которой – определяющая в оценке массо- и теплопереноса, образовании и развитии восточного апвеллинга и др. Поэтому цель данного исследования – устранение пробелов в изучении фундаментальных основ динамики течений в северо-восточной части Среднего Каспия, в том числе и в целях обеспечения экологической и техногенной безопасности развития нефтегазового комплекса в этом районе моря.

Циклонический круговорот (ЦК) Среднего Каспия – важнейший элемент системы Каспийского моря, который обеспечивает тепло- и массообмен, а также перенос взвешенного и биогенного материала в различные районы моря.

Круговорот течения в Среднем Каспии в научной литературе представлен как движение вод, охватывающее весь Средний Каспий от Апшеронского до Мангышлакского порога. Однако экспериментальные наблюдения последних лет показали, что это не так [2]. Стержень циклонического

круговорота проходит над свалом глубин Дербентской котловины, и круговорот представляет собой контурное течение. Подтверждение этому – возникновение прибрежных противотечений основному потоку в западной и восточной частях моря. Долговременные измерения на ПБС показали, что ЦК имеет ярко выраженную сезонную изменчивость: значительную раскрутку в холодный сезон с конца осени по конец весны и замедление, почти с остановкой, летом. Исключение составляет западная ветвь ЦК, которая также подвержена сезонным колебаниям, но движение вод по ней осуществляется круглый год, обеспечивая баланс вод между Средним и Южным Каспием [2].

В северо-восточной части Среднего Каспия в районе Песчаномысского поднятия (ПМП) имеет место зона значительных возмущений течения, вызванная обтеканием круговоротом ПМП. Здесь же наблюдаются аномалии в распределении придонной температуры и концентрации взвешенного вещества [1, 3, 11, 20].

ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для изучения характеристик течений и их пространственно-временной изменчивости в экспедициях применялись в основном следующие приборы и методики:

измерение течений в фиксированных точках моря с помощью измерителей течений (ИТ) “Поток-М” и доплеровских измерителей “Argonaut-MD” (“Sontek”) и “DVS” (“RD Instruments”) на стационарных притопленных буйковых станциях, которые устанавливались на станциях на срок от шести месяцев до года;

измерение вертикальных профилей течений с помощью зондирования водной толщи профилографом “ADCP WH-150” (“ADCP-150”) с борта судна в дрейфе до глубин 1000 м;

выполнение вертикальных разрезов течений при буксировках доплеровских профилографов “ADCP WH-150” (“ADCP-150”) и “ADCP WH-300” (“ADCP-300”);

построение вертикальных распределений температуры, солености и других океанологических параметров на станциях с помощью STD-зондирования зондами “SBE19+” и “Idronaut Ocean 316” [4, 6, 10].

Зондирование водной толщи акустически профилографами осуществлялось в автономном режиме. Прибор подвешивался на трос

и погружался на необходимый горизонт, где удерживался 10–20 мин для накопления информации о течении и последующего усреднения. Отметим, что акустический профилограф “ADCP-150” пробивает водную толщу до ~240, а “ADCP-300” – до ~120 м. Горизонты измерений выбирались таким образом, чтобы было перекрытие водной толщи. Дискретность измерений по глубине обычно выбиралась по 5 м.

Для получения профилей скоростей течений при буксировках профилографы закреплялись на специальной штанге так, чтобы измерительная головка прибора находилась ниже днища судна на 0,5 м. Штанга размещалась непосредственно у борта в средней части судна для уменьшения влияния качки. Прибор посредством штатного кабеля подключался к персональному компьютеру, где велось отображение текущей информации и запись на жесткий диск с помо-

щью программы WinRiver 1 (Teledyne RDI). Вокруг ADCP был смонтирован металлический обтекатель для снижения вибраций и уровня шума при обтекании водой, что улучшало качество получаемой информации. Надежность измерений при буксировках профилографа обеспечивалась при скорости судна до 7 узлов.

По данным измерителей течений, установленных на ПБС, были построены диаграммы прогрессивных скоростей течений, которые позволили проследить динамику течений в точке наблюдений во времени, а также вычислялись статистические и спектральные характеристики пространственно-временной изменчивости течений. Вертикальные профили, построенные по данным буксировок, позволили оценить характер пространственно-временной изменчивости течений на различных масштабах (рис. 1, 2).

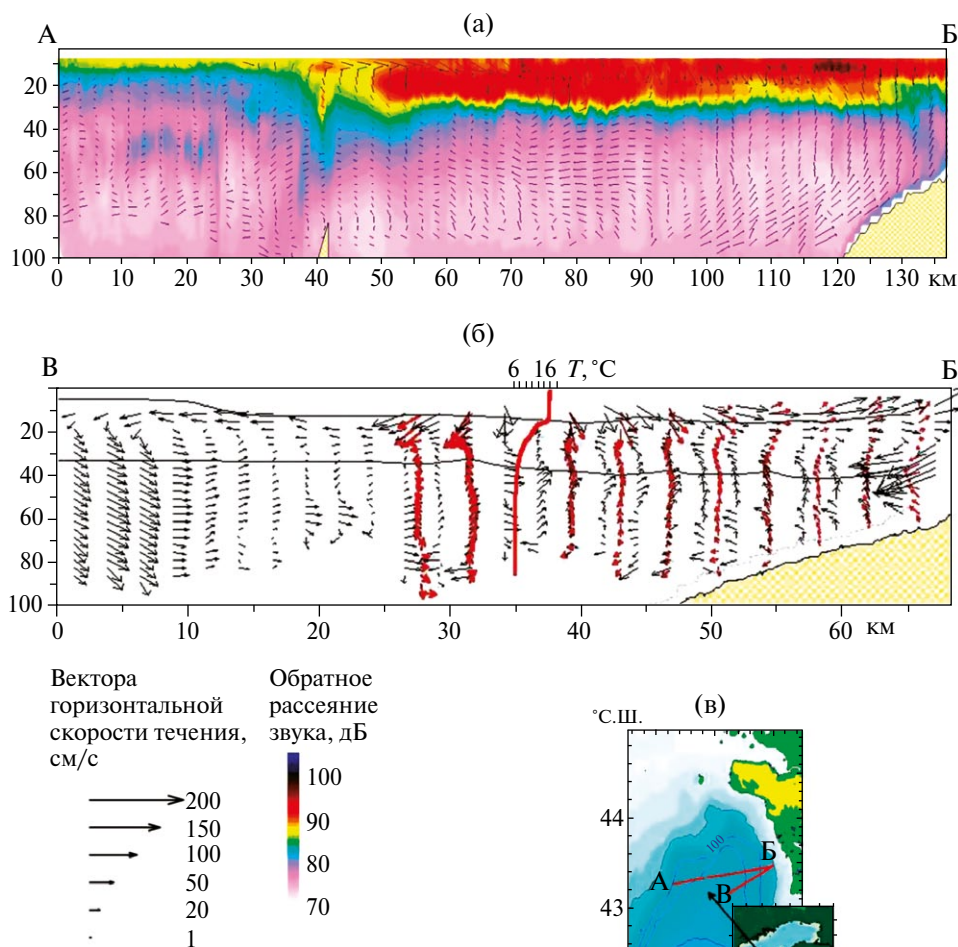


Рис. 1. Субсезонные разрезы течений над Южно-Бузачинским прогибом от центральной части склона Северного Каспия до восточного шельфа в районе п. Актау: (а) – в июне 2010 г., (б) – в мае 2012 г., (в) – схема разрезов. (Стрелки – географическое направление течений, расположение стрелок по глубине – горизонт наблюдений, длина стрелки – модуль скорости).

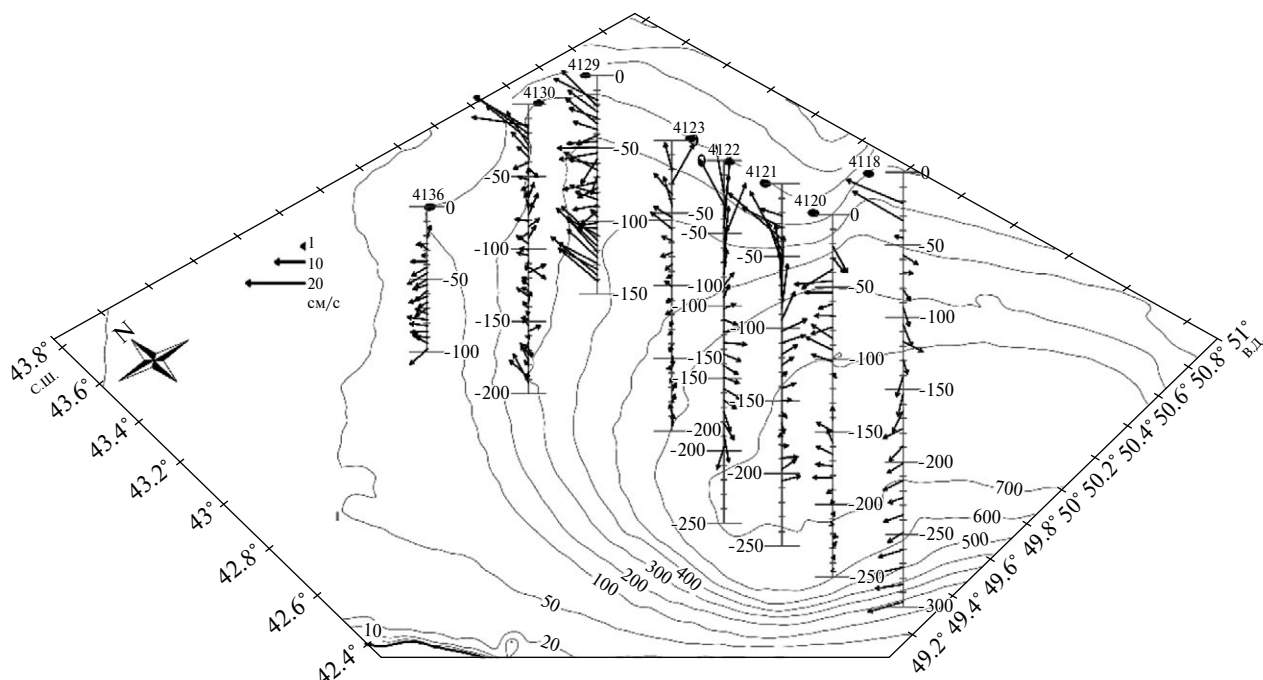


Рис. 2. Профили течений в районе ПМП и в Южно-Бузачинском прогибе в северо-восточном секторе Среднего Каспия. (Стрелки на рисунке – географическое направление течений, расположение стрелок по глубине – горизонт наблюдений, длина стрелки – модуль скорости, точки над профилями – места проведения зондирований и номера станций, цифры у нижнего края профилей – глубина профилирования до дна [6]).

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

Исследования, проведенные в экспедициях Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН с 2007 по 2015 г. в районе Песчаномысского поднятия (ПМП), показали, что здесь существует довольно обширная зона возмущений, вызванная взаимодействием циклонического круговорота с довольно крутым южным склоном поднятия [3, 8, 17]. Из данных зондирования, профилирования течений и прогрессивно-векторных диаграмм, построенных по данным полугодовых наблюдений, видно, что при натекании круговорота на довольно крутой склон ПМП его придонные воды отводятся в юго-западном направлении в центральную часть моря. Часть промежуточных и приповерхностных вод потока выталкивается вверх на поднятие, переваливается через него и движется в северо-западном направлении. Над ПМП происходит смешение холодных промежуточных вод с поверхностными, в результате возникают возмущения, которые на поверхности характеризуются возникновением фронтальных зон, разделенных хаотическими пенными дорожками.

В 35-м и 41-м рейсах НИС “Рифт” в северо-восточном секторе Среднего Каспия было выполнено несколько разрезов вертикальных профилей течений от северного склона Дер-

бентской котловины до восточного шельфа на траверзе п. Актау, а также разрез в юго-западном направлении от склона в районе п. Актау до центра моря, которые показаны на рис. 1 [6, 10]. Стрелки течений на рисунке показывают географическое направление течения, длины стрелок показывают величину скорости, а вертикальное положение стрелок на рисунке – горизонт наблюдений. Профилирование течений выполнено до глубины ~100 м с помощью доплеровского профилографа течений “ADCP-300”. Разрезы проводились в квазизональном направлении из центра моря к п. Актау в июне 2010 (рис. 1а) и в мае 2012 г. (рис. 1б). Вертикальные профили течений на рис. 1а и рис. 1б показывают, что на этом участке моря наблюдаются разнонаправленные горизонтальные течения. Из данных разреза А–Б (рис. 1в) длиной 135 км – от центра моря до п. Актау (июнь 2010 г.) – видно (рис. 1а), что в приповерхностном слое восточной части разреза наблюдалось увеличение толщины перемешанного слоя (до 30–35 м) по сравнению с толщиной в 15 м в западной части разреза. Измерения проводились в восточной части разреза при средней скорости ветра до 11–13 м/с, а в западной до 6–8 м/с. Из данных рис. 1а видно, что ветровое воздействие в восточной части разреза вызывает мезомасштабные возмущения под термоклином. Здесь течения довольно ин-

тенсивные со скоростями в глубоководной части порядка 20, над склоном — 70 см/с, в то время как в западной части разреза скорости течений под термоклином были в пределах 2–15 см/с. Слабые и разнонаправленные течения здесь связаны с летним ослаблением течений в ЦК при поступлении холодных паводковых вод из Волги и Урала, которое хорошо иллюстрирует диаграмма прогрессивно-векторной скорости течения на придонном горизонте 210 м ст. 1343, представленная на рис. 3, где течение с середины мая по ноябрь меандрировало практически вокруг точки наблюдений (на рисунке по осям отложены прогрессивные перемещения воды в широтном и меридиональном направлениях).

Разрез течений Б–В (рис. 1в) длиной ~70 км, выполненный в мае 2012 г. от п. Актау до центра Южно-Бузачинского прогиба (рис. 1б), характеризуется довольно интенсивными разнонаправленными скоростями течений в 100-метровом слое. Во время выполнения разреза над морем наблюдался северо-западный ветер со средними скоростями 8–12 м/с. В западной части разреза течения были восточного направления со скоростью до 65 см/с, в центре разреза — северо-восточного и северного направления со скоростями 40–50 см/с. Над склоном течение развернулось в обратном (западном) направлении со скоростями 100–150 см/с. Это течение над восточным склоном имеет компенсационное происхождение,

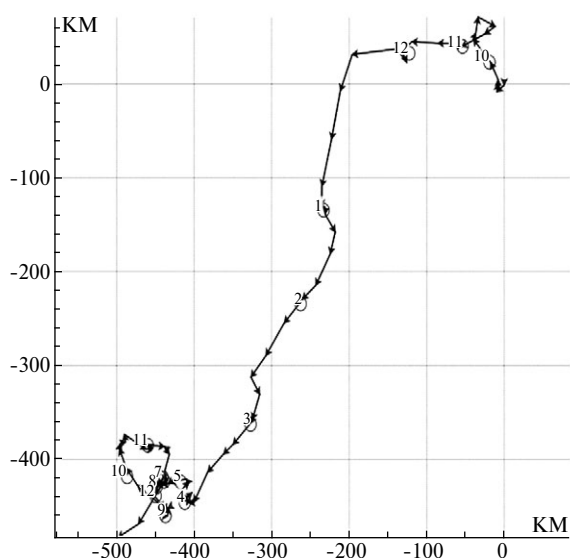


Рис. 3. Прогрессивная диаграмма скорости течения на юго-западной оконечности ПМП на горизонте 210 м в период с 04.09.2013 по 11.12.2014. Точки на кривой — месячные перемещения водных масс относительно точки наблюдений (по осям — широтное и меридиональное перемещения воды в точке наблюдения).

поскольку вызвано нагоном воды на восточный шельф. На рис. 1б наблюдается циклонический вихрь в разрезе масштабом 50–60 км. Отметим, что время проведения разреза совпало с подходом паводковых вод в Северный Каспий. Кроме климатических факторов и паводковых вод, на систему течений в северо-восточном секторе Среднего Каспия оказывают влияние Песчаномысское поднятие и расположенный к северу от него Южно-Бузачинский прогиб.

Песчаномысское поднятие представляет собой подводный вал, который простирается от мыса Песчаный вглубь моря в юго-восточном направлении, обрываясь у склона Дербентской котловины на глубине 400–500 м. Поперечный размер подводного вала ПМП на изобате 200–300 м составляет ~45 км. Южная сторона поднятия довольно крутая, здесь склон резко падает до глубин 250–400 м. К более пологому склону с северной стороны ПМП примыкает Южно-Бузачинский прогиб с глубинами до ~250 м. При столкновении вод циклонического круговорота, движущихся с юга, с препятствием в виде крутого склона ПМП, его придонные воды изменяют направление течения на юго-западное, а часть промежуточных и приповерхностных вод выталкивается на поднятие в северо-западном направлении и перетекает через него. Промежуточные воды, вытолкнутые на ПМП, образуют локальный апвеллинг [3, 17]. Перетекая через ПМП, часть вод опускается в Южно-Бузачинский прогиб с глубинами 100–150 м (рис. 2), а другая часть вытолкнутых охлажденных вод вдоль береговой линии движется в сторону Мангышлакского порога, где основная масса отводится в западном направлении, а еще часть вод переваливает через Мангышлакский порог и втекает в Северный Каспий, достигая Комсомольского залива.

В экспедиции 41-го рейса НИС “Рифт” 29–30 октября 2012 г. с помощью доплеровского профилографа “ADCP-150” было проведено вдоль-береговое зондирование течений вокруг Песчаномысского поднятия, результаты которого приведены на рис. 2. Из схемы течений (рис. 2), построенной по данным профилирования, видно, что со стороны южного склона поднятия на станциях 4118 и 4120 течение в придонном слое с глубины 300 до 150 м направлено на запад, с глубины 150 м и выше — на юго-восток, а в приповерхностном слое — на северо-запад. Придонная ветвь ЦК, отведенная ПМП в западном направлении, сталкивается у юго-западной оконечности ПМП (рис. 2) с течением, текущим

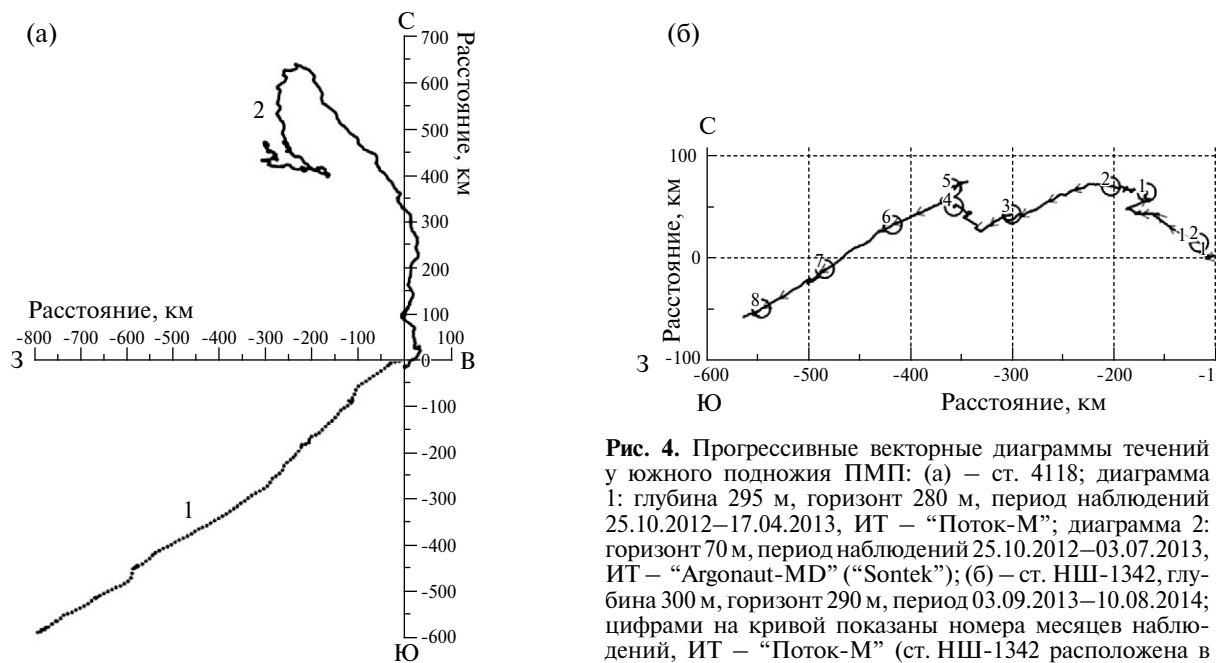


Рис. 4. Прогрессивные векторные диаграммы течений у южного подножия ПМП: (а) – ст. 4118; диаграмма 1: глубина 295 м, горизонт 280 м, период наблюдений 25.10.2012–17.04.2013, ИТ – “Поток-М”; диаграмма 2: горизонт 70 м, период наблюдений 25.10.2012–03.07.2013, ИТ – “Argonaut-MD” (“Sontek”); (б) – ст. НШ-1342, глубина 300 м, горизонт 290 м, период 03.09.2013–10.08.2014; цифрами на кривой показаны номера месяцев наблюдений, ИТ – “Поток-М” (ст. НШ-1342 расположена в 12.6 км к юго-западу ст. 4118).

в южном направлении по Южно-Бузачинскому прогибу. В верхних частях этих профилей течение со 100-метровой глубины на ст. 4121 движется в северо-западном направлении и уже на станциях 4122 и 4123 в 50-метровом приповерхностном слое течение выстраивается в классическом направлении движения вод ЦК – в северо-западном направлении.

Долговременные наблюдения, выполненные на ПБС-4118 (41-й рейс НИС “Рифт”) у подножия южного склона ПМП на глубине 300 м в период с 25 октября 2012 по 03 июля 2013 г. на горизонтах 290 и 70 м в точке с координатами $42^{\circ}41.311'$ с.ш., $50^{\circ}50.261'$ в.д., показали (рис. 4), что придонное течение в этом районе моря в результате взаимодействия с довольно крутым склоном поднятия отбивается в юго-западном направлении под углом $\sim 217^{\circ}$ (рис. 4а, кривая 1), а промежуточные воды с горизонта 70 м выталкиваются на поднятие (рис. 4а, кривая 2) [6]. Постоянство направления придонного течения в 10 м от дна при глубине моря в 300 м (рис. 4а, кривая 1) можно объяснить высокой крутизной подножия склона ПМП в районе постановки ПБС-4118. Средняя скорость у дна составила 8.3, а максимальная – 44 см/с, что довольно много для придонного течения. Скорости воды у дна имеют колебательный характер с периодами от 2 до 5 сут, которые соответствуют периоду синоптических возмущений в этом районе моря. Прогрессивные векторные диаграммы течений, построенные по данным измерений на ПБС,

показали, что на глубине 290 м перемещение водных масс за период с 25 октября 2012 по 17 апреля 2013 г. составило более 1000 км в юго-западном направлении, т.е. через точку наблюдений за указанный период времени зарегистрировано перемещение воды, эквивалентное расстоянию в 1000 км. На горизонте 70 м ПБС-4118 (рис. 3а, кривая 2) за период наблюдений с 25 октября 2012 по 03 июля 2013 гг. доплеровский измеритель течений Argonaut-MD (Sontek) показал, что перенос водных масс в осенний и зимний периоды соответствует классической схеме движения ЦК в северо-западном направлении. Однако с конца весны 2013 г. течение начало разворачиваться в южном направлении. Этот разворот связан с общим ослаблением течения в летний сезон и с поступлением паводковых вод из Северного Каспия.

Повторные наблюдения за пространственно-временной изменчивостью придонных течений у южного склона ПМП были проведены через год в период с 03 сентября 2013 по 10 августа 2014 г. на ст. НШ-1342 в 12.6 км на юго-западе от ст. 4118 на горизонте 305 м при глубине моря 314 м, которые также показали (рис. 3б), что придонное течение ЦК южным склоном ПМП отводится на юго-запад. Средняя скорость течения составила 4.1, а максимальная 31 см/с. Цифрами на прогрессивно-векторной кривой (рис. 3б) показаны номера месяцев наблюдений, из которых видно, что в периоды измерений с сентября по октябрь 2013 г. и с апреля по май 2014 г. наблю-

дается приостановка течения, связанная с перестройкой системы течения с летней на зимнюю и наоборот.

Параллельно с постановкой ПБС-1342 у подножия мыса на юго-западной оконечности ПМП была установлена ПБС-1343 на глубине 222 м с доплеровским ИТ “Argonaut-MD” (“Sontek”) на придонном горизонте 210 м. Прибор проработал более года (с 04 сентября 2013 по 11 декабря 2014 г.) с дискретностью наблюдений 7.5 мин. На рис. 3 видно, что в среднем течение по дну Южно-Бузачинского прогиба осуществлялось в юго-западном направлении. Точками на прогрессивно-векторной диаграмме скорости отмечены месячные смещения воды через точку наблюдений.

Изучение динамики течений в центральной части восточного шельфа Среднего Каспия, проведенное в мае–июне 2012 г. в 39-м рейсе НИС “Рифт”, показало, что вдоль восточного побережья от термоклина до дна (40–80 м) наблюдалось течение южного направления. Профилирование, выполненное в октябре 2012 г. в том же районе (в 41-м рейсе НИС “Рифт”), показало, что течение направлено на север. Вполне логическое объяснение этому факту – ослабление течения в циклоническом круговороте Среднего Каспия в весенне-летний период, которое связано с климатической изменчивостью ветров, а также с образованием бароклинности в результате паводкового сброса вод из Северного Каспия. В осенний период происходит перестройка синоптических процессов в атмосфере над морем с преимуществом ветров юго-восточного направления. В этих условиях и в отсутствие влияния паводка создаются условия для возобновления движения вод в циклоническом круговороте.

В экспедиции 35-го рейса НИС “Рифт” (июнь 2010 г.) над Песчаномысским поднятием были выполнены два параллельных разреза, каждый из 15 станций с расстояниями между станциями 2 км и длинами разрезов 11 км. Результаты измерений показали, что профили течений от поверхности до дна сильно турбулизованы [10]. Образование вихревых структур над ПМП в местах соприкосновения теплого и холодного фронтов на поверхности моря маркируются пенными границами. Эти перемешанные воды движутся в северо-западном направлении и у Мангышлакского порога на мелководье выталкиваются к поверхности. Часть вод Мангышлакским порогом отводится в западном направлении, где замыкает северную ветвь ЦК, а часть

вод перетекает через 20-метровую глубину над Мангышлакским порогом в Северный Каспий.

Возмущение потока в районе ПМП сопровождается взмучиванием и вовлечением в морскую среду большого количества взвешенного материала, который поставляется сюда паводковыми и стоковыми водами Волги и Урала и пыльными бурями из Средней Азии. Этот материал осаждается в более спокойных и глубоких акваториях Дербентской котловины. На рис. 16 хорошо видно, как тяжелые и холодные воды стекают по восточному склону в желоб в глубоководную часть Дербентской котловины. Наблюдения показали, что концентрация взвеси в придонном нефелоидном слое западнее ПМП возрастает в 6 раз по сравнению с вышележащими слоями моря. В этом районе моря на глубинах от 170 до 250 м у дна фиксируется увеличение мутности, достигающее 1.5 FTU, что многократно превышает ее значения в других частях моря. На меньших и больших глубинах разреза такого увеличения не наблюдалось. Видимо, интенсификация потока в осенне-зимний сезон способствует вовлечению взвешенного материала в морскую среду, переносу и выпадению в более спокойных районах моря [20].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

Измерения течений Каспийского моря в последнее десятилетие показали, что существует сезонная изменчивость течения циклонического круговорота Среднего Каспия. Условно характеристики течений можно разделить на два сезона – холодный и теплый. По многочисленным наблюдениям на ПБС в различных частях ЦК установлено, что изменение характеристик течения от холодного сезона к теплomu и наоборот проходят по маю и сентябрю. Границы сезонов изменяются в некоторых пределах от года к году в зависимости от синоптической обстановки в регионе. В холодный сезон течение в ЦК интенсифицируется, а в теплый ослабевает, начинает флуктуировать, изменяя направление течения вплоть до противоположного. Причины этого – синоптическая перестройка метеоусловий в регионе Каспийского моря в весенний и осенний периоды и воздействие на структуру течений огромных масс паводковых вод, поступающих из Волги и Урала в Северный и Средний Каспий.

Анализ майского разреза вертикальных профилей течений (рис. 1), который выполнен

в зональном направлении на стыке двух сезонов — холодного и теплого, показал различия скоростей и направлений течений по разрезу, которое можно объяснить межсезонной синоптической изменчивостью над морем. В западной части разреза наблюдается спокойная погода, а в восточной части наблюдается локальный шторм, увеличение скорости поверхностного течения, усиление перемешивания и, как следствие, заглупление термоклина.

По данным зондирований (рис. 2), выполненных вокруг ПМП в конце октября 2012 г., движение вод циклонического круговорота над восточным склоном п-ова Мангышлак соответствует генеральной схеме движения вод ЦК, т.е. течение в верхнем (до 100 м) слое направлено на северо-запад [6].

В районе Песчаномысского поднятия наблюдается искажение поля течения ЦК. Здесь поток круговорота разбивается на ветви. При натекании потока ЦК на крутой южный склон ПМП его верхняя часть толщиной ~100 м выталкивается на ПМП (рис. 2), а придонный поток обтекает поднятие. Придонные воды и часть промежуточных вод, отведенных поднятием в ЮЗ направлении западным подножием ПМП, на глубинах 300–400 м встречаются с придонными водами Южно-Бузачинского прогиба, опускающимися по дну в южном направлении. При встрече этих двух течений результирующее на глубинах ~300 м, уходит в ЮЗ направлении, а более глубоководная ветвь — на 400 м и глубже — в южном.

Анализ пространственно-временной изменчивости течений в различные сезоны в районе ПМП показал, что у южного склона ПМП течение направлено в западном и юго-западном направлении. При этом на ПБС-4118 летней остановки придонного течения ЦК не наблюдалось в течение всего периода наблюдений с октября 2012 по июнь 2013 г. (рис. 3а) [6]. Однако на горизонте 70 м на этой же станции в летний период течение развернулось с северо-западного направления в конце мая на южное. Результирующее течение на ПБС-1342 за период с сентября 2013 г. по середину августа 2014 г. было направлено в западном направлении вдоль южного склона ПМП. ПБС-1342 была поставлена в 12.6 км западнее ПБС-4118. Возмущения на прогрессивно-векторной диаграмме обусловлены неровностями рельефа дна и близостью точек наблюдений к подножию мыса ПМП (рис. 3б), где встречаются два потока разных направлений. На спектральных кривых временной

изменчивости придонных течений на станциях 4118 и 1342 наблюдается пик на частоте инерционных колебаний в 17.3 ч и еще просматривается подъем спектральной кривой на периодах синоптических масштабов с периодами от 2 до 5.5 суток.

Данные наблюдений на ст. 1342 (табл. 1) показывают, что изменчивость скоростей в течение всего года на придонном горизонте ст. 1342 у западного подножия ПМП довольно высокая. Меандрирование придонного течения на ст. 1342 в сентябре–ноябре 2013 г. и в апреле–мае 2014 г. соответствует зимней и летней временным границам замедления и интенсификации течения. При этом возникает вопрос: почему на этой станции нет замедления течения в период с мая по август? Здесь можно предположить, что по Южно-Бузачинскому прогибу происходит подпитка вод ЦК паводковыми водами из Северного Каспия.

Очень ценную информацию о более чем годовой пространственно-временной изменчивости течения дали измерения, проведенные на ПБС-1343 к западу от мыса ПМП в период с сентября 2013 г. по декабрь 2014 г. На прогрессивно-векторной диаграмме движения воды (рис. 4) видно, что нарушение течения в потоке ЦК наступает в конце апреля и продолжается до октября. Начало измерений на рис. 4 (начало сентября) относится к переходному сезону от теплого к холодному, поэтому наблюдается ослабление и меандрирование течения в разных направлениях, и только в ноябре ЦК стал выстраиваться в круговой поток. Скорость течения в ноябре возросла и максимальные значения наблюдались с декабря 2013 г. по апрель 2014 г. В конце апреля течение на ПБС-1343 резко замедлилось и с мая по ноябрь 2014 г. стало меандрировать в разных направлениях около точки наблюдений. С декабря 2014 г. течение в круговороте вновь

Таблица 1. Сезонные скорости течения на ст. НШ-1342 на придонном горизонте 290 м в период с 03 сентября 2013 по 10 августа 2014 г.

Характеристика	2013 г.	2014 г.		
	Осень	Зима	Весна	Лето
Средняя скорость, см/с	3.99	4.49	3.52	4.21
Максимальная скорость, см/с	25.7	29.8	29.3	31.6
Стандартное отклонение, см/с	5.14	5.56	4.77	6.99

Таблица 2. Сезонные характеристики течений на ст. 1343 на горизонте 200 м на юго-западной оконечности ПМП в период с 4 сентября 2013 г. по 11 декабря 2014 г. ($V_{\text{зон ср}}$ и $U_{\text{мер ср}}$ – средние компоненты зональной и меридиональной скорости течения за наблюдаемый период; $V_{\text{зон макс}}$ и $U_{\text{мер макс}}$; $V_{\text{зон мин}}$ и $U_{\text{мер мин}}$ – максимальные и минимальные значения компонент скорости течения за период наблюдений; σ – среднеквадратическая погрешность)

Параметр	а) 04.09.2013– 22.02.2014 (осень–зима)	б) 22.02.2014– 31.05.2014 (зима–весна)	в) 01.06.2014– 31.08.2014 (лето)	г) 01.09.2014– 11.12.2014 (осень)
Дискретность, с	450	450	450	450
Горизонт наблюдений, м	200	200	200	200
Температура средняя, °С	6.00 (5.54–6.55)	6.17 (5.73–6.72)	6.06 (5.8–6.46)	6.18 (5.58–8.06)
$V_{\text{зон ср}}$, см/с	–2.2	–1.6	0.02	–1.0
$U_{\text{мер ср}}$, см/с	–2.3	–0.9	–0.46	–0.46
$V_{\text{зон макс}}$, см/с	27.9	23	16.2	21
$U_{\text{мер макс}}$, см/с	22.7	23.7	18.4	24.2
$V_{\text{зон мин}}$, см/с	–32.6	–29.2	–14.9	–32.9
$U_{\text{мер мин}}$, см/с	–28.5	–28.8	–18.2	–28.8
σ , см/с	10.5	8.6	5.6	10.0

усилилось. Таким образом, в этом районе моря наблюдается сезонная изменчивость скорости и направления течения ЦК. Для оценки этой изменчивости по данным наблюдений на ст. НШ-1323 была составлена таблица сезонных характеристик течения (табл. 2). Из данных таблицы видно, что в летний период скорости уменьшились по сравнению с осенне-зимним периодом почти на порядок. Большой разброс по скоростям течения в табл. 2 свидетельствует о значительном возмущении потока в районе подножия ПМП, которое вызвано обтеканием подводной части мыса и взаимодействием двух потоков – потока ЦК, отведенного южным склоном в ЮЗ направлении, и другого, текущего по Южно-Бузачинскому прогибу в южном направлении. При столкновении потоков в районе мыса эти потоки перемешиваются, вызывая завихренность, что видно из данных средних, максимальных, минимальных скоростей и дисперсий, представленных в таблице. Здесь также наблюдается высокая переслоенность течений по вертикали. Так, при зондировании вертикального профиля течений на ст. НШ-1343 профилографом “ADCP-150” уже в 50 м выше точки наблюдений обнаружилось течение противоположного направления.

Хорошо видна изменчивость течений на глубине 210 м на ПБС-1343 в табл. 2, где от зимы к лету скорости течений уменьшаются более чем в два раза. В начале лета определенную роль в возмущении движения вод в ЦК играют паводковые воды, поступающие со стоками рек

Волги и Урала. Следует отметить, что разница изменчивости сезонных характеристик в теплый и холодный сезоны присуща ЦК на всей его протяженности, кроме западной ветви. По западной ветви ЦК круглогодично осуществляется перенос вод из Среднего Каспия в Южный для компенсации разницы уровней, которая вызвана дефицитом поступления речного стока и интенсивным испарением [2, 18].

Сравнение прогрессивных диаграмм ПБС-1343 и ПБС-3203, построенных по данным измерений на северо-восточном и юго-восточном склонах Дербентской котловины на глубинах 210 и 510 м, показывает, что на ПБС-3203 наблюдалась аналогичная остановка течения, но последняя происходила с конца апреля по начало сентября 2009 г. [9]. А на горизонте 100 м этой же станции остановка течений наблюдалась с конца мая по июль. Эти данные дают основание предполагать, что динамика движения вод в круговороте зависит от глубины и района наблюдений.

ВЫВОДЫ

Высокая изменчивость течений циклонического круговорота в северо-восточном секторе Среднего Каспия объясняется синоптическими условиями, при переходах с зимнего на летний сезон и наоборот, а также поступлением паводковых вод в начале летнего сезона. Наряду с этим на сезонное изменение направления течений

влияет высокая изрезанность рельефа дна в виде ПМП и Южно-Бузачинского прогиба.

Воздействие южного склона ПМП на придонные воды ЦК приводит к изменению направления движения придонных вод с СЗ на ЮЗ (рис. 2), при этом приповерхностные и часть промежуточных вод переваливают через ПМП и через Южно-Бузачинский прогиб и движутся на СЗ.

Над ПМП при подъеме и смешении придонных и поверхностных вод возникает зона значительных возмущений, вызванная смешением приповерхностных и промежуточных вод.

Подъем промежуточных вод к поверхности сопровождается охлаждением поверхностных вод, результат – возникновение локального апвеллинга.

После пересечения Южно-Бузачинского прогиба основная часть вод ЦК отводится Мангышлакским порогом (МП) в западном направлении, однако часть вод переваливает через МП и распространяется на север вдоль восточного побережья вплоть до Комсомольского залива, охлаждая воды Северного Каспия.

На северо-восточном склоне Дербентской котловины на глубинах от 169 до 250 м регистрируется значительное увеличение мутности, достигающее 1.5 FTU. Это можно объяснить концентрацией у дна большого количества взвешенного материала, переносимого по дну Южно-Бузачинского прогиба из Северного Каспия и многократно превышающего его концентрацию в других частях моря.

В районе моря у подножия ПМП в 10 м от дна на нескольких станциях зарегистрирован аномальный по температуре слой воды толщиной ~15 м, который на 0.3–0.7°C превышает температуру нижнего и вышележащих слоев моря. Происхождение этих прослоек теплых вод предполагает дренирование горячих вод в этом районе из недр моря по типу дагестанских горячих источников, или это заток теплых и более соленых вод из Южного Каспия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амбросимов А.К. Об аномалиях течений и температуры в восточной части циклонического круговорота Среднего Каспия // Экологические системы и приборы. 2014. № 8. С. 36–41.
2. Амбросимов А.К. Пространственно-временная изменчивость характеристик течения в глубоковод-

ной части Среднего Каспия // Метеорология и гидрология. 2016. № 1. С. 60–77.

3. Амбросимов А.К. Роль Песчаномысского поднятия в образовании апвеллинга у восточного побережья Среднего Каспия // Матер. междунар. симпозиума Инженерная экология. М.: РАЕН, ИРЭ РАН, 2012.
4. Амбросимов С.А., Амбросимов Е.С. Методика проведения гидрофизических наблюдений с притопленных буйковых станций в глубоководной части Каспийского моря // Экол. системы и приборы. 2007. № 7. С. 48–51.
5. Амбросимов А.К., Амбросимов Е.С., Либина Н.В. Пространственно-временная изменчивость течений в районе западного свала глубин Дербентской котловины Каспийского моря // Физические, геологические и биологические исследования океанов и морей. М.: Науч. мир, 2010. С. 176–200.
6. Амбросимов А.К., Клювиткин А.А., Артамонова К.В., Баранов В.И., Козина Н.В., Кравчишина М.Д., Либина Н.В., Полькин В.В., Торгунова Н.И., Филиппов А.С. Комплексные исследования системы Каспийского моря в 41-м рейсе научно-исследовательского судна Рифт // Океанология. Т. 54. № 5. С. 715–720.
7. Амбросимов А.К., Корж А.О., Либина Н.В. Придонные течения Среднего Каспия // Экол. системы и приборы. 2010. № 6. С. 24–40.
8. Амбросимов А.К., Либина Н.В., Корж А.О. Инструментальные наблюдения изменчивости гидрофизического режима Среднего Каспия в июле 2008 года // Экол. системы и приборы. 2010. № 9. С. 39–45.
9. Амбросимов А.К., Лукашин В.Н., Буренков В.И., Кравчишина М.Д., Либина Н.В., Мутовкин А.Д. Комплексные исследования системы Каспийского моря в 32-м рейсе научно-исследовательского судна “Рифт” // Океанология. 2011. Т. 51. № 4. С. 751–756.
10. Амбросимов А.К., Лукашин В.Н., Либина Н.В., Корж А.О., Мутовкин А.Д., Новигатский А.Н., Кравчишина М.Д., Русанов И.И., Гольдин Ю.А. Комплексные исследования системы Каспийского моря в 35-ом рейсе научно-исследовательского судна “Рифт” // Океанология. 2012. Т. 52. № 1. С. 1–6.
11. Бондаренко А.Л. Прибрежный апвеллинг Каспийского моря // Вод. ресурсы. 1998. Т. 25. № 4. С. 510–512.
12. Бондаренко А.Л. Течения Каспийского моря и формирование поля солености вод Северного Каспия. М.: Наука, 1993. 122 с.
13. Зырянов В. Н. Гидродинамические основы формирования крупномасштабной циркуляции вод Каспийского моря. 1. Асимптотическая теория // Вод. ресурсы. 2015. Т. 42. № 6. С. 600–612.
14. Ибраев Р.А. Математическое моделирование термогидродинамических процессов в Каспийском море. М.: ГЕОС, 2008. 128 с.

15. *Ибраев Р.А., Озгой Э., Шрум К.* Сезонная изменчивость циркуляции и уровня вод
16. Каспийского моря: анализ результатов моделирования и данных наблюдений // Тр. междунар. семинара “Изменение экосистемы Каспийского моря в условиях активизации ресурсной деятельности”. Астрахань: КаспНИРХ, 2002. № 3. С. 8–19.
17. *Клевцова Н.Д.* Течение у западного побережья среднего и южного Каспия (от о. Чечень до устья р. Куры) // Сб. работ Бакинской ГМО. 1968. Вып. 4. С. 153–159.
18. *Клювиткин А.А., Амбросимов А.К., Кравчишина М.Д., Духова Л.А., Козина Н.В., Корж А.О., Серебренникова Е.А., Будько Д.Ф.* Комплексные исследования системы Каспийского моря во 2-м рейсе научно-исследовательского судна “Никифор Шуреков” // *Океанология*. 2015. Т. 55. № 2. С. 344–347.
19. *Курдюмов Д.Г., Озгой Э.* Среднемесячные характеристики внутригодовой изменчивости циркуляции вод Каспийского моря, полученные по вихре-разрешающей термогидродинамической модели // *Океанология*. 2004. Т. 44. № 6. С. 843–853.
20. *Лебедев С.А., Костяной А.Г.* Спутниковая альтиметрия Каспийского моря. М.: Мореп, 2005. 366 с.
21. *Лукашин В.Н., Лисицын А.П., Новигатский А.Н., Мусаева Э.И., Амбросимов А.К., Гайворонская Л.А.* О вертикальных потоках вещества в Каспийском море // *Океанология*. 2014. Т. 54. № 2. С. 216–225.
22. *Тужилкин В.С., Косарев А.Н., Трухчев Д.И., Иванова Д.П.* Сезонные особенности общей циркуляции вод глубоководной части Каспийского моря // *Метеорология и гидрология*. 1997. № 1. С. 91–99.

SEASONAL VARIABILITY AND ANOMALIES OF THE CURRENTS OF THE CYCLONIC GYRE IN THE NORTHEASTERN SECTOR OF CASPIAN SEA

© 2019 A. K. Ambrosimov^{1,*}

¹*P.P. Shirshov Institute oceanology RAS
Russia 117997 Moscow*

**e-mail: ambrosimov@ocean.ru*

Received: 06.11.2016

Revised version received: 18.09.2017 г.

Accepted: 29.09.2017

The experimental data presented in the article show that in the North-Eastern sector of the Middle Caspian sea in the area of Peschanomyssky uplift there is a disturbance of currents caused by the interaction of the cyclonic cycle with the southern slope of the uplift. As a result of this interaction, the waters of the cyclonic cycle are divided into branches – the lower and upper. The lower bottom branch is thrown by the uplift in the South-Western direction, where at the Cape of the uplift it collides with the waters flowing down the bottom of the South-Buzachinsky deflection in the South-Eastern direction, and the upper branch, consisting of near-surface and intermediate cold waters, is pushed up and passes through the uplift. As a result of the rise of cold water in the surface layer formed upwelling, which extends to the entire North-Eastern region of the sea.

Key words: cyclonic gyre, the North-Eastern part of the Middle Caspian Peschanokopsky uplift, South-Buzachinsky deflection, bottom currents, variability of upwelling.

DOI: 10.31857/S0321-0596465485-495