

## НАТУРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ МОРСКИХ ТЕЧЕНИЙ НА МАНГИСТАУСКОМ ШЕЛЬФЕ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

© 2022 г. П. О. Завьялов<sup>1</sup>, А. К. Курбаниязов<sup>2, 3, \*</sup>, А. А. Каюпов<sup>4</sup>,  
С. Е. Койбакова<sup>2</sup>, В. В. Кременецкий<sup>1</sup>, Ф. В. Сапожников<sup>1</sup>, С. Сырлыбеккызы<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
Москва, Россия

<sup>2</sup>Каспийский университет технологий и инжиниринга им. Ш. Есенова,  
Актау, Казахстан

<sup>3</sup>Международный казахско-турецкий университет им. А. Ясави,  
Туркестан, Казахстан

<sup>4</sup>Департамент Пограничной службы КНБ Республики Казахстан по Мангистауской области,  
Актау, Казахстан

\*e-mail: [abylgazy.kurbanyazov@ayu.edu.kz](mailto:abylgazy.kurbanyazov@ayu.edu.kz)  
(корреспондирующий автор — Курбаниязов А.К.)

Поступила в редакцию 26.10.2021 г.

После доработки 30.11.2021 г.

Принята к публикации 16.12.2021 г.

Пилотный казахстанско-российский проект позволил получить первые за длительное время систематические данные о прибрежных течениях в одном из наименее изученных районов Каспийского моря — мангистауском шельфе. В двух точках шельфа на протяжении 69 суток со 2 июня по 9 августа 2021 г. функционировали заякоренные автономные буйковые станции, оснащенные инклинометрическими измерителями скорости и направления течения в придонном слое, а также датчиками температуры воды. Выполнены также СТД-зондирования вертикальной структуры.

**Ключевые слова:** Каспийское море, мангистауский шельф, прибрежные течения, термохалинная структура

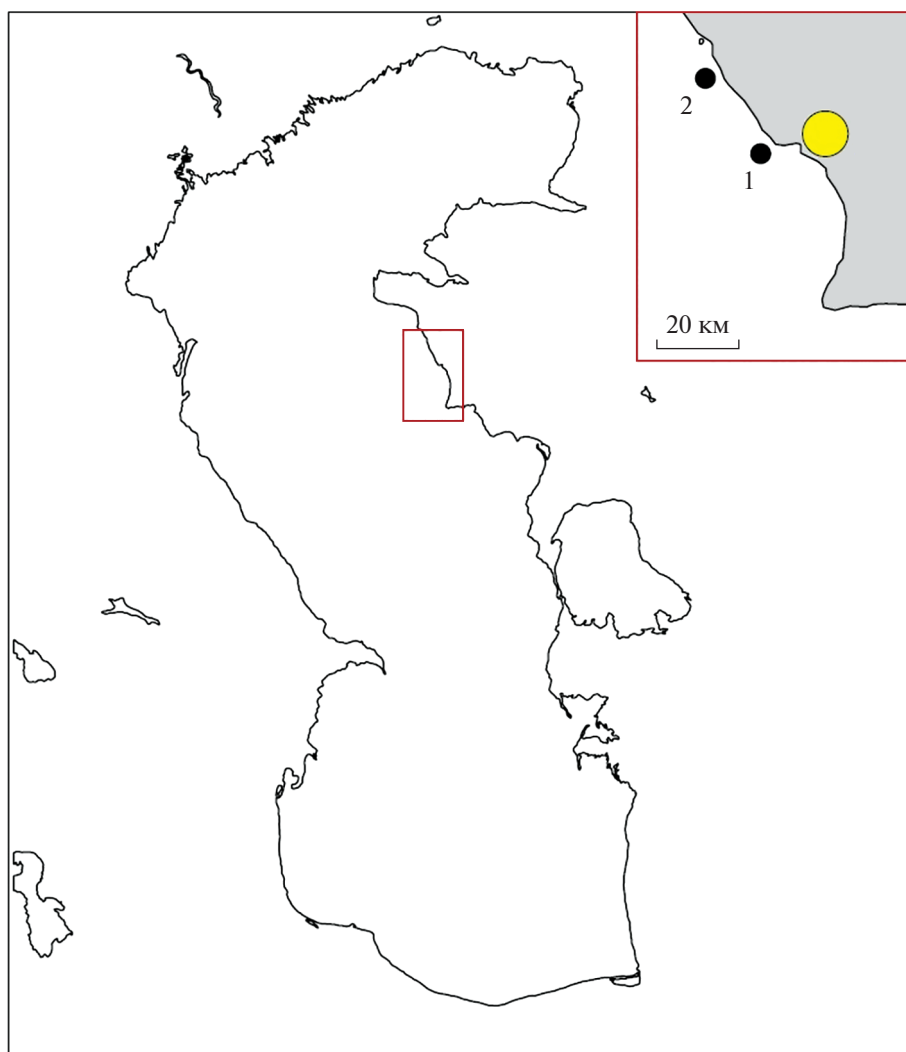
**DOI:** 10.31857/S0030157422040141

### ВВЕДЕНИЕ

Под мангистауским шельфом (красный прямоугольник на рис. 1) понимается район у побережья полуострова Мангышлак (Мангистау) в казахстанском секторе Каспийского моря. В этом районе находится крупнейший порт Казахстана и город с двухсоттысячным населением — Актау, целый ряд предприятий горнодобывающей и химической промышленности, осуществляется добыча и транспортировка углеводородного сырья. Годовой объем добычи нефти здесь превышает 20 миллионов тонн. Достаточно хорошо развито и рыбопромышленное производство: в 2020 г. уловы промысловых рыб составили 2.3 тысячи тонн. Очевидно, что информация о морских течениях — и, прежде всего, шельфовых, — необходима для прогнозирования переноса загрязнений, обеспечения деятельности морского транспорта, рыболовства и решения многих других практических задач. Между тем для мангистауского шельфа наиболее “свежие” натурные данные о течениях (как и о других океанологических характери-

стиках моря) датируются 1988 г., причем и тогда подобные измерения в этом районе были лишь единичными (см., например, [2, 5]). За прошедшие с тех пор десятилетия климат в каспийском регионе существенно изменился [3], а уровень самого моря сперва повысился более чем на 1 м, а потом снова опустился на 2.1 м [3, 7]. Можно предположить, что и режим шельфовых течений при этом претерпел изменения. В 2010 г. в 35-м рейсе НИС “Рифт” Института океанологии РАН недалеко от интересующего нас района было выполнено зондирование течений бортовым профилографом ADCP [1], но это было лишь однократное измерение.

В этой связи для исследования современной прибрежной циркуляции на мангистауском шельфе в 2021 г. был реализован совместный казахстанско-российский проект “Пилотное исследование морских течений на мангистауском шельфе Каспийского моря”. Финансирование проекта осуществлялось Министерством образования и науки Республики Казахстан, организациями —



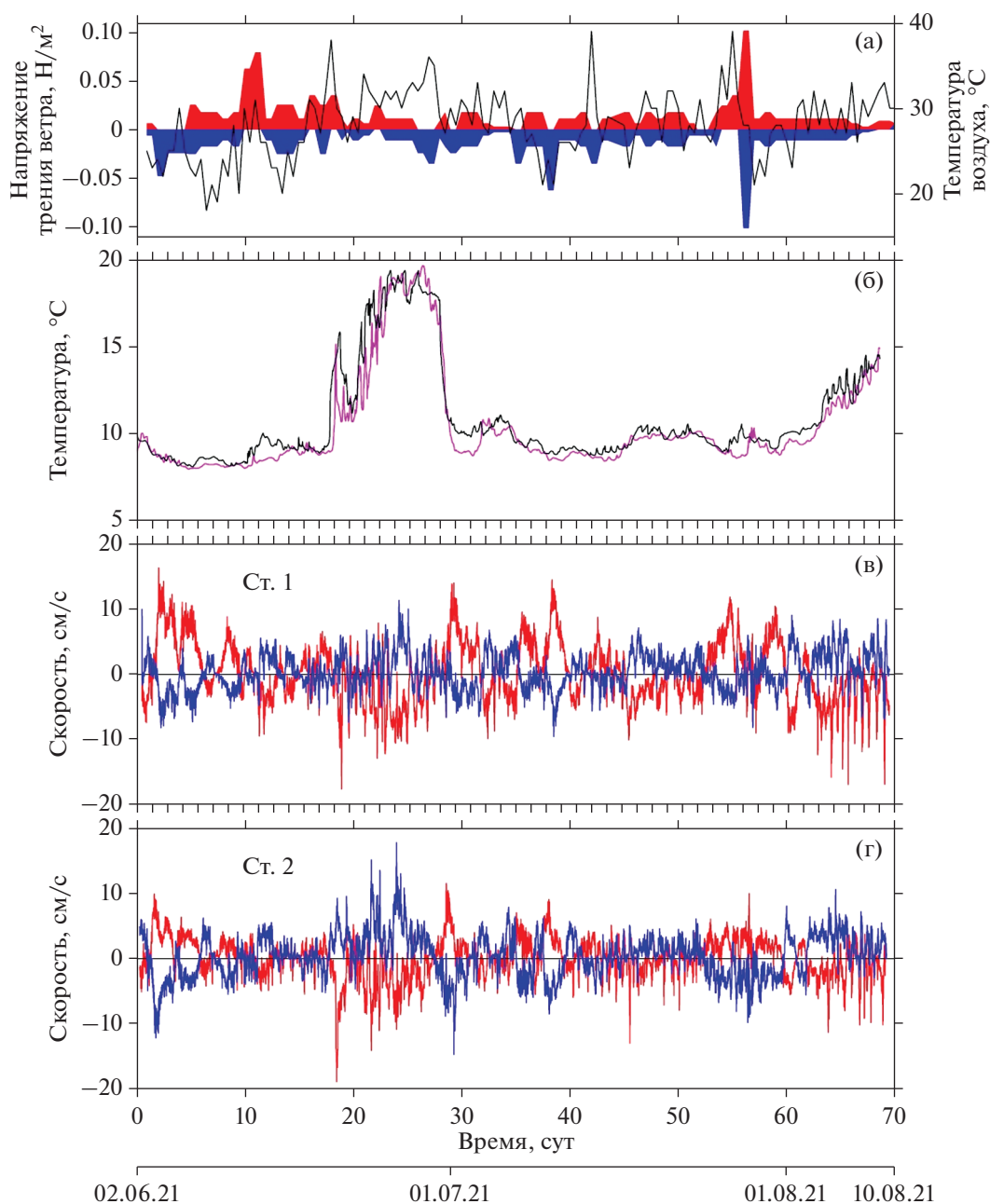
**Рис. 1.** Район исследования и расположение заякоренных автономных буйковых станций 1 и 2. Желтым кружком показано расположение г. Актау и метеостанции.

инициаторами являлись Каспийский университет технологий и инжиниринга им. Ш. Есенова (г. Актау, Казахстан) и Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (г. Москва, Россия).

### ВЫПОЛНЕННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Район исследования и расположение точек установки измерительного оборудования показаны на рис. 1. В этих точках на протяжении 69 суток находились заякоренные автономные буйковые станции (АБС), оснащенные инклинометрическими измерителями скорости и направления течения в придонном слое типа *SeaHorse* [6, 8], а также датчиками температуры воды у дна. Точные координаты станции 1 —  $43^{\circ}37'23.9''$  с.ш.,  $51^{\circ}08'17.8''$  в.д. (глубина места — 14 м), станции 2 —  $43^{\circ}46'26.1''$  с.ш.,  $51^{\circ}00'07.0''$  в.д. (глубина места — 13 м). Каждая из станций находилась на расстоянии около 3 км от ближайшей точки берега,

а дистанция между двумя станциями составляла 12 морских миль (22 км). Обе станции были установлены с борта каботажного судна 2 июня и подняты 9 августа 2021 г. Измерения в течение всего периода наблюдений выполнялись с дискретностью 20 мин. При интерпретации результатов измерений использовались также полусуточные данные по скорости и направлению ветра, а также по температуре воздуха, полученные на метеостанции г. Актау Казгидромета и доступные на сайте <https://www.gismeteo.ru/diary/5320/2021/>. Векторы скорости ветра были пересчитаны в направление трения ветра по стандартным формулам [9]. Кроме того, анализировались спутниковые изображения района исследований инфракрасного и видимого диапазонов спектра радиометра MODIS Aqua (<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>, всего 39 изображений за период натурных измерений). В начале периода работы АБС 2 июня 2021 г. была выполнена CTD-съемка термохалинной структуры



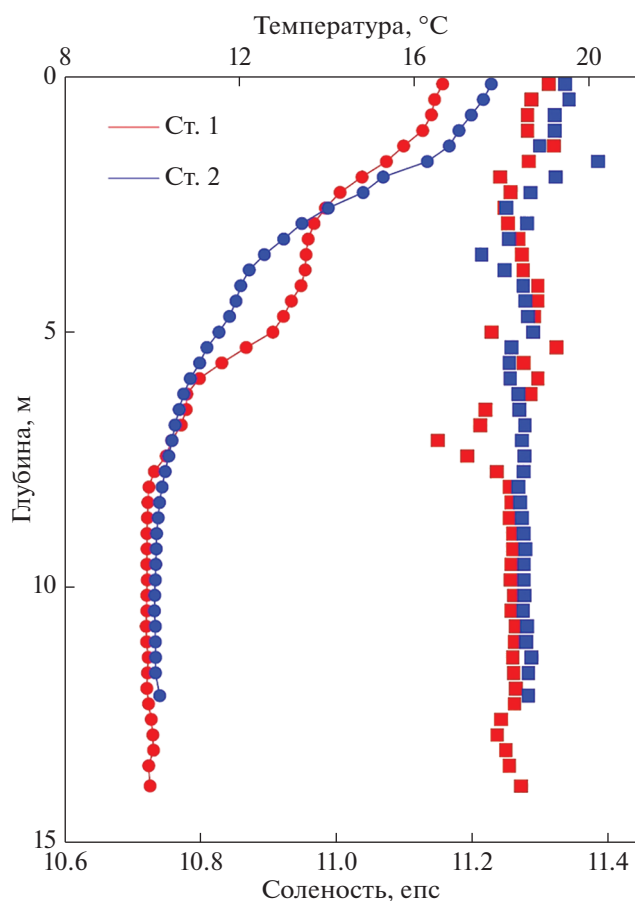
**Рис. 2.** Изменчивость гидрофизических параметров в течение всего периода измерений со 2 июня по 9 августа 2021 г. Сверху вниз: (а) поперечная берегу (красная заливка) и вдольбереговая (синяя заливка) компоненты напряжения трения ветра и температура воздуха (черная кривая). Положительный знак поперечной берегу компоненты напряжения трения ветра соответствует направлению с моря на сушу, параллельной берегу — направлению с юго-востока на северо-запад; (б) температура воды в придонном слое на заякоренных станциях 1 (черная кривая) и 2 (фиолетовая кривая); зональная (красная кривая) и меридиональная (синяя кривая) компоненты скорости течения в придонном слое на станциях 1 (в) и 2 (г).

от поверхности до дна у каждой из станций с помощью CTD-зонда *CastAway*.

### ПОЛУЧЕННЫЕ ДАННЫЕ

Результаты 69-суточных измерений скорости течения на двух станциях показаны вместе с метеоданными на рис. 2.

На протяжении всего периода измерений отмечались ветры переменной интенсивности (от 0 до 12 м/с) почти исключительно северо-западных румбов, вообще преобладающие летом в данном районе [2]. При этом значения зональной и меридиональной компонент скорости шельфовых течений на обеих станциях находились в пределах 0–20 см/с и принимали как положительный, так



**Рис. 3.** Вертикальные профили температуры (кружки) и солёности (квадратики) на станциях 1 (красный цвет) и 2 (синий цвет) по данным измерений 2 июня 2021 г.

и отрицательный знак, то есть течение было знакопеременным. Характерные периоды изменений направления скорости течения, так же как и силы ветра, отвечают синоптическому периоду (5–8 суток). На этом фоне отмечены также более высокочастотные инерционные колебания с периодами 16–18 ч. Средние значения скорости течения за весь период наблюдений близки к нулю, но соответствуют слабому течению на северо-запад, то есть против преобладающего ветра.

На обеих станциях зональная и меридиональная компоненты скорости течения практически всегда имели разные знаки и менялись в противофазе — такая антикорреляция говорит о том, что преобладали течения во вдольбереговом направлении по изобате с юго-запада на северо-восток, и наоборот. Соответствующие компоненты течений на станциях 1 и 2 были коррелированы между собой в высокой степени ( $r \sim 0.8$ ). Это означает, что характерные пространственные масштабы преобладающих циркуляционных структур превышали расстояние между станциями (около 30 км).

Термическое состояние придонного слоя характеризовалось почти постоянными значениями температуры около 10°C на обеих станциях в течение большей части периода наблюдений, за исключением интервала времени с 22 по 30 июня, когда наблюдался быстрый рост температуры до значений около 19°C (которые, как видно из имеющихся спутниковых данных, были близки к температуре поверхности моря на этот момент) и затем еще более быстрый возврат к прежней величине, а также последней декады измерений, когда наблюдалось постепенное повышение температуры до 15°C. В обоих случаях повышение придонной температуры сопровождало интенсификацию течений в северо-западном направлении.

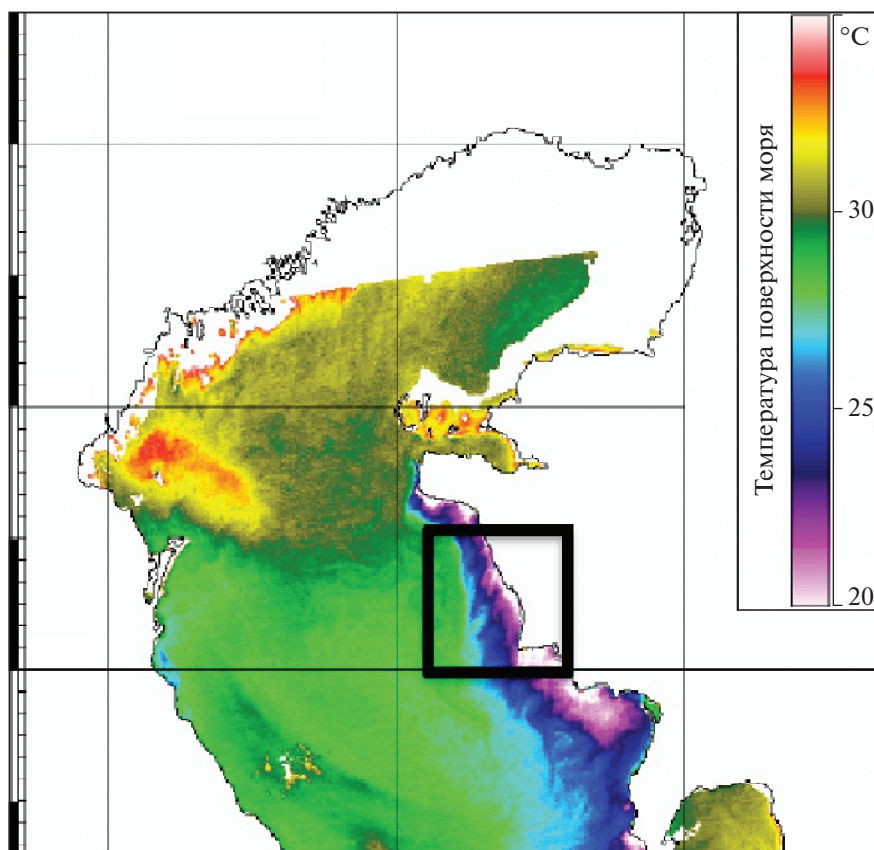
Столь низкая температура воды на небольшой глубине, сохранявшаяся на протяжении всего жаркого лета (когда температура воздуха в отдельные дни достигала почти 40°C, см. рис. 2а), позволяет уверенно говорить о наличии апвеллинга.

Действительно, зарегистрированные в июне вертикальные профили температуры (рис. 3) обнаружили сильную термическую стратификацию и практически полное отсутствие верхнего квазиоднородного слоя — температура почти линейно падала от 18–19°C на поверхности до 10.8°C уже на глубине 8 м. Солёность (полученная по данным STD-зонда, без поправок на отличный от океанского ионно-солевой состав) менялась в достаточно узком интервале значений от 11.2 до 11.4 епс.

Проявления апвеллинга в виде филаментов относительно холодной (18–24°C) воды в узкой прибрежной полосе на фоне нагретых до 27–33°C окружающих вод отмечены на 31 из 39 рассмотренных спутниковых изображений за период измерений, то есть в 80% случаев. Исходя из спутниковых данных можно утверждать, что наиболее интенсивные апвеллинги характерны для области южнее м. Песчаный и для Казахского залива, однако они распространяются в виде сужающейся к северу полосы шириной 10–30 км по всему району исследования и к северу от него вплоть до м. Тюб-Караган на широте 44.6° с.ш. Это согласуется и с опубликованными в литературе результатами анализа более долгосрочных архивов спутниковых изображений [4]. На ряде спутниковых снимков за период наших натурных измерений видны также мезомасштабные вихревые структуры предположительно сдвиговой природы на границе апвеллинговой зоны и окружающих вод. При этом примерно в 80% случаев эти вихри имели циклонический характер и лишь в 20% — антициклонический.

## ВЫВОДЫ

Интерпретация вновь полученных данных натурных и спутниковых наблюдений позволяет



**Рис. 4.** Температура поверхности моря в среднем Каспии 20 июля 2021 г. по спутниковым данным инфракрасного диапазона радиометра MODIS Aqua. Хорошо видны проявления апвеллинга у восточного побережья. Квадратом отмечен район натурных исследований.

сделать следующие выводы о характере прибрежной морской циркуляции на мангистауском шельфе в период исследований. По нашему предположению, эта циркуляция формируется под воздействием двух конкурирующих между собой механизмов: во-первых, прямого локального действия преобладающих в этом районе ветров северо-западных румбов, способствующих развитию течений в юго-восточном направлении, и, во-вторых, влияния более крупномасштабных факторов (завихренность полей ветра, неоднородность термохалинных полей), как известно, приводящих к образованию в Среднем Каспии циклонического круговорота [2, 5] и, следовательно, течений северо-западного направления у восточного побережья моря. В периоды, когда северо-западный ветер достаточно силен, преобладает первый механизм и формируется вдольбереговое течение на юго-восток, а также ветровой прибрежный апвеллинг, ярко выраженный в мощной термической стратификации и локализации очень холодных вод на малых глубинах. Такая ситуация является менее благоприятной с точки зрения экологических условий в районе исследования, поскольку основные источники за-

грязнения находятся к северу от него, а стратификация может способствовать аккумуляции загрязнителей в поверхностном слое и, в ряде случаев, развитию гипоксии. Однако в периоды ослабления местного ветра баланс управляющих циркуляцией сил меняется в пользу второго механизма и формируется течение циклонического знака в северо-западном направлении, а апвеллинг прекращается или ослабевает, что приводит к росту температуры в придонном слое и постепенной релаксации стратификации. Эта концептуальная схема, однако, является пока лишь гипотетической, и ее подтверждение требует дальнейших, более долгосрочных исследований.

Успешно заверченный пилотный казахстанско-российский проект позволил получить первые за длительное время систематические данные о шельфовых течениях в одном из наименее изученных районов Каспийского моря. Он также дал возможность организовать эффективное сотрудничество российских и казахстанских ученых в области исследований Каспия, которое, как нам представляется, имеет большой потенциал дальнейшего развития в среднесрочной и долгосрочной перспективе.

**Источники финансирования.** Исследования выполнялись в рамках проекта AR08956547 Министерства образования и науки Республики Казахстан, темы Госзадания 0128-2021-0001 Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, а также в составе мероприятий международной программы “The Caspian Sea Digital Twin”, одобренной в рамках Десятилетия наук об океане в интересах устойчивого развития ООН.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амбросимов А.К., Лукашин В.М., Либина Н.В. и др. Комплексные исследования системы Каспийского моря в 35-м рейсе научно-исследовательского судна “Рифт” // *Океанология*. 2012. Т. 52. № 1. С. 150–155.
2. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. VI. Каспийское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. Под ред. Терзиева Ф.С., Косарева А.Н., Керимова А.А. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 359 с.
3. Гинзбург А.И., Костяной А.Г., Серых И.В., Лебедев С.А. Климатические изменения гидрометеорологических параметров Каспийского моря (1980–2020) // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2021. Т. 18. № 5. С. 277–291. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2021-18-5-277-291>
4. Гинзбург А.И., Костяной А.Г., Шеремет Н.А. Динамика зоны апвеллинга у восточного побережья Каспия в сезонном цикле (май–сентябрь) по спутниковым среднесезонным температурным данным (2003–2019) // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2020. Т. 17. № 7. С. 215–226. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2020-17-7-215-226>
5. Лебедев С.А., Костяной А.Г., Гинзбург А.И. Динамика Каспийского моря по данным натурных наблюдений, результатам моделирования и данным дистанционного зондирования // *Труды III Международной научно-практической конференции “Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий”*. Майкоп, 2015. С. 146–179.
6. Lowell N.S., Walsh D.R., Pohlman J.W. A comparison of tilt current meters and an acoustic doppler current meter in vineyard sound, Massachusetts // *2015 IEEE/OES Current, Waves and Turbulence Measurement (CWTM)*. 2015. P. 1–7. <https://doi.org/10.1109/CWTM.2015.7098135>
7. Ogorodov S.A., Magaeva A.A., Maznev S.V. et al. Ice features of the northern Caspian under sea level fluctuations and ice coverage variations // *Geography, Environment, Sustainability*. 2020. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2020-77>
8. Sheremet V. Observations of near-bottom currents with low-cost SeaHorse tilt current meters. 2009. <https://doi.org/10.21236/ada531856>, available at: <http://www.onr.navy.mil/reports/fy10/posherem.pdf>
9. Smith S.D. Wind stress and heat flux over the ocean in gale force winds // *Journal of Physical Oceanography*. 1980. V. 10. P. 709–726.

## Field Measurements of Sea Currents on the Mangistau Shelf of the Caspian Sea

P. O. Zavialov<sup>a</sup>, A. K. Kurbaniyazov<sup>b, c, #</sup>, A. A. Kayupov<sup>d</sup>, S. E. Koibakova<sup>b</sup>, V. V. Kremenetsky<sup>a</sup>, F. V. Sapozhnikov<sup>a</sup>, S. Syrlybekkyzy<sup>b</sup>

<sup>a</sup>P.P. Shirshov Institute of Oceanology. Moscow, Russia

<sup>b</sup>Sh. Essenov Caspian University of Technology and Engineering, Aktau, Kazakhstan

<sup>c</sup>A. Yassavi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan

<sup>d</sup>Department of the Border Guard Service of the National Security Committee of the Republic of Kazakhstan for Mangistau Oblast, Aktau, Kazakhstan

<sup>#</sup>e-mail: [abylgazy.kurbanyazov@ayu.edu.kz](mailto:abylgazy.kurbanyazov@ayu.edu.kz)  
(Corresponding author Kurbaniyazov A.K.)

The pilot Kazakh-Russian project made it possible to obtain the first systematic data on coastal currents in a long time in one of the least studied areas of the Caspian Sea — the Mangistau shelf. Moored autonomous buoy stations equipped with inclinometric meters of current velocity and direction in the bottom layer, as well as water temperature sensors operated at two points of the shelf for 69 days from June 2 to August 9, 2021. We also performed CTD profiling of the vertical structure.

**Keywords:** Caspian Sea, Mangystau shelf, coastal currents, thermohaline structure