

УДК 551.465

DOI: <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2018-3-57-65>

## **МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ В СОВРЕМЕННЫЙ ПЕРИОД (2003–2017)\***

**А.И. Гинзбург<sup>1</sup>, А.Г. Костяной<sup>1,2</sup>**

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

<sup>2</sup> Московский Университет им. С.Ю. Витте, г. Москва, Россия

Представлены результаты исследования межгодовой изменчивости температуры поверхности (ТПМ) трех районов Каспийского моря (Северного, Среднего и Южного) и залива Кара-Богаз-Гол (КБГ) в период 2003–2017 гг. с использованием среднемесячных данных он-лайн системы NASA Giovanni. Установлено, что потепление Каспия в условиях продолжающегося глобального потепления продолжается, причем с большими темпами, чем в период 1982–2009 гг. Тренды ТПМ в рассматриваемый 15-летний период составили 0.050, 0.067, 0.087 и 0.106°С/год в Северном, Среднем и Южном Каспии и КБГ соответственно. Отмечены годы с наиболее суровыми и мягкими зимними сезонами.

**Ключевые слова:** *Каспийское море, температура поверхности моря, межгодовая изменчивость, тренд температуры, суровость зим, глобальное потепление*

### **Введение**

Каспийское море – самый крупный замкнутый бассейн в мире. Его температурный режим определяется глобальными и региональными климатическими факторами и характеризуется заметной межгодовой изменчивостью, которая влияет на экологическое состояние моря, его водный баланс (испарение с поверхности), судоходство в зимний период в частично замерзающей северной части. Это диктует необходимость мониторинга температуры поверхности Каспийского моря (ТПМ). В условиях резкого сокращения in-situ измерений ТПМ (поверхностного слоя) и количества гидрометеорологических станций на побережье

---

\* Работа выполнена при финансовой поддержке темы Госбюджета N 149-2018-0003 «Механизмы формирования циркуляционных структур Мирового океана: ключевые процессы в пограничных слоях и их роль в динамике океана на основе экспедиционных исследований, дистанционного зондирования, численного и лабораторного моделирования»

Каспия с начала 1990-х годов основным источником информации об изменчивости ТПМ Каспийского моря является регулярная, доступная через Интернет спутниковая информация с хорошим пространственным и временным разрешением.

Сезонная и межгодовая изменчивость ТПМ в трех регионах Каспия (Северном, Среднем и Южном) в периоды 1982–2000 и 1982–2009 гг. прослеживалась в ряде работ авторов с использованием данных NASA JPL PO.DAAC AVHRR MCSST и проекта NASA IPL PO.DAAC AVHRR-Pathfinder [2, 10, 3, 7, 6]. В работах [2, 10] рассмотрена также изменчивость ТПМ примыкающего с востока к Среднему Каспию залива Кара-Богаз-Гол (1994–2000 гг.).

### **Использованные данные**

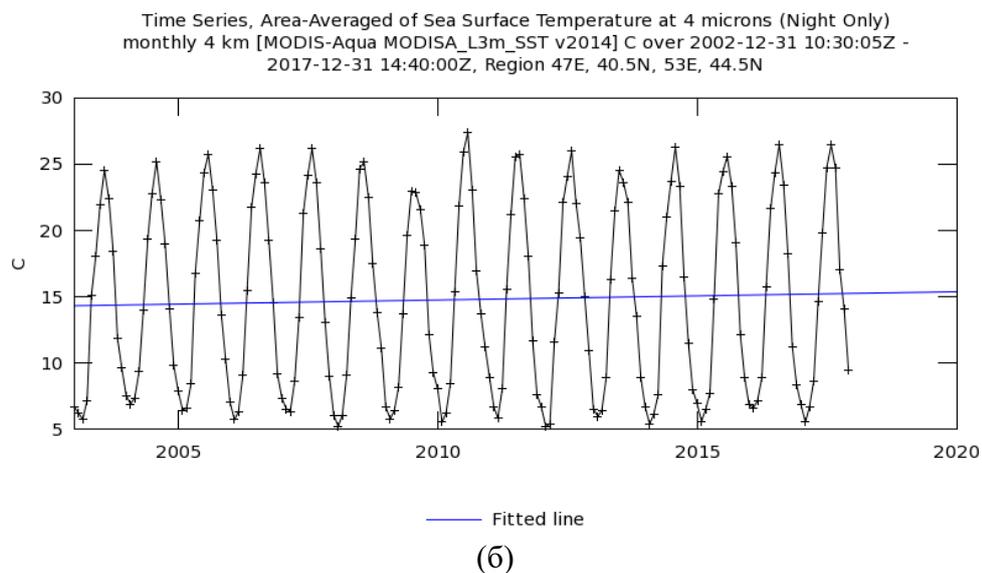
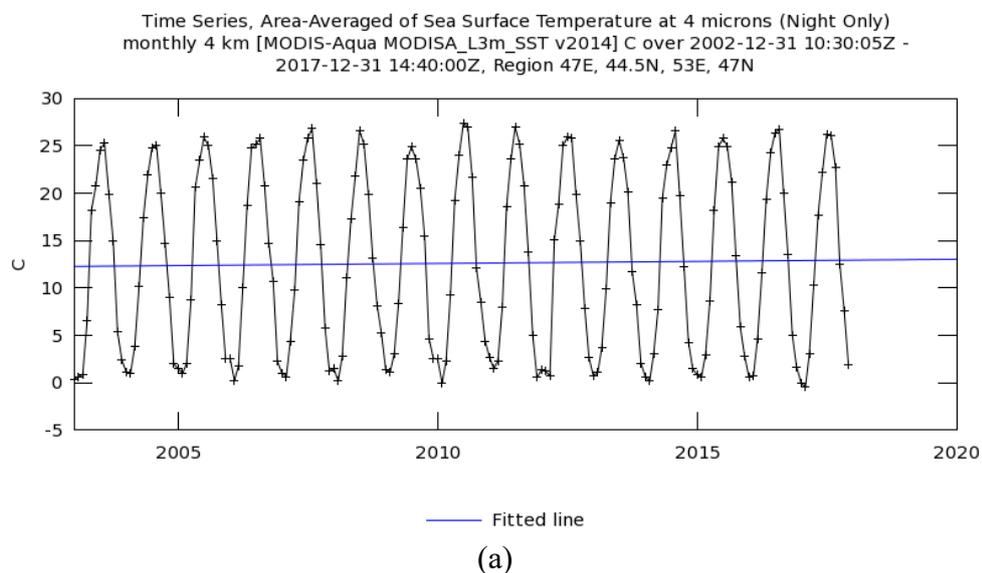
С целью продления периода мониторинга ТПМ трех районах Каспия и залива Кара-Богаз-Гол (КБГ) в данной работе использовались временные последовательности ежемесячных данных о температуре онлайн системы NASA Giovanni, основанных на измерениях радиометра MODIS/Aqua за 15-летний период (с 31.12.2002 по 31.12.2017 гг.). Эти временные последовательности ТПМ, средней для каждого из четырех районов, представлены на рис. 1. Как и в работе [2], для удобства осреднения в качестве границы между Северным и Южным Каспием принималась широта  $44^{\circ}30'$  с.ш., между Средним и Южным Каспием –  $40^{\circ}30'$  с.ш. Заметим, что минимальные зимние значения ТПМ в Северном Каспии, значительная часть которого в холодные зимы покрыта льдом, соответствуют в используемом массиве данных, по-видимому, осреднению только по свободной ото льда акватории.

### **Межгодовая изменчивость ТПМ**

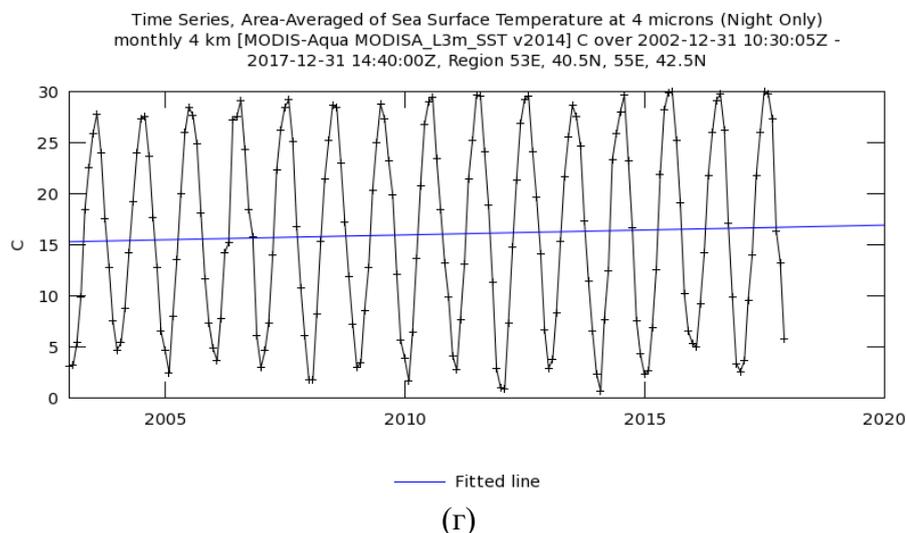
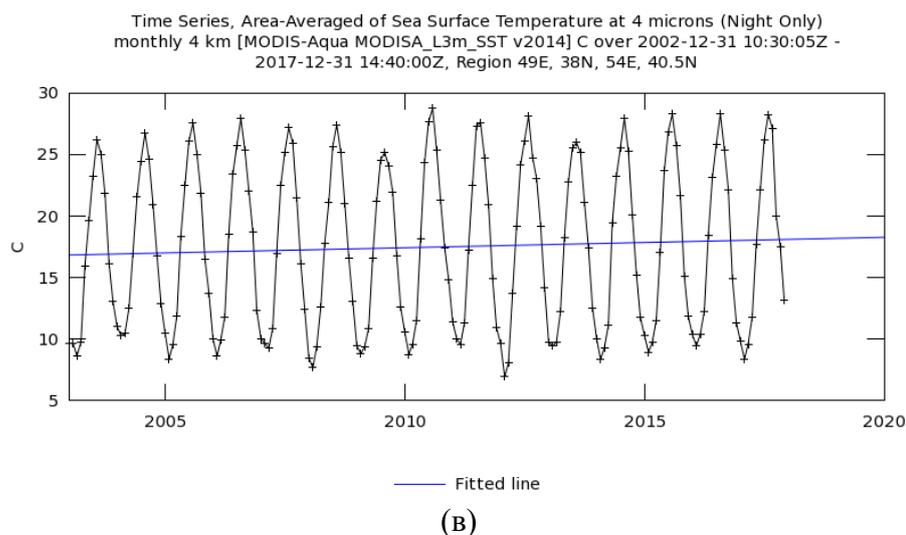
Как следует из рис. 1, температура каспийских вод и вод КБГ в рассматриваемый период в среднем увеличивалась. Положительные тренды ТПМ составили 0.050, 0.067, 0.087 и  $0.106^{\circ}\text{C}/\text{год}$  в Северном, Среднем и Южном Каспии и КБГ соответственно. При таких трендах ТПМ этих четырех районов за 15 лет увеличилась соответственно на 0.80, 1.01, 1.31 и  $1.59^{\circ}\text{C}$ . Тренд роста средней для всего Каспийского моря ТПМ за этот период (рисунок не показан) оказался равным  $0.059^{\circ}\text{C}/\text{год}$  (увеличение средней температуры –  $0.88^{\circ}\text{C}$ ).

Заметим, что положительный тренд ТПМ Каспия отмечался и в предшествующие годы. По данным береговых гидрометеорологических станций Северного Каспия, за 24 года с 1960 по 1983 гг. ТПМ увеличилась на  $0.2\text{--}0.4^{\circ}\text{C}$  [8], т. е. тренд составил примерно  $0.01^{\circ}\text{C}$ ; такой же тренд ТПМ зарегистрирован в Баку в период 1900 по 1970 гг. (см. [2]). Тренды ТПМ в Среднем и Южном Каспии в 1982–2000 гг., оцененные по спутниковым данным методом линейной регрессии, оказались равными 0.05 и  $0.10^{\circ}\text{C}/\text{год}$  соответственно [2], а в период 1982–2009 гг. – 0.06 и  $0.05^{\circ}\text{C}/\text{год}$

[3, 7]. Таким образом, увеличение температуры вод Каспия (в среднем), наблюдающееся с начала XX века, продолжается, причем в период глобального потепления (с конца 1970-ых гг. [11]) тренд ТПМ в несколько раз превысил таковой в предшествующий период, а в 15-летний период XXI века он оказался большим, чем в 1982–2009 гг.



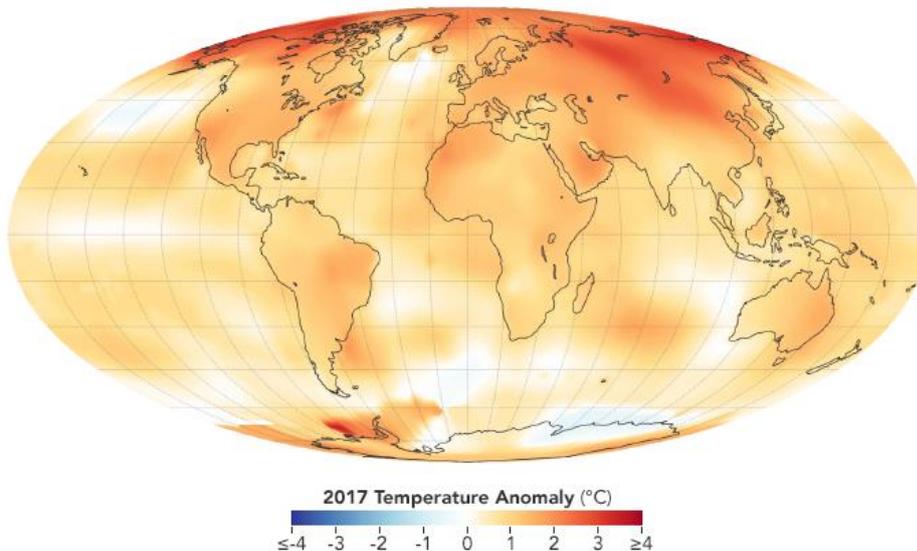
Р и с. 1 (а, б). Сезонная и межгодовая изменчивость ТПМ (среднемесячные значения), средней для Северного (а), Среднего (б) и Южного (в) Каспия и КБГ (г) (2003–2017 гг.). Прямые линии на рисунках – линейные тренды ТПМ в рассматриваемый период.



Р и с. 1 (в, г). Сезонная и межгодовая изменчивость ТПМ (среднемесячные значения), средней для Северного (а), Среднего (б) и Южного (в) Каспия и КБГ (г) (2003–2017 гг.). Прямые линии на рисунках – линейные тренды ТПМ в рассматриваемый период.

Данный результат согласуется с выводами ученых NASA и NOAA о том, что все 5 самых теплых лет на Земле имели место в период с 2010 г. (<https://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=91604>). Рис. 2 показывает, что к концу 2017 г. температура Каспийского моря увеличилась примерно на 2°C по сравнению со средней для периода 1951–1980 гг. (т.е. до глобального потепления). Примерно ту же оценку потепления Каспия за 36 лет спутниковых наблюдений (1982–2017 гг.)

можно получить, приняв тренд ТПМ моря в целом за этот период равным  $0.06^{\circ}\text{C}/\text{год}$  (см. выше).

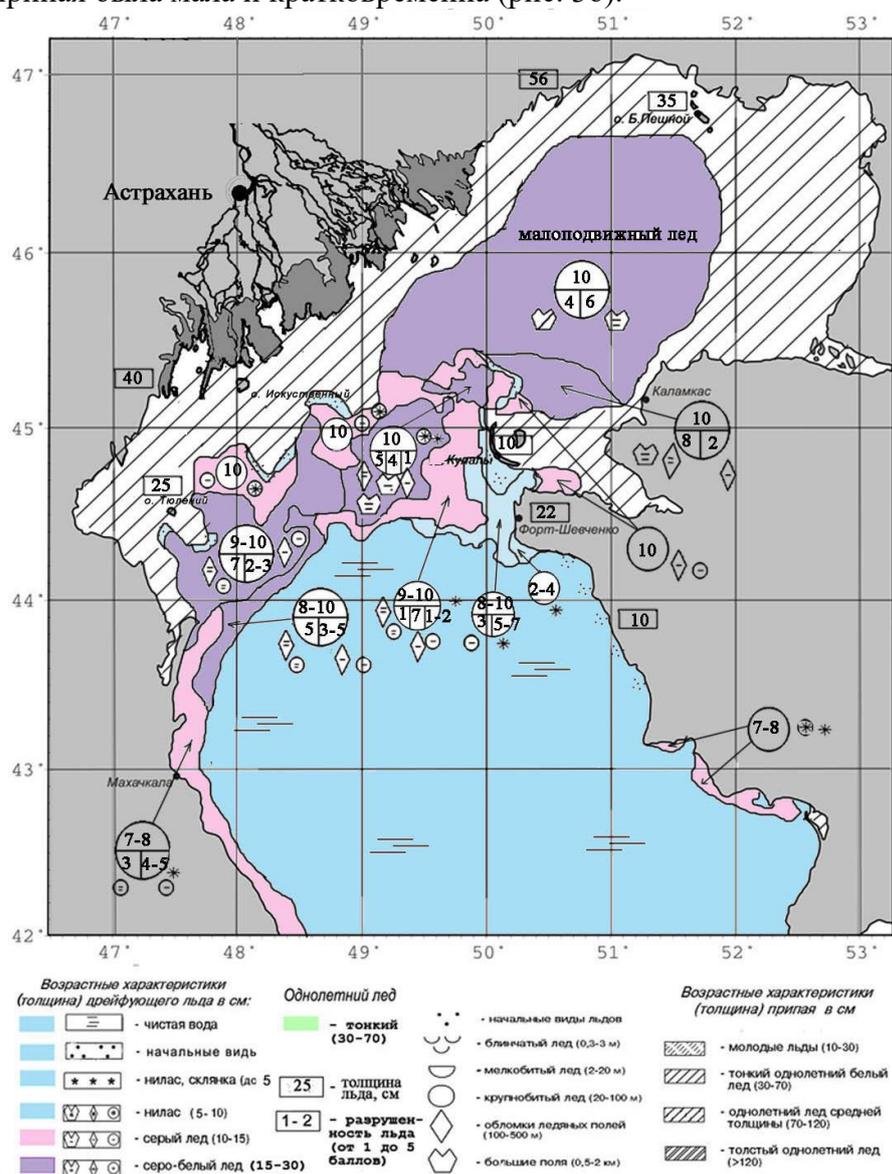


Р и с. 2. Карта глобальных аномалий температуры ( $^{\circ}\text{C}$ ) в 2017 г. относительно средней за 1951–1980 гг. (данные NASA, <https://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=91604>).

Характер межгодовой изменчивости ТПМ в трех районах Каспия в общих чертах одинаков (рис. 1). Значения максимальных летних ТПМ, начиная с 2010 г., больше, чем в период с 2003 по 2009 гг. Самая высокая за 2003–2017 гг. летняя температура наблюдалась в 2010 г., когда аномальная жара стояла на всей европейской территории России [9]; минимальная летняя ТПМ за этот период соответствовала 2009 г. Понижению максимальных летних ТПМ в 2006–2009 гг. на рис. 1а-в соответствовало падение среднесезонных (летних) и среднегодовых температур в Среднем и Южном Каспии, отмечавшееся в работе [3].

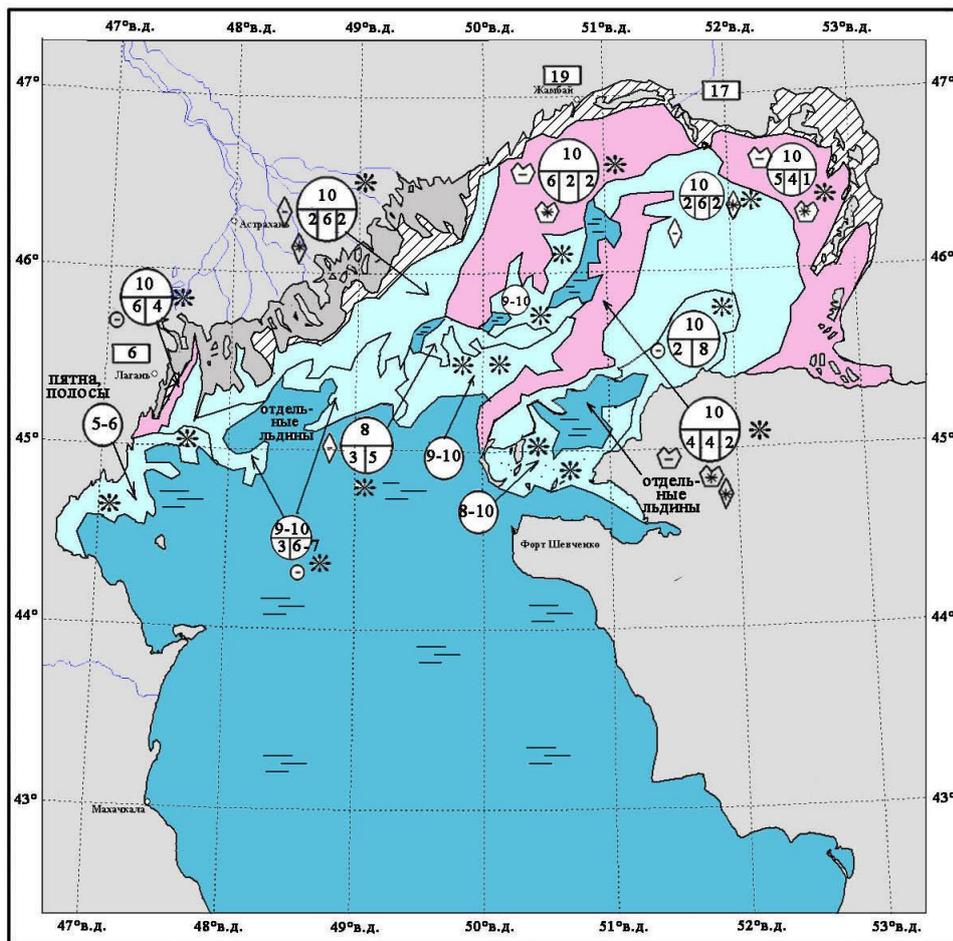
Распределение зимних ТПМ на рис. 1б и 1в соответствует известной классификации суровости зим по сумме  $A$  градусо-дней мороза (сумме отрицательных температур воздуха) (см. [4, 5]). К очень суровым зимам относят зимы с  $A$  более 900, к суровым – с  $A$  от 900 до 700, к умеренным – с  $A$  от 700 до 400 и к мягким – с  $A$  от 400 до  $100^{\circ}\text{C}$ . В соответствии с оценкой  $A$  по данным метеостанции Пешной в Северном Каспии [4, 5], в период 2003–2016 гг. наблюдались: одна очень суровая зима 2011/2012 гг., две суровых (2002/2003 и 2007/2008 гг.), три мягких (2003/2004, 2006/2007 и 2015/2016 гг.), остальные – умеренные. В работе [5] отмечается, что в последние десятилетия в Северном Каспии наблюдаются уменьшение повторяемости очень суровых и суровых зим и, напротив, увеличение повторяемости умеренных и мягких зим.

Иллюстрацией различных ледовых условий в Северном Каспии в очень суровую и мягкую зимы могут быть еженедельные карты ЕСИМО (Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане, [http://193.7.160.230/web/esimo/casp/ice/ice\\_casp.php](http://193.7.160.230/web/esimo/casp/ice/ice_casp.php)). В очень суровую зиму 2011/2012 гг. (рис. 3а) припай занимал довольно большую часть Северного Каспия, а в Среднем Каспии язык плавучего льда спускался до Апшеронского п-ова; виден он и вдоль северного побережья Казахского залива. В мягкую зиму 2015/2016 гг. площадь припая была мала и кратковременна (рис. 3б).



(а)

Р и с. 3а. Ледовая обстановка в Северном Каспии 14.02.2012 Данные ЕСИМО ([http://193.7.160.230/web/esimo/casp/ice/ice\\_casp.php](http://193.7.160.230/web/esimo/casp/ice/ice_casp.php)).



(6)

Р и с. 36. Ледовая обстановка в Северном Каспии 02.02.2016 (6). Данные ЕСИМО ([http://193.7.160.230/web/esimo/casp/ice/ice\\_casp.php](http://193.7.160.230/web/esimo/casp/ice/ice_casp.php)).

Информация о суровости зим до 2016 г. [5] и рис. 1 позволяют сравнить реальную картину с прогнозом зим холоднее нормы в северокаспийском районе после 2007 г. в работе [1], сделанном исходя из прогноза солнечной активности на 24-й цикл (с середины 2007 до середины 2017 гг.). Согласно этому прогнозу, холоднее нормы ожидалась зимние сезоны в 2008/2009, 2009/2010, 2010/2011, 2012/2013,

2013/2014 и 2015/2016 гг. При этом особенно суровые зимние условия ожидалось в 2008/2009, 2012/2013, 2013/2014 и 2015/2016 гг. Очевидно, что этот прогноз не оправдался: самыми холодными были зимы 2007/2008 и 2011/2012 гг., а предсказываемая как холодная зима 2015/2016 гг. оказалась мягкой

### **Заключение**

В заключение отметим, что при продолжающемся глобальном потеплении температура поверхности Каспийского моря продолжает расти (в среднем, при заметной межгодовой изменчивости), причем в последнее десятилетие с ускорением. За 36-летний период спутниковых наблюдений (с 1982 г.) она увеличилась примерно на 2°C. Мониторинг ТПМ Каспия на основе регулярной спутниковой информации с хорошим пространственным и временным разрешением необходимо продолжать.

### **Список литературы**

1. Бухарицин П.И., Андреев А.Н. Ритмы солнечной активности и ожидаемые экстремальные климатические события в Северо-Каспийском регионе на период 2007–2017 гг. // Экстремальные гидрологические события в Арало-Каспийском регионе. Труды международной конференции. Москва, 19–20 октября 2006 г. С. 137–143.
2. Гинзбург А.И., Костяной А.Г., Шеремет Н.А. Сезонная и межгодовая изменчивость температуры поверхности Каспийского моря // Океанология. 2004. Т. 44. № 5. С. 645–659.
3. Гинзбург А.И., Костяной А.Г., Шеремет Н.А. Долговременная изменчивость температуры поверхности Каспийского моря (1982–2009 гг., спутниковая информация) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 2. С. 209–218.
4. Ивкина Н., Наурызбаева Ж. Изменение характеристик ледового режима казахстанской части Каспийского моря, в связи с изменением климата // Гидрометеорология и экология. 2015. № 2. С. 28–35.
5. Ивкина Н., Наурызбаева Ж., Клове Б. Влияние изменения климатических условий на ледовый режим Каспийского моря // Центральноазиатский журнал исследований воды. 2017. Т. 3. № 2. С. 15–29.
6. Костяной А.Г., Гинзбург А.И., Лебедев С.А., Шеремет Н.А. Южные моря России // В кн.: Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Федеральная служба по Гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). (Ред.) В.М. Катцов,

- С.М. Семенов. М.: ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН», 2014. С. 644–683.
7. Лаврова О.Ю., Костяной А.Г., Лебедев С.А., Митягина М.И., Гинзбург А.И., Шеремет Н.А. Комплексный спутниковый мониторинг морей России. М.: ИКИ РАН, 2011. 471 с.
  8. Терзиев Ф.С. (Отв. ред.). Проект «Моря». Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. VI. Каспийское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. 358 с.
  9. Arpe K., Leroy S.A.G., Lahijani H., Khan V. Impact of the European Russia drought in 2010 on the Caspian Sea level // *Hydrology and Earth System Sciences*. 2012. V. 16. P. 19–27. DOI 10.5194/hess-16-19-2012.
  10. Ginzburg A.I., Kostianoy A.G., Sheremet N.A. Sea Surface Temperature Variability. In: *The Caspian Sea Environment*. (Eds. A.G. Kostianoy, A.N. Kosarev). Series: Hdb. Env. Chemistry. 2005. V. 5P. P. 59–81. Springer-Verlag GmbH. DOI 10.1007/698 5 004.
  11. Levitus S., Antonov J.I., Boyer T.P., Stephens C. Warming of the World Ocean // *Science*. 2000. V. 287. № 5461. P. 2225–2229.

#### **INTERANNUAL VARIABILITY OF THE CASPIAN SEA SURFACE TEMPERATURE IN THE CURRENT PERIOD (2003–2017)**

**A.I. Ginzburg<sup>1</sup>, A.G. Kostianoy<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>2</sup> S.Yu.Witte Moscow University, Moscow, Russia

The results of the study of interannual variability of sea surface temperature (SST) of three regions of the Caspian Sea (Northern, Middle and Southern) and Kara-Bogaz-Gol Bay (KBG) during 2003–2017 are presented, using the monthly mean data of the online system NASA Giovanni. It is established that the warming of the Caspian Sea in the conditions of continuing global warming continues, and at a greater rate than in the period 1982–2009. Trends of SST in the considered 15-year period amounted to 0.050, 0.067, 0.087 and 0.106 °C/year in the Northern, Middle and Southern Caspian and KBG, respectively. Years with the harshest and warmest winter seasons are marked.

*Об авторах:*

ГИНЗБУРГ Анна Ивановна – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, e-mail: ginzburg@ocean.ru.

КОСТЯНОЙ Андрей Геннадьевич – доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, e-mail: kostianoy@gmail.com.