Оригинальная статья / Original article УДК 528.8 DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-63-74

## Выявление температурных аномалий на западном Каспии за 2017 г. по данным дистанционного зондирования

#### Абдулмеджид А. Багомаев, Надира О. Гусейнова

Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

#### Контактное лицо

Надира О. Гусейнова, кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии и биоразнообразия, Институт экологии и устойчивого развития Дагестанского государственного университета; 367001 Россия, г. Махачкала, ул. Дахадаева, 21. Тел. +79887715041 Email <u>nadira guseynova@mail.ru</u> ORCID <u>https://orcid.org/0000-0003-3979-4293</u>

#### Формат цитирования

Багомаев А.А., Гусейнова Н.О. Выявление температурных аномалий на западном Каспии за 2017 г. по данным дистанционного зондирования // Юг России: экология, развитие. 2020. Т.15, N 4. С. 63-74. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-63-74

Получена 8 июня 2020 г. Прошла рецензирование 27 июля 2020 г. Принята 25 августа 2020 г.

#### Резюме

Цель. Изучение температурных аномалий на западном Каспии на основе материалов космических съемок для обнаружения явления апвеллинга. Материалы и методы. Использовались температурные показатели морской воды за летний сезон 2017 г. при резком понижении среднесуточной температуры более чем на 2°С. Космоснимки получены из специализированных центров Ocean Color NASA, Earth Science Data Systems NASA и SATIN. Данные дистанционного зондирования обработаны в программах SeaDAS и ArcGIS. Наземные данные получены из фондов Единой государственной системы информации об обстановке в мировом океане (ЕСИ-МО). Создана база данных в ArcGIS и составлены карты.

Результаты. Первый апвеллинг проявляется 9-17 июня. Минимальная температура воды в районе Махачкалы равна 14°С при повышении солёности до 12‰, площадью 1500 км<sup>2</sup>. Зафиксировано увеличение содержания растворенного кислорода до 9,70 мг/л и pH 8,64. Второй апвеллинг средней интенсивности был с 19 июня по 1 июля при минимуме t=17,9°С. Падение температуры составило 2,8°С при повышении солёности на 1‰. Площадь поверхности 454 км<sup>2</sup>. Третий случай апвеллинга зафиксирован с 26 августа по 1 сентября, характеризуется снижением температуры воды на 7,4°С и у берега составила 17,1°С. Среднее повышение солёности на 0,32‰, концентрация O<sub>2</sub> – 8 мг/л, площадь акватории – 500 км<sup>2</sup>.

Заключение. Для Каспийского моря ввиду его больших размеров характерна пространственная неоднородность океанологических параметров, что можно зафиксировать по результатам обработки космоснимков и их верификации по наземным данным. В западной части апвеллинг носит периодический и разномасштабный характер.

#### Ключевые слова

Геоданные, космические снимки, дистанционное зондирование, ГИС, ArcGIS, Каспийское море, апвеллинг.

© 2020 Авторы. Юг России: экология, развитие. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

## Identification of temperature anomalies in the western Caspian Sea in 2017 based on remote sensing data

Abdulmedzhid A. Bagomaev and Nadira O. Guseynova Dagestan State University, Makhachkala, Russia

#### **Principal contact**

#### Nadira O. Guseynova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Biology and Biodiversity, Institute of Ecology and Sustainable Development, Dagestan State University; 21 Dakhadaeva St, Makhachkala, Russia 367001. Tel. +79887715041 Email <u>nadira\_guseynova@mail.ru</u> ORCID <u>https://orcid.org/0000-0003-3979-4293</u>

#### How to cite this article

Bagomaev A.A., Guseynova N.O. Identification of temperature anomalies in the western Caspian Sea in 2017 based on remote sensing data. *South of Russia: ecology, development.* 2020, vol. 15, no. 4, pp. 63-74. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-63-74

Received 8 June 2020 Revised 27 July 2020 Accepted 25 August 2020

### Abstract

**Aim.** The study of temperature anomalies in the western Caspian Sea based on space imagery materials in order to detect upwelling phenomena.

**Materials and Methods.** We used temperature indicators of seawater for the summer season of 2017 when a sharp decrease by more than 2°C in average daily temperature occurred. Space images were obtained from the specialized centres of Ocean Color NASA, Earth Science Data Systems NASA and SATIN. Remote sensing data were processed using SeaDAS and ArcGIS programs. Ground data were obtained from the resources of the Unified State System of Information about the Situation in the World Ocean (ESIMO). An ArcGIS database was created and maps compiled.

**Results**. The first upwelling occurred on 9-17 June 2020. The minimum water temperature in the Makhachkala area was 14°C with an increase in salinity to 12‰ over an area of 1,500 sq.km. An increase in the content of dissolved oxygen of up to 9.70 mg/l and pH 8.64 was recorded. A second upwelling of medium intensity occurred from 19 June-July 1 with a minimum temperature of 17.9°C. The decrease in temperature was 2.8°C with an increase in salinity by 1‰. The surface area was 454 sq.km. A third case of upwelling was recorded from 26 August-September 1 and was characterised by a decrease in water temperature of 7.4°C (near the coast, 17.1°C). The average salinity increase was 0.32‰ while the  $O_2$  concentration was 8 mg/l over an area of 500 sq.km.

inhomogeneity of oceanological parameters, which can be recorded based on the results of processing satellite images and their verification using ground data. In the western part of the sea the upwelling is periodic and of different scales.

### **Key Words**

Geodata, satellite imagery, remote sensing, GIS, ArcGIS, Caspian Sea, upwelling.

© 2020 The authors. South of Russia: ecology, development. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

#### введение

Важное место в функционировании экосистем моря занимает явление вертикального движения водных масс – апвеллинг и даунвеллинг. Апвеллингом принято считать процесс подъема глубинных масс воды на поверхность водоема, т.е. вертикальное перемещение водных объемов с различными свойствами. Эти свойства могут быть выражены через характеристики: температура, соленость, плотность и т.д. [1].

Научное обоснование механизма возникновения апвеллинга впервые нашло отражение в работах норвежского мореплавателя и исследователя Отто Свердрупа. Данное явление он связывал с дрейфовыми течениями в океане, природа которых объяснена в 1905 г. шведским геофизиком Экманом [2].

Механизм возникновения апвеллинга до сих пор однозначно не установлен. Некоторые исследователи считают, что данных океанологических наблюдений, подтверждающих генерацию апвеллинга ветром очень мало, а гораздо больше информации, ставящей эту гипотезу под сомнение. Это дало основание предполагать, что основное явление, генерирующее апвеллинг и даунвеллинг – не ветер, а вдольбереговые течения.

О проявлении апвеллинга судят по резкому изменению параметров воды в течение суток: температуры, гидрохимическому составу и биологической продуктивности.

Первый параметр, позволяющий выявить апвеллинг — это температура. При апвеллинге наблюдается опускание тёплых поверхностных вод на глубину с замещением их более холодными глубинными водами. Т.е. для района с апвеллингом характерна значительная отрицательная аномалия температуры в районе его проявления.

Другим важным параметром апвеллинга выступает химический состав воды. При погружении теплых вод на глубину на поверхность поднимаются богатые биогенными веществами (фосфор и азот) водные массы. Соответственно, меняется и солевой состав водной толщи [2; 3].

Основным видом апвеллинга является прибрежный апвеллинг, при котором на поверхность поднимаются воды в узкой вдольбереговой зоне. Масштабы подъема зависят от параметров ветра, а именно: скорости, продолжительности, разгона и направления. Однако поднявшиеся воды и их влияние на океанографические условия могут распространяться на десятки километров. Кроме того, интенсификация проявления апвеллинга зависит от времени года.

## Физические основы космической съёмки параметров морей

Первые космические снимки океана начали получать в 1970 г. с помощью специальных спутников Национального управления океанических и атмосферных исследований США (NOAA).

К началу 1980-х г. на фоне успехов космических методов слежения за состоянием окружающей среды выделилось новое научное направление дистанционное зондирование океана. Космическая съемка позволяет выполнять исследования процессов, происходящих как в океанах, так и процессов, возникающих во взаимодействии с другими геосферами [4; 5].

Съемочные сенсоры, которыми оснащены спутники, предназначены для съемки объектов в различных диапазонах электромагнитного излучения. При изучении гидрофизических и гидробиологических параметров воды особо информативен инфракрасный диапазон. Различные участки инфракрасного диапазона позволяют фиксировать такие параметры воды, как температура, скорость и направление течения, структура водной поверхности. В микроволновом диапазоне определяются параметры солёности, температуры поверхности и т.д. Кроме того, инфракрасный канал хорошо подходит при разграничении линии «вода-суша» за счет поглощения водой этой части электромагнитного спектра [4; 6].

#### Обзор современных съёмочных систем

Существует большое количество спутников, оснащенных сенсорами для фиксации различных диапазонов электромагнитного излучения.

Из функционирующих съемочных систем специального назначения более всего используется гиперспектральный радиометр MODIS (ModerateresolutionImaging Spectroradiometer). Он установлен на спутниках серии Terra и Aqua и производит съемку в 36-ти каналах с пространственным разрешением 250-1000 м (диапазон съемки от 0.45 до 14.36 мкм). Получаемые снимки с помощью этой системы в тепловой инфракрасной зоне дают возможность определять температуру водной поверхности с точностью до 0,5°C при пространственном разрешении 1000 м [7].

Для изучения глобальных процессов широко применяются спутники серии NOAA – NOAA-18 и NOAA-19. На них установлена сканирующая система – радиометр AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer). Он производит съемку в узком диапазоне (6 каналов VIS, NIR, IR) и позволяет проводить мониторинг как морей, так и облаков, подстилающей поверхности, в том числе детектировать пожары, мощные кучево-дождевые облака, границы снежного покрова, а также определять температуру верхней границы облачности [3; 5; 8; 9].

Для крупномасштабных исследований с малым охватом территорий используются большое количество спутников ресурсного типа как Landsat, Santinel и т.д. Эти спутники производят съемку высокого пространственного разрешения и оснащены датчиками оптического диапазона, в частности, тепловым каналом [10].

Анализ работ по изучению температуры водной поверхности и других индикаторов апвеллинга показывает разнообразие применяемых методов обработки данных космической съемки.

Применяя сочетания методов оптической и радиолокационной съемок, выполненных летом 2006 г., исследуются параметры апвеллинга в юговосточной части Балтийского моря в работе [11]. Результаты работ показывают корреляционную связь прибрежного апвеллинга и выносов рек через сигнатуру на радиолокационных снимках, тепловых и оптических снимках моря в зонах вихрей, грибовидных структур.

Вопросу изучения апвеллинга в Каспийском море также посвящено много работ. В работах [10; 12] рассматривается использование космических снимков в геоинформационной среде для изучения апвеллинга у западного побережья Среднего Каспия. Результаты этих работы позволили выявить на основе снимков с датчика MODIS и подспутниковых гидрометеорологических наблюдений масштабы и периоды проявления апвеллингов.

Многостороннему изучению апвеллинга Каспийского региона посвящен ряд работ Института космических исследований РАН. В работе Гинзбурга А.И. и др. [13] изучается структура апвеллинга по снимкам в инфракрасном канале со спутников NOAA-15, 16, 17 (пространственное разрешение – примерно 1 км, разрешение по температуре – около 0.1°С) для маясентября 2002 и 2003 гг., данные о скорости и направлении ветра в Махачкале использованы для получения картины ветроуправляемого апвеллинга и его характерных особенностей в ряде пунктов вдоль западного побережья Среднего Каспия.

# Общая физико-географическая характеристика западной части Среднего Каспия

Каспийское море представляет собой замкнутый водоем протяженностью с севера на юг более 1000 км. В наиболее широкой части достигает 435 км, наименьшая ширина – 196 км. Водосборный бассейн составляет площадь 1380 тыс. км<sup>2</sup>.

Каспийское море по своим характеристикам делится на 3 условных сектора: Северный, Средний и Южный [14].

Средний Каспий – это обособленная котловина, максимальная глубина которого достигает 788 м в Дербентской котловине. Западный берег Каспия имеет равномерный характер.

В целом Каспий располагается в нескольких климатических районах: северная часть – континентальная зона, западная часть – умеренно теплая зона, юго-запад – субтропическая влажная и восток – пустынная. Этим объясняются сезонные особенности синоптических процессов и погоды в Каспии. Атмосферная циркуляция определяется барическими центрами: зимой отрогом азиатского максимума, а в весенне-летний период – гребнем азорского максимума.

Для акватории Каспия характерен избыток тепла и высокий радиационный баланс – в среднем 60 ккал/см<sup>2</sup>. Это приводит к интенсивному испарению и теплообмену с атмосферой. Радиационный баланс достигает максимума в июне-июле (11-12 ккал/см<sup>2</sup>), а минимального значения (1-2 ккал/см<sup>2</sup>) в декабре.

Орографические условия, в которых располагается Каспийское море, способствует воздействию различных воздушных масс. Из полярных областей вторгаются холодные массы, а со стороны Северной Атлантики – влажные массы, Сибири – сухие континентальные. Также акватория подвержена субтропическим массам с юго-запада (Средиземноморье).

Ветровой режим разных частей Каспия существенно различается. На Среднем Каспии господствуют ветры северо-западного и юго-восточных направлений со среднегодовой скоростью от 2 до 5 м/с [14; 15].

Над открытым морем преобладают ветры со скоростями до 10 м/с (65-80%), тогда как повторяемость штормовых ветров составляет 1,0-1,5%. Наибольшая повторяемость штормовых ветров наблюдается в направлении с северо-востока на югозапад, создавая циркулирующие течения.

Крайне неравномерно распределены по акватории моря осадки [15]. Объясняется это особенностями орографии, которая определяет направление и интенсивность воздушного потока, и, как следствие, уровнем конденсации паров, что зависит от температуры воздуха и дефицита влажности.

Температура воды хорошо выражена в зимний период, когда в Северной части температура может достигать 0°С, а на юге – более 10°С. Летом поверхность нагревается до 28-32°С и в этот период наблюдаются проявления апвеллингов. Начало апвеллинга приходится на июнь, однако наибольшей интенсивности он достигает в июле-августе. Как следствие, на поверхности воды наблюдается понижение температуры (7-15°С).

Солевой состав вод Каспия зависит от материкового стока, испарения и т.д. В зоне влияния материкового стока воды содержат преимущественно карбонаты, сульфаты кальция, которые являются основными компонентами в химическом составе речных вод. Резко меняется солёность северной части от 0,1‰ в устьевых областях Волги и Урала до 10-11‰ на границе со Средним Каспием. В открытых районах моря соленость не превышает 15‰ [15].

Для моря важное значение имеют течения, имеющие сложную структуру. Формируют их, главным образом, ветры, плотность, особенности береговая линия и рельеф дна. Течения имеют скорость 15-30 см/с. Вдоль западных берегов Среднего и Южного Каспия в слое от поверхности до дна доминируют течения южного направления [14; 16].

Целью нашей статьи является изучение температурных аномалий на западном Каспии на основе материалов космических съемок для обнаружения явления апвеллинга.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Источники данных и методика исследования апвеллинга

Поиск и подбор данных производился из достоверных источников, таких как государственные информационные ресурсы или международные источники данных. Материалами для работы послужили космические снимки с метеорологических и океанологических спутников за летний сезон 2017 г., а также данные наземных гидрологических измерений. Работа основывается на стандартных методах и методиках, изложенных в работах зарубежных и отечественных исследователей.

Методика выявления апвеллинга основывалась на аналогичных исследованиях, изложенных в нижеприведенных работах [10-13]. Для обнаружения явления в первую очередь использовались температурные показатели при резком понижении среднесуточной температуры более чем на 2°С. Подтверждался этот факт по космическим снимкам и наземным данным.

Классификация апвеллинга производилась по критериям продолжительности, интенсивности и масштабу. При продолжительности он делится на короткий (менее 3-х суток), нормальный (4-6 суток) и длительный (более 7). Интенсивность определялась по разности температурных показателей в последние сутки до его появления и минимальной температурой во время самого апвеллинга. В случае фиксации разности менее 3°С апвеллинг считается слабым, 3-5°С – средним, более 5°С – сильным.

Если при фиксировании падения температуры в одном пункте наблюдения апвеллинг считается локальным, одновременно в 2-х пунктах – субрегиональным и в 3 и более пунктах – региональным.

# Материалы наземных гидрометеорологических наблюдений

Наземные данные получены в ходе гидрометеорологических наблюдений на постах в прибрежной зоне, а в открытом море данные измерены на судах. Эти данные сосредоточены в государственном информационном фонде – Единой государственной системе информации об обстановке в мировом океане (ЕСИМО).

Поиск возможен в следующих тематических разделах: температура воды; температура воздуха; соленость; скорость ветра; высота волн; уровень моря и содержание кислорода. Эти данные разделены для прибрежной зоны и открытого моря в виде статистики и трендов.

Из массива данных произведен поиск показателей для Среднего Каспия с 2010 по 2018 гг. и выгружен в формате \*.cvs. На их основе была создана автономная база пространственных данных в среде ArcGIS. В качестве ключевого поля установлен идентификатор станций, по которому производилась нормализация с тематическими данными: среднесуточная температура и соленость (на станциях наблюдения Махачкала, Изберг и Дербент), сведения об уровне моря (на станциях Махачкала и о. Тюлений).

Станции наблюдений на дагестанском побережье приведены на рис. 1 [12].



Рисунок 1. Станции наблюдения на Дагестанском побережье (Россия) [12] Figure 1. Observation stations on the Dagestan coast (Russia) [12]

База геопространственных данных организована с возможностью расширения путем добавления новых данных, например, гидрохимических параметров (pH, содержание растворенного кислорода и биогенных элементов).

#### Данные дистанционного зондирования

Космические снимки получены из специализированных центров Ocean Color NASA (данные съемочных систем MODIS), Earth Science Data Systems (ESDS) NASA и SATIN [5; 17; 18]. Эти данные организованы по-разному, отражая различные пространственные, временные и параметрические группировки. В общем случае эти службы производят сбор, обработку, калибровку, проверку, архивацию и распространение продуктов, связанных с океаном, из большого числа оперативных спутниковых миссий дистанционного зондирования, которые предоставляют данные о цвете океана, температуре и солености поверхности моря для международных исследований с 1996 года.

В каталоге Ocean Color NASA представлены несколько вариантов данных разных уровней обработки. В разделе уровень 0 (Level 0) содержатся необработанные данные, полученные непосредственно с сенсора MODIS. Работа с этими данными достаточно трудоемкая.

Данные уровня 1А (Level1A) проходят некоторую предварительную обработку, например, привязываются ко времени и снабжаются аннотацией с вспомогательной информацией, включая радиометрические и калибровочные коэффициенты, параметры географической привязки (например, данные эфемерид платформы). Именно этот факт делает уровень 1А предпочтительным уровнем архивных данных. Прошедшие радиометрическую коррекцию снимки относятся к уровню 1В (Level1B).

Второй уровень данных (Level2) составляют продукты, полученные из данных предыдущего уровня. Как правило, это геофизические переменные с тем же разрешением, что и исходные данные уровня 1. Эти переменные сгруппированы в несколько наборов продуктов (например, цвет океана или температура).

Данные уровня 3 – это производные геофизические переменные, которые были агрегированы на четко определенную пространственную сетку в течение определенного периода времени (например, ежедневно, 8 дней, ежемесячно и т.д.).

Данные уровня 4 представляют собой выходные данные модели или результаты анализа данных более низкого уровня (например, переменных, полученных из нескольких измерений).

Были отобраны данные 2 и 3 уровней, полученные с помощью спутников Terra и Aqua в интервале с 10.30 до 14.00 (MSK). Поиск производился на летний период с учетом облачности. Было отобрано более 200 сцен, пригодных для дальнейшей работы [9].

# Технология обработки данных дистанционного зондирования

Обработка данных заключалась в геометрической коррекции и синтезе каналов в программе SeaDAS. Данная программа разработана для целей дешифрирования снимков при океанологических исследованиях. Заложенные в программу алгоритмы позволяют идентифицировать продукты MODIS и подбирать для них параметры коррекции.

Для получения тепловых полей использовались каналы в инфракрасном диапазоне с пространственным разрешением в 1 км и точностью температуры 0,3-0,5°С.

Обработанные космические снимки и файлы с геофизическими параметрами имеют пространствую привязку в проекции WGS-84, что позволяет их легко адаптировать в ранее созданную базу геопространственных данных.

В базу геоданных внесено 95 изображений с температурными полями.

По внесенным в базу геоданным наземных наблюдений производилось создание серий интерполяционных карт, по которым производится верификации спутниковых данных, что показало незначительное отклонение показателей, полученных наземным и спутниковыми методами.

ГИС-проект имеет в своей структуре 3 блока.

В первый блок включены базовые пространственные слои, куда входят наборы векторной батиметрической карты Каспийского моря и космический снимок высокого пространственного разрешения. Также предусмотрена возможность подключения посредством WMS-подключения базовых слоев глобального охвата, предоставляемых ArcGIS Online.

Второй блок состоит из слоев наземных наблюдений. Данные организованы в атрибутивных таблицах с возможностью пространственного анализа и моделирования. По этим данным создается растровые привязанные карты измеренных величин методом кригинга.

Следующий блок данных – тематические данные, полученные со спутника и обработанные в программе SeaDAS. Они имеют ту же пространственную привязку, что и предыдущие слои и могут быть интегрированы в базу данных. По этим данным в последующем производились картометрические работы по определению характеристик апвеллинга (площадей, интенсивности и т.д.).

#### ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Фактом апвеллинга является наблюдение резкого понижения температуры вод в летнее время. Первые заметные понижения показателей температуры на 2°С в дагестанской части Западного Каспия в рассматриваемый год проявляются в начале июня. В то время, когда температура в открытом море и восточной части Каспия быстро прогревается, на западном побережье в зоне шириной около 50 км сохраняется температура ниже на 4-5°С. Такая разность температур наблюдается до 21 июня, после чего этот показатель между западным и восточным побережьем составляет 1-2°С. По спутниковым данным в июне диапазон температур для акватории Каспия составляет 17-27°С (рис. 2).

Резкое понижение температуры начинается с 7 июня в районе Махачкалы. Температура, зафиксированная спутниковыми радиометрами, здесь составляла 22°С. В следующие сутки она опускается до 21,5°С, достигнув показателя 20°С 9 числа. В последующие дни в прибрежной части сохраняется температура 20-21°С, а на расстоянии около 50 км от берега температура резко поднимается на 3°С. К 16 июня значение температуры воды достигает 22°С, а на небольших локальных участках к югу от станции Изберг и к северу от Махачкалы до устья р. Сулак температура держится на уровне 21°С. На общем фоне прогревания воды до 24°С в последующие дни на участке к северу от Махачкалы температура устойчиво сохраняется на уровне 21,5- 22°С (рис. 3).

Значительное понижение температуры с 24-25°С до 21,5-22°С на площади более 15 тыс. км<sup>2</sup> наблюдается 22 июня. Масса воды с такими показателями начинается вдоль побережья от района о-ва Лопатин на севере до станции Изберг, а затем уходит клином в юговосточном направлении, не доходя до Дербента. В Дербенте и южнее температура держится на уровне 23-24°С и сохраняется на фоне последующего понижения температуры в центральной части Среднего Каспия до 21°С, что зафиксировано съемочными системами 25 июня.

После этой даты на побережье с юга до ст. Изберг температура начинает повышаться до 23,5-24°С. А к северу от Махачкалы зафиксирована температура в диапазоне 21,5-22°С, которая сохраняются до 3 июля.

К 5 июля температурное поле выравнивается и составляет 24°С, прогреваясь в некоторых участках прибережья до 25°С (рис. 4). Постепенное повышение температуры на всей западной части акватории происходит до 10 числа. 11 июня в районе устья р. Сулак происходит резкое снижение с 25°С до 23°С, а на участке Изберг-Дербент понижение происходит в полосе шириной 15 км с 25°С до 23,5°С. К 13 июля в районе Дербента вода прогревается до 24°С, а севернее от ст. Изберг температура 23,5°С держится еще несколько дней. После 26 июля на всем участке Западного Каспия температура колеблется в пределах 25,5-26°С.

До 7 августа продолжается повышение температуры до 27-28°С, периодически колеблясь на разных участках на 0,5°С (рис. 5). Понижение температуры на снимках заметно проявляется на локальных участках к 11-12 августа (район ст. Изберг, устье р. Нового Терека). К 16 августа в 80-тикилометровой зоне от берега температура плавно доходит до 26°С. 20 августа заметно понижение температурных показателей, в районе о-ва Лопатин за сутки происходит понижение температуры на 1,5°С, а к 24 августа на этом участке температура составляет 24,5°С. Резкое понижение температуры на 1,5-2°С с 27,5-28°С происходит 27 августа практически повсеместно. В то же время температура воды севернее о-ва Лопатин понижается до 24°С, и к 29 августа доходит до района Махачкалы. Одновременно замечено понижение температуры на 1,5°С в устье р. Самур. К началу 2 сентября температура воды между станцией Махачкала и устьем р. Самур падает до 22,5°С. После этой даты температура медленно понижается и сохраняется на этом уровне.







**Рисунок 2**. Фрагменты карт температурных полей: a - 7 июня; b - 9 июня; c - 11 июня **Figure 2.** Sections of map of temperature fields: a - 7 June; b - 9 June; c - 11 June



**Рисунок 3.** Фрагменты карт температурных полей: a - 21 июня; b - 25 июня; c - 3 июля **Figure 3.** Sections of map of temperature fields: a - 21 June; b - 25 June; c - 3 July



Рисунок 4. Фрагменты карт температурных полей: a - 5 июля; b - 10 июля; c - 3 июля; d - 26 июля Figure 4. Sections of map of temperature fields: a - 5 July; b - 10 July; c - 3 July; d - 26 July



Рисунок 5. Фрагменты карт температурных полей: а – 7 августа; b – 12 августа; c – 20 августа; d – 29 августа Figure 5. Sections of map of temperature fields: a – 7 August; b – 12 August; c – 20 August; d – 29 August

Анализ и оценка интенсивности проявления апвеллинга с помощью ГИС-проекта

Выявление сроков, размеров и интенсивности апвеллингов за исследуемый период производится с привлечением в дополнение к ранее обработанным космическим снимкам данных наземных наблюдений, сведенных в базу геоданных. По этим данным в исследуемый период в западной части Среднего Каспия подъем холодных и обогащённых биогенными элементами глубинных вод наблюдался 3 раза.

Первый случай апвеллинга проявляется 9-17 июня. В это время зафиксированная минимальная температура в районе Махачкалы составляет 14°С при повышении солёности до 12‰ (рис. 6).



**Рисунок 6.** График среднесуточных значений солёности и температуры в районе станции Махачкала (по данным Росгидромета)

**Figure 6.** Diagram of daily average salinity and temperature values in the area of the Makhachkala station (according to Roshydromet data)

По космическим снимкам замечено, что этот апвеллинг начался в районе о-ва Лопатина на три дня раньше, чем на ст. Махачкала и впоследствии (9 июня) охватил площадь 1500 км<sup>2</sup>. Здесь апвеллинг сохранялся вплоть до 16 июня. По интенсивности он относится к категории сильный, а по продолжительности – длительный. Так как более слабый апвеллинг был замечен в этот же период (12 июня) у ст. Дербент с минимальной температурой 18°С, то можно утверждать, что явление имеет региональный масштаб. Также в поверхностном слое этой массы воды зафиксировано постепенное увеличение содержания растворенного кислорода и величины pH. Максимальные значения этих показателей составляет 9,70 мг/л – растворенного кислорода и 8,64 pH.

Следующий апвеллинг, наблюдавшийся с 19 июня по 1 июля, был средней интенсивности, но отличался про-

должительностью. Минимум среднесуточной температуры за это время составил 17,9°С. Падение температуры вначале апвеллинга составило 2,8°С при повышении солёности на 1‰ (рис. 6). Площадь поверхности акватории с данными показателями составила 253 км<sup>2</sup>, а 26 числа достигла максимума – 454 км<sup>2</sup>. По охвату акватории этот апвеллинг относится к субрегиональному. Гидрохимические показатели также изменились – 20 июня было зафиксировано высокое содержание растворенного кислорода.

Третий случай апвеллинга в исследуемой области зафиксирован в конце августа (26 августа). Этот апвеллинг характеризуется снижением температуры воды на 7,4°С, что у берега составила 17,1°С (рис. 6). Апвеллинг длился до 1 сентября. Данный апвеллинг является сильным и длительным.

Для данного апвеллинга не характерен сильный скачок солёности (на 0,32‰), как в предыдущих случаях. Площадь акватории, на котором проявился апвеллинг, составила около 500 км<sup>2</sup>.

Гидрохимическое состояние воды отличается ростом содержания растворенного кислорода и величины рН накануне апвеллинга. Растворенный кислород достиг максимума в 8 мг/л к 26 августа.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Апвеллинг оказывает существенное влияние на пространственное распределение и структуру морских экосистем, что выявляется посредством многофакторного анализа гидрофизических и гидрохимических показателей на основе геоинформационного подхода.

Анализ литературы по данному направлению показал повсеместное использование космических снимков, а также возможности и ограничения их применения в исследовании апвеллинга.

Работа по подбору материалов космосъемок показала существование большого количества спутниковых систем, пригодных для проведения подобных работ. Это обуславливает необходимость разработки алгоритмов интеграции данных с этих спутников. Для выявления самих гидрофизических показателей эффективными оказались способы алгебры изображений, что позволило выявить многие параметры, недоступные для прямого визуального дешифрирования.

Для Каспийского моря ввиду его больших размеров характерна пространственная неоднородность океанологических параметров. Это можно проследить по результатам обработки космических снимков и их верификации по наземным данным. В то время как для Восточной части Среднего Каспия апвеллинг за изучаемый сезон являлся устойчивым явлением, сохраняя аномальные температуры весь период, то в западной части он носит периодический и разномасштабный характер. Всего по наземным данным выделены и подтверждены по спутниковым данным 3 апвеллинга.

Значительные трудности составили пропуски в данных как на космических снимках, обусловленных облачностью, так и на наземных станциях наблюдений.

В целом проделанная работа не подтвердила именно дрейфовую природу апвеллинга на западном Каспии, что говорит о необходимости проведения долговременного изучения материалов космической съемки и наземных наблюдений. Выполнение такой работы возможно на базе многофакторного геоинформационного моделирования.

### БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают благодарность сотруднику Лаборатории картографии Института географии РАН Баширу М. Курамагомедову за консультацию при написании статьи. **ACKNOWLEDGMENT** 

The authors are grateful to Bashir M. Kuramagomedov, staff member of the Department of Cartography and Geoinformatics, Faculty of Geography of M.V. Lomonosov Moscow State University, for assistance in writing the article.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Океанографическая энциклопедия, 1974, С. 20-22. URL: https://oceanservice.noaa.gov/facts/upwelling.html (Дата обращения: 10.01.2020)

2. Жуков Л.А. Общая океанология. Л:

Гидрометеоиздат, 1976. 376 с.

3. Gaines S., Airame S. Upwelling. URL:

https://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/02quest/ba ckground/upwelling/upwelling.html (дата обращения: 15.05.2020)

4. Лаврова О.Ю., Костяной А.Г., Лебедев С. А., Митягина М.И., Гинзбург А.И., Шеремет Н. А.

Комплексный спутниковый мониторинг морей России. Москва: ИКИ РАН, 2011. 480 с.

5. Ocean Color Web. URL:

https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/ (дата обращения: 01.02.2020)

6. Костяной А.Г. Спутниковый мониторинг климатических параметров океана. Часть 2 // Фундаментальная и прикладная климатология. 2017.
Т. 2. С. 63-85.

7. Кравцова В.И., Тутубалина О.В., Балдина Е.А. Гиперспектральная система MODIS: обзор областей применения // Межуниверситетский аэрокосмический центр при Географическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова. URL:

http://www.geogr.msu.ru/science/aero/acenter/int\_sem 4/modis\_appl.htm (дата обращения: 10.02.2020) 8. Earth Science Data Systems (ESDS) Program. URL:

https://earthdata.nasa.gov/esds (Дата обращения: 01.04.2020)

9. JPL MUR MEaSURES Project. 2015. GHRSST Level 4 MUR Global Foundation Sea Surface Temperature Analysis (v4.1). Ver. 4.1. PO.DAAC, CA, USA. URL:

https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/MUR-JPL-L4-GLOBv4.1 (Дата обращения: 10.02.2020) DOI:

10.5067/GHGMR-4FJ04

10. Курамагомедов Б.М., Монахова Г.А., Гаджиев А.А., Ахмедова Г.А. Опыт использования

геоинформационных технологий в исследованиях апвеллинга в Каспийском море // Юг России: экология, развитие. 2014. Т. 9. N 4. C. DOI: 10.18470/1992-1098-2014-4-121-125

11. Гурова Е.С., Иванов А.Ю. Особенности проявления гидродинамических структур в юго-восточной части Балтийского моря по данным спектрорадиометров MODIS и космической радиолокации // Исследование Земли из космоса. 2011. N 4. C. 41-54. 12. Монахова Г.А., Курамагомедов Б.М., Расулова М.М., Бекшокова П.А. Геонформационные системы в изучении особенностей апвеллинга у западного побережья среднего Каспия // Юг России: экология, развитие. 2012. Т. 7. N 3. С. 116-119. DOI: 10.18470/1992-1098-2012-3-116-119

13. Гинзбург А. И., Костяной А.Г., Соловьев Д.М., Шеремет Н.А. Структура апвеллинга у западного побережья Среднего Каспия (по спутниковым наблюдениям) // Исследование Земли из космоса. 2005. N 4. С. 76-85. 14. Нестеров Е.С. Водный баланс и колебания уровня Каспийского моря. Моделирование и прогноз. Москва: Триада лтд, 2016. 378 с.

15. Электронный атлас Каспийского моря /

Географический факультет МГУ имени М.В.

Ломоносова, 2015. URL: http://www.geogr.msu.ru/casp/ (дата обращения: 19.01.2020)

16. Электронный справочник по природной среде Каспия / Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане. URL:

http://www.esimo.ru/atlas/new/Kasp/1\_1.html (дата обращения: 13.01.2020)

17. SATIN: каталог данных / Лаборатория спутниковой океанографии РГГМУ. URL: http://satin.rshu.ru/ (дата обращения: 02.04.2020)

18. Worldview Earth Data NASA. URL:

https://worldview.earthdata.nasa.gov/ (дата обращения: 15.05.2020)

## REFERENCES

1. *Okeanograficheskaya entsiklopediya* [Oceanographic encyclopedia]. 1974, pp. 20-22. Available at:

https://oceanservice.noaa.gov/facts/upwelling.html (accessed 10.01.2020) (In Russian)

2. Zhukov L.A. *Obshchaya okeanologiya* [General Oceanology]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1976, 376 p. (In Russian)

3. Gaines S., Airame S. Upwelling. Available at:

https://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/02quest/ba ckground/upwelling/upwelling.html (accessed 15.05.2020)

4. Lavrova O.Yu., Kostyanoi A.G., Lebedev S. A., Mityagina M.I., Ginzburg A.I., Sheremet N. A. *Kompleksnyi sputnikovyi monitoring morei Rossii* [Integrated satellite monitoring of the seas of Russia]. Moscow, Space Research Institute RAS Publ., 2011, 480 p. (In Russian)
5. Ocean Color Web. Available at:

https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/ (accessed 01.02.2020) 6. Kostyanoy A.G. Satellite monitoring of climatic parameters of the ocean. Part 2. Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya [Fundamental and applied climatology]. 2017, no. 2, pp. 63-85. (In Russian)

7. Kravtsova V.I., Tutubalina O.V., Baldina E.A. *Giperspektral'naya sistema MODIS: obzor oblastei primeneniya* [Hyperspectral system MODIS: an overview of applications]. Interuniversity Aerospace Center at the Faculty of Geography, Moscow State University of M.V. Lomonosov. Available at: http://www.geogr.msu.ru/science/aero/acenter/int\_sem 4/modis\_appl.htm (accessed 10.02.2020) (In Russian) 8. Earth Science Data Systems (ESDS) Program. Available at: https://earthdata.nasa.gov/esds (accessed 01.04.2020)

9. JPL MUR MEaSURES Project. 2015. GHRSST Level 4 MUR Global Foundation Sea Surface Temperature Analysis (v4.1). Ver. 4.1. PO.DAAC, CA, USA Available at: https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/MUR-JPL-L4-GLOBv4.1 (accessed 10.02.2020). DOI 10.5067/GHGMR-4FJ04 10. Kuramagomedov B.M., Monakhova G.A., Gadzhiev A.A., Akhmedova G.A. The experience of using of the geoinformation technologies in the Investigation of apwelling in the Caspian Sea. *South of Russia: ecology, development*, 2014, vol. 9, no. 4, pp. 121-125. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2014-4-121-125

11. Gurova E. S., Ivanov A. Yu. Appearance of Sea Surface Signatures and Current Features in the South East Baltic Sea on the MODIS and SAR images. *Issledovanie Zemli iz kosmosa* [Research of the Earth from space]. 2011, vol. 9, no. 4. pp. 41-54. (In Russian)

12. Monakhova G.A., Kuramagomedov B.M., Rasulova M.M., Bekshokova P.A. Geoinformation systems in the study of the peculiarities of the upwelling at the western coast of the middle Caspian. *South of Russia: ecology, development*, 2012, vol. 7, no. 3, pp. 116-119. (In Russian) DOI 10.18470/1992-1098-2012-3-116-119

13. Ginzburg A.I., Kostyanoy A.G., Soloviev D.M., Sheremet N.A. The structure of upwelling near the western coast of the Middle Caspian (according to satellite observations). Issledovanie Zemli iz kosmosa [Research of the Earth from space]. 2005, no. 4, pp. 76-85. (In Russian) 14. Nesterov E.S. Vodnyi balans i kolebaniya urovnya Kaspiiskogo morya. Modelirovanie i prognoz [Water balance and fluctuations in the level of the Caspian Sea. Modeling and forecasting]. Moscow, Triada Ltd. Publ., 2016, 378 p. (In Russian)

15. Elektronnyi atlas Kaspiiskogo moray.Geograficheskii fakul'tet MGU imeni M.V. Lomonosova [Electronic atlas of the Caspian Sea. Faculty of Geography, Moscow State University named after M.V. Lomonosov]. 2015. Available at: http://www.geogr.msu.ru/casp/ (accessed 19.01.2020)

16. Elektronnyi spravochnik po prirodnoi srede Kaspiya. Edinaya gosudarstvennaya sistema informatsii ob obstanovke v Mirovom okeane [Electronic reference book on the natural environment of the Caspian. Unified state information system on the situation in the World Ocean]. Available at:

http://www.esimo.ru/atlas/new/Kasp/1\_1.html (accessed 13.01.2020)

17. SATIN: katalog dannykh / Laboratoriya sputnikovoi okeanografii RGGMU [SATIN: data catalog / Laboratory of Satellite Oceanography, Russian State Hydrometeorological University]. Available at: http://satin.rshu.ru/ (accessed 02.04.2020)

18. Worldview Earth Data NASA. Available at: https://worldview.earthdata.nasa.gov/ (accessed 15.05.2020)

## КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Абдулмажид А. Багомаев и Надира О. Гусейнова написали рукопись. Оба автора в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

Abdulmedzhid A. Bagomaev and Nadira O. Guseynova wrote the manuscript. Both authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism or other ethical transgressions.

## NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

## ORCID

Абдулмеджид А. Багомаев / Abdulmedzhid A. Bagomaev <u>https://orcid.org/0000-0001-5043-6345</u> Надира О. Гусейнова / Nadira O. Guseynova <u>https://orcid.org/0000-0003-3979-4293</u>