

## Крупномасштабный апвеллинг в районе Севастопольского взморья и его влияние на структуру и качество вод

П. Д. Ломакин<sup>1\*</sup>, М. А. Попов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия*

<sup>2</sup> *Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН,  
Севастополь, Россия*

\*e-mail: p\_lomakin@mail.ru

Поступила 12.04.2021 г.; принята к публикации 12.08.2021 г.; опубликована 24.12.2021 г.

На основе данных многолетних (2000–2020 гг.) береговых наблюдений и серии наблюдений распределенным датчиком (лето 2019 г.) за температурой воды, а также результатов двух океанологических съемок методом элементарного статистического анализа выявлены случаи крупномасштабного апвеллинга на акватории Севастопольского взморья. Временные характеристики этого явления и связанные с ним аномалии температуры сопоставлены с аналогичными параметрами, которые были проанализированы нами ранее у западного берега Крыма в 1988–2007 гг. по данным спутниковых наблюдений. В течение 20 лет на взморье выявлено 42 случая крупномасштабного апвеллинга с размахом температуры 2–7 °С и длительностью от 4 до 32 сут. Показано, что в районе севастопольского взморья крупномасштабный апвеллинг сопровождается значительными отклонениями температуры воды от летнего фона. На временном масштабе 1–3 сут. размах отклонений на поверхности моря равнялся 2–3 °С, а в промежуточном и придонном слоях достигал 10–16 °С. Распространение вод апвеллинга в прибрежную однородную по температуре зону сопровождалось формированием развитой вертикальной стратификации. Проникающие на взморье воды апвеллинга способствуют существенно понижению концентрации окрашенного растворенного органического вещества до значений, типичных для открытых черноморских акваторий, и способствуют повышению качества вод.

**Ключевые слова:** температура воды, окрашенное растворенное органическое вещество, крупномасштабный апвеллинг, севастопольское взморье, Крым.

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0555-2021-0005 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Черного и Азовского морей» и государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Исследование механизмов управления продукционными процессами в биотехнологических комплексах с целью разработки научных основ получения биологически активных веществ и технических продуктов морского генезиса»

© Ломакин П. Д., Попов М. А., 2021



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License

№ гос. регистрации 121030300149-0. Исследование проведено при финансовой поддержке РФФИ и г. Севастополя в рамках научного проекта № 18-45-920068.

**Для цитирования:** Ломакин П. Д., Попов М. А. Крупномасштабный апвеллинг в районе Севастопольского взморья и его влияние на структуру и качество вод // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2021. № 4. С. 39–50. doi:10.22449/2413-5577-2021-4-39-50

## Large-Scale Upwelling in the Sevastopol Seaside Area and its Influence on the Structure and Quality of Water

P. D. Lomakin<sup>1\*</sup>, M. A. Popov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia

<sup>2</sup> A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

\*e-mail: p\_lomakin@mail.ru

Submitted 12.04.2021; revised 12.08.2021; published 24.11.2021

Based on the data of long-term (2000–2020) coastal observations and a series of observations with a distributed sensor (summer 2019) of the water temperature, as well as the results of two oceanographic surveys, cases of large-scale upwelling in the water area of the Sevastopol seaside are revealed. The temporal characteristics of this phenomenon and the associated temperature anomalies are compared with similar parameters, which were analyzed by us earlier near the western coast of Crimea in 1988–2007 according to satellite observations. During 20 years, 42 cases of large-scale upwelling with a temperature range of 2–7 °C and a duration of 4 to 32 days are detected. It is shown that in the Sevastopol seaside area large-scale upwelling is accompanied by significant deviations of water temperature from the summer background. On a time scale of 1–3 days, their range on the sea surface was equal to 2–3 °C, and in the intermediate and bottom layers it reached 10–16 °C. The spread of upwelling waters into the uniform temperature coastal zone are accompanied by the formation of developed vertical water stratification. The upwelling waters penetrating the seashore contribute to a significant decrease in the concentration of colored dissolved organic matter to the values typical for the open Black Sea waters, and contribute to an increase in water quality.

**Key words:** water temperature, colored dissolved organic matter, large-scale upwelling, Sevastopol seaside, Crimea.

**Acknowledgments:** the work was performed under state order on topic no. 0555-2021-0005 “Comprehensive interdisciplinary studies of oceanological processes that determine the functioning and evolution of ecosystems in the coastal zones of the Black and Azov Seas” complexes with the aim of developing scientific foundations for obtaining biologically active substances and technical products of marine genesis” state registration № 121030300149-0. The study was funded by the Russian Foundation for Basic Research and the city of Sevastopol under scientific project no. 18-45-920068.

**For citation:** Lomakin P.D., Popov M.A., 2021. Large-Scale Upwelling in the Sevastopol Seaside Area and its Influence on the Structure and Quality of Water. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (4), pp. 39–50. doi:10.22449/2413-5577-2021-4-39-50 (in Russian).

## **Введение**

К актуальным проблемам прибрежной зоны океанов и морей относятся вопросы, касающиеся процессов водообмена между шельфом и глубоководной частью. Наиболее эффективный механизм, реализующий подобного рода водообмен, связан с апвеллингом.

Апвеллинг как типичное для Черного моря и в частности для Крымского побережья, явление известен довольно давно. Так, еще в 1926 г. В. Н. Никитин и Е. Ф. Скворцов<sup>1)</sup> описали апвеллинг у Южного берега Крыма, в том числе и у Балаклавы. Позднее апвеллингу в Черном море был посвящен ряд работ советского периода [1–3]. Это явление активно исследуется и на современном этапе [4–8].

Ветровой апвеллинг причисляют к ряду значимых факторов, определяющих динамику вод и структуру гидрофизических и гидрохимических полей в севастопольском регионе [9]. Накопившиеся к настоящему времени в ходе экспедиционных и береговых исследований эмпирические сведения показывают, что наряду с локальным ветровым апвеллингом в севастопольских бухтах и на взморье наблюдается его другой вид. Это неизученный для рассматриваемого региона масштабный апвеллинг, который не связан с локальными сгонными и вдольбереговыми ветрами. Его очаги могут наблюдаться в штилевую и маловетреную погоду, а также при резких изменениях характеристик ветра. Данный вид черноморского прибрежного апвеллинга в основном обусловлен влиянием крупномасштабных атмосферных процессов над Азово-Черноморским регионом. Роль локальных ветров и систем прибрежных течений менее значима [10–12].

Цель настоящей статьи – выявить случаи крупномасштабного апвеллинга на акватории Севастопольского взморья в течение 20 последних лет, проанализировать его характеристики, оценить влияние на структуру поля температуры и показатели качества вод.

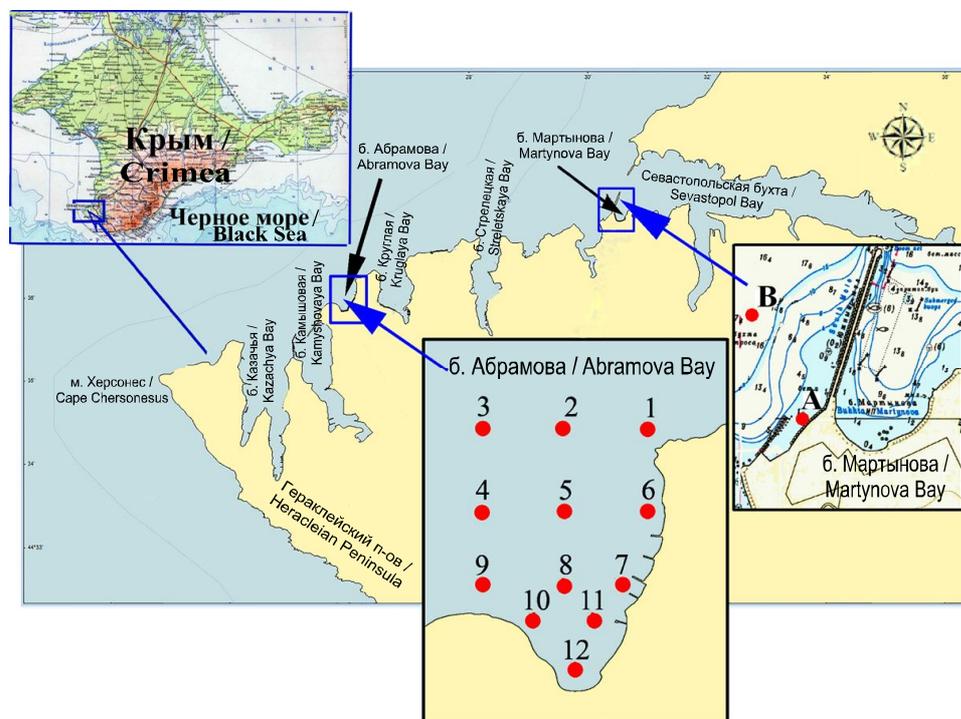
## **Исходные данные и методы исследования**

Для анализа использованы следующие данные:

- Выборка ежесуточных береговых наблюдений за температурой воды за временной интервал с 2000 по 2020 гг., которые велись (и ведутся) в Мартыновой бухте в районе экспериментальной мидийной фермы Института биологии южных морей (точка *A*, рис. 1).
- Массив наблюдений за температурой в толще вод (0–17 м) в течение лета 2019 г. при помощи распределенного датчика, который располагался в районе фермы (точка *B*, рис. 1).
- Материал двух океанологических съемок акватории Абрамовой бухты, выполненных летом 2019 г. с отбором проб воды на содержание окрашенного растворенного органического вещества (*fDOM*) – величины, которую относят к лучшим показателям качества прибрежных вод океанов и морей [13, 14] (рис. 1).

---

<sup>1)</sup> Никитин В. Н., Скворцов Е. Ф. Непериодические изменения гидрологических элементов и состава планктона у южных берегов Крыма // Записки Крымского общества естествоиспытателей. 1926. Т. 9. С. 67–79.



Р и с. 1. Исследуемая акватория со схемой станций океанологических съемок и точками береговых наблюдений

Fig. . The studied water area with a map of oceanographic survey stations and coastal observation points

Концентрация  $fDOM$  определялась в лабораторных условиях оптическим методом [15]. Рассматриваемое вещество представляет собой флюоресцирующую составляющую растворенного в морской воде органического вещества.

На настоящий момент не определена предельно допустимая концентрация  $fDOM$  в морской воде. Поэтому для оценки антропогенной составляющей в поле исследуемой величины и выделения загрязненных участков фактические значения концентрации  $fDOM$  сопоставлялись с его концентрацией в «чистых» прибрежных черноморских водах Крыма. Под «чистыми» подразумеваются воды, которые не содержат антропогенную составляющую в поле концентрации рассматриваемой величины.

На основе анализа накопленной в ходе многочисленных экспедиций эмпирической базы нами установлено, что в «чистых» черноморских водах у Крымского полуострова в слое 0–20 м поле содержания этого вещества однородно. Его характерная концентрация изменяется в пределах 1.8–2.1 мг/л при солености 18.2–18.4 ЕПС. Поэтому в океанологических задачах и задачах исследования  $fDOM$  как показателя качества вод у берегов Крымского полуострова за природную норму нами условно принято содержание этого вещества, равное 2 мг/л.

### Обсуждение результатов

Исследуемая акватория расположена на юго-восточной периферии региона 3 (у западного берега Крымского полуострова между мысами Тарханкут и Сарыч) с известными характерными признаками прибрежного крупномасштабного черноморского апвеллинга (рис. 2, *a*). Свойства апвеллинга в этом регионе были выявлены на основе анализа емкого массива спутниковых наблюдений в инфракрасном диапазоне за временной интервал с 1988 по 2007 гг. и описаны в статьях [11, 16].

Как правило, крупномасштабный апвеллинг зарождается в окрестности мысов Тарханкут и Сарыч. Его начальные стадии сопровождаются формированием локальной области термической неоднородности с высокоградиентной периферией. Со временем внутри данной области образуются более или менее отдельные хорошо различимые на спутниковом изображении ядра, получившие наименование «центров апвеллинга». Температура воды на поверхности в очагах подъема вод в июле – августе у юго-западного побережья Крыма понижается на 3–4 °С. На более поздних стадиях развития прибрежного очага холодных вод от него в сторону открытого моря и вдоль берега распространяются холодные струи, которые обладают хорошо выраженными фронтальными признаками. Протяженность таких фронтальных образований до 70 миль. Наиболее часто они наблюдаются в районе мысов Тарханкут и Сарыч. Фронты ориентированы соответственно на северо-запад, юго-запад и юг. В результате глубинные и подповерхностные воды выносятся на значительные расстояния от берега (рис. 2, *b*). В настоящей статье показано, что они также распространяются на прибрежное мелководье.

На рис. 3 изображена временная развертка температуры воды, наблюдавшейся в течение 20 последних лет в июне – сентябре в точке *A* у берега в районе Мартыновой бухты (см. рис. 1). В поле изоплет температуры воды

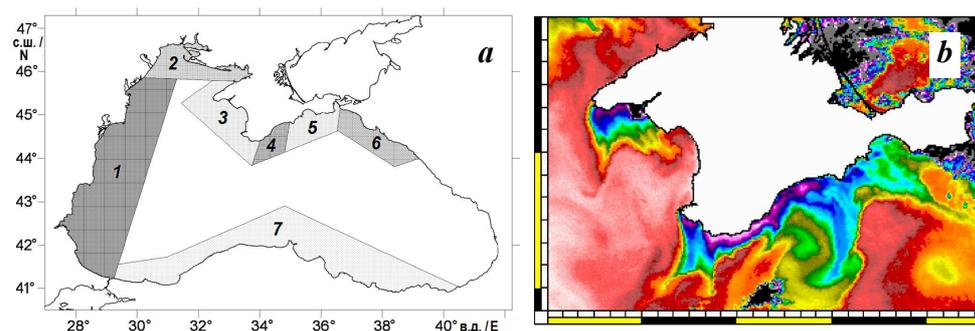


Рис. 2. Схема районирования акватории Черного моря по интенсивности крупномасштабного прибрежного апвеллинга [11] – *a*; очаги апвеллинга у берегов Крымского полуострова на инфракрасном спутниковом снимке (03.07.2003 г., 11:00 GMT) – *b*

Fig. 2. Zoning scheme of the Black Sea by the intensity of large-scale coastal upwelling [11] – *a*; upwelling foci off the coast of the Crimean peninsula on the infrared satellite image (03 July 2003, 11:00 GMT) – *b*

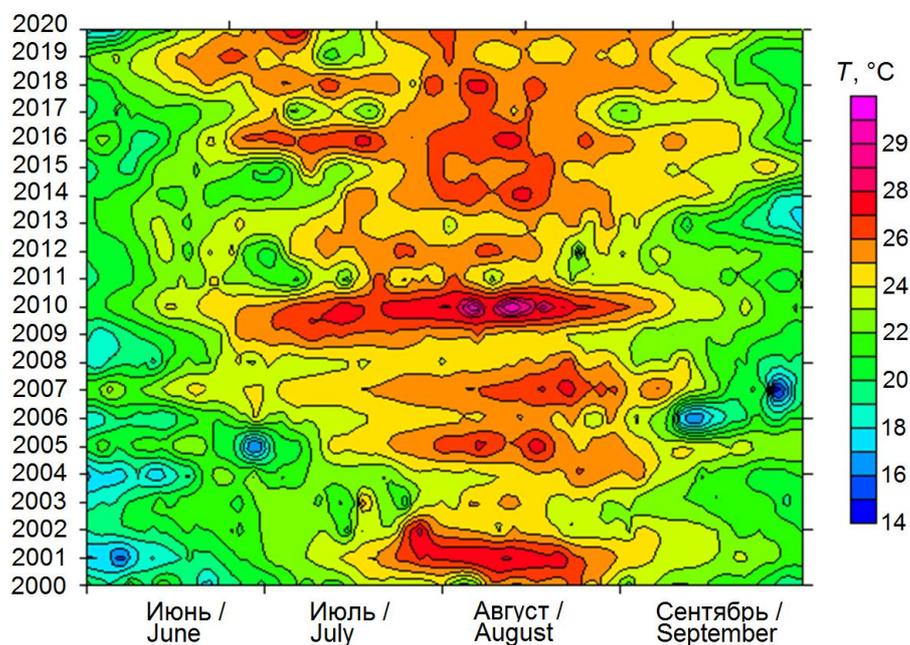


Рис. 3. Временной ход температуры воды, °С, у берега в районе Мартыновой бухты за интервал 2000–2020 гг.

Fig. 3. Time variation of water temperature, °С, near the coast in the area of the Martynova Bay in 2000–2020

видны хорошо выраженные локальные минимумы, длившиеся от нескольких суток до 2–3 декад и перепадом температуры 2–7 °С.

Эти экстремумы соответствуют случаям наиболее мощного апвеллинга: июнь 2001 г., июнь – июль 2005 г., сентябрь 2006 г., сентябрь 2007 г., июль – август 2011 г., июль – август 2013 г., июль – август 2015 г., июль, сентябрь 2017 г., июль 2019 г., июль 2020 г.

Из-за высокой плотности информации и малого масштаба временной развертки на рис. 3 случаи менее интенсивного апвеллинга плохо различимы в поле изоплет температуры. Поэтому для статистического описания исследуемого явления были проанализированы графики временного хода температуры в точке А (см. рис. 1) в июне – сентябре для каждого конкретного года. Из летних реализаций отобраны только значимые апвеллинги с размахом температуры, который превышал 2 °С. Данные о продолжительности крупномасштабных апвеллингов:

Продолжительность (сут.)	4–8	8–12	12–16	16–20	20–24	24–28	28–32
Число случаев	13	11	7	6	1	3	1
Число случаев, %	31	26	18	14	2	7	2

Всего за временной интервал с 2000 по 2020 гг. зафиксировано 42 случая апвеллинга с размахом температуры 2–7 °С. Их длительность изменялась от 4 до 32 сут. Наибольшую повторяемость (31 %) имели короткопериодные апвеллинги с длительностью 4–8 сут. Гораздо реже наблюдались апвеллинги с длительностью, превышавшей 20 сут. Их суммарная повторяемость – 11 %. Самые мощные апвеллинги на Севастопольском взморье характерны для июля. В июле – августе, согласно [11, 16], наиболее мощные апвеллинги формируются у западного берега Крыма.

Согласно спутниковым данным, вызванный апвеллингом максимальный перепад температуры воды на поверхности в открытом море у западного берега Крыма 3–4 °С [11, 16]. На мелководье, в бухтах Севастопольского взморья, за счет высокого летнего температурного фона соответствующий перепад достигает 5–7 °С.

Холодные воды, поступающие в прогретую мелководную область в системе циркуляции крупномасштабного апвеллинга, формируют ярко выраженную стратификацию. Это проиллюстрировано на рис. 4 и свидетельствует о сложном и активном взаимодействии вод различного происхождения, которое сопровождается резкими как синфазными, так и противофазными колебаниями температуры у дна и в промежуточном слое и более плавным ходом на поверхности моря.

В начале июня 2019 г. в районе мидийной фермы наблюдалась слабо выраженная стратификация поля температуры: 21 °С на поверхности и 17 °С у дна. Со временем толща вод прогревалась и становилась более однородной. 28 июня стратификация исчезла полностью, а вся толща прогрелась до 25 °С.

29 июня отмечено проникновение холодных вод апвеллинга в район фермы. Наиболее интенсивно этот процесс развивался в придонном слое, где в течение суток температура упала до 12 °С, к 7 июля она достигла минимума 9 °С, а размах колебаний – максимума, равного 16 °С.

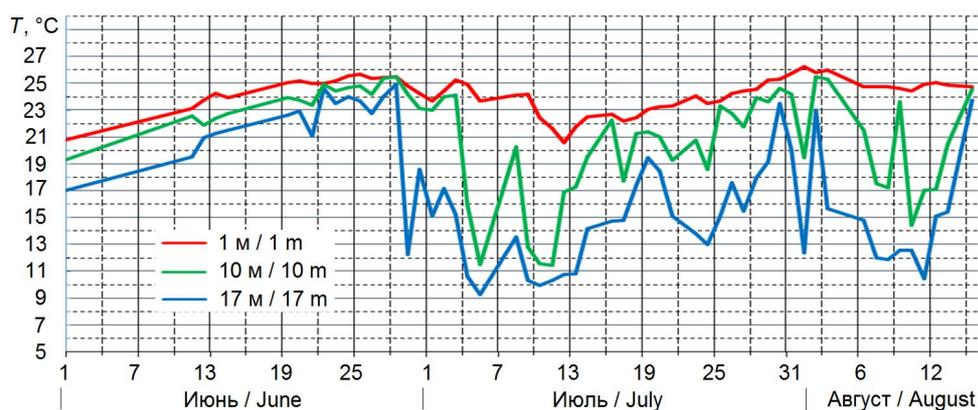


Рис. 4. Временной ход температуры в толще вод, °С, летом 2019 г. в районе мидийной фермы в районе Мартыновой бухты

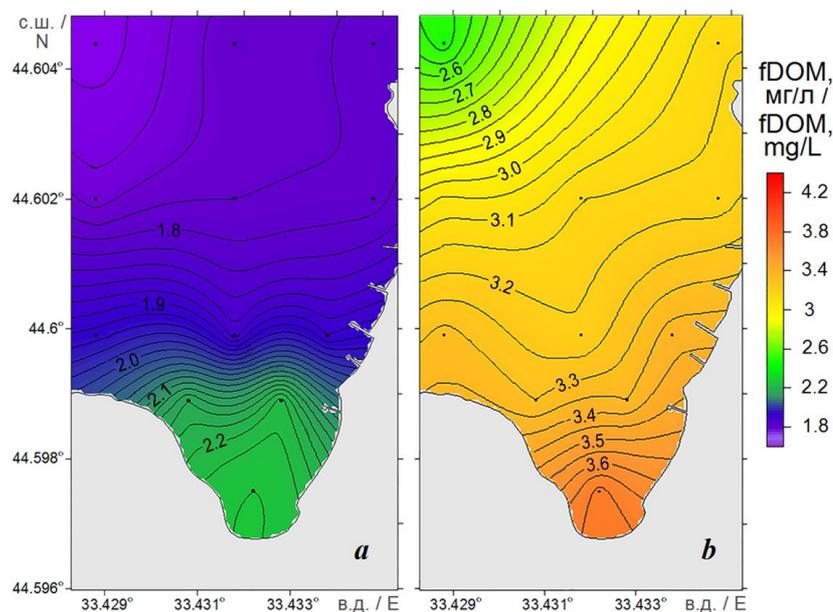
Fig. 4. Time variation of temperature in the water column, °С, in summer 2019 near the mussel farm in the Martynova Bay

На поверхности моря апвеллинг вызвал более плавное и с меньшим размахом отдельных колебаний падение температуры от 25.5 °С 29 июня до 20.6 °С 12 июля. Фаза роста температуры в придонном и промежуточном слоях началась на неделю раньше, чем в верхнем слое вод. К 30 июля (эту дату можно считать окончанием анализируемого апвеллинга, который прослеживался в течение 32 суток) толща вод стала однородной с температурой 25 °С на поверхности и 23.5 °С у дна. На следующие сутки сформировалась развитая стратификация (рис. 4).

Отметим, что рассматриваемый апвеллинг наблюдался в условиях нагонного для южного берега Севастопольского взморья ветра (рис. 1, 4). В июне – июле 2019 г. в Севастополе преобладал устойчивый северный ветер, средняя суточная скорость которого равнялась ~3 м/с (URL: [www.pogoda.tourister.ru/russia/sevastopol/july](http://www.pogoda.tourister.ru/russia/sevastopol/july)).

7 июля 2019 г. (на момент развитой стадии апвеллинга) в Абрамовой бухте, которая расположена на расстоянии около 1.8 миль западнее Мартыновой бухты, была проведена океанологическая съемка (рис. 1), результат которой позволил оценить отклик в поле концентрации *fDOM* на масштабный подъем глубинных вод.

В частности, установлено, что почти на всей акватории этой бухты содержание исследуемого вещества оказалось минимальным, соответствующим природной норме (1.8–2.0 мг/л) и несколько повышенным до 2.2 мг/л в кутовой части. По визуальным признакам (прозрачность и цветность) воды в бухте не выделялись на фоне открытых черноморских вод (рис. 5, *a*).



Р и с . 5 . Содержание *fDOM*, мг/л, в верхнем слое вод Абрамовой бухты летом 2019 г.: 7 июля – *a*; 7 августа – *b*

F i g . 5 . The content of *fDOM*, mg/L, in the upper layer of the waters of the Abramova Bay in summer 2019: July 7 – *a*; August 7 – *b*

На рис. 5, *b* для сравнения показана ситуация с максимальным содержанием *fDOM* в водах Абрамовой бухты, сформировавшаяся под влиянием ливневых сточных вод после серии ливневых дождей. Дожди прошли 4 и 5 августа, в Севастополе тогда выпало 29 мм осадков, на мысе Херсонес – 12 мм, в районе Аэрологической станции – 36 мм при месячной норме 23 мм<sup>2)</sup>.

7 августа концентрация *fDOM* на всей акватории бухты существенно превышала природную норму, а в кутовой части – почти в 2 раза. Воды характеризовались низким качеством с явными визуальными признаками загрязнения.

### **Заключение**

На основе данных многолетних береговых наблюдений и результатов океанологических съемок получены представления о характеристиках крупномасштабного апвеллинга и его влиянии на структуру и показатели качества вод Севастопольского взморья.

За время с 2000 по 2020 гг. на рассматриваемой акватории выявлено 42 случая крупномасштабного апвеллинга с размахом температуры 2–7 °С и длительностью от 4 до 32 суток. Наибольшую повторяемость (31 %) имели апвеллинги с длительностью 4–8 суток. Наименьшую суммарную повторяемость (11 %) – апвеллинги, длившиеся 20–32 суток. Самые мощные апвеллинги на Севастопольском взморье, как и в море у западного берега Крыма, характерны для июля.

Установлено, что в районе севастопольского взморья крупномасштабный апвеллинг вызывает значительные временные колебания температуры. На временном масштабе 1–3 суток их размах на поверхности моря равнялся 2–3 °С, а в промежуточном и придонном слоях достигал 10–16 °С. Рассматриваемый вид апвеллинга также способствует формированию развитой вертикальной стратификации вод.

На примере Абрамовой бухты показано, что проникновение на Севастопольское взморье вод крупномасштабного апвеллинга сопровождается существенным понижением концентрации окрашенного растворенного органического вещества до значений, типичных для открытых черноморских акваторий, что способствует повышению качества вод.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Богданова А. К. Сгонно-нагонная циркуляция и ее роль в обогащении питательными солями поверхностных вод Черного моря // Труды Севастопольской биологической станции. М. : Издательство Академии наук СССР, 1959. Т. 11. С. 335–352.
2. Богданова А. К. Сгонно-нагонные течения в прибрежной полосе у приглубого относительно прямолинейного берега // Труды Севастопольской биологической станции. М. : Издательство Академии наук СССР, 1959. Т. 12. С. 421–455.
3. Богданова А. К., Корпачев Л. Н. Сгонно-нагонная циркуляция и ее роль в гидрологическом режиме Черного моря // Метеорология и гидрология. 1959. № 4. С. 26–32.

---

<sup>2)</sup> Справочник по климату Черного моря / под ред. А. И. Сорокиной. М. : Гидрометеониздат. 1974. 407 с.

4. *Иванов В. А., Михайлова Э. Н.* Апвеллинг в Чёрном море. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. 92 с.
5. *Михайлова Э. Н., Музылева М. А., Полонский А. Б.* Пространственно-временная изменчивость характеристик апвеллинга в северо-западной части Черного моря и у побережья Крыма в 2005–2008 гг. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: ЭКОСИ Гидрофизика, 2009. Вып. 20. С. 160–170.
6. *Джиганишин Г. Ф., Полонский А. Б., Музылёва М. А.* Апвеллинг в северо-западной части Черного моря в конце летнего сезона и его причины // Морской гидрофизический журнал. 2010. № 4. С. 45–57.
7. *Михайлова Э. Н., Полонский А. Б., Музылёва М. А.* О причинах понижения температуры поверхности воды в Каркинитском заливе Черного моря // Морской гидрофизический журнал. 2011. № 6. С. 28–35.
8. *Sur H. I., Özsoy E., Ünlüata Ü.* Boundary current instabilities, upwelling, shelf mixing and eutrophication processes in the Black Sea // Progress in Oceanography. 1994. Vol. 33, iss. 4. P. 249–302. [https://doi.org/10.1016/0079-6611\(94\)90020-5](https://doi.org/10.1016/0079-6611(94)90020-5)
9. Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты и его изменения под воздействием климатических и антропогенных факторов / В. А. Иванов [и др.]. Севастополь : МГИ НАНУ, 2006. 90 с. URL: [http://mhi-ras.ru/assets/files/gidrologogidrohimicheskij\\_rezhim\\_sevastopolskoj\\_buhty\\_2006.pdf](http://mhi-ras.ru/assets/files/gidrologogidrohimicheskij_rezhim_sevastopolskoj_buhty_2006.pdf) (дата обращения: 28.07.2021).
10. Прибрежный апвеллинг в северо-западной части Черного моря / А. И. Гинзбург [и др.] // Исследование Земли из Космоса. 1997. № 6. С. 66–72.
11. Структура и межгодовая изменчивость характеристик прибрежного черноморского апвеллинга на основе данных спутникового мониторинга / Р. В. Боровская [и др.] // Исследования Земли из космоса. 2008. № 2. С. 26–36.
12. *Ломакин П. Д.* Апвеллинг в Керченском проливе и прилегающей акватории Черного моря на базе контактных и спутниковых данных // Морской гидрофизический журнал. 2018. Т. 34, № 2. С. 123–133. doi:10.22449/0233-7584-2018-2-123-133
13. Spatial and temporal variability of absorption by dissolved material at a continental shelf / E. S. Boss [et al.] // Journal of Geophysical Research. Oceans. 2001. Vol. 106, iss. C5. P. 9499–9508. doi:10.1029/2000JC900008
14. Fluorescence properties of dissolved organic matter in coastal Mediterranean waters influenced by a municipal sewage effluent (Bay of Marseilles, France) / M. Tedetti [et al.] // Environmental Chemistry. 2012. Vol. 9, iss. 5. P. 438–449. doi:10.1071/EN12081
15. High-frequency in situ optical measurements during a storm event: Assessing relationships between dissolved organic matter, sediment concentrations, and hydrologic processes / J. F. Saraceno [et al.] // Journal of Geophysical Research. Biogeosciences. 2009. Vol. 114, iss. G4. G00F09. doi:10.1029/2009JG000989
16. *Боровская Р. В., Ломакин П. Д., Попов М. А.* Апвеллинг в Балаклавской бухте и прилегающих акваториях Черного моря на базе спутниковых данных // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексные исследования ресурсов шельфа. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009. Вып. 20. С. 171–178.

Об авторах:

**Ломакин Павел Демьянович**, ведущий научный сотрудник, Морской гидрофизический институт (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), **ResearcherID: V-7761-2017**, **Scopus Author ID: 6701439810**, **IstinaResearcherID (IRID): 18321047**, доктор географических наук, профессор, *p\_lomakin@mail.ru*

**Попов Марк Александрович**, старший научный сотрудник, Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН (299011, Россия, Севастополь, пр. Нахимова, 2), **ORCID ID: 0000-0003-0220-1298**, **Scopus AuthorID: 57197871255**, **SPIN-code: 4600-2656**, **AuthorID: 192603**, кандидат географических наук, *mark.a.popov@mail.ru*

Заявленный вклад авторов:

**Ломакин Павел Демьянович** – руководство исследованием, постановка задачи, анализ материалов исследования, написание статьи

**Попов Марк Александрович** – анализ и интерпретация данных, участие в экспериментах, написание статьи

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

#### REFERENCES

1. Bogdanova, A.K., 1959. [Upsurge and Downsurge Circulation and its Role in Enrichment of the Black Sea Surface Waters with Nutritional Salts]. In: V. A. Vodyanitsky, Ed., 1959. *Trudy Sevastopolskoy Biologicheskoy Stantsii* [Proceedings of the Sevastopol Biological Station]. Moscow: Izdatelstvo Akademii Nauk SSSR. Iss. 11, pp. 335–352 (in Russian).
2. Bogdanova, A.K., 1959. [Upsurge and Downsurge Currents in the Coastal Zone near a Steep-Bottom Rather Straight Coast]. In: V. A. Vodyanitsky, Ed., 1959. *Trudy Sevastopolskoy Biologicheskoy Stantsii* [Proceedings of the Sevastopol Biological Station]. Moscow: Izdatelstvo Akademii Nauk SSSR. Iss. 12, pp. 421–455 (in Russian).
3. Bogdanova, A.K. and Korpachev, L.N., 1959. [Upsurge and Downsurge Circulation and its Role for the Hydrological Regime of the Black Sea]. *Meteorologiya i Gidrologiya*, (4), pp. 26–32 (in Russian).
4. Ivanov, V.A. and Mikhaylova, E.N., 2008. [Upwelling in the Black Sea]. Sevastopol: ECOSI-Gidrofizika, 92 p. (in Russian).
5. Mikhailova, E.N., Muzyleva, M.A. and Polonsky A.B., 2009. Spatial and Temporal Variability of Parameters of Upwelling in the Northwestern Black Sea and near Crimea Coast in 2005 – 2008. In: MHI, 2014. *Ekologicheskaya Bezopasnost' Pri-brezhnykh i Shel'fovykh Zon i Kompleksnoe Ispol'zovanie Resursov Shel'fa* [Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones and Comprehensive Use of Shelf Resources]. Sevastopol, ECOSI-Gidrofizika. Iss. 20, pp. 160–170 (in Russian).
6. Dzhiganshin, G.F., Polonskii, A.B. and Muzyleva, M.A., 2010. Upwelling in the Northwest Part of the Black Sea at the End of the Summer Season and its Causes. *Physical Oceanography*, (4), pp. 281–293. <https://doi.org/10.1007/s11110-010-9084-0>
7. Mikhailova, E.N., Polonsky, A.B. and Muzyleva, M.A., 2012. On the Causes of Decrease in the Surface Temperature of Water in the Karkinitiskii Bay of the Black Sea. *Physical Oceanography*, 21(6), pp. 394–400. <https://doi.org/10.1007/s11110-012-9131-0>
8. Sur, H. I., Özsoy, E. and Ünlüata, Ü., 1994. Boundary current instabilities, upwelling, shelf mixing and eutrophication processes in the Black Sea. *Progress in Oceanography*, 33(4), pp. 249–302. [https://doi.org/10.1016/0079-6611\(94\)90020-5](https://doi.org/10.1016/0079-6611(94)90020-5)

9. Ivanov, V.A., Ovsyany, E.I., Repetin, L.N., Romanov, A.S. and Ignatyeva, O.G., 2006. *Hydrological and Hydrochemical Regime of the Sebastopol Bay and its Changing under Influence of Climatic and Anthropogenic Factors*. Sevastopol: MHI NAS of Ukraine, 90 p. (in Russian)
10. Ginzburg, A.I., Kostianoy, A.G., Soloviev, D.M. and Stanichny, S.V., 1997. Coastal upwelling in the Northwestern Part of the Black Sea. *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, (6), pp. 61–72 (in Russian).
11. Borovskaja, R.V., Lomakin, P.D., Panov, B.N. and Spiridonova, E.O., 2008. Structure and Interannual Variability of Characteristics of Inshore Black Sea Upwelling on Basis of Satellite Monitoring Data. *Issledovanie Zemli iz Kosmosa*, (2), pp. 26–36 (in Russian).
12. Lomakin, P.D., 2018. Upwelling in the Kerch Strait and the Adjacent Waters of the Black Sea Based on the Contact and Satellite Data. *Physical oceanography*, 25(2), pp. 114–123. doi:10.22449/1573-160X-2018-2-114-123
13. Boss, E.S., Pegau, W.S., Zaneveld, J.R. and Barnard, A.H., 2001. Spatial and Temporal Variability of Absorption by Dissolved Material at a Continental Shelf. *Journal of Geophysical Research. Oceans*, 106(C5), pp. 9499–9508. doi:10.1029/2000JC900008
14. Tedetti, M., Longhitano, R., Garcia, N., Guigue, C., Ferretto, N. and Goutx, M., 2012. Fluorescence Properties of Dissolved Organic Matter in Coastal Mediterranean Waters Influenced by a Municipal Sewage Effluent (Bay of Marseilles, France). *Environmental Chemistry*, 9(5), pp. 438–449. doi:10.1071/EN12081
15. Saraceno, J.F., Pellerin, B.A., Downing, B.D. Boss, E., Bachand, P.A.M. and Bergamaschi B.A., 2009. High-frequency in situ optical measurements during a storm event: Assessing relationships between dissolved organic matter, sediment concentrations, and hydrologic processes. *Journal of Geophysical Research. Biogeosciences*, 114(G4), G00F09. doi:10.1029/2009JG000989
16. Borovskaya, R.V., Lomakin, P.D. and Popov, M.A., 2009. Upwelling in the Balaklava Bay and Adjacent Black Sea Using Satellite Data. In: MHI, 2000. *Ekologicheskaya Bezopasnost' Pribrezhnykh i Shel'fovykh Zon i Kompleksnoe Ispol'zovanie Resursov Shel'fa* [Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones and Comprehensive Use of Shelf Resources]. Sevastopol: ECOSI-Gidrofizika. Iss. 20, pp. 171–179 (in Russian).

*About the authors:*

**Pavel D. Lomakin**, Leading Research Associate, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), Dr.Sci. (Geogr.), professor, **ResearcherID: V-7761-2017**, **Scopus Author ID: 6701439810**, **IstinaResearcherID (IRID): 18321047**, *p\_lomakin@mail.ru*

**Mark A. Popov**, Senior Research Associate, A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS (2 Nakhimov Av., Sevastopol, 299011, Russian Federation), Ph.D. (Geogr.), **ORCID ID: 0000-0003-0220-1298**, **Scopus AuthorID: 57197871255**, **SPIN-code: 4600-2656**, **AuthorID: 192603**, *mark.a.popov@mail.ru*

*Contribution of the authors:*

**Pavel D. Lomakin** – research management, problem statement, analysis of research materials, writing the article

**Mark A. Popov** – analysis and interpretation of data, participation in experiments, writing the article

*All the authors have read and approved the final manuscript.*