

ВЛИЯНИЕ ШТОРМОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЛЕТНЕ-ОСЕННЕЕ ЦВЕТЕНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА В ЧЕРНОМ МОРЕ

А.Г. Зацепин¹, Е.Г. Арашкевич¹, А.А. Кубряков^{1,2}, В.А. Силкин¹, С.В. Станичный^{1,2}

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

²Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

STORM IMPACTS ON SUMMER-AUTUMN PHYTOPLANKTON BLOOMING IN THE BLACK SEA

A.G. Zatsepin¹, E.G. Arashkevich¹, A.A. Kubrakov^{1,2}, V.A. Silkin¹, S.V. Stanichny^{1,2}

¹Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

²Marin Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia

В докладе приводятся примеры и обсуждаются механизмы интенсификации летне-осеннего цветения фитопланктона в Черном море после сильных ветровых воздействий.

The report gives examples and discusses the mechanisms of intensification of summer-autumn phytoplankton blooms in the Black Sea after strong wind effects.

Механизмы поддержания первичной продукции в океане в теплый период года являются малоизученными [1]. В данной работе приводятся убедительные свидетельства того, что сильные ветровые воздействия вызывают существенное увеличение первичной продукции и содержания хлорофилла «а» в верхнем квазиоднородном слое (ВКС) Черного моря. Эти свидетельства основаны на результатах совместного анализа поля скорости ветра, спутниковых данных о температуре поверхности моря и содержании хлорофилла «а», данных судовых STD-зондирований, и отбора проб на содержание хлорофилла «а», а также проб фитопланктона, данных поплавков био-Арго с датчиками флуоресценции хлорофилла «а». Все эти данные показывают, что турбулентное вовлечение вод термоклина в ВКС, вызванное сильными ветровыми воздействиями, приводит к увеличению содержания хлорофилла «а» и фитопланктона в ВКС через 2-3 суток после воздействия. Данные вспышки первичной продукции длятся 1-2 недели. Несколько последовательных штормов могут существенным образом изменить сезонный уровень первичной продукции и повлиять не только на количественный состав, но и на структуру планктонного сообщества.

Так, четыре последовательных интенсивных шторма, наблюдавшиеся в августе 2015 г., вызвали возникновение аномально сильного цветения фитопланктона в центре восточной части Черного моря. Максимальная концентрация хлорофилла «а» в области цветения превышала 5 мг/м³ по сравнению с 0,6 мг/м³ в окружающих водах. Аномальное цветение наблюдалось в течение 3 месяцев: с августа по ноябрь. В работе на основе совместного анализа спутниковых и метеорологических данных, контактных измерений буев Арго с биооптическими датчиками исследуются причины этого аномального явления.

Цветение было вызвано совместными действиями трех физических факторов: интегральной экмановской накачкой; локальным экмановским апвеллингом на периферии шторма; ветровым турбулентным вовлечением биогенных веществ в эвфотический слой.

Горы, окружающие Черное море, существенно влияют на пространственную структуру штормов, формируя зоны интенсивных ветровых струй и ветровой тени. Градиенты скорости ветра между областями сильного и слабого воздушного потока вызывают интенсивный локальный экмановский апвеллинг и подъем вод на левой периферии штормового ветра. Экмановская накачка интенсифицирует циклоническую циркуляцию вод в черноморском бассейне и поднимает пикно-халоклин и хемоклин ближе к поверхности в центральной части циклонических круговоротов. Ветро-волновое перемешивание и турбулентное вовлечение увеличивает толщину ВКС после прохождения штормов за счет более богатых биогенами и фитопланктоном термоклинных вод.

Попадание фитопланктона в ВКС из слоя локального максимума его концентрации в термоклине послужило первой причиной увеличения концентрации хлорофилла «а» на поверхности. Измерения буев Арго показали, что шторма вызвали также значительное диапикническое перемешивание в верхнем 100 метровом слое. Это привело к увеличению

вертикального турбулентного потока биогенных элементов и их попаданию в слой локального максимума концентрации фитопланктона в термоклине. Этот процесс вызвал рост концентрации хлорофилла «а» в тонком слое (~ 5 м) вблизи нижней границы его локального максимума.

Наблюдающаяся до штормов динамическая топография хемоклина, определяемая мезомасштабными и крупномасштабными течениями существенно повлияла на пространственную структуру цветения фитопланктона. Самый интенсивный после штормовой рост концентрации хлорофилла «а» наблюдался в центральной части восточного циклонического круговорота и в мезомасштабных циклонах. В то же время в мезомасштабных антициклонах рост концентрации хлорофилла «а» был незаметен. Следует также отметить, что вихревые движения способствовали горизонтальному переносу хлорофилла «а» в западную часть моря на значительное расстояние от эпицентра штормов.

В докладе приводятся также другие примеры интенсификации цветения фитопланктона в Черном море после сильных ветровых воздействий [2-4].

Литература.

1. Babin, S. M., Carton, J. A., Dickey, T. D., & Wiggert, J. D. (2004). Satellite evidence of hurricane-induced phytoplankton blooms in an oceanic desert. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 109(C3).
2. Зацепин А.Г., Арашкевич Е.Г., Кубряков А.А., Паутова Л.А., Подымов О.И., Силкин В.А., Сильвестрова К.П., Станичный С.В., Часовников В.К. Влияние турбулентного вовлечения вод термоклина в верхний квазигомогенный слой на его биопродуктивность (на примере Черного моря). // 14-я Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Дистанционные исследования поверхности океана и ледяных покровов. С. 241. Москва, ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016 г.
3. Zatsepin A. Variability of the Black Sea coastal Ecosystem: Results of long-term observations at the SIO RAS research site near Gelendzhik // EMECS'11 SeaCoasts XXVI joint conference Abstract book. P.94. August 22-27. 2016. St. Peterburg. Russia.
4. Зацепин А.Г., Арашкевич Е.Г., Кубряков А.А. , Силкин В.А. , Станичный С.В. Роль ветрового воздействия в поддержании первичной продукции в Черном море в теплый период года //15-я Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Дистанционные исследования поверхности океана и ледяных покровов. С. 251. Москва, ИКИ РАН, 13-17 ноября 2017 г.

Исследование влияния турбулентного вовлечения вод в ВКС на концентрацию хлорофилла «а» выполнено при поддержке гранта РФФИ 14-50-00095. Анализ данных и подготовка тезисов доклада выполнены в рамках государственного задания по бюджетной теме № 0149-2018-0003, а также при поддержке гранта РФФИ №17-05-00799.

The study of the influence of the turbulent entrainment of water in the VCS on the concentration of chlorophyll "a" was carried out with the support of grant RNF 14-50-00095. Data analysis and preparation of abstracts of the report were carried out as part of the government assignment on budget topic No. 0149-2018-0003, as well as with the support of the RFBR grant No. 17-05-00799.