

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА

УДК 551.46

ИЗУЧЕНИЕ СЕЗОННОЙ И МНОГОЛЕТНЕЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ХЛОРОФИЛЛА “а” В КАСПИЙСКОМ МОРЕ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

© 2023 г. С. В. Востоков^{1,*}, И. В. Салинг¹, А. С. Востокова¹, А. А. Гаджиев²,
Е. Н. Лобачев³, Бехруз Абтахи⁴, Мехди Г. Шозаи⁵

Представлено академиком РАН Л. И. Лобковским 22.08.2022 г.

Поступило 22.08.2022 г.

После доработки 09.11.2022 г.

Принято к публикации 14.11.2022 г.

На основе данных сканеров SeaWiFS и MODIS-Aqua изучены закономерности сезонной и многолетней изменчивости хлорофилла “а” как показателя развития фитопланктона в Каспийском море. Для расчета концентраций хлорофилла “а” (ХЛ) использован региональный алгоритм, разработанный для Каспийского моря с использованием массива контактных измерений в разные сезоны года. Построены карты среднемесячных значений хлорофилла за период спутниковых наблюдений с 1998 по 2021 г. и диаграммы сезонной изменчивости ХЛ для Северного, Среднего и Южного Каспия. Изучена среднеклиматическая изменчивость концентраций хлорофилла за двадцатилетний период спутниковых наблюдений. Отмечены значительные различия в сезонной изменчивости фитопланктона в Северном, Среднем и Южном Каспии. Изучены закономерности пространственной динамики ХЛ на акватории Каспия, обусловленные циклом сезонного развития фитопланктона, выделены годы с существенными отклонениями сезонной динамики ХЛ от среднеклиматической.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, хлорофилл, сезонная изменчивость, фитопланктон, Каспийское море

DOI: 10.31857/S2686739722602770, **EDN:** TJLHHJ

ВВЕДЕНИЕ

Каспийское море — это высокопродуктивный водоем, обладающий уникальными биологическими ресурсами. В современный период в экосистеме Каспийского моря происходят структурные деформации, обусловленные как глобальными изменениями климата, так и антропогенными факторами [1, 2]. Экосистема Каспийского моря испытывает значительную антропогенную нагрузку, связанную с различными формами загрязнения, в том числе биологического [3–9]. Фитопланктон, как первичное продукционное звено, является наиболее чувствительным и уяз-

вимым компонентом морской экосистемы. Некоторые исследования свидетельствуют о поступательной эвтрофикации Каспийского моря [10]. Последние десятилетия исследования динамики хлорофилла (ХЛ) и фитопланктона в Каспийском море носили фрагментарный характер, а в последние годы практически не проводились. Предшествующие дистанционные исследования [10–12] за редким исключением [13, 14] проводились без верификации данных. Применение спутниковых данных позволяет восполнить существующие пробелы в изучении сезонной и многолетней динамики фитопланктона в различных районах моря. Использование сравнительного материала [15–17] позволит изучить влияние климатических факторов на динамику хлорофилла в Каспийском море и оценить закономерности развития фитопланктона в современный период.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ

Цель работы — изучение наиболее общих закономерностей сезонной и многолетней изменчивости хлорофилла как показателя развития фитопланктона в Каспийском море на основе данных сканеров цвета SeaWiFS и MODIS-Aqua. Иссле-

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

²Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

³Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН, Махачкала, Россия

⁴Иранский национальный институт океанографии и атмосферных наук, Тегеран, Иран

⁵Университет Тарбират Модарес, Ноор, Иран

*E-mail: Vostokov_S@mail.ru

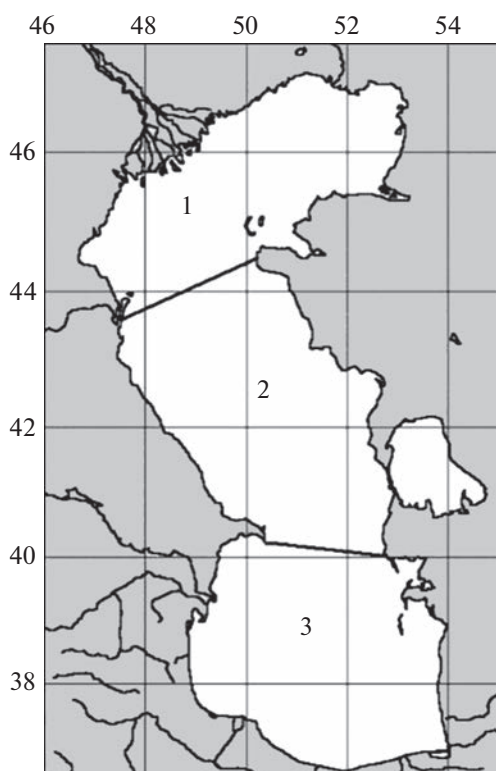


Рис. 1. Субрегионы Каспийского моря. 1 – Северный Каспий, 2 – Средний Каспий, 3 – Южный Каспий.

дование предусматривает решение ряда задач: сбор и систематизация первичных данных сканеров цвета SeaWiFS и MODIS-Aqua по распределению биооптических и гидрофизических параметров на акватории Каспийского моря за весь период спутниковых наблюдений, верификацию спутниковых данных, расчет концентраций ХЛ по региональному алгоритму. Картографирование результатов, изучение сезонной изменчивости хлорофилла в основных регионах Каспийского моря.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для оценки изменчивости фитопланктона по концентрациям хлорофилла “а” были использованы данные сканеров цвета SeaWiFS (1998–2002 гг.) и MODIS-Aqua (2002–2021 гг.) второго уровня [18] (<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov>). Исходные данные позволяют изучать изменчивость полей биооптических характеристик с дискретностью в один день с пространственным разрешением 1 км. Для решения поставленных задач был создан банк биооптических характеристик поверхности моря за период 1998–2021 гг. Для расчета концентраций хлорофилла “а” в поверхностном слое Каспийского моря был использован региональный алгоритм, разработанный в ИО РАН [14]

на основе серии оптических измерений и синхронного определения концентраций хлорофилла “а” в поверхностном слое моря. Измерение концентраций хлорофилла проводили экстракционным методом со спектрофотометрическим окончанием [13, 14], в соответствии с ГОСТ 17.1.4.02-90.

Меридиональное расположение Каспийского моря, особенности батиметрии и влияния речного стока создают большое разнообразие условий среды, влияющих на сезонную и многолетнюю динамику фитопланктона. Традиционно при изучении гидрологических и биологических процессов в Каспийском море принято рассматривать три субрегиона. Разделение акватории на Северный, Средний и Южный Каспий (рис. 1) в целом отражает географическую зональность бассейна и будет использовано для анализа региональных особенностей сезонной динамики хлорофилла.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основе выполненных расчетов по данным сканеров цвета были построены карты среднемесячных значений ХЛ, а также диаграммы изменчивости хлорофилла в Северном, Среднем и Южном Каспии за весь период дистанционных наблюдений. Осредненные данные позволяют выделить основные, наиболее устойчивые закономерности сезонной изменчивости хлорофилла, которые определяются сезонной динамикой развития фитопланктона на акватории Каспийского моря. Среднеклиматическое распределение концентраций хлорофилла на акватории моря по месяцам и диаграммы сезонной изменчивости хлорофилла в выделенных субрегионах Каспия показаны на рис. 2, 3.

Анализ данных показывает, что сезонная изменчивость хлорофилла в Северном, Среднем и Южном Каспии в значительной степени различны и имеют пространственные особенности внутри каждого выделенного субрегиона.

СЕВЕРНЫЙ КАСПИЙ

В Северном Каспии в течение всего года наблюдается зона экстремально высоких концентраций хлорофилла ($2\text{--}8\text{ мг/м}^3$), которая формируется на северо-западе региона. От лета к осени область высокого содержания ХЛ расширяется на юг по всему периметру зоны речного влияния, а также распространяется в южном направлении вдоль западного побережья Каспия (рис. 2). Характерно, что наибольший уровень концентраций ХЛ приурочен к северо-западной части Северного Каспия, прилегающей к дельте Волги. На востоке субрегиона, находящегося под влиянием стока Урала, во все сезоны года концентрации хлорофилла существенно ниже ($0.7\text{--}4.0\text{ мг/м}^3$). Зона максимальных концентраций располагается

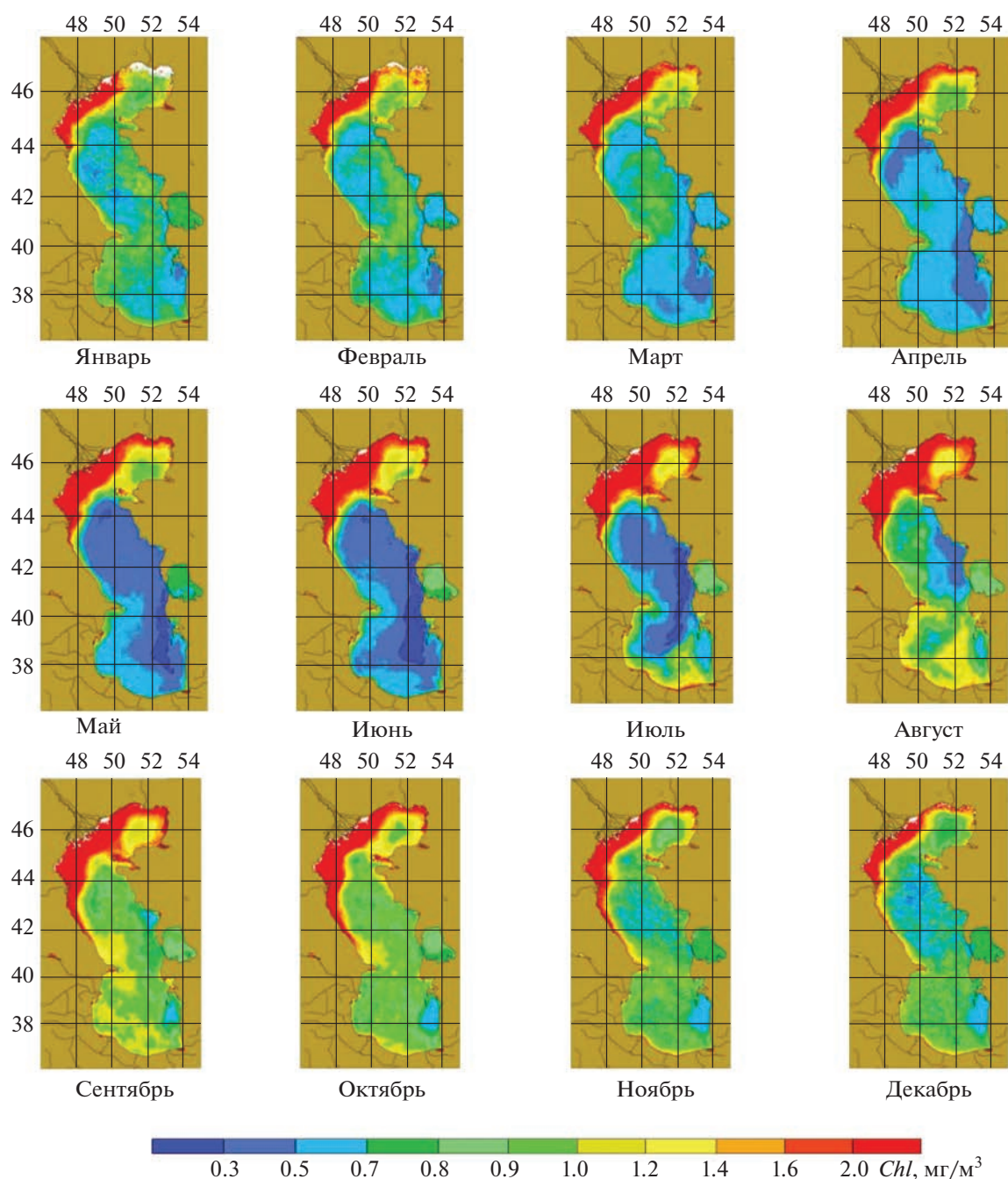


Рис. 2. “Среднеклиматическое” распределение концентрации хлорофилла в водах Каспийского моря за период 1998–2021 гг.

здесь в мелководной зоне по периметру акватории. В целом для Северного Каспия наибольшая площадь зоны высоких концентраций ХЛ ($>2 \text{ мг/м}^3$) отмечается в июле–августе. Таким образом, в северной части Каспия наиболее продуктивным является теплый период года. Возрастание концентраций происходит синхронно с ростом температуры, а летний пик развития фитопланктона формируется в период наиболь-

шего прогрева поверхностного слоя (рис. 3). Причиной может быть постоянное поступление органического вещества и биогенных элементов с речными водами, создающее условия для бурного развития фитопланктона. По-видимому, преобладание сине-зеленых водорослей в фитопланктоне мелководной зоны определяет специфику сезонного развития фитоценоза в Северном Каспии. В условиях стабилизации и прогрева водной

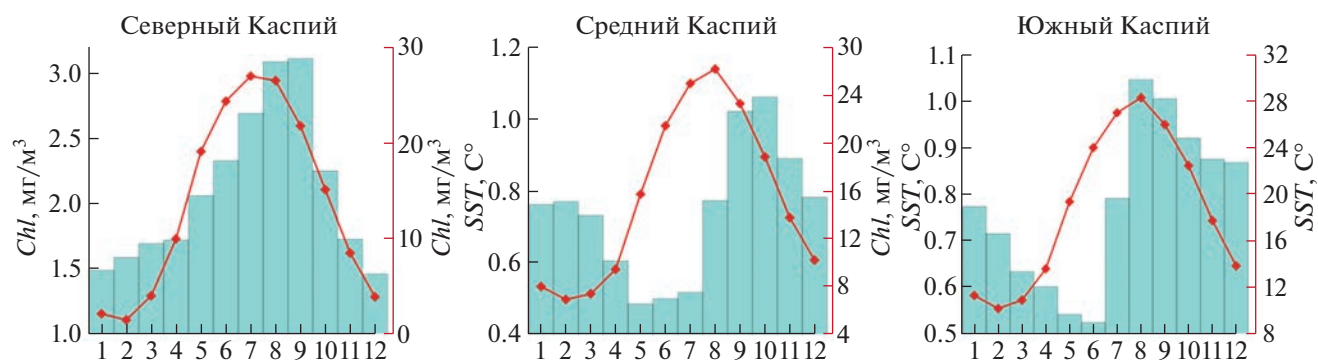


Рис. 3. Среднемесячные величины концентрации хлорофилла “а” (мг/м³) и температуры °С (красная линия) в Каспийском море (средние значения за период с 1998 по 2021 г.).

толщи в летний период создаются благоприятные условия для бурного развития сине-зеленых, для которых высокая температура является стимулирующим фактором.

Дополнительным источником биогенных элементов, поддерживающим высокий уровень развития фитопланктона в летний период, может также служить бактериальная минерализация органического вещества морской воды и осадков, интенсивность которой также зависит от температуры.

В холодный период с декабря по март концентрации хлорофилла, отражающие уровень развития фитопланктона в Северном Каспии, минимальны для субрегиона. Относительно низкая продуктивность в зимний период (см. рис. 2), помимо температурных условий, во многом связана с активным штормовым перемешиванием и заморзанием большей части Северного Каспия.

СРЕДНИЙ КАСПИЙ

Воды Среднего Каспия вовлечены в циркуляцию Дербентского циклонического круговорота. Средний Каспий в целом менее продуктивный район по сравнению с Северным и Южным регионами. Содержание хлорофилла изменяется здесь в пределах 0.25–1.0 мг/м³, редко превышая 2.0 мг/м³. Наибольшая по площади часть субрегиона представлена глубоководными районами, расположенными над Дербентской котловиной. По спутниковым данным в глубоководных районах концентрации хлорофилла возрастают от августа к октябрю и достигают пиковых значений в сентябре–октябре в период ослабления инсоляции и начала активного ветрового перемешивания. В пространственном аспекте зона вегетации фитопланктона распространяется на акватории Среднего Каспия от лета к осени с запада на восток (см. рис. 2). При этом за двадцатилетний период в Среднем Каспии неоднократно наблюдались зимние цветения фитопланктона, что отразилось на

картах среднеклиматической изменчивости ХЛ (см. рис. 2). Некоторые из зимне-весенних цветений, наблюдаемых в Среднем Каспии, например в 2012 (рис. 4), по уровню концентраций ХЛ были сопоставимы с осенними пиками развития фитопланктона. Для годовой сукцессии фитопланктона в поверхностном слое Среднего Каспия, особенно в глубоководной части субрегиона, характерен период летней стагнации, который продолжается с мая по июль и отражается в минимальных концентрациях ХЛ, рассчитанных по данным дистанционного зондирования (см. рис. 3). Западная часть Среднего Каспия, особенно ее прибрежная зона, отличается более высокой продуктивностью и более высокими концентрациями ХЛ по сравнению с глубоководной частью акватории в течение всего года. В наибольшей степени это проявляется с августа по ноябрь, когда вдоль всего западного побережья с севера на юг простирается зона высоких концентраций ХЛ (1.0–2.0 мг/м³), которая достигает Южного Каспия. При этом прибрежная зона на западе Среднего Каспия сохраняет основные черты сезонной изменчивости хлорофилла и развития фитопланктона, характерные для глубоководной зоны. Характерной чертой пространственной изменчивости фитопланктона в Среднем Каспии является образование зоны аномально низких концентраций ХЛ в летний период в восточной части моря (см. рис. 2). Одной из причин данной аномалии является активный сезонный апвеллинг, формирующийся вдоль восточного побережья моря [19].

Причины данного аномального явления до конца не выяснены и требуют дополнительных гидробиологических и гидрохимических исследований. В зоне интенсивного западного апвеллинга происходит замещение вод поверхностного слоя холодными глубинными водами, обедненными фитопланктоном. Высокая турбулентность в районах подъема вод может препятствовать фиксации клеток в зоне светового оптимума. Аномально низкая температура поднимающихся

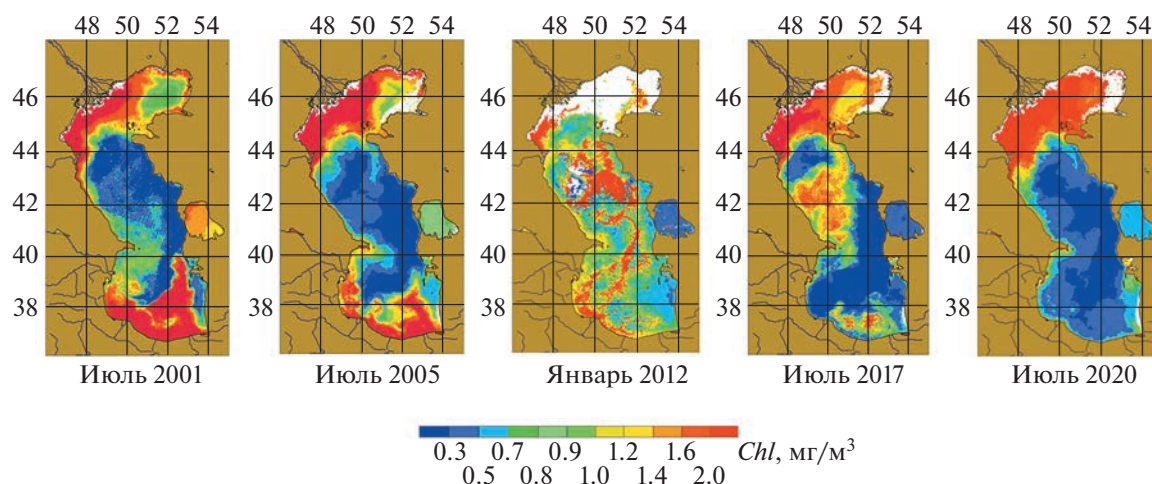


Рис. 4. Аномальное развитие фитопланктона в Каспийском море по данным MODIS.

глубинных вод также является фактором, ограничивающим развитие фитопланктона, адаптированного к летним условиям. Кроме того, фитопланктон в районе апвеллинга может развиваться в глубинных слоях в зоне термоклина и не фиксироваться дистанционными методами исследований, о чем свидетельствуют немногочисленные натурные наблюдения в летний период [9]. Об интенсивности апвеллинга можно судить по падению температуры поверхностного слоя в период наибольшего развития апвеллинга (май–июль) более чем на 10 градусов. Воды апвеллинга включаются в общую циклоническую циркуляцию Среднего Каспия и влияют на характеристики водных масс региона. Данная гидрологическая ситуация, по-видимому, негативно влияет на развитие фитопланктона в поверхностном слое на востоке Среднего Каспия. В результате полоса низких концентраций ХЛ ($0.2\text{--}0.4\text{ мг/м}^3$) в некоторые годы простирается с востока на запад до середины акватории Среднего Каспия и захватывает значительную часть субрегиона.

ЮЖНЫЙ КАСПИЙ

Для экосистемы Южного Каспия характерно наибольшее развитие фитопланктона в августе–сентябре, что соответствует наибольшему прогреву поверхностного слоя. Концентрации хлорофилла в летний период достигают $1.0\text{--}2.0\text{ мг/м}^3$ (см. рис. 2, 3). При этом западная и южная часть субрегиона отличаются более высокими продукционными показателями в течение года. В южном субрегионе с апреля по июнь, как и в Среднем Каспии, наблюдается период снижения количественного развития фитопланктона в поверхностном слое. В начале лета на развитие фитопланктона также влияет интенсивный апвеллинг, формирующийся вдоль восточного побережья

моря. В результате на юго-востоке субрегиона, как и в Среднем Каспии, в период наибольшего развития апвеллинга (май, июнь) наблюдаются минимальные концентрации хлорофилла. При этом за двадцатилетний период на юге Каспия наблюдался ряд аномальных летних цветений фитопланктона (рис. 4), в том числе сине-зеленых водорослей (2005 г.).

В холодный период года от зимы к весне концентрации хлорофилла в Южном Каспии, как правило, снижаются до значений 0.6 мг/м^3 . При этом в осенне-зимний период на юге Каспия сохраняется достаточно высокий уровень концентраций хлорофилла, что связано с периодической зимней вегетацией фитопланктона в ноябре–декабре. Анализ многолетних данных показывает, что за двадцатилетний период наблюдений в южном субрегионе, как и в Среднем Каспии, наблюдались зимние цветения, соизмеримые по уровню концентраций ХЛ с летними пиками развития фитопланктона.

В Среднем Каспии зимние цветения более выражены в декабре–марте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, изучены наиболее общие закономерности сезонной изменчивости хлорофилла в поверхностном слое Каспийского моря. Выявлены различия в режиме сезонной изменчивости хлорофилла в Северном, Среднем и Южном, которые определяются особенностями развития фитопланктона в субрегионах. Для северного Каспия характерно поступательное возрастание концентраций хлорофилла с увеличением температуры моря до максимальных значений в августе–сентябре. В Среднем и Южном Каспии отмечаются основной летне-осенний пик вегетации с

максимальными концентрациями ХЛ, вторичный пик развития фитопланктона в зимний период и летнее снижение концентраций в мае–июле. При этом максимум концентраций ХЛ в Среднем Каспии достигается на спаде летней температуры, а в Южном в период максимального прогрева поверхностного слоя.

В отдельные годы зафиксированы значительные отклонения в изменчивости ХЛ и фитопланктона от среднелиматической. Среди них главную роль играют летние цветения в Южном Каспии, зимние цветения фитопланктона в Среднем и Южном Каспии, а также развитие фитопланктона в зонах западного (июль 2017 г.) и восточного апвеллингов (рис. 4).

Зимние цветения диатомовых являются характерной чертой сезонной сукцессии фитопланктона в Черном море, которое находится в том же климатическом поясе, что и Каспийский регион. Разрушение сезонного термоклина в период зимней конвекции, которое приводит к обогащению поверхностного слоя биогенными элементами, — одна из основных причин активной вегетации фитопланктона в холодный период [15, 20]. При этом в отличие от Черного моря при наличии зимней конвекции зимние цветения в Каспии наблюдаются нерегулярно. Данные аномальные явления необходимо изучить более подробно с привлечением данных натурных наблюдений за состоянием сообществ фитопланктона в зимний период. На данном этапе исследований можно констатировать, что наиболее масштабное зимнее цветение фитопланктона, захватившее в 2012 г. акватории Среднего и Южного Каспия, развивалось в условиях минимальных за двадцатилетний период температур. Особого внимания также требует выяснение гидрометеорологических условий инициации летних цветений и причин разнонаправленного воздействия восточного и западного апвеллингов Каспийского моря на продукционные показатели фитопланктона.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность Д.И. Глуховцу за полезное обсуждение результатов.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена по теме госзадания № FMWE-2021-0004, финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 20-35-90125, № 20-54-56053 и гранта ННФИ № 99003103.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гинзбург А.И., Костяной А.Г., Серых И.В., Лебедев С.А. Климатические изменения гидрометеорологических параметров Каспийского моря (1980–

2020) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 5. С. 277–291.

2. Иванов А.Ю., Востоков С.В., Ермошкин И.С. Картографирование пленочных загрязнений морской поверхности по данным космической радиолокации (на примере Каспийского моря) // Океанология 2004. № 4. С. 82–92.

3. Татаринцева Т.А., Ардабьева Ф.Г., Терлецкая О.В., Тиненкова Д.Х., Малиновская Л.В., Тарасова Л.И., Петренко Е.Л. Среднеземноморские вселенцы в планктоне и донной фауне Каспийского моря / Виды-вселенцы в европейских морях России. Сб. научн. тр. ММБИ. Апатиты 2000. С. 169–183.

4. Востоков С.В., Ушивцев В.Б., Лисицын Б.Е., Соловьев Д.М. Летнее состояние популяции гребневика *Mnemiopsis leidyi* — вселенца в Каспийском море и его связь с условиями среды обитания // Океанология. 2004. Т. 44. № 1. С. 101–109.

5. Востоков С.В., Гаджиев А.А., Востокова А.С., Рабазанов Н.И. Гребневик *Beroe cf. ovata* в Каспийском море. Начало нового этапа эволюции Каспийской экосистемы? // Юг России: экология, развитие. 2020. № 4. С. 21–35.

6. Pautova L.A., Kravchishina M.D., Silkin V.A., Lisitzin A.P. The phenomenon of bloom development of the invasive potentially toxic dinoflagellate *Gonyaulax polygramma* in deep water areas of the Caspian Sea // Doklady Earth Sciences. 2017. 474 (2). P. 657–661. <https://doi.org/10.1134/S1028334X17060071>

7. Паутова Л.А., Кравчишина М.Д., Востоков С.В., Зернова В.В., Силкин В.А. Особенности вертикальной структуры летнего фитопланктона глубоководных районов Каспийского моря // ДАН. 2015. № 4. С. 479.

8. Татаринцева Т.А. Нахождение нового в Каспийском море вида *Nitzschia seriata* Cleve (Bacillariophyta) // Биологические науки. 1992. № 6. С. 55–77.

9. Востоков С.В., Паутова Л.А., Салинг И.В., Востокова А.С., Устарбекова Д.А., Лобачев Е.Н., Абтахи Б., Шозаи М.Г. Фитопланктон Среднего Каспия: анализ изменений структуры сообщества за последние десятилетия // Юг России: экология, развитие. 2022. Т. 17. № 3. С. 112–124. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-3-112-124>

10. Modabberi A., Noori R., Madani K., Houshang A., Ali E., Mehr D., Hooshyaripor F., Kløve B. Caspian Sea is eutrophying: the alarming message of satellite data // Environ. Res. Lett. 2020. 15. 124047.

11. Nezlin N.P. Patterns of Seasonal and Interannual Variability of Remotely Sensed Chlorophyll The Caspian Sea Environment. The Handbook of Environmental Chemistry Kostianoy A.G and Kosarev A.N (Berlin: Springer). 2005. P. 143–157.

12. Гусейнова Н.О., Багомаев А.А., Ахмедова Л.Ш., Курамагомедов Б.М. Изучение апвеллинга по содержанию хлорофилла “а” в фитопланктоне западного Каспия за 2017 г. по данным дистанционного зондирования // Юг России: экология, развитие. 2021. Т. 16. № 4. С. 159–172.
<https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-4-159-172>
13. Moradi M. Comparison of the efficacy of MODIS and MERIS data for detecting cyanobacterial blooms in the southern Caspian Sea // Mar. Poll. Bull. 2014. 87 (1–2), P. 311–322.
14. Копелевич О.В., Салинг И.В., Вазюля С.В., Глуховец Д.И., Шеберстов С.В., Буренков В.И., Каралли П.Г., Юшманова А.В. // Биооптические характеристики морей, омывающих берега западной половины России, по данным спутниковых сканеров цвета 1998–2017 гг. М.: ООО “ВАШ ФОРМАТ”, 2018. 140 с.
15. Востоков С.В., Лобковский Л.И., Востокова А.С., Соловьев Д.М. Сезонная и многолетняя изменчивость фитопланктона в Черном море по данным дистанционного зондирования и контактными измерениями хлорофилла а” // Доклады РАН. Науки о Земле. 2019. № 1. С. 99–103.
16. Востокова А.С., Лобковский Л.И., Востоков С.В. Аномальные явления в развитии фитопланктона Черного моря, зафиксированные методами дистанционного зондирования // Доклады РАН. Науки о Земле. 2021. Т. 497. № 1. С. 69–73.
17. Vostokov S.V., Vostokova A.S., Vazyulya S.V. Seasonal and Long-Term Variability of Coccolithophores in the Black Sea According to Remote Sensing Data and the Results of Field Investigations // J. Mar. Sci. Eng. 2022. 10. 97.
<https://doi.org/10.3390/jmse10010097>
18. OceanColorWeb. URL:<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov>
19. 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. № 4. С. 76–85.
20. Silkin V.A., Pautova L.A., Giordano M., Chasovnikov V.K., Vostokov S.V., Podymov O.I., Pakhomova S.V., Moskalenko L.V. Drivers of phytoplankton blooms in the northeastern Black Sea // Mar. Pollut. Bull. 2019. 138. P. 274–284.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.042>

STUDY OF SEASONAL AND LONG-TERM CHLOROPHYLL VARIABILITY IN THE CASPIAN SEA BASED ON REMOTE SENSING DATA

S. V. Vostokov^{a, #}, I. V. Saling^a, A. S. Vostokova^a, A. A. Gadgiev^b, E. N. Lobachev^c,
B. Abtahi^d, and M. G. Shojaei^e

^aP.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

^bDagestan State University, Makhachkala, Russian Federation

^cCaspian Institute of Biological Resources of the Dagestan Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russian Federation

^dFaculty of Life Sciences and Biotechnology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

^eFaculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

[#]E-mail: Vostokov_S@mail.ru

Presented by Academician of the RAS L.I. Lobkovskiy August 22, 2022

The patterns of seasonal and long-term variability of phytoplankton in the Caspian Sea have been studied using SeaWiFS and MODIS-Aqua scanners. Chlorophyll “a” concentration (CHL) in the Caspian Sea were calculated by the regional algorithm developed using an array of in situ measurements in different seasons of the year. Maps of the average monthly CHL values over a twenty-two-year period and seasonal variability diagrams were constructed for the Northern, Middle and Southern Caspian Sea. The features of seasonal variability of phytoplankton are analyzed using CHL data. The fundamental differences were mentioned in seasonal variability of phytoplankton in the Northern, Caspian Middle and Southern Caspian. The regularities of the spatial dynamics of CHL throughout the Sea, resulting from seasonal succession of phytoplankton have been studied. The years with significant deviations of the seasonal dynamics of CHL from the average climatic one was identified.

Keywords: remote sensing, chlorophyll, seasonal variability, phytoplankton, Caspian Sea