

География и туризм

География және туризм

Geography and tourism

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-3-155-163.33>

МРНТИ 34.29.35

УДК 574.589

Ф. В. Сапожников¹, П. О. Завьялов², А. К. Курбаниязов*³, Н. К. Курбаниязов⁴

¹ К. б. н., ведущий научный сотрудник

(Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия; *fil_aralsky@mail.ru*)

² Д. г. н., зам.директора (Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия; *peter@ocean.ru*)

^{3*} К. г. н., профессор (Международный Казахско-Турецкий университет им. Ходжа Ахмеда Ясави,
Международный университет туризма и гостеприимства, Туркестан, Казахстан;

abylgazy.kurbanyazov@ayu.edu.kz)

⁴ Докторант (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; *tif.nur@mail.ru*)

ДРЕЙФУЮЩИЕ НИТЧАТЫЕ ВОДОРОСЛИ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ВОСТОЧНОГО КАСПИЯ КАК САМОСТОЯТЕЛЬНОЕ ВЕРХНЕПЕЛАГИЧЕСКОЕ СООБЩЕСТВО

Аннотация. Прибрежная зона Среднего Каспия в настоящее время подвергается существенным изменениям на фоне падения уровня моря. При обмелении меняется характер влияния водных потоков на донные ландшафты, в том числе усиливается воздействие штормовых волн на их поверхности, заселённые донными сообществами. Усиливается и влияние накатных и штормовых волн на донные водоросли. Ценозы донных макрофитных водорослей, ранее росшие на подводных скалах, в том числе плоских скальных платформах, которыми изобилует восточное побережье Среднего Каспия, на глубинах 10-12 м, прежде попадали под воздействие только особенно сильных штормовых волн. Теперь их местообитания оказались на существенно меньшей глубине (около 7,5-9,5 м), что привело к более частым и массовым отрывам талломов макрофитов и переносу их в пелагиаль. Массовый перенос живых талломов зелёных и красных водорослей в верхние слои водной толщи на протяжении разных сезонов года способствовал формированию сообществ нового типа, иначе структурирующих приповерхностный слой фитопелагиали. Новые ценозы представляют собой совокупность метаморфизированных талломов нитчаток с обильно разрастающимся на них микроэпифитным комплексом, живут в приповерхностном слое воды длительное время, служат кормом для пелагических рыб и оказывают существенное влияние на береговые ландшафты. Массовое развитие макрофитов на дне и их дальнейшее интенсивное развитие в пелагиали, в свою очередь, могут быть обусловлены усилением эвтрофикации прибрежной зоны в районах крупных населённых пунктов.

Ключевые слова: Каспий, падение уровня, фитобентос, макрофиты, багрянки, зелёные водоросли, фитопелагиаль, микроэпифиты, эвтрофикация.

Введение. Каспийское море меняется, и его метаморфозы, закономерным образом, по-разному сказываются в различных географических районах его акватории. Изучение экологических аспектов глобальных изменений Каспия в этих районах является важной задачей последних лет.

Когда мы говорим о фитопелагиали, то подразумеваем под этим термином совокупность сообществ живых организмов, в разной степени способных к добыче энергии для жизнеобеспечения с помощью реакций фотосинтеза, населяющих толщу воды на пространствах водоёмов самых разных типов, по аналогии с фитобенталью как совокупностью сообществ организмов того же типа, населяющих поверхность дна и приповерхностные слои его толщи.

В Среднем Каспии донные заросли макрофитов, населяющих скальные, каменистые и ракушечные грунты, сформированы зелёными и красными макрофитными водорослями с нитчатой организацией таллома [1]. При рассмотрении распределения этих макрофитов по глубинам в настоящее время необходимо принять во внимание тот непреложный факт, что Каспий мелеет [2-9]. Масштабное снижение уровня самого большого в мире озера, характеризуемого с гидрологических позиций как озеро-море, происходит начиная с 1996 года [10]. В последние 6 лет темпы снижения уровня усилились и к настоящему времени составляют до 20-30 см в год [11]. Прибрежные мелководные донные ландшафты в результате обмеления оказались под ударом: глубина в тех местах, где они находятся, стала меньше, а шторма на фоне глобальных климатических изменений учащаются и становятся сильнее [12].

Макромасштабные элементы донных ландшафтов, проявляющиеся начиная от метров и более, остаются прежними, но меняется глубина их расположения. Например, в январе 2017 г. поверхность обширной плоской подводной скалы, расположенной в прибрежной области Восточного Каспия в районе г. Актау, находилась на глубине 10 м, и уровень моря составлял -27,92 м по БС. В мае 2024 г., когда уровень понизился до -29,1 м по БС, поверхность этой скалы оказалась уже на глубине 8,82 м. При этом те нитчатые багрянки, что её населяли в мае 2024 г., уже в большей степени ощущали на себе прохождение сильных накатных штормовых волн, нежели в январе 2017 г. Если же рассматривать поверхности скал, располагавшихся в тот же период 2017 г. на глубине 3 м, то к маю 2024 г. они закономерно оказались на глубине 1,82 м – и на такой глубине воздействие шторма на макрофитобентос будет существенно более сильным. Между тем в периоды затишья между штормами нитчатки продолжают активно разрастаться на каменных поверхностях подводных ландшафтов, доступных для прикрепления их ризоидов. Но при волнениях моря, вызываемых как нагонными ветрами, так и зыбью – отголосками далёких штормов, их отрывает от таких субстратов всё чаще, поскольку глубина, на которой находятся эти субстраты, уменьшилась.

Добавим второй фактор, способствующий росту обилия нитчаток на дне и набирающий силу в последние десятилетия. Речь идёт о бытовых стоках городов и других крупных населённых пунктов, активно разрастающихся и отдающих морю всё большие объёмы сточных вод. Степень очистки этих стоков различна, однако степень развития макрофитов в прибрежной зоне свидетельствует о том, что в море поступает всё больше биогенных веществ, таких, как нитраты, нитриты и фосфаты, способствующих разрастанию тех видов нитчаток, что не особенно притязательны к чистоте окружающей среды, но при этом легко используют обильную подкормку и хорошо на ней растут.

Наши наблюдения 2018-2024 гг. показали, что за этот период в прибрежной зоне Среднего Каспия, в районах городов Актау, Форт-Шевченко, порта Ерсай и пос. Курык, сформировался новый устойчивый тип сообществ верхней фитопелагиали, представленный плавучими формами нитчаток, отрываемых с поверхности дна и морфологически меняющихся в толще воды, в совокупности с их микроэпифитными комплексами, также метаморфизирующими при переходе к обитанию в приповерхностном слое водной толщи.

Материалы и методы исследований. Исследования были проведены в три различных сезона: весной, в апреле 2023 г., осенью, в сентябре 2023 г., и летом, в июне 2024 г. Материал отбирали в прибрежной зоне Среднего Каспия, в районах г. Актау, порта Ерсай и пос. Курык – в зоне прибрежного наката. Также образцы были взяты на открытой прибрежной акватории: в черте г. Актау, на траверсе мыса Меловой (сентябрь 2023 и июнь 2024 гг.); в 16,5 км к югу от м. Меловой – в районе ЖК РИКСОС (в сентябре 2023 г.) и в районе пос. Акшукура, в 22 км к северу от мыса Меловой (в июне 2024 г.). Во всех случаях отбор проводили на расстоянии 3,5 км от берега, в области, где глубины составляли около 14-15 м. Донный грунт в этих местах был представлен плоскими каменными плитами с разреженной россыпью раковин двустворчатых моллюсков. В июне 2024 г. материал из зоны воздействия прибрежного наката был также отобран в районе пляжа г. Форт-Шевченко. На открытой акватории пробы брали с борта маломерных судов, у берега – с портовых сооружений, пирсов, волноломов и дамб строящихся марин при окружающей глубине не менее 1 м.

Образцы из приповерхностного слоя вод, с глубины около 20 см, отбирали с помощью батометра объёмом 3 л, в количестве не менее 5 батометров на точку отбора. Образцы из

приповерхностного слоя вод, с глубины около 20 см, отбирали с помощью батометра объёмом 3 л. Образцы с поверхности дна брали тралением планктонной сети Апштейна по плоским скалам на удалении от берега и соскрёбыванием макрофитов со скалистого дна краем ПЭТ-ёмкости на прибрежных глубинах до 1 м. Материал фиксировали 2%-м раствором формальдегида и сохраняли в тёмном месте до начала обработки в лаборатории ИО РАН (Москва, РФ). Структуру талломов нитчаток, их видовую принадлежность, а также состав, количественную структуру и пространственную организацию микроэпифитона на поверхности разных видов макроводорослей изучали методами световой микроскопии. Использовали микроскопы Leica DMLS, Leica DM2500 и ZEISS Primo Star на рабочих увеличениях 200, 400 и 1000. Идентификацию макрофитов проводили с помощью современных печатных и интерактивных источников [13-17]. Макроводоросли и цианобактерии из состава микроэпифитона были установлены с помощью тематических атласов и определителей, ориентированных в том числе и на Каспийское море [18-30]. Для идентификации видовой принадлежности диатомей были изготовлены постоянные препараты с использованием светопреломляющей среды «Канифоль». При уточнении современного таксономического статуса микро- и макрофитов использовали данные порталов AlgaeBase [31] и WoRMS [32]. Для описания количественного статуса макрофитов в составе микрообрастаний применяли следующие категории обилия: единично – 1-2 экземпляра вида на 5 полей зрения концентрированной пробы обрастаний при $\times 400$ (далее для того же объёма отсмотренного материала), редко – (3)5-15(18) экз., часто – (19)20 – 35(50) экз., массово с около 40-100(120) экз., доминант – от примерно 200 экз. и более. Для фотодокументирования материала использовали цифровые камеры BlackView, Canon и Leica. Оценку количественного статуса видов и пространственной организации микроэпифитона проводили по сериям цифровых снимков – 35-50 фото на препарат. Особое внимание при описании структуры микрообрастаний уделяли их ярусности и способам размещения макрофитов в их составе.

Результаты исследований. Для удобства восприятия материала мы представляем результаты анализа эпипелагических сообществ нитчаток по разным сезонам года.

Весна: апрель 2023 г. Результаты исследований, полученные совместно специалистами Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН и Международного Казахско-Турецкого университета им. Х. А. Ясави весной 2023 г., показали, что в весенний период верхнепелагические сообщества прибрежной зоны восточной части Среднего Каспия напрямую связаны в своём развитии с донными ценозами.

Обильное разрастание нитчатых красных и зелёных макрофитных водорослей происходило уже в ранневесенний период на скалистых донных грунтах на глубинах от 0 до 10-12 м.

В этот период практически все скалы и камни на дне покрывал густой «ковёр», состоящий преимущественно из крупных (до 10-15 см высотой), обильно ветвящихся талломов *Carradoriella* sp. и *Ceramium diaphanum*. В сравнительно небольших количествах присутствовали *Grania efflorescens* и *Callithamnion kirillianum*, а также зелёная нитчатка *Cladophora sericea*. Особенно мощного развития эти макрофиты достигали в черте крупных населённых пунктов, таких, как г. Актау, пос. Курык, а также вблизи портовых зон. Это связано с более высокой эвтрофикацией прибрежной зоны на таких участках. Практически ежегодно, в конце марта – начале апреля на востоке Среднего Каспия имеют место сильные шторма, достигающие мощности 5-6 баллов. Под воздействием высоких накатных волн происходит массовый отрыв талломов донных нитчатых багрянок от поверхности каменного грунта. Часть из них выносится прибоем на мелководья и ложится на песок/скалы в полосе прибоя, заполняя нижнюю часть псевдолиторали валом из гниющих красных водорослей, источающих дурной запах. Согласно нашим измерениям, сырая биомасса таких навалов, постоянно увлажняемых накатными волнами, может достигать 30-40 кг на 1 м².

В то же время большая часть оторванных со дна багрянок остаётся парить во взвешенном состоянии в толще воды, образуя в слое 2-3 м от поверхности совершенно своеобразное сообщество. Здесь слоевица нитчаток, имеющие на дне форму обильно ветвящихся кустов, метаморфизируются до общей формы, расправляя ветви радиально во всех направлениях. При этом продолжают рост и усложнение их ветвления, но расположение ветвей становится более редким на фоне общего округления объёма, занимаемого слоевищем.

Парение талломов достигается за счёт такой формы разрастания, а также за счёт обильного выделения их клетками кислорода, аккумулирующегося в виде пузырьков среди ветвей. Плотность расположения в воде парящих слоевищ постепенно увеличивается в направлении берега. На глубинах менее полуметра, особенно в полуоткрытых лагунах, формирующихся на фоне падения уровня Каспия и обнажения донных скально-каменистых ландшафтов мелководной зоны, парящие слоевища могут собираться в скопления, заполняющие практически всю толщу воды.

Весной 2023 года на фоне развития в приповерхностном слое происходило частичное обесцвечивание слоевищ. У *C. diaphanum* это было связано с удлинением прозрачных междуузлий – длинных бесхлорофильных клеток, выполняющих скелетную функцию в структуре талломов и рассеивающих приходящий солнечный свет так, чтобы он охватывал пигментированные клетки «поясков». При этом на поверхности междуузлий развивались только два вида микроэпифитов: багрянки *Acrochaetium parvulum* и прикреплённые (сидячие) диатомеи *Cocconeis scutellum*. В свою очередь, на «поясках», образуемых коровыми фотосинтезирующими клетками при их компактном расположении, обильно разрастались не только *C. scutellum* (нижний ярус), но и такие эпифитные колониальные диатомеи, как *Licmophora debilis*, *L. gracilis* (нижний приподнимающийся ярус, а также оброст тонких светорассеивающих волосков, маскирующих «пояски»), *Rhoicosphenia abbreviata* и *Pteroncola inane* (средний ярус), а также *Achnanthes brevipes*, *A. longipes* и *Grammatophora oceanica* (верхний ярус). Сравнительный анализ микроэпифитона экземпляров *C. diaphanum*, собранных на дне и в эпипелагиали, показал, что развитие микрообрастаний на коровом слое поясков происходит уже у плавучих форм этих макрофитов.

Совсем иная структура микроэпифитона была отмечена на талломах *Carradoriella* sp. – здесь в массе развивались тонкотрихомные цианобактерии *Leibleinia epiphytica*, часто встречались густые дерновинки *Lyngbya major*, диатомеи были представлены только *L. debilis*. Обесцвечивание талломов *Carradoriella* происходило за счёт обильного кущения тонких однорядных периферических ветвей (пигментированных, но рассеивающих свет), а также густого слоя бесцветных светорегулирующих волосков, кустящихся по концам этих ветвей. Развитие цианобактериального компонента происходило только на плавучих экземплярах этой нитчатки. На поверхности талломов *G. efflorescens* и *C. kirillianum* микрообрастания отмечены не были. Талломы *C. sericea* были покрыты разноплотным обростом *C. scutellum* (практически панцирным в центральной области слоевища), а также разреженными колониями бесшовных диатомей (*Stenophora* sp., *L. debilis* и *Tabularia fasciculata*).

Плотность плавучих нитчаток на глубине около 20 см составляла в этот период близи берега 1360 ± 305 г/м².

Лето: июнь 2024 г. Анализ материала, собранного на дне и в эпипелагиале в начале календарного лета, показал, что в этот период в прибрежной зоне обильно развивались в пелагиали только *Carradoriella* sp., *C. diaphanum* и *C. kirillianum*, зелёные нитчатки отсутствовали. Микроэпифитон был отмечен только на первых двух видах. На поверхности корового слоя *Carradoriella* и на междуузлиях *Ceramium* доминировала диатомея *Nitzschia pusilla*, ведущая здесь подвижный образ жизни. В свою очередь, массовый вид *Nitzschia fonticola* был представлен в виде небольших компактных колониальных поселений, одетых общей слизью, в том числе коротких лентовидных колоний. Также на обоих видах массово развивались прикреплённые *Achnantheidium* sp., *Cocconeis costata* и *C. neothumensis*, часто встречались *Cocconeis scutellum*, факультативно прикрепляющиеся к поверхности *Halamphora borealis* и *H. hybrida*, подвижная *Navicymbula pusilla*. В нижнем ярусе обильно развивалась прикреплённо трихомная цианобактерия *Leibleinia* cf. *incospicua*, ей часто сопутствовала *Leibleinia* sp. Среди диатомей в массе развивались колониальные цианобактерии *Merismopedia* cf. *punctata* и *M. glauca*. Часто встречались небольшие инициальные талломы эпифитной багрянки *Colaconema hallandicum*. В статусе редких видов были отмечены небольшие колонии *Aphanocapsa orae*, *Palmella* sp., трихомы *Phormidium* cf. *insigne*, *Leibleinia* cf. *kryloviana*, подвижные *Navicula phylleptosoma*, прикреплённые колониальные *Rhoicosphenia abbreviata*, *Licmophora* sp. и некрупные талломы *Grania efflorescens*. Всё это разнообразие микрофитов занимало, по сути, два яруса – стелящийся (он же панцирный в исполнении видов *Cocconeis*), самый нижний, и приподнимающийся, сформированный в основном *Achnantheidium*, при участии *Rhoicosphenia* и *Licmophora*.

На донных нитчатках тех же видов было отмечено только развитие колониальных поселений видов *Cocconeis* и приповерхностные сети из талломов *L. cf. incospicua*.

Плотность плавучих нитчаток на глубине около 20 см составляла в этот период близи берега 205 ± 63 г/м², на расстоянии 3,5 км от берега - 27 ± 13 г/м².

Осень: сентябрь 2023 г. В сборах из эпипелагиали присутствовали только округлившиеся формы *Carradoriella* sp., *C. diaphanum* и *C. kirillianum*. Доминировал первый вид.

Микрообрастание на междуузлиях *C. diaphanum* было представлено нижним ярусом при массовом развитии *Cocconeis costata*, *C. neothumensis* и *C. scutellum*, часто встречалась *C. hallandicum*, изредка – небольшие колонии *Rhoicosphenia abbreviata* на ветвящихся стебельках и приподнимавшиеся трихомы *Leibleinia epiphytica*. На поясках был хорошо развит верхний ярус, в структуре которого в статусе доминанта развивалась *Rh. abbreviata*, массовыми были *Achnanthes longipes* и *A. brevipes*, часто встречались *Licmophora cf. abbreviata*, *L. ehrenbergii* и разветвлённые колонии *Grammatophora oceanica*, *G. marina*, талломы *Grania efflorescens*. На обильно ветвящихся талломах *C. kirillianum* отмечали частое присутствие длинных трихомов цианобактерии *Leibleinia cf. kryloviana*, изредка встречались диатомеи *L. cf. abbreviata* и *Rhopalodia gibberula*. На поверхности талломов *Carradoriella* sp. в приподнимающемся ярусе в массе развивались цианобактерии *Leibleinia epiphytica*. Верхний ярус формировали, массово разрастаясь, обильно ветвящиеся талломы *Grania efflorescens*, часто покрытые колониями диатомеи *Tabularia fasciculata* и трихомами *L. cf. kryloviana*, лентовидными колониями *A. longipes*, а также разреженной порослью *L. cf. abbreviata* и *L. ehrenbergii* – эти же два вида местами в массе покрывали молодые ветви самого базифита. Для осеннего периода наблюдений было характерно спорадическое развитие инфузорий из рода *Vorticella* на плавучих талломах *Carradoriella* и *Ceramium*.

Микроэпифитон донных талломов *C. diaphanum* формировали только виды *Cocconeis*, а на *Carradoriella* здесь практически не было обрастаний, кроме разреженных колоний *G. oceanica* и *G. marina*.

В этот период плотность плавучих нитчаток составляла у берега 314 ± 59 г/м², а на удалении от берега в 3,5 км – 37 ± 8 г/м².

Общие наблюдения. По свидетельствам очевидцев из числа моряков яхт-клуба «Бриз» (г. Актау), постоянно наблюдающих за прибрежной акваторией в бухте у мыса Меловой, парящие нитчатки в изобилии висели в приповерхностном слое воды в последние годы ежесезонно в прибрежных водах с первой-второй декады апреля и далее на протяжении примерно двух недель. Мощность слоя выбросов в бухте у мыса Меловой достигала 20 см высотой и около 3 м шириной. В летний период плавучие талломы встречались на акватории уже в меньшем количестве, их выбросы на берег формировали полосу шириной всего около полутора метров при толщине до 5-8 см. В осеннее время распространение нитчаток у поверхности моря наблюдали также ежегодно, примерно с середины третьей декады августа. Слой выбросов багрянок, наблюдаемый нами в сентябре 2023 г. в районе порта Ерсай, достигал 30 см при ширине полосы в 1,5-3,5 м.

Заключение. Все описанные признаки, касающиеся как пространственной организации плавучих талломов самих макрофитов, так и микроэпифитона, развивающегося на их поверхности, и в немалой степени отличий по его структуре от донных форм тех же видов нитчаток, а также длительного по времени развития плавучих форм, приуроченного к определённой фенофазе в годовом цикле изменений биоты прибрежной зоны моря, позволяют выделить это верхнепелагическое сообщество как самостоятельное явление в жизни фитопелагиали Восточного Каспия.

Если говорить о казахстанском секторе Каспийского моря, то потенциальными потребителями фитомассы ценозов плавучих нитчаток, обильно развивающихся в прибрежной зоне Среднего Каспия, будут представители кефалевых, вселившиеся в озеро-море в 30-х годах XX столетия. Это *Chelon auratus* (Risso, 1810) – сингиль и *Chelon saliens* (Risso, 1810) – остронос. Взрослые кефали постоянно мигрируют у самого побережья и бывают вполне обычны в бухтах, лагунах, эстуариях и низовьях рек. Их основную пищу составляет детрит (обогащенный органическим веществом донный ил) и перифитон (растительное и животное обрастание подводного субстрата), в значительно меньшей степени – бентос.

Кефалиевые рыбы являются промысловыми видами как для российского, так и для казахстанского сектора, также их добывают и в иранских водах (поскольку кефалиевые сходятся в прибрежные воды Ирана на зимовку, и часть из них остаётся там на нерест). Ввиду трофических особенностей этих промысловых рыб описанные верхнепелагические ценозы являются ценным биоресурсом для формирования их кормовой базы.

Финансирование. Это исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (международная коллаборация, грант № AP14869522).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Степаньян О. В. Макрофитобентос Каспийского моря: разнообразие, распределение, продуктивность // *Океанология*. – 2016. – Т. 56, № 3. – С. 429-439.
- [2] Лебедев С. А., Костяной А. Г., Гинзбург А. И. Динамика Каспийского моря по данным инструментальных измерений, результатам моделирования и данным дистанционного зондирования // *Мат-лы III междунар. научно-практической конф. "Прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий"*. – Майкоп, 2015. – С. 146-179.
- [3] Лебедев С. А. Пространственная неоднородность межгодовой изменчивости уровня Каспийского моря по данным спутниковой альтиметрии // *Вестник ТвГУ. Серия "География и геоэкология"*. – 2015. – № 2. – С. 13-21.
- [4] Chen J. L., Pekker T., Wilson C. R., Tapley B. D., Kostianoy A. G., Cretaux J.-F., Safarov E. S. Longterm Caspian Sea level change // *Geophysical Research Letters*. – 2017. – Vol. 44. – P. 6993-7001. <https://doi.org/10.1002/2017GL073958>
- [5] Фролов А. В. Сценарные прогнозы колебаний уровня Каспия с учётом климатических и техногенных воздействий на водный баланс моря // *Океанологические исследования*. – 2019. – Т. 47, № 5. – С. 130-148.
- [6] Lebedev S. A., Kostianoy A. G. Investigation of seasonal and interannual variability of water exchange through the Middle Caspian based on satellite altimetry // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. – 2020. – Vol. 17, No. 6. – P. 103-109
- [7] Ginzburg A. I., Kostianoy A. G., Serykh I. V., Lebedev S. A. Climatic changes in the hydrometeorological parameters of the Caspian Sea (1980–2020) // *Current problems in remote sensing of the Earth from space*. – 2021. – 18(5). – P. 277-291 (in Russ.). <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2021-18-5-277-291>
- [8] Kostianoy A. G., Eremina T. R., Ivanov V. V., Lobanov V. B., Krovnin A. S., Amosova V. M., Afanasiev D. F., Barabanov V. V., Belousov V. N., Voloshchuk E. V., Ginzburg A. I., Gordeeva S. M., Dolgov A. V., Zhukova S. V., Zezera A. S., Zuenko Yu. I., Lardygina E. G., Lebedev S. A., Luchin V. A., Mezentseva L. I., Mikhailova A. V., Razinkov V. P., Rostov I. D., Serykh I. V., Trusenkova O. O., Ustinova E. I., Khen G. V. Marine natural systems // *The third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation* / Ed. V. M. Kattsov; Roshydromet. – St. Petersburg: Science-intensive technologies, 2022. – P. 192-238 (in Russ.).
- [9] Kruglova E., Myslenkov S. Influence of long-term wind variability on the storm activity in the Caspian Sea // *Water*. – 2023. – No. 15. – P. 21-25. <https://doi.org/10.3390/w15112125>
- [10] Ермаков В. Б. Многолетние изменения уровня Каспийского моря и современные варианты их прогнозирования // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. – 2023. – № 87(6). – С. 930-940. <https://doi.org/10.31857/S2587556623060067>. EDN: EGCZBH
- [11] Chen J., Cazenave A., Wang S.-Y., Li J. Caspian Sea Level Change Observed by Satellite Altimetry. *Remote Sensing*. – 2023. – No. 15(3). – P. 703. <https://doi.org/10.3390/rs15030703>
- [12] Pavlova A., Myslenkov S., Arkhipkin V., Surkova G. Storm Surges and Extreme Wind Waves in the Caspian Sea in the Present and Future Climate // *Civil Engineering Journal*. – 2022. – Vol. 8, No. 11. – P. 2353-2377. DOI: 10.28991/CEJ-2022-08-11-01
- [13] Зинова А.Д. Определитель зеленых, бурых и красных водорослей южных морей СССР. – М.-Л.: Наука, 1967. – 398 с.
- [14] Зинова А.Д., Забержинская Э.Б. Новые для Каспийского моря виды водорослей // *Новости систематики низших растений*. – 1965. – С. 97-100.
- [15] Зинова А.Д., Забержинская Э.Б. Новые виды красных водорослей из Каспийского моря // *Новостисистематики низших растений*. – 1968. – С. 28-33.
- [16] Блинова Е.И. Водоросли-макрофиты и травы морей европейской части России. – М.: Изд-во ВНИРО, 2007. – 114 с.
- [17] Verlaque M., Ruitton S., Mineur F., Boudouresque C.F. CIESM atlas of exotic species in the Mediterranean. – Macrophytes. CIESM, Monaco, 2015. – 362 p.
- [18] Komárek J., Anagnostidis K. Modern approach to the classification system of the cyanophytes 4 // *Nostocales*. *Algol. Stud.* – 1989. – No. 56. – P. 247-345.
- [19] Komárek J., Anagnostidis K., Ettl H., Gärtner G., Heynig H., Mollenhauer D. Cyanoprokaryota 1. Chroococcales // *Ed. Süßwasserflora von Mitteleuropa*, 1998. – No. 19/1. – 548 p.
- [20] Komárek J., Anagnostidis K., Büdel B., Krienitz L., Gärtner G., Schagerl M. Cyanoprokaryota. 2. Oscillatoriales // *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. – 2005. – No. 19/2. – 759 p.
- [21] Komárek J., Büdel B., Gärtner G., Krienitz L., Schagerl M. Cyanoprokaryota: 3rd Part: Heterocystous Genera // *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, Bd. 19 (3), Springer Spektrum. Berlin: Heidelberg, 2013. – 1130 p.
- [22] Witkowski A., Lange-Bertalot H., Metzeltin D. Diatom Flora of Marine Coasts I *Iconographia Diatomologica*. – 2000. – No. 7. – 925 p.

- [23] Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae 4. Teil: Achnantheaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae), Gomphonema Gesamtliteraturverzeichnis Teil 1-4 [second revised edition]. – Suesswasserflora von Mitteleuropa. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, 2004. – 468 p.
- [24] Spaulding S., Edlund M. Navicula. In: Diatoms of North America [Electron. resource]. – 2008a. – URL: <https://diatoms.org/genera/navicula> (date of circulation: 05.06.2023).
- [25] Spaulding S., Edlund M. Mastogloia. In: Diatoms of North America [Electron. resource]. – 2008. – URL: <https://diatoms.org/genera/mastogloia> (date of circulation: 05.06.2023).
- [26] Spaulding S., Edlund M. Navicymbula. In: Diatoms of North America [Electron. resource]. – 2008. – URL: <https://diatoms.org/genera/navicymbula> (date of circulation: 05.06.2023).
- [27] Spaulding S., Edlund M. Nitzschia. Diatoms of North America [Electron. resource]. – 2008d. – URL: <https://diatoms.org/genera/nitzschia> (date of circulation: 05.06.2023).
- [28] Spaulding S. Halamphora. Diatoms of North America. America [Electron. resource]. – 2011. – URL: <https://diatoms.org/genera/halamphora> (date of circulation: 05.06.2023).
- [29] Spaulding S. Amphora. Diatoms of North America [Electron. resource]. – 2011b. – URL: <https://diatoms.org/genera/amphora> (date of circulation: 05.06.2023).
- [30] Kulikovskiy M. S., Glushchenko A. M., Genkal S. I., Kuznetsov I. V., Dorofeyuk N. I., Papanin I. D. Identification book of diatoms from Russia. – Yaroslavl: Filigran, 2016. – 803 p. (in Russ.).
- [31] Guiry M. D., Guiry G. M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway [Electron. resource]. – 2022. – URL: <https://www.algaebase.org> (date of circulation: 13.06.2024).
- [32] WoRMS Editorial Board World Register of Marine Species [Electron. resource]. – 2023. – URL: <https://www.marinespecies.org> <https://doi.org/10.14284/170> (date of circulation: 13.06.2024).

REFERENCES

- [1] Stepanyan O. V. Macrophytobenthos of the Caspian Sea: diversity, distribution, productivity // *Oceanology*. 2016. Vol. 56, No. 3. P. 429-439 (in Russ.).
- [2] Lebedev S. A., Kostyanov A. G., Ginzburg A. I. Dynamics of the Caspian Sea based on instrumental measurements, modeling results and remote sensing data // Proc. III int. scientific-practical conf. "Applied aspects of geology, geophysics and geoecology using modern information technologies", Maikop, 2015. P. 146-179 (in Russ.).
- [3] Lebedev S. A. Spatial heterogeneity of interannual variability of the Caspian Sea level based on satellite altimetry data // *Bulletin of Tver State University. Series "Geography and Geoecology"*. 2015. No. 2. P. 13-21 (in Russ.).
- [4] Chen J. L., Pekker T., Wilson C. R., Tapley B. D., Kostianov A. G., Cretaux J.-F., Safarov E. S. Longterm Caspian Sea level change // *Geophysical Research Letters*. 2017. Vol. 44. P. 6993-7001. <https://doi.org/10.1002/2017GL073958>
- [5] Frolov A. V. Scenario forecasts of Caspian Sea level fluctuations taking into account climatic and anthropogenic impacts on the water balance of the sea // *Oceanological research*. 2019. Vol. 47, No. 5. P. 130-148 (in Russ.).
- [6] Lebedev S. A., Kostianov A. G. Investigation of seasonal and interannual variability of water exchange through the Middle Caspian based on satellite altimetry // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2020. Vol. 17, No. 6. P. 103-109.
- [7] Ginzburg A. I., Kostianov A. G., Serykh I. V., Lebedev S. A. Climatic changes in the hydrometeorological parameters of the Caspian Sea (1980–2020) // *Current problems in remote sensing of the Earth from space*. 2021. No. 18(5). P. 277-291. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2021-18-5-277-291> (in Russ.).
- [8] Kostianov A. G., Eremina T. R., Ivanov V. V., Lobanov V. B., Krovnin A. S., Amosova V. M., Afanasiev D. F., Barabanov V. V., Belousov V. N., Voloshchuk E. V., Ginzburg A. I., Gordeeva S. M., Dolgov A. V., Zhukova S. V., Zezera A. S., Zuenko Yu. I., Lardygina E. G., Lebedev S. A., Luchin V. A., Mezentseva L. I., Mikhailova A. V., Razinkov V. P., Rostov I. D., Serykh I. V., Trusenkov O. O., Ustinova E. I., Khen G. V. Marine natural systems. The third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation / Ed. V. M. Kattsov; Roshydromet. St. Petersburg: Science-intensive technologies, 2022. P. 192-238 (in Russ.).
- [9] Kruglova E., Myslenkov S. Influence of long-term wind variability on the storm activity in the Caspian Sea // *Water*. 2023. No. 15. P. 21-25. <https://doi.org/10.3390/w15112125>
- [10] Ermakov V. B. Long-term changes in the Caspian Sea level and modern options for their forecasting // *Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series*. 2023. No. 87(6). P. 930-940. <https://doi.org/10.31857/S2587556623060067>. EDN: EGCZBH (in Russ.).
- [11] Chen J., Cazenave A., Wang S.-Y., Li J. Caspian Sea Level Change Observed by Satellite Altimetry // *Remote Sensing*. 2023. No. 15(3). P. 703. <https://doi.org/10.3390/rs15030703>
- [12] Pavlova A., Myslenkov S., Arkhipkin V., Surkova G. Storm Surges and Extreme Wind Waves in the Caspian Sea in the Present and Future Climate // *Civil Engineering Journal*. 2022. Vol. 8, No 11. P. 2353-2377. DOI: 10.28991/CEJ-2022-08-11-01
- [13] Zinova A. D. Identifier of green, brown and red algae of the southern seas of the USSR. M.-L.: Nauka, 1967. 398 p. (in Russ.).
- [14] Zinova A. D., Zaberzhinskaya E. B. New algae species for the Caspian Sea // *News of taxonomy of lower plants*. 1965. P. 97-100 (in Russ.).
- [15] Zinova A. D., Zaberzhinskaya E. B. New species of red algae from the Caspian Sea // *News of taxonomy of lower plants*. 1968. P. 28-33 (in Russ.).
- [16] Blinova E. I. Macrophyte algae and herbs of the seas of the European part of Russia. M.: 2007. 114 p. (in Russ.).

- [17] Verlaque M., Ruitton S., Mineur F., Boudouresque C.F. CIESM atlas of exotic species in the Mediterranean. Macrophytes. CIESM, Monaco, 2015. 362 p.
- [18] Komárek J., Anagnostidis K. Modern approach to the classification system of the cyanophytes 4 // Nostocales. *Algol. Stud.* 1989. No. 56. P. 247-345.
- [19] Komárek J., Anagnostidis K., Ettl H., Gärtner G., Heynig H., Mollenhauer D. Cyanoprocaryota 1. Chroococcales / Ed. Süßwasserflora von Mitteleuropa, 1998. No. 19/1. 548 p.
- [20] Komárek J., Anagnostidis K., Büdel B., Krienitz L., Gärtner G., Schagerl M. Cyanoprocaryota. 2. Oscillatoriales // Süßwasserflora von Mitteleuropa. 2005. Np. 19/2. 759 p.
- [21] Komárek J., Büdel B., Gärtner G., Krienitz L., Schagerl M. Cyanoprocaryota: 3rd Part: Heterocystous Genera // Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd. 19 (3), Springer Spektrum. Berlin: Heidelberg, 2013. 1130 p.
- [22] Witkowski A., Lange-Bertalot H., Metzeltin D. Diatom Flora of Marine Coasts I Iconographia Diatomologica. 2000. No. 7. 925 p.
- [23] Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae 4. Teil: Achnanthaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae), Gomphonema Gesamtliteraturverzeichnis Teil 1-4 [second revised edition]. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, 2004. 468 p.
- [24] Spaulding S., Edlund M. Navicula. In: Diatoms of North America [Electron. resource]. 2008a. URL: <https://diatoms.org/genera/navicula> (date of circulation: 05.06.2023).
- [25] Spaulding S., Edlund M. Mastogloia. In: Diatoms of North America [Electron. resource]. 2008. URL: <https://diatoms.org/genera/mastogloia> (date of circulation: 05.06.2023).
- [26] Spaulding S., Edlund M. Navicymbula. In: Diatoms of North America [Electron. resource]. 2008. URL: <https://diatoms.org/genera/navicymbula> (date of circulation: 05.06.2023).
- [27] Spaulding S., Edlund M. Nitzschia. Diatoms of North America [Electron. resource]. 2008d. URL: <https://diatoms.org/genera/nitzschia> (date of circulation: 05.06.2023).
- [28] Spaulding S. Halamphora. Diatoms of North America. America [Electron. resource]. 2011. URL: <https://diatoms.org/genera/halamphora> (date of circulation: 05.06.2023).
- [29] Spaulding S. Amphora. Diatoms of North America [Electron. resource]. 2011b. URL: <https://diatoms.org/genera/amphora> (date of circulation: 05.06.2023).
- [30] Kulikovskiy M.S., Glushchenko A.M., Genkal S.I., Kuznetsov I.V., Dorofeyuk N.I., Papanin I.D. Identification book of diatoms from Russia. Yaroslavl: Filigran, 2016. 803 p. (in Russ.).
- [31] Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway [Electron. resource], 2022. URL: <https://www.algaebase.org> (date of circulation: 13.06.2024).
- [32] WoRMS Editorial Board World Register of Marine Species [Electron. resource]. 2023. URL: <https://www.marinespecies.org> <https://doi.org/10.14284/170> (date of circulation: 13.06.2024).

Ф. В. Сапожников¹, П. О. Завьялов², А. К. Курбаниязов^{*3}, Н. К. Курбаниязов⁴

¹ Б. ғ. к., жетек. ғ. қ. (РФА П. П. Шыршов атындағы Океанология институты, Мәскеу, Ресей; fil_aralsky@mail.ru)

² Г. ғ. д., директордың орынбасары (РФА П. П. Шыршов атындағы Океанология институты, Мәскеу, Ресей; peter@ocean.ru)

^{3*} Г. ғ. к., профессор (Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық Қазақ-Түрік университеті Халықаралық туризм және меймандостық университеті, Түркістан, Қазақстан; abylgazy.kurbanyazov@ayu.edu.kz)

⁴ Докторант (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; tif.nur@mail.ru)

ШЫҒЫС КАСПИЙДІҢ ЖАҒАЛАУ АЙМАҒЫНДАҒЫ ДРЕЙФТІ ЖІП ТӘРІЗДІ БАЛДЫРЛАР ДЕРБЕС ЖОҒАРҒЫ ПЕЛАГИЯЛЫҚ ҚАУЫМДАСТЫҚ РЕТІНДЕ

Аннотация. Орта Каспийдің жағалау аймағы қазіргі уақытта теңіз деңгейінің төмендеуіне байланысты айтарлықтай өзгерістерге ұшырауда. Таяздау кезінде су ағындарының түпкі ландшафттарға әсер ету сипаты өзгереді, оның ішінде дауыл толқындарының олардың түбіндегі қауымдастықтар мекендейтін беттеріне әсерінің күшеюі. Домалау және дауыл толқындарының түбі балдырларға әсері де артып келеді. Бұрын Орта Каспий теңізінің шығыс жағалауында 10-12 м тереңдікте көптеп таралған жазық жартасты платформаларды қоса алғанда, су астындағы жыныстарда өскен түбі макрофиттік балдырлардың сеноздары бұрын тек ерекше күшті дауыл толқындарына ұшыраған. Қазір олардың мекендейтін жерлері айтарлықтай таяз тереңдікте (шамамен 7,5-9,5 м) орналасқан, бұл макрофит талломдарының жиі және жаппай бөлінуіне және олардың пелагикалық аймаққа көшуіне әкелді. Жылдың әр мезгілінде жасыл және қызыл балдырлардың тірі талломдарының су бағанының жоғарғы қабаттарына жаппай көшуі фитопелагиялық аймақтың жер бетіне жақын қабатын әртүрлі құрылымдайтын қауымдастықтың жаңа типінің қалыптасуына әкелді. Жаңа сеноздар – оларда мол өсетін микроэпифитті комплексі бар метаморфизмге ұшыраған жіп тәрізді талломдар жиынтығы, олар судың жер бетіне жақын қабатында ұзақ уақыт өмір сүреді, пелагикалық балықтарға қорек болады және

жағалаудағы ландшафттарға айтарлықтай әсер етеді. Төменгі жағында макрофиттердің жаппай дамуы және олардың пелагикалық аймақта одан әрі қарқынды дамуы, өз кезегінде, ірі елді мекендердің аудандарында жағалау аймағының эвтрофикациясының күшеюіне байланысты болуы мүмкін.

Түйін сөздер: Каспий теңізі, деңгейдің төмендеуі, фитобентос, макрофиттер, күлгін балдырлар, жасыл балдырлар, фитопелагиялық, микроэпифиттер, эвтрофикация.

F. V. Sapozhnikov¹, P. O. Zavyalov², A. K. Kurbaniyazov^{*3}, N. K. Kurbaniyazov⁴

¹ PhD, Leading Researcher (P. P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian; *fil_aralsky@mail.ru*)

² Doctor of Geographical Sciences, Deputy Director (P. P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian; *peter@ocean.ru*)

^{3*} PhD, Professor (International Kazakh-Turkish University named after Khoja Ahmed Yasawi, International University of Tourism and Hospitality, Turkestan, Kazakhstan; *abylgazy.kurbanyazov@ayu.edu.kz*)

⁴ Doctoral student (al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; *tif.nur@mail.ru*)

DRIFTING FILAMENTOUS ALGAE IN THE COASTAL ZONE OF THE EASTERN CASPIAN SEA AS AN INDEPENDENT UPPER PELAGIC COMMUNITY

Abstract. The coastal zone of the Middle Caspian is currently undergoing significant changes due to falling sea levels. With shallowing, the nature of the influence of water flows on bottom landscapes changes, including the intensification of the impact of storm waves on their surfaces inhabited by bottom communities. The impact of rolling and storm waves on bottom algae is also increasing. Cenoses of bottom macrophyte algae, which was previously growing on underwater rocks, including flat rock platforms, which abound along the eastern coast of the Middle Caspian, at depths of 10-12 m, were previously affected only by particularly strong storm waves. Now their habitats are at a significantly shallower depth (about 7.5-9.5 m), which led to more frequent and massive detachments of macrophyte thalli and their transfer to the pelagic zone. Mass transfer of living thalli of green and red algae to the upper layers of the water column during different seasons of the year led to the formation of communities of a new type, differently structuring the surface layer of the phytopelagic zone. New cenoses are a set of metamorphosed thalli of filamentous algae with a microepiphytic complex abundantly growing on them, live in the surface layer of water for a long time, serve as food for pelagic fish and have a significant impact on coastal landscapes. Mass development of macrophytes on the bottom, and their further intensive development in the pelagic zone, in turn, can be caused by increased eutrophication of the coastal zone in areas of large settlements.

Keywords: Caspian Sea, water level drop, phytobenthos, macrophytes, red algae, green algae, phytopelagic, microepiphytes, eutrophication.