

DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2021-3-53-63>

УДК 551.589

Метеорологические условия формирования экстремального понижения уровня в северо-восточной части Каспийского моря в апреле 2019 года

М.Д. Стамбеков

*Казахский Национальный университет имени аль-Фараби,
Алматы, Казахстан
stambekovmuhtar@gmail.com*

Рассмотрены и проанализированы циркуляционные процессы в атмосфере, приведшие в апреле 2019 года к экстремальному понижению уровня в районе шельфового нефтяного месторождения Кашаган, расположенного в северо-восточной части Каспийского моря. Установлено, что увеличение градиентов давления и ветра в районе Северного Каспия привело к возникновению комплекса связанных друг с другом опасных явлений погоды. В районе месторождения Кашаган было зафиксировано экстремальное понижение уровня, вызванное сгоном воды сильным ветром. За холодным фронтом произошла адвекция холода, вызвав резкое падение температуры воздуха на 13 °С. На фоне большого контраста температур и высокой относительной влажности выпало аномальное количество осадков в количестве 33 мм за двое суток.

Ключевые слова: уровень воды, опасные явления погоды, сгон воды, северо-восточная часть Каспийского моря.

Meteorological conditions of extreme low water level in the northeastern part of the Caspian Sea in April 2019

M.D. Stambekov

*Al Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
stambekovmuhtar@gmail.com*

Atmospheric circulation processes that caused an extreme sea level drop in the area of the Kashagan offshore oil field in the northeastern part of the Caspian Sea in April 2019 are reviewed and analyzed. It is found that an increase in pressure and wind gradients over the Northern Caspian region led to the occurrence of the set of severe weather events related to each other. An extreme sea level drop caused by the downsurge driven by strong wind was recorded in the area of the Kashagan oil field. Behind the cold front, the cold advection occurred, causing a dramatic air temperature drop by 13 °C. A high temperature contrast and high relative humidity led to the abnormal amount of precipitation of 33 mm per two days.

Keywords: water level, severe weather events, downsurge, northeastern part of the Caspian Sea

Введение

Каспийское море – специфический водоем, не имеющий аналогов в мире по биологическому разнообразию флоры и фауны. Социально-экономическое, производственное и хозяйственное развитие в прибрежной полосе моря связано с колебаниями его уровня. Изменение уровня моря непосредственно сказывается на рациональном использовании природного потенциала, в частности земельных, рыбных, рекреационных и ресурсов нефти и газа. В связи с этим, исследование причин межсезонных и межгодовых колебаний уровня Каспийского моря является актуальной проблемой [12].

Долгосрочный прогноз уровня Каспийского моря напрямую связан с разработкой прогноза климата, что до сих пор остается одной из сложнейших проблем [7, 16].

Каспийское море находится в зоне влияния различных типов циркуляции атмосферы: влажных воздушных масс, формирующихся над Северной Атлантикой, сухих континентальных воздушных масс, формирующихся над восточными районами России и Казахстана, теплых субтропических масс воздуха, приходящих со Средиземного моря и Малой Азии, а также воздушных масс, непосредственно формирующихся над Каспийским морем. Все эти типы циркуляции непрерывно меняются и, взаимодействуя друг с другом, создают стохастический (вероятностный) характер изменчивости погоды. Влияние циркуляции атмосферы оказывается на всех процессах, которые определяют колебания уровня Каспийского моря (сток рек, испарение, осадки и др.).

Особенности возникновения и развития сгонно-нагонных колебаний уровня моря (штормовых нагонов и сгонов) на Каспии исследовались многими авторами [1, 8, 14]. Главными характеристиками штормовых сгонов и нагонов являются даты начала и окончания явления, высота подъема и спада уровня воды, масштаб распространения. Штормовой сгон или нагон часто определяется как разность между наблюдаемым уровнем и уровнем, который мог бы быть в отсутствии шторма. При штормовом нагоне эта разность положительна, при сгоне – отрицательна.

Штормовой нагон генерируется частично в результате изменения атмосферного давления и непосредственного воздействия ветра. Физический механизм формирования сгонно-нагонных колебаний уровня определяется воздействием нормальных и тангенциальных сил ветра и атмосферного давления на водную поверхность моря, в результате чего осуществляется перераспределение водных масс внутри водоема.

Аномальные колебания уровня Каспийского моря прежде всего влияют на гидрологические, морфометрические и гидрохимические характеристики мелководной северо-восточной части, примыкающей к берегам Казахстана, где даже небольшие колебания уровня приводят к затоплению или осушению обширных территорий [15]. Ввиду малых уклонов дна северо-восточной части Каспийского моря и прилегающей

суши, при небольших колебаниях уровня моря происходит значительное изменение береговой линии [11].

К примеру, при сгоне ширина зон осушения в некоторых районах может достигать 10–12 км, а зон затопления при нагонных явлениях – 30–35 км, нанося огромный ущерб экосистемам, хозяйственным объектами и инфраструктуре. Особенно четко колебания уровня моря проявляются на низменных участках, они трансформируют береговые линии и влияют на экзогенные процессы. При повышении уровня моря формируются новые береговые и подводные аккумулятивные формы, размываются крутые берега и ранее образованные береговые формы. При понижении уровня моря наблюдаются обратные процессы, которые сопровождаются образованием и дальнейшим распространением пляжей у берегов и островов за счет донных отвалов [13].

Большую часть побережья северо-восточного Каспия занимают морские, реже аллювиально-морские равнины, плоские или слабо расчлененные сорами (разновидностью солончаков, характерных для Центральной Азии), лиманами и временными водотоками, с относительными превышениями в среднем 1–3 м и незначительными уклонами. Значительное влияние колебания уровня моря оказывают на пустынные ландшафты низменных (относительно опущенных) равнин [9], так как ландшафты относительно приподнятых равнин (слабоволнистых, высотой до 20 м) расположены в условиях относительно глубокого залегания грунтовых вод (более 15 м) и не подвергаются периодическому влиянию сгонно-нагонных процессов.

С начала проведения инструментальных наблюдений уровень Каспийского моря колебался в среднем около отметки -25,8 м. В прошлом столетии уровень Каспийского моря почти до конца 70-х годов в основном понижался. Общее непрерывное понижение уровня, которое наблюдалось в 1930–1977 гг., составило 3,2 м со средней интенсивностью падения около 4 см в год.

В 1977 г. уровень моря достиг самой минимальной отметки за период наблюдений – -29,01 м. Понижение уровня вызвало существенные трудности в работе портов Каспийского побережья и значительно ухудшило условия судоходства, особенно в Северном Каспии. Возникло переформирование берегов и опустынивание части территории, что в свою очередь вызвало снижение уровня грунтовых вод. Увеличилась соленость вод Северного Каспия, которая повлияла на состояние кормовой базы полупроходных и осетровых рыб, что впоследствии привело к снижению биомассы большинства донных организмов. К основным факторам, обуславливающим это понижение, относят изменения климата и антропогенная деятельность человека в бассейне реки Волги [3–7].

В 1978 г. началось интенсивное повышение уровня Каспийского моря, которое продолжалось в течение 18 лет. За это время уровень моря увеличился на 2,5 м и к 1995 г. достиг отметки -26,62 м. Средняя

интенсивность подъема уровня за этот период составила около 14 см в год, а в отдельные годы до 36 см. Подъем уровня привел к еще большим негативным последствиям, так как и хозяйство, и население прибрежных районов уже приспособились к низкому уровню. В результате подъема фонового уровня воды и затопления большой территории побережья изменились гидрологические условия и в прибрежной зоне казахстанской части Северного Каспия. Подверглась значительному затоплению территория от села Курмангазы до поселка Жанбай.

Начиная с 2006 г. уровень Каспийского моря имеет тенденцию к снижению. В 2018 г. среднегодовой уровень моря достиг отметки -28,01 м, а в некоторые месяцы его отметки были ниже среднегодового на 20 см.

Анализ каталога сгонно-нагонных явлений [2], разработанного в управлении гидрометеорологических исследований Каспийского моря РГП «Казгидромет», позволил сделать вывод о том, что за последние 10 лет количество нагонов в северо-восточной части Каспийского моря значительно уменьшилось, а сгонов – увеличилось. Количество экстремальных сгонно-нагонных явлений увеличилось в весенний период.

Необходимо отметить, что в северной части Каспийского моря наблюдаются наибольшие по величине сгоны, однако они изучены слабо. Главной причиной этого является чрезвычайная отмелость берегов в этом районе: при сгонах образуется осушка, вода может уходить от водомерного поста на несколько километров в сторону моря, и при сильных сгонах взять отсчет по рейке невозможно.

Северо-Каспийский проект (NCOC) – это первый крупномасштабный проект освоения морских нефтегазовых месторождений в Казахстане. Он включает в себя пять месторождений, такие как Кашаган, Каламкас, Кайран, Актоты и Юго-Западный Кашаган [10].

Кашаган – самое крупное шельфовое нефтегазовое месторождение Казахстана, расположенное в 80 км от города Атырау в северо-восточной части Каспийского моря, занимающее площадь на поверхности 75 на 45 км. Коллектор морского месторождения залегает на глубине порядка 4000–4200 м ниже дна моря в шельфовой зоне.

Исходные данные и методы

Оценка структуры формирования сгонов, необходимая для разработки методов их прогнозирования, невозможна без активного изучения атмосферных процессов. В связи с этим, автором была поставлена задача исследования синоптических процессов над Европейской территорией России, Каспийским морем и Западной Сибирью, обусловивших экстремальное падение уровня воды в мелководной северо-восточной части Каспийского моря.

Для шельфа непривливногo Каспийского моря основным видом колебаний уровня воды являются сгонно-нагонные явления, при которых

за короткий промежуток времени (обычно от нескольких часов до нескольких суток) уровень может измениться на 1,5–3 м.

Опасные явления погоды могут наблюдаться отдельно, а в некоторых случаях могут быть причиной возникновения других опасных явлений. Усиление градиентов давления и ветра в районе Северного Каспия 17 апреля 2019 года привело к возникновению целого комплекса связанных друг с другом опасных явлений погоды. В районе месторождения Кашаган было зафиксировано экстремальное понижение уровня воды, вызванное штормовым северо-восточным ветром (более 24 м/с). За холодным фронтом произошла адвекция холода, вызвав резкое падение температуры воздуха на 13 °С.

Исходной информацией для исследования послужили карты приземного анализа погоды, высотные карты барической топографии АТ500, прогностические и фактические данные уровня воды по модели MIKE Датского гидравлического института (ДНИ), скорости и направления ветра по модели GFS Национального управления океанических и атмосферных исследований США, температуры поверхности моря в районе Кашагана, а также вертикальные профили ветра (по аэрологической диаграмме), карты осадков и минимальных температур.

Результаты и их обсуждение

Для северо-восточной части моря большую часть года характерно преобладание ветров восточных и северо-восточных направлений со скоростями до 10 м/с (более 60 % случаев). Наибольшая повторяемость штормовых ветров наблюдается в направлении с северо-востока на юго-запад.

Сгонно-нагонные колебания уровня моря в северо-восточном Каспии довольно частое явление. В среднем за месяц происходит 3–5 нагонов и 5–6 сгонов воды различной интенсивности. Ниже рассмотрено сгонное явление, наблюдавшееся в северо-восточной части Каспия 18 апреля 2019 года.

На рис. 1а–г представлены карты приземного анализа за 17–18 апреля 2019 года (00 и 12 ч ВСВ).

На приземных картах 17 апреля над ЕТР, Северной Европой и Скандинавией преобладал мощный антициклон с двумя ярко выраженными центрами, одним над Швецией и вторым над Ленинградской и Московской областями. Глубокий циклон распространялся над Западной Сибирью с центром над Сибирской равниной, смещаясь в восточном направлении. В ложбине над севером Ирака к 00 ч ВСВ образовался циклон, который, быстро двигаясь на северо-восток, к 12 ч ВСВ достиг средней и южной части Каспийского моря. Фронтальная ложбина проходила над северо-востоком Каспия по направлению с северо-запада на юго-восток. Над Кашаганом в теплом секторе в течение дня наблюдалась дымка и низкая облачность, сменившиеся на ливневый дождь в вечернее время.

На следующий день отрог мощного антициклона с центром над Швецией вытягивался на юго-восток к северному и центральному Казахстану через ЕТР и Уральские горы. Центр низкого давления сместился восточнее к центральному Туркменистану, в то же время в ложбине над северо-восточным Каспием в зоне сильного сгущения градиентов северовосточный ветер достиг штормовой силы (24 м/с с порывами до 29 м/с), мокрый снег в Кашагане, наблюдавшийся в ночное время, сменился ливневым дождем днем (33 мм за 48 часов).

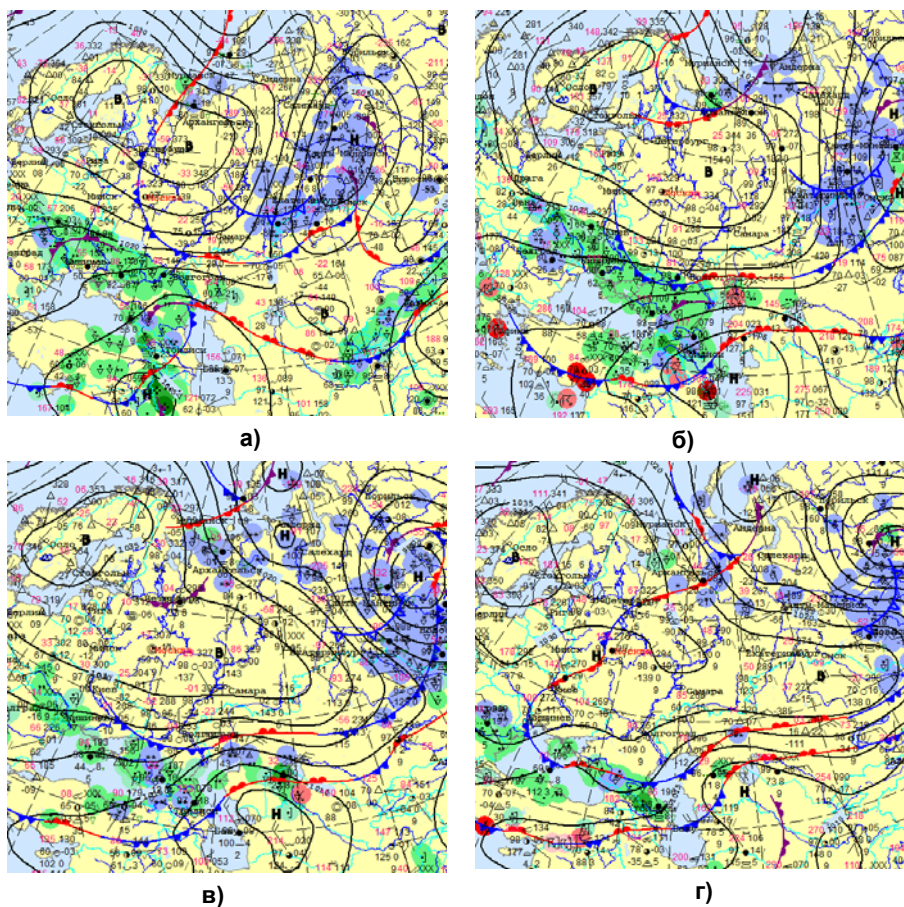


Рис. 1. Приземные карты погоды: 00 ч ВСУ 17.04.2019 г. (а); 12 ч ВСУ 17.04.2019 г. (б); 00 ч ВСУ 18.04.2019 г. (в); 12 ч ВСУ 18.04.2019 г. (г).
Fig. 1. Surface maps of 00 UTC 17.04.2019 (a); 12 UTC 17.04.2019 (б); 00 UTC 18.04.2019 (в); 12 UTC 18.04.2019 (г).

На картах АТ500 (рис. 2) обширная область высокого давления находилась над Скандинавией и Балтийским морем, вытягивая отрог на юго-восток через ЕТР к нижнему течению Волги. Между тем глубокая область

низкого давления над Западной Сибирью смещалась медленно на северо-восток вместе с глубоко вытянутой ложбиной, направленной на северную часть Каспийского моря. Северное вторжение обусловило распространение холодных воздушных масс с Белого моря и Новой Земли через ЕТР на Северный Каспий.

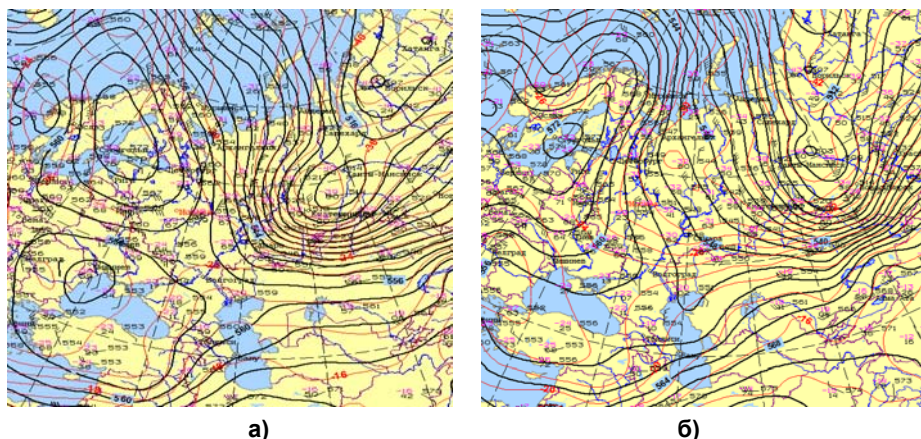


Рис. 2. Высотные карты АТ500: 00 ч ВСВ 17.04.2019 г. (а); 00 ч ВСВ 18.04.2019 г. (б).

Fig. 2. Upper-level maps of 00 UTC 17.04.2019 (a); 00 UTC 18.04.2019 (b).

Следует отметить, что в компании ВМТ Argoss была заблаговременно оценена синоптическая ситуация и выпущены штормовые предупреждения (таблица), где dd и ff – направление и скорость ветра, T_a и T_s – температуры воздуха и воды, ΔH – изменение уровня.

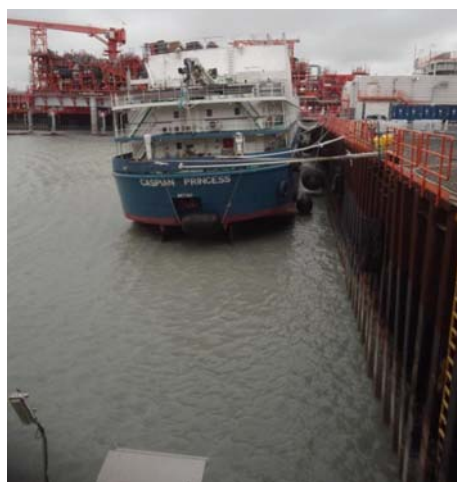
В Кашагане по данным аэрологической диаграммы на протяжении двух суток влажный воздух находился между высотой 200 гПа и земной поверхностью. Ветер восточного направления 17 апреля сменился на устойчивый северо-восточный со второй половины дня (16–18 м/с), превысив критерий опасного явления для ветра (по положению РГП Казгидромет), достигнув максимальной скорости в нижних слоях в ночное время (24 м/с с порывами до 29 м/с), постепенно начав уменьшаться в течение дня и к вечеру.

Сгон воды в районе шельфового месторождения начался 17 апреля, критическое значение (-2,3 м относительно среднего фонового уровня) зафиксировано в полдень 18 апреля. В результате адвекции холода за холодным фронтом, штормового северо-восточного ветра и ночного выхолаживания началось быстрое падение уровня моря (на 1,7 м за 24 часа), резкое понижение температуры воздуха, которое за сутки составило 16,2 °C (с +15 °C до -1,2 °C), и температуры моря на 14 °C (с +15 °C до +1 °C). На рис. 3 видно влияние экстремально низкого уровня воды на положение судов в Кашагане.

Таблица. Фактические данные измерений в Кашагане и прогностические данные по моделям GFS и MIKE

Table. Actual data from sensors in Kashagan and forecast data by using GFS and MIKE models

Время, ч ВСВ	dd, румбы		ff, м/с		Ta, °C		Ts, °C		ΔH, м	
	Факт.	Прогн.	Факт.	Прогн.	Факт.	Прогн.	Факт.	Прогн.	Факт.	Прогн.
17.04.2021										
00	90	95	10	9	+15	+14	+14	+13	-0,3	-0,4
03	88	90	10	11	+15	+14	+14	+13	-0,3	-0,3
06	84	85	12	11	+14	+13	+13	+12	-0,3	-0,3
09	86	85	12	13	+14	+12	+12	+11	-0,4	-0,5
12	75	75	12	14	+12	+12	+12	+11	-0,4	-0,5
15	68	70	15	14	+11	+10	+10	+9	-0,5	-0,7
18	50	55	16	16	+10	+9	+8	+9	-0,6	-0,7
21	47	45	18	19	+9	+9	+8	+8	-0,7	-0,8
18.04.2021										
00	45	45	20	20	+8	+7	+6	+7	-1,2	-1,1
03	44	45	24	25	+6	+6	+6	+6	-1,4	-1,4
06	45	45	22	23	+4	+3	+4	+4	-1,7	-1,6
09	46	45	18	20	+1	+2	+1	+2	-2,0	-2,1
12	47	50	15	16	-1	-2	0	-1	-2,3	-2,2
15	45	50	11	11	0	-1	+1	0	-2,0	-2,1
18	42	45	10	11	0	0	+1	0	-1,8	-2,0
21	47	50	9	10	+1	0	+1	+1	-1,6	-1,7



а)



б)

Рис. 3. Последствия экстремально низкого уровня моря в Кашагане.
Fig. 3. Effects of extremely low sea level in Kashagan.

Заключение

В выполненном исследовании установлены метеорологические условия формирования особо опасного сгона и резкого понижения температуры воздуха, зафиксированного 18 апреля 2019 года в районе шельфового месторождения Кашаган в северо-восточной части Каспия. Под влиянием штормового ветра северо-восточного направления с усилением скорости до 24 м/с произошло экстремальное падение уровня моря на 1,7 м за сутки. Адвекция холода за холодным фронтом вызвала резкое понижение температуры воздуха более чем 10 °С за сутки.

В результате экстремального сгона некоторые суда сели на мель у искусственных берегов и причалов, поэтому многие морские операции были отменены до полного восстановления уровня моря. Заблаговременная оценка синоптической ситуации позволила избежать значительных экономических потерь для логистических операций в Кашагане.

Проблема прогноза штормовых сгонов и нагонов в той или иной степени актуальна практически для всех мелководных побережий Каспийского моря. Штормовые нагоны и сгоны относятся к числу опасных явлений, поэтому в случае угрозы их возникновения прогностическими органами Казгидромета выпускается штормовое предупреждение в соответствии с требованиями нормативных документов.

Список литературы

1. Герштанский Н.Д. Особенности сгонно-нагонных колебаний уровня воды в устьевом взморье Волги // Труды ГОИН. 1973. Вып. 116. С. 131-145.
2. Ивкина Н.И., Соколова Л.М., Васенина Е.И., Галаева О.С. Каталог сгонно-нагонных явлений по данным Казахстанских наблюдательных пунктов. Алматы: ИП Волкова, 2012. 38 с.
3. Ивкина Н.И., Клове Б. и др. Колебания уровня и их влияние на нефтяное загрязнение Казахстанского сектора Каспийского моря // Гидрометеорология и экология. 2020. № 2. С. 62-72.
4. Информационный бюллетень о состоянии уровня Каспийского моря №15 от 15.03.2018 г. [Электронный ресурс] http://www.caspc.com/files/CASPCOM_bulletin15_1.pdf.
5. Информационный бюллетень о состоянии уровня Каспийского моря №16 от 27.09.2018 г. [Электронный ресурс] http://www.caspc.com/files/CASPCOM_bulletin16_1.pdf.
6. Косарев А.Н., Никонова Р.Е. О причинах и последствиях колебаний уровня Каспийского моря в XX–XXI столетиях // Труды ГОИН. 2008. Вып. 211. С. 127-151.
7. Косарев А.Н., Никонова Р.Е. Современные колебания уровня Каспийского моря: причины, последствия, тенденции // Вестник Каспия. 2006. № 4 (60). С. 40-59.
8. Кошинский С.Д., Рыжкова Л.М. Условия наводнения в северо-западном Каспии 10-13 ноября 1952 г. // Труды ЗапСибНИИ. 1980. Вып. 9. С. 63-75.

9. Крылова В.С. Ландшафтная карта. Масштаб 1:1500000 // Атлас Атырауской области. Алматы: Казгеодезия. 2014. С. 114-117.

10. Отчет NCOC (Северо-Каспийский проект) об устойчивом развитии за 2017 г. [Электронный ресурс] https://www.ncoc.kz/Documents/SustainabilityReport2017_for%20web%20_ru.pdf.

11. Проект «Моря». Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 4. Каспийское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. СПб.: Гидрометеиздат. 1992. 359 с.

12. Рычагов Г.И. Колебания уровня Каспийского моря: причины, последствия, прогноз // Вестник Московского университета. 2011. № 2. С. 4-12.

13. Рычагов Г.И. Экологические аспекты нестабильности уровня Каспийского моря // Материалы XXXV Тектонического совещания. Москва: ГЕОС, 2002. № 6. С. 263-265.

14. Скриптунов Н.А., Горелиц О.В. Ветровые нагоны и сгоны у западного побережья Северного Каспия // Труды ГОИН. 2000. Вып. 207. С. 204-223.

15. Табелинова А.С. Влияние колебаний уровня Каспийского моря на прибрежные ландшафты Мангистауской и Атырауской областей Казахстана // Гео-морфология. 2016. № 2. С. 96-103.

16. Pavlova A.V., Arkhipkin V.S., Myslenkov S.A. Storm surge modeling in the Caspian Sea using an unstructured grid // Russ. J. Earth. Sci. 2020. Vol. 20. P. 1-10. ES1006. DOI:10.2205/2019ES000688.

References

1. Gershtanskii N.D. Osobennosti sgonno-nagonnykh kolebaniy urovnya vody v ustievom vzmorie Volgi. *Trudy GOIN*, 1973, vol. 116, pp. 131-145 [in Russ.].

2. Ivkina N.I., Sokolova L.M., Vasenina E.I., Galayeva O.S. Katalog sgonno-nagonnykh yavlenij po dannym Kazahstanskih nablyudatel'nykh punktov. Алматы, IP Volkova, 2012, 38 p. [in Russ.].

3. Ivkina N.I., Clove B. and others. Fluctuations in the level and their impact on oil pollution of the Kazakhstan sector of the Caspian Sea. *Gidrometeorologiya i ekologiya [Hydrometeorology and ecology]*, 2020, no. 2, pp. 62-72 [in Russ.].

4. Informacionnyj byulleten' o sostoyanii urovnya Kaspijskogo morya №15 ot 15.03.2018 g. [Information bulletin on the state of the Caspian Sea level no. 15 dated 15.03.2018] available at: http://www.caspc.com/files/CASPCOM_bulletin15_1.pdf [in Russ.].

5. Informacionnyj byulleten' o sostoyanii urovnya Kaspijskogo morya №16 ot 27.09.2018 g. [Information bulletin on the state of the Caspian Sea level no. 16 dated 27.09.2018] available at: http://www.caspc.com/files/CASPCOM_bulletin16_1.pdf [in Russ.].

6. Kosarev A.N., Nikonova R.E. O prichinah i posledstviyah kolebaniy urovnya Kaspijskogo morya v XX-XXI stoletiyah. *Trudy GOIN*, 2008, vol. 211, pp. 127-151 [in Russ.].

7. Kosarev A.N., Nikonova R.E. Sovremennye kolebaniya urovnya Kaspijskogo morya: prichiny, posledstviya, tendencii. *Vestnik Kaspiya*, 2006, no. 4 (60), pp. 40-59. [in Russ.].

8. Koshinskii S.D., Ryzhkova L.M. Usloviya navodneniya v severo-zapadnom Kaspii 10-13 noyabriya 1952, *Trudy ZapSibNNI*, 1980, vol. 9, pp. 63-75 [in Russ.].

9. Krylova V.S. Landshaftnaya karta. Masshtab 1:1500 000, Atlas Atyrauskoj oblasti. Almaty, Kazgeodeziya, 2014, pp. 114-117 [in Russ.].
10. Otchet NCOC (Severo-Kaspijskij proekt) ob ustojchivom razvitii za 2017 g. [NCOC (North Caspian Project) Report on Sustainable Development for 2017] available at: https://www.ncoc.kz/Documents/SustainabilityReport2017_for%20web%20_ru.pdf [in Russ.].
11. Proekt «Morya». Gidrometeorologiya i gidrohimiya morej, Kaspijskoe more, vol. 1, Gidrometeorologicheskie usloviya, Saint-Petersburg, Gidrometeoizdat, 1992, 359 p. [in Russ.].
12. Rychagov G.I. Fluctuations in the Caspian Sea level: causes, consequences, forecast. *Vestnik Moskovskogo universiteta [Bulletin of the Moscow University]*, 2011, no. 2, pp. 4-12 [in Russ.].
13. Rychagov G.I. Ekologicheskie aspekty nestabil'nosti urovnya Kaspijskogo morya Materialy XXXV Tektonicheskogo soveshchaniya, Moskva, GEOS, 2002, no. 6, pp. 263-265 [in Russ.].
14. Skriptunov N.A., Gorelits O.V. Vetrovye nagony i sfony u zapadnogo poberezhya Severnogo Kaspiya. *Trudy GOIN*, 2000, vol. 207, pp. 204-223 [in Russ.].
15. Tabelinova A.S. The impact of fluctuations in the Caspian Sea level on the coastal landscapes of the Mangistau and Atyrau regions of Kazakhstan. *Geomorfologiya [Geomorphology]*, 2016, no. 2, pp. 96-103 [in Russ.].
16. Pavlova A.V., Arkhipkin V.S., Myslenkov S.A. Storm surge modeling in the Caspian Sea using an unstructured grid. *Russ. J. Earth. Sci.*, 2020, vol. 20, pp. 1-10, ES1006, doi:10.2205/2019ES000688.

*Поступила 06.07.2021; одобрена после рецензирования 14.09.2021;
принята в печать 28.09.2021.*

*Submitted 06.07.2021; approved after reviewing 14.09.2021;
accepted for publication 28.09.2021.*