

УДК: 528.94

DOI: 10.35595/2414-9179-2023-1-29-607-615

Т.Ю. Выручалкина^{1,2}

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ИСПАРЕНИЯ С ЗАЛИВА КАРА-БОГАЗ-ГОЛ

АННОТАЦИЯ

В статье приведены результаты анализа батиметрии залива Кара-Богаз-Гол, выполненные по цифровой модели рельефа дна залива. Показаны особенности морфометрии залива. Выше отметки –30 м БС (Балтийской системы) залив имеет крутые и обрывистые берега, ниже отметки –34 м БС практически плоское дно. От –28 до –30 м БС площадь зоны мелкой воды с глубиной до 1 м меняются от 0.5 до 16 %, с глубиной до 2 м — с 2 до 40 %, соответственно. Особенности морфологии ложа залива таковы, что ниже –28 м БС соотношение площади мелкой и глубокой зон меняются и значительно увеличивается площадь мелководий. Для получения оценки влияния батиметрии при разных гидрометеорологических условиях на испарение залива совместно с цифровой модели рельефа дна залива была использована модель тепло-массообмена системы водоем-атмосфера. Интенсификация испарения проявляется на уровне 29.9 м БС даже при скорости ветра 1 м/с на северных и юго-восточных мелководных частях акватории и достигает 5–12.5 %. При скорости ветра 5 м/с интенсификация испарения нарастает и достигает значений 10–15 % на уровне –27 м БС и 12.5–50 % на уровне –29.9 м БС. При скорости ветра 10 м/с возрастает от 12 % в центре залива до 30 % у береговой линии при уровне 27 м БС, в аналогичных зонах от 15 до 60...100 % при уровне 29.9 м БС и от 18 до 60...120 % при уровне 31.8 м БС. Оценки испарения показали, что при уровнях –29.5...–31.5 м БС залив наиболее интенсивно взаимодействует с атмосферой.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Кара-Богаз-Гол, цифровая модель рельефа, батиметрическая карта, морфометрия, испарение

Tatiana Yu. Vyruchalkina^{3,4}

INVESTIGATION OF THE FEATURES OF THE INTENSIFICATION OF EVAPORATION FROM THE KARA-BOGAZ-GOL BAY

ABSTRACT

The article presents the results of the analysis of the bathymetry of the Kara-Bogaz-Gol Bay, made using a digital model of the relief of the bottom of the bay. The features of the morphometry of the bay are shown. Above the -30 m BS mark, KBG Bay has steep and precipitous

¹ Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, Кропоткинский пер., д. 6, Москва, Россия, 119034, *e-mail*: vyruchi@list.ru

² Институт водных проблем Российской академии наук, ул. Губкина, д. 3, Москва, Россия, 119333, *e-mail*: vyruchi@list.ru

³ N.N. Zubov's State Oceanographic Institute, 6, Kropotkinsky ln., Moscow, 119034, Russia, *e-mail*: vyruchi@list.ru

⁴ Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, 3, Gubkina str., Moscow, 119333, Russia, *e-mail*: vyruchi@list.ru

shores, below the -34 m BS mark there is almost a flat bottom. From -28 to -30 m BS the area of the shallow water zone with a depth of up to 1 m varies from 0.5 to 16 %, with a depth of up to 2 m from 2 to 40 %, respectively. The features of the morphology of the gulf bed are such that below -28 m BS the ratio of the area of shallow and deep zones change and the area of shallow waters increases significantly. To obtain an assessment of the effect of bathymetry under different hydrometeorological conditions on the evaporation of the bay, a model of heat and mass transfer of the reservoir-atmosphere system was used together with a digital model of the relief of the bottom of the bay. The intensification of evaporation is manifested at the level of 29.9 m BS even at a wind speed of 1 m/s in the northern and southeastern shallow parts of the water area and reaches 5–12.5 %. At a wind speed of 5 m/s, evaporation intensification increases and reaches values of 10–15 % at the level of -27 m BS and 12.5–50 % at the level of -29.9 m BS. At a wind speed of 10 m/s, it increases from 12 % in the center of the bay to 30 % near the coastline at the level of 27 m BS, in similar zones from 15 to 60...100 % at the level of 29.9 m BS and from 18 to 60...120 % at the level of 31.8 m BS. Evaporation estimates have shown that at levels of -29.5 ... -31.5 m BS, the bay interacts most intensively with the atmosphere.

KEYWORDS: Kara-Bogaz-Gol, digital elevation model, bathymetric map, morphometry, evaporation

ВВЕДЕНИЕ

Залив Кара-Богаз-Гол (КБГ) — один из уникальных водоемов на планете. Первые его исследования начаты в XVIII веке. В начале XX в. специальная многоцелевая экспедиция выполнила обширные исследования в области метеорологии, гидрологии и гидрохимии, и в дальнейшем изыскания в заливе проводились на относительно регулярной основе. Однако в публикациях батиметрия залива представлена лишь схематическими картами, а морфометрические зависимости — в виде нескольких пар величин уровень-зеркало и уровень-объем вод залива. По всей видимости, это обусловлено тем, что береговая линия залива и рельеф дна значительно менялись во времени. До настоящего времени мало изучено и испарение с залива. В источниках встречаются величины испарения, полученные двумя методами: балансовым и по эмпирическим/полуэмпирическим соотношениям. По эмпирическим/полуэмпирическим соотношениям годовая величина испарения с акватории залива оценивалась с учетом поправочных коэффициентов по методу Вильда за 1923–1924 гг. ~ 950 мм [Щербак, 1930] и по формуле Бигелю за 1934–1935 гг. 990 мм [Разумовский, 1940], по наблюдениям на большом испарителе в 1947–1951 [Поляков, 1961] получено 1300 мм и в 1957–1958 гг. [Буйневич, 1963] 832 мм. В 1957 г. по данным [Миронова, 1960] испарение с рапы прибрежной зоны по трем различным методикам составило 720, 994 и 1023 мм соответственно, при этом глубина в месте измерения составляла 10–15 см, соленость в течение периода измерений изменялась в диапазоне от 100 до 270 ‰, температура воды изменялась в диапазоне 26–38 °C. По водному балансу залива годовое испарение с его поверхности в этот год оценивалось в 770 мм. Так же Мироновой Н.Я. по формуле В.С. Самойленко получено, что в 1950–1951 гг. испарение составило ~ 870 мм.

Облик залива в XX в. менялся кардинально. По данным [Лепешков и др., 1981; Leroy et al., 2006; Geldiyew, 2008] колебания его уровня происходили в диапазоне от -27 до -33.5 м БС (Балтийской системы), что отражалось в изменении размеров акватории залива и соотношения площадей и объемов. Для такого мелководного водоема, как Кара-Богаз-Гол, понижение уровня воды неуклонно приводит к превращению более глубоководных участков в мелководные, что делает необходимым учитывать влияние глубины на интенсивность взаимодействия с атмосферой с учетом изменения приводной скорости

ветра [Панин и др., 2006]. Приведенные факторы определяют необходимость проведения исследований морфометрии залива и зон мелководий с учетом колебания уровня воды в нем и оценки влияния этих изменений на интенсификацию испарения.

Цель работы — оценка влияния изменения площадей мелководных зон на интенсификацию испарения с залива. При этом решались следующие задачи: выявление особенностей морфометрии залива, соотношения площадей глубоководной и мелководной зон водоема при разных уровнях воды, а также оценка интенсификации испарения с учетом глубин водоема и приводной скорости ветра.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании применялась цифровая модель залива с пространственным разрешением 100×100 м. Она была подготовлена на основе топографических карт м-бов 1: 200 000 и 1: 100 000, опубликованных в 1986–1989 гг. Главным управлением геодезии и картографии СССР, и описана в статье [Выручалкина, 2020]. Оцифровка карт и построение модели местности, включая залив, производились с помощью программ Didger 5, Surfer 12 пакета Golden Software.

Для получения оценки влияния батиметрии при разных гидрометеорологических условиях на испарение залива была использована модель тепло-массообмена системы водоем-атмосфера [Панин и др., 2006]. Модель позволяет оценить непосредственное влияние глубины водоема на процессы энерго-массообмена. Ранее модель показала хорошие результаты и при исследовании интенсификации испарения с пресноводных водоемов [Иванова и др., 2013; Гиппиус и др., 2016; Панин и др., 2016]. В реальных условиях, с использованием непосредственных данных о глубине, площади и повторяемости скорости ветра, учет эффекта мелководий должен приводить к увеличению результирующей величины испарения с поверхности водоемов. Величина коррекции для КБГ должна быть разной для разных уровней стояния воды. Привлечение данной модели вызвано тем, что это пока единственная модель, в которой может быть учтена батиметрия при расчете испарения и теплообмена водоема с атмосферой. Согласно этой модели, интенсивность испарения, теплообмена и энергообмена мелководий рассчитывается в виде:

$$U_*^{SW} = U_* + U_* \cdot k_U^{SW} \cdot \frac{h^{SW}}{H} \approx U_* (1 + 1.6h^{SW} / H) \quad (1);$$

$$Q_T^{SW} = Q_T + Q_T \cdot k_T^{SW} \cdot \frac{h^{SW}}{H} \approx Q_T (1 + 2h^{SW} / H) \quad (2);$$

$$E^{SW} = E + E \cdot k_E^{SW} \cdot \frac{h^{SW}}{H} \approx E (1 + 2h^{SW} / H) \quad (3),$$

где: h — высота волны, H — глубина, E и Q_T — потоки влаги и тепла соответственно на

глубокой воде, U_* — динамическая скорость ветра, U_*^{SW} , Q_T^{SW} , E^{SW} — потоки количества движения, тепла и влаги для мелководных зон;

$k_T^{SW} \approx k_E^{SW} \approx 2.0$, $k_U^{SW} \approx 1.6$ — эмпирические коэффициенты, индекс «sw» означает «мелководье».

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Уровень КБГ за последние 100 лет имел следующие характерные позиции: в 1920–1930-х и 1950–1970-х гг. он колебался вокруг отметок -27 м и $-31,9$ м БС соответственно, в начале 1980-х гг. опустился почти до -34 м БС, затем в 1996 г. поднялся выше $-27,5$ м БС и настоящее время находится на отметке ниже -29 м БС [Лепешков и др., 1981; Leroy et al., 2006; Geldiyev, 2008]. Площадь залива сначала сократилась более чем в 1,5 р., затем восстановилась до изначальных значений. Объем залива менялся значительно. Со 100 – 120 км³ в 1910–1930-х гг. он сократился до 20 – 30 км³ в 1950–1970-х гг. В первой половине 1980-х гг. залив практически пересох. В 2022 г. объем залива составляет ~ 60 км³. Рис. 1 наглядно иллюстрирует, как изменялись площади и глубины залива при разных отметках уровня. В качестве характерных приняты отметки -27 , $-29,9$ и $-31,8$ м БС.

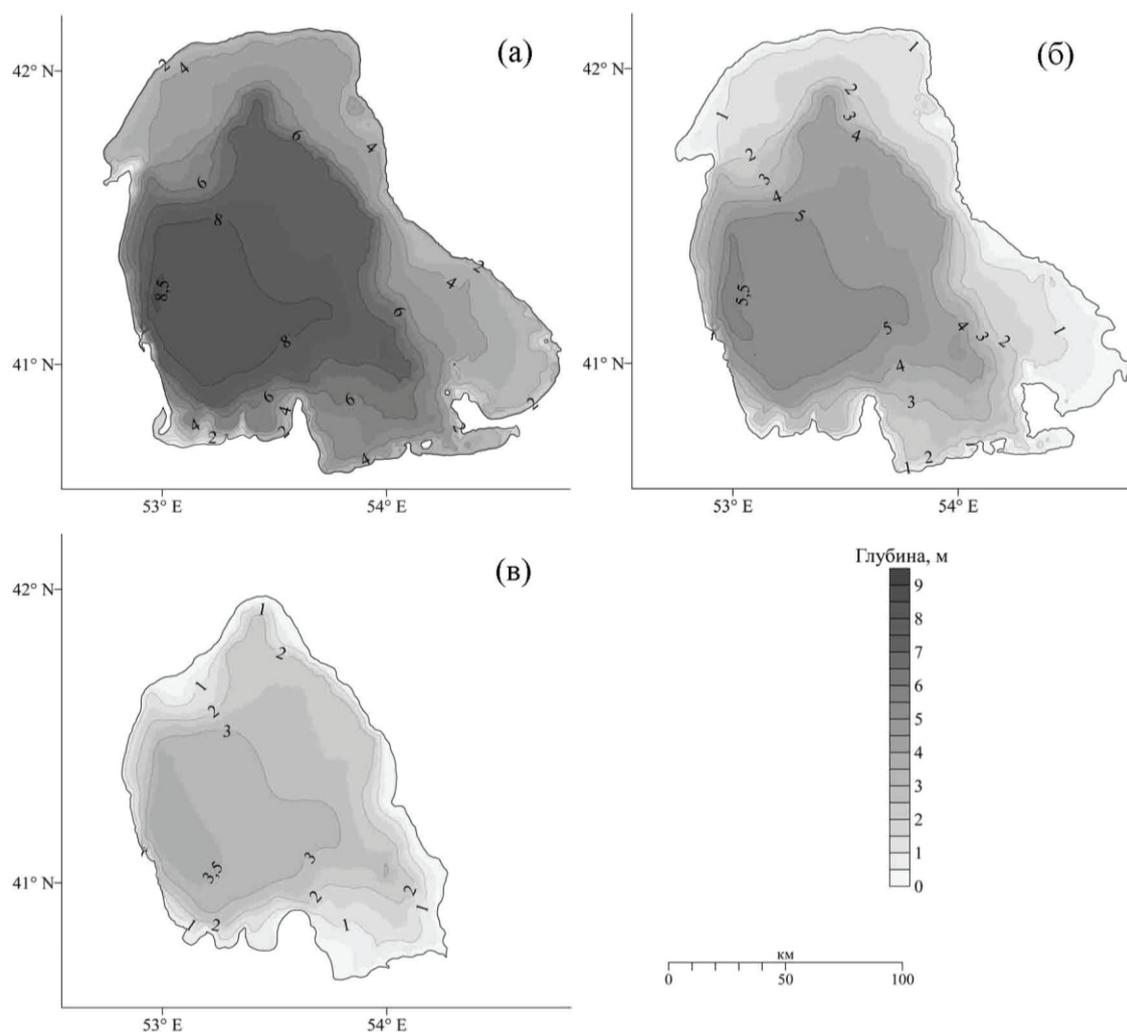


Рис. 1. Батиметрия залива Кара-Богаз-Гол при отметках уровня -27 (а), $-29,9$ (б) и $-31,8$ (в) м БС
Fig. 1. Bathymetry of the Kara-Bogaz-Gol Bay at levels of -27 (a), $-29,9$ (b) and $-31,8$ (c) m BS

Согласно [Выручалкина, 2020], выше отметки -30 м БС залив КБГ имеет крутые и обрывистые берега. От отметки -30 м БС до -34 м БС берега имеют уклон 30 – 45 %, ниже отметки -34 м БС практически плоское дно. Морфометрические зависимости залива

представлены на рис. 2а. Информацию о количественном соотношении между мелководными и глубоководными зонами при разных уровнях залива дает рис. 2б. Действительно, они сильно зависят от отметок уровня залива. Например, от -28 до -30 м БС площадь зоны мелкой воды с глубиной до 1 м меняются от 0.5 до 16 %, с глубиной до 2 м с 2 до 40 % соответственно. Особенности морфологии ложа залива таковы, что ниже -28 м БС соотношение площади мелкой и глубокой зон меняются и значительно увеличивается площадь мелководий.

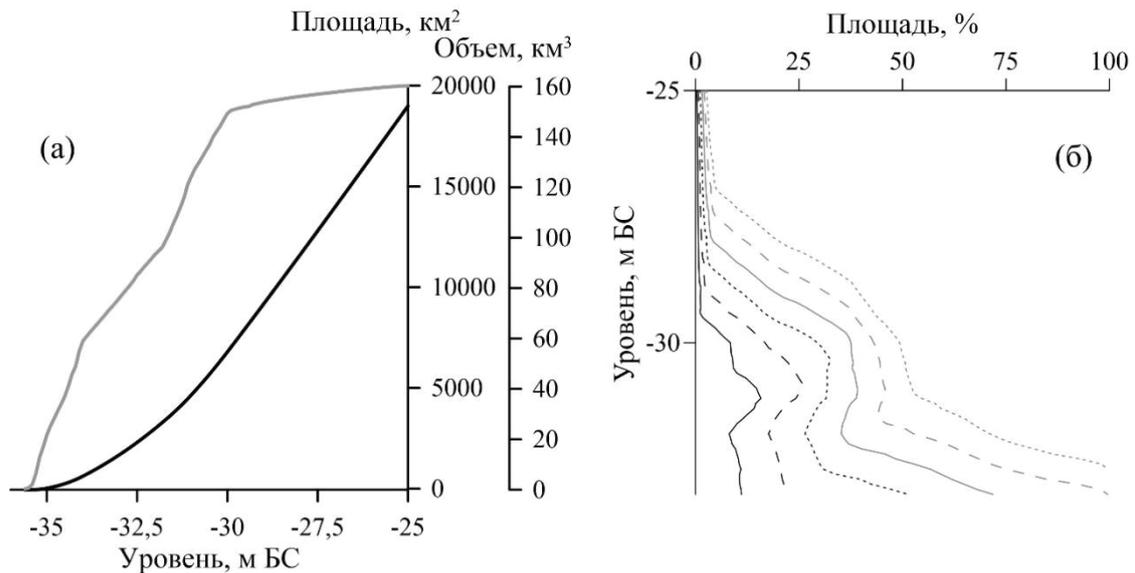


Рис. 2. Морфометрические зависимости (а) и изменение площади мелководий Кара-Богаз-Гола при уровне $-25...-33$ м БС в % (б): а) площадь — серая линия, объем — черная линия; б) глубиной до 0,5 м — черная сплошная, до 1 м — черная пунктирная, до 1,5 м — черная точечная, до 2 м — серая сплошная, до 2,5 м — серая пунктирная, до 3 м — серая точечная линии

Fig. 2. Morphometric dependences (a) and the change in the area of the shallow waters of the Kara-Bogaz-Gol Bay at the level of $-25...-33$ m BS in % (b): a) area — gray line, volume — black line; b) up to 0.5 m deep — black solid, up to 1 m — black dashed, up to 1.5 m — black dotted, up to 2 m — gray solid, up to 2.5 m — gray dashed line, up to 3 m — gray dotted line

Необходимо уточнить, что на морфометрические характеристики залива оказывает влияние его водно-солевой баланс. При существенном уменьшении объема воды в КБГ происходит рост концентрации солей в рассоле и изменение его химического состава, что приводит к их кристаллизации и выпадению в осадок. Вследствие этого процесса дно бассейна поднимается, изменяются морфометрические характеристики залива. Цифровизация залива проводилась по картам 1986–1989 гг., на которых были представлены данные изменений 1970–1980-х гг., когда уровень залива существенно понизился и/или залив обмелел. Фактически в модели представлены данные рельефа дна залива с максимальными отметками вследствие седиментации солей. После ликвидации плотины в проливе Кара-Бога-Гол каспийская вода снова беспрепятственно поступает в залив, что должно было привести к растворению части солей. С момента ликвидации плотины прошло более 30 лет, из них последние 15 лет уровень залива снижается, что должно было интенсифицировать процесс выпадения солей. Таким образом, в настоящее время дно КБГ могло как опуститься в результате растворения солей водой из Каспия, так и подняться. Данные в открытом доступе об этом отсутствуют.

Анализ изменения батиметрии залива открывает новые возможности для количественной оценки изменения испарения с него при разных отметках уровнях и при разных динамических условиях взаимодействия водоема с атмосферой. Этот этап исследований направлен на применение модели тепло-влагообмена [Панин и др., 2006] мелководных и прибрежных акваторий с атмосферой на основе использования стандартной гидрометеорологической информации.

Интенсификация энерго-массообмена мелководных акваторий с атмосферой связана с тем, что волны в мелководных акваториях более крутые, чем в глубоководных частях водоема и раньше (при более низких скоростях ветра) обрушаются. Все это приводит к усилению шероховатости водной поверхности в аэродинамическом смысле и, соответственно, к более интенсивному турбулентному обмену импульсом, теплом и влагой. В реальных условиях, с использованием непосредственных данных о глубине, площади и повторяемости скорости ветра, модель тепло-влагообмена позволяет уточнять значения характеристик взаимодействия водоема с атмосферой, включая учет эффекта мелководий, на основе стандартной гидрометеорологической информации. Первые результаты, касающиеся оценки роли глубины (батиметрии) КБГ при разных динамических условиях на интенсификацию испарения представлены на рисунке 3. На рисунке представлены относительные величины, т. е. во сколько раз увеличивается испарение. Для анализа выбраны три варианта скорости ветра: 1, 5 и 10 м/с.

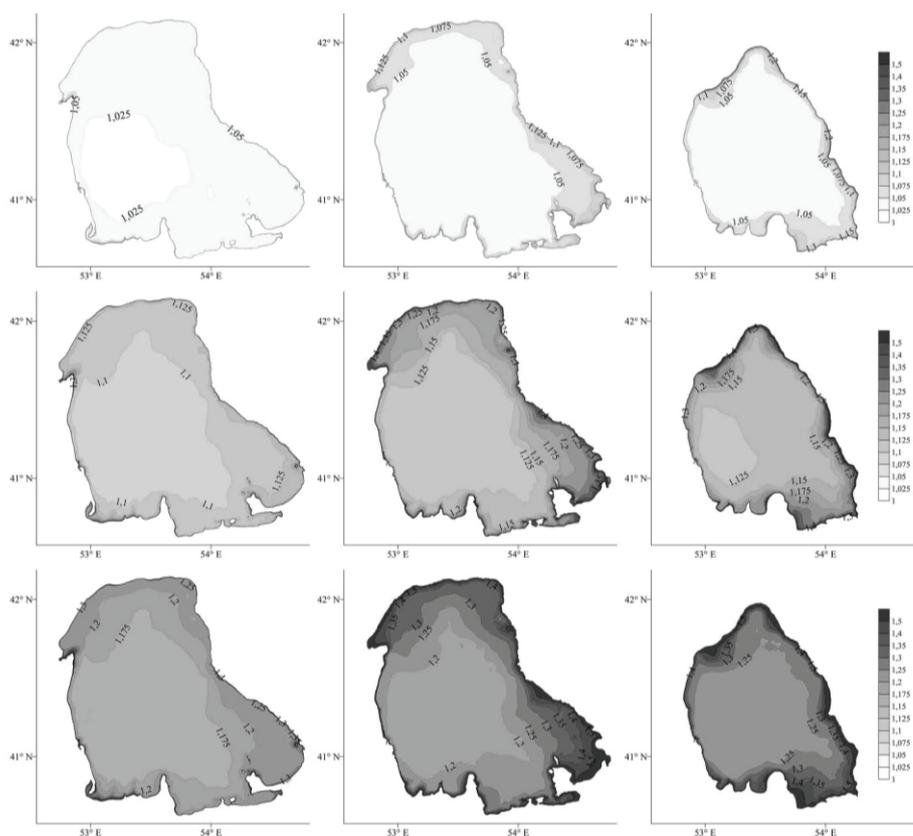


Рис. 3. Значения интенсификации испарения с Кара-Богаз-Гола при разных отметках уровня (-27, -29.9 и -31.8 м БС слева направо) и скоростях ветра 1, 5 и 10 м/с, сверху вниз
Fig. 3. Values of evaporation intensification of the Kara-Bogaz-Gol Bay at different levels (-27, -29.9 and -31.8 m BS from left to right) and wind speeds of 1, 5 and 10 m/s, from top to bottom

Даже при скорости ветра 1 м/с на северных и юго-восточных мелководных частях акватории можно заметить некоторую интенсификацию испарения, достигающую 5–12.5 %

при уровне 29.9 м БС. Хорошо видно, что на уровне -27 м БС уже при скорости ветра 5 м/с заметно проявляется влияние глубины на испарение (интенсификация достигает 10–15 % по всей акватории). В этих же областях на уровне -29.9 м БС при скорости 5 м/с интенсификация испарения составляет 12.5–50 %. Расчеты показывают, что при ветрах 10 м/с, мелководные акватории особенно сильно испаряют воду. Величина испарения при таких скоростях ветра возрастает от 12 % в центре залива до 30 % у береговой линии при уровне 27 м БС, в аналогичных зонах от 15 до 60...100 % при уровне 29.9 м БС и от 18 до 60...120 % при уровне 31.8 м БС (рис. 3).

Оценки испарения показали, что при уровнях $-29.5...-31.5$ м БС режим взаимодействия залива с атмосферой находится в некотором критическом состоянии (рис. 4).

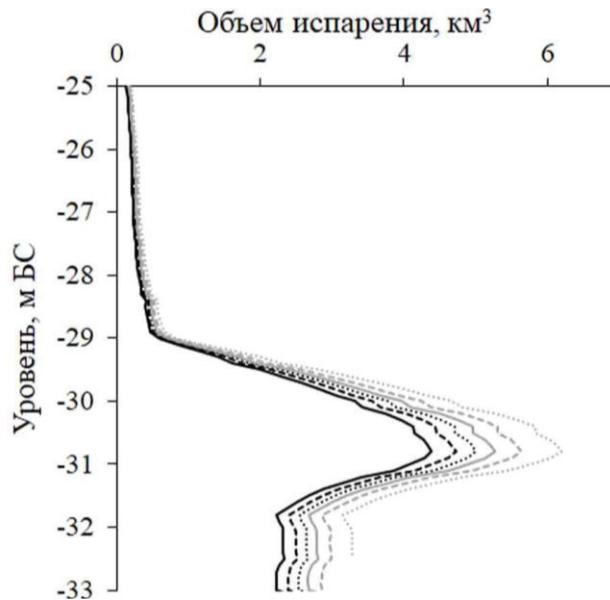


Рис. 4. Изменение объемов испаряемой воды мелководьями залива Кара-Богаз-Гол (при глубине 1 м) при разных отметках уровня и скоростях ветра. При скорости (м/с). 1 — черная сплошная, 3 — черная пунктирная, 5 — черная точечная, 7 — серая сплошная, 10 — серая пунктирная, 15 — серая точечная линии

Fig. 4. The change in the volume of evaporated water by the shallow waters of the Kara-Bogaz-Gol Bay (at a depth of 1 m) at different levels and wind speeds. At speed (m/s) 1 — black solid, 3 — black dashed, 5 — black dotted, 7 — gray solid, 10 — gray dashed, 15 — gray dotted lines

Батиметрия КБГ такова, что при снижении уровня воды ниже $-29...-29.5$ м БС при разных скоростях ветра объемное испарение сначала заметно увеличивается до отметки уровня $-30.5...-31$ м БС, а затем уменьшается (рис. 2, 4). Это может означать, что КБГ при этих уровнях находится в некотором критическом состоянии в смысле его взаимодействия с атмосферой, увеличение испарения приводит к росту скорости падения уровня залива.

ВЫВОДЫ

За последнее столетие уровень воды в заливе вслед за колебаниями Каспийского моря претерпевал значительные изменения, что отражалось на морфометрических характеристиках залива. Площадь залива сначала сократилась более чем в 1.5 р., затем восстановилась до изначальных значений. Объем залива менялся значительно. Со 100–120 км³ в 1910–1930-х гг. он сократился до 20–30 км³ в 1950–1970-х гг. В первой половине 1980-

х гг. залив практически пересох. В 2022 г. объем залива составляет ~60 км³. Установлено, что на гидрологический режим залива Кара-Богаз-Гол существенное влияние оказывает испарения с мелководных акваторий. Отметки –29...–29.5 м БС для залива имеют некоторой критической характер в смысле его взаимодействия с атмосферой. При снижении уровня залива до этих отметок происходит интенсификация испарения за счет увеличения площадей мелководий. Интенсификация при различных скоростях ветра и глубинах составляет от 5 до 120 %, что указывает на важность учета батиметрии водоема при оценке испарения. Вследствие роста испарения должна возрастать и скорость падения уровня, что является предметом дальнейших исследований.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 22-27-00800.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was performed within the framework of the RSF grant № 22-27-00800.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Буйневич Д.В., Буйневич Н.А.* Испарение с поверхности залива Кара-Богаз-Гол. Метеорология и гидрология, 1963. № 5. С. 35–37.
- Выручалкина Т.Ю.* Создание цифровой модели рельефа залива Кара-Богаз-Гол. Труды Карельского научного центра РАН, 2020. № 4. С. 1–6. DOI: 10.17076/lm1199.
- Гиппиус Ф.Н., Архипкин В.С., Фролов А.В.* Сезонный ход испарения с поверхности Каспия с учетом влияния волнения и глубины моря. Вестник Московского Университета. Серия 5. География, 2016. № 5. С. 26–32.
- Иванова Е.В., Панин Г.Н., Поздняков Ш.Р., Румянцев В.А.* Особенности режима испарения с акватории Ладожского озера. Метеорология и гидрология, 2013. № 11. С. 87–93.
- Лепешков И.Н., Буйневич Д.В., Буйневич Н.А., Седельников Г.С.* Перспективы использования солевых богатств Кара-Бога-Гола. М.: Наука, 1981. 274 с.
- Миронова Н.Я.* Водный баланс залива Кара-Богаз-Гол. Труды ИО РАН, 1960. Т. 37. С. 110–122.
- Панин Г.Н., Выручалкина Т.Ю., Гречушникова М.Г., Соломонова И.В.* Особенности гидрологического режима Цимлянского водохранилища при климатических изменениях в бассейне Дона. Водные ресурсы, 2016. Т. 43. № 2. С. 111–121. DOI: 10.7868/S0321059616020127.
- Панин Г.Н., Насонов А.Е., Фокен Т.* Испарение и теплообмен водоема с атмосферой при наличии мелководий. Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2006. Т. 42. № 3. С. 367–383.
- Поляков В.Д.* Физико-химическое исследование залива Кара-Богаз: Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора химических наук. Академия наук СССР. М.: Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского (ГЕОХИ) РАН, 1961. 30 с.
- Разумовский Н.И.* Опыт определения испарения с бассейнов высокой солености. Метеорология и гидрология, 1940. № 8. С. 80–81.
- Щербак С.А.* Климат Карабугаза. Кара-Богаз-Гол и его промышленное значение. Л.: Изд-во АН СССР, 1930. С. 66–68.
- Geldiyew O.* The study of hydro-mineralogical and ecological regime of Kara-Bogaz-Gol lagoon, Turkmenistan. Sustainable Use and Development of Watersheds. Springer Science+Business Media B.V., 2008. P. 415–423. DOI: 10.1007/978-1-4020-8558-1_26.
- Leroy S.A.G., Marret F., Giralt S., Bulatov S.A.* Natural and anthropogenic rapid changes in the Kara-Bogaz-Gol over the last two centuries reconstructed from palynological analyses and a

comparison to instrumental records. *Quaternary International*, 2006. T. 150. No. 1. C. 52–70. DOI: 10.1016/j.quaint.2006.01.007.

REFERENCES

- Buinevich D.V., Buinevich N.A.* Evaporation from the surface of the Kara-Bogaz-Gol Bay. *Russian Meteorology and Hydrology*, 1963. No. 5. P. 35–37 (in Russian).
- Geldiyew O.* The study of hydro-mineralogical and ecological regime of Kara-Bogaz-Gol lagoon, Turkmenistan. *Sustainable Use and Development of Watersheds*. Springer Science + Business Media B.V., 2008. P. 415–423. DOI: 10.1007/978-1-4020-8558-126.
- Gippius F.N., Arkhipkin V.S., Frolov A.V.* Seasonal variations of evaporation from the Caspian Sea surface with account of wind waves and sea depth. *Moscow University Bulletin. Series 5. Geography*, 2016. No. 5. P. 26–32 (in Russian).
- Ivanova E.V., Panin G.N., Pozdnyakov S.R., Rumyantsev V.A.* Peculiarities of evaporation regime of Ladoga Lake. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2013. V. 38. No. 11. P. 782–786 (in Russian). DOI: 10.3103/S1068373913110083.
- Lepeshkov I.N., Buinevich D.V., Buinevich N.A., Sedelnikov G.S.* Prospects for the use of salt riches of Kara-Bogaz-Gol. Moscow: Nauka, 1981. 274 p. (in Russian).
- Leroy S.A.G., Marret F., Giralt S., Bulatov S.A.* Natural and anthropogenic rapid changes in the Kara-Bogaz-Gol over the last two centuries reconstructed from palynological analyses and a comparison to instrumental records. *Quaternary International*, 2006. V. 150. No. 1. P. 52–70. DOI: 10.1016/j.quaint.2006.01.007.
- Mironova N.Ya.* Water balance of the Kara-Bogaz-Gol Bay. *Proceedings of the Institute of Oceanology of the USSR Academy of Sciences*, 1960. V. 37. P. 110–122 (in Russian).
- Panin G.N., Nasonov A.E., Foken T.* Evaporation and heat exchange of a body of water with the atmosphere in a shallow zone. *Izvestiya: Atmospheric and Oceanic Physics*, 2006. V. 42. No. 3. P. 337–352 (in Russian). DOI: 10.1134/S0001433806030078.
- Panin G.N., Vyrychalkina T.Y., Grechushnikova M.G., Solomonova I.V.* Specific features of the hydrological regime of the Tsimlyansk reservoir under climate changes in the Don basin. *Water Resources*, 2016. V. 43. No. 2. P. 249–258 (in Russian). DOI: 10.1134/S0097807816020123.
- Polyakov V.D.* Physico-chemical study of the Kara-Bogaz-Gol Bay. Dissertation abstract for the degree of Doctor of Chemical Sciences. Academy of Sciences of the USSR. Moscow: V.I. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of RAS, 1961. 30 p. (in Russian).
- Razumovsky N.I.* Experience in determining evaporation from high salinity pools. *Russian Meteorology and Hydrology*, 1940. No. 8. P. 80–81 (in Russian).
- Shcherbak S.A.* Climate of Kara-Bogaz-Gol. Kara-Bogaz-Gol and its industrial significance. Leningrad: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1930. P. 66–68 (in Russian).
- Vyrychalkina T.Y.* Creation of a digital relief model of the Kara-Bogaz-Gol Bay. *Transactions of Karelian Research Centre of Russian Academy of Science*, 2020. No. 4. P. 1–6 (in Russian). DOI: 10.17076/li m1199.