



УДК 556.502/504

DOI: 10.18413/2075-4671-2018-42-2-162-171

К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ**ABOUT FORECASTING FLUCTUATIONS OF THE CASPIAN SEA'S LEVEL****В.В. Хаустов, В.Д. Костенко**
V.V. Khaustov, V.D. KostenkoФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Россия, 305040, г. Курск,
ул. 50 лет Октября, 94

Southwest State University, 94, 50 Let Oktyabrya Street, Kursk, 305040, Russia

E-mail: okech@mail.ru, iekostenko@mail.ru

Аннотация

Рассмотрена региональная экологическая проблема прогнозирования флуктуаций уровня Каспийского моря, решение которой имеет важное народнохозяйственное и гуманитарное значение. На сегодняшний день разнообразие подходов прогнозирования и обилие самих прогнозов не приблизили решение проблемы. Совершенствование используемого метода стохастического моделирования позволило прогнозировать поведение водоема в перспективе ближайшего пятидесятилетия.

Abstract

The Caspian Sea is the world's largest inland water body. The regional ecological problem of forecasting fluctuations in the level of the Caspian Sea is considered. Changes in the Caspian Sea level negatively affect the rational use of the region's natural and resource potential. Therefore, the solution of this problem has an important economic and humanitarian significance. The causes over the entire historical period are uncertain, but we investigate here large changes seen in the past several decades. At present, there is an abundance of diverse approaches to forecasting and many of the forecasts themselves. However, they did not solve the problem. The authors used stochastic modeling in their previous works. This article shows how to improve the method of stochastic modeling. This enable to obtain a more accurate forecast of the Caspian's behavior for the next fifty years. The results obtained indicate that during 2020–2060, it is necessary to expect an increase in the level of a unique water body to a mark of – 25 m below the global ocean level.

Ключевые слова: Каспийское море, колебания уровня, экологическая проблема, прогноз, стохастическое моделирование.

Keywords: Caspian Sea, level fluctuations, environmental problem, forecast, stochastic modeling.

Введение

Каспий – самое большое на планете бессточное озеро, занимающее крупную и глубокую материковую депрессию в пределах наиболее значительной в Европе области внутреннего стока. В начале XXI в. уровень его зеркала лежал на отметке около –27 абс. м, а площадь составляла 393 тыс. км² с объемом вод 78600 км³.

Каспийское море достаточно хорошо изучено [Гидрометеорология..., 1992]. Весьма примечательной чертой водоема считается неустойчивость его уровня, то есть резкие падения и подъемы на протяжении сравнительно небольших отрезков времени. Изменения уровня моря-озера способны негативно отразиться на рациональном использовании природно-ресурсного потенциала региона – на использовании земельных,

рыбных и рекреационных ресурсов, а также ресурсов нефти и газа; на процессах жизнеобеспечения, состоянии жилищного фонда и социальной инфраструктуры. В этой связи появилось множество исследований по самым различным аспектам проблемы нестабильности уровня водоема, однако до сих пор нет полной ясности в понимании последней.

Можно заключить, что из всех проблем, связанных с Каспийским регионом, в том числе экологических, на первое место следует поставить проблему изучения и возможность прогноза изменений уровневого режима морского бассейна, чем и продиктована актуальность представленных исследований.

Объект и методы исследования

Длительная геологическая история формирования Каспийского моря характеризуется неоднократной сменой трансгрессивных и регрессивных фаз поведения его уровня различной величины и продолжительности. В палеогене (около 60 млн лет назад) произошло отчленение понто-каспийского бассейна от океана Тетис. В конце понтического времени (10 млн лет назад) огромное внутреннее Сарматское море, охватывающее территории современных Черного и Каспийского морей, распалось на отдельные части, образовав автономный изолированный бассейн Каспийского моря. Считается, что в антропогене в последние 700–500 тыс. лет уровень Каспийского моря претерпел крупномасштабные колебания в диапазоне около 200 м: от –140 до +50 абс. м [Рычагов, 1997]. В течение исторического времени (2000 лет) диапазон изменения среднего уровня Каспийского моря составил 12 м: от –35 до –23 абс. м [Arpe K. et al., 2000]. Минимальный уровень в последние 2000 лет был в период дербентской регрессии (VI–VII века н. э.), когда он снижался до –35 абс. м. За время, прошедшее после дербентской регрессии, средний уровень моря изменялся в еще более узком диапазоне – от –30 до –25 абс. м. Этот диапазон изменения уровня назван зоной риска [Рычагов, 1997; Хаустов, 2010].

Систематические инструментальные наблюдения за уровнем Каспийского моря были начаты в 1837 г. Во второй половине XIX века средние годовые значения зеркала Каспия находились в диапазоне отметок –26...–25.5 абс. м и имели некоторую тенденцию к снижению, которая прослеживалась и в XX веке. За период инструментальных наблюдений амплитуда колебаний уровня составила 4 м, от –29 абс. м в 1977 г. до –25.3 абс. м в восьмидесятых годах прошлого столетия. В период с 1929 по 1941 гг. поверхность моря резко снизилась почти на 2 м: с –25.88 до –27.84 абс. м. В последующие годы уровень продолжал падать и, снизившись приблизительно на 1.2 м, достиг в 1977 г. самой низкой за период наблюдений отметки –29.01 абс. м. Далее урез Каспия начал быстро повышаться и, поднявшись к 1995 г. на 2.35 м, достиг отметки –26.66 абс. м. В последующие четыре года средний уровень моря снизился почти на 30 см, но уже в 1999 году вновь наблюдался подъем уровня. С 2000 года и по настоящее время уровень Каспийского моря продолжил разнонаправленные колебания, приблизившись в 2016 г. к отметке –28.00 абс. м. (рис. 1).

Авторами в настоящей работе не преследовалась цель подробного анализа многочисленных прогнозов флуктуаций уровня Каспийского моря, так как это самостоятельная и достаточно непростая задача. Тем не менее, проблема научного прогнозирования уровневого режима Каспийского моря сама по себе весьма актуальна, как уже подчеркивалось выше, в связи с социально-экономическими последствиями от периодического затопления и осушения прибрежных территорий. Возможно ли вообще предвидеть поведение водоема?

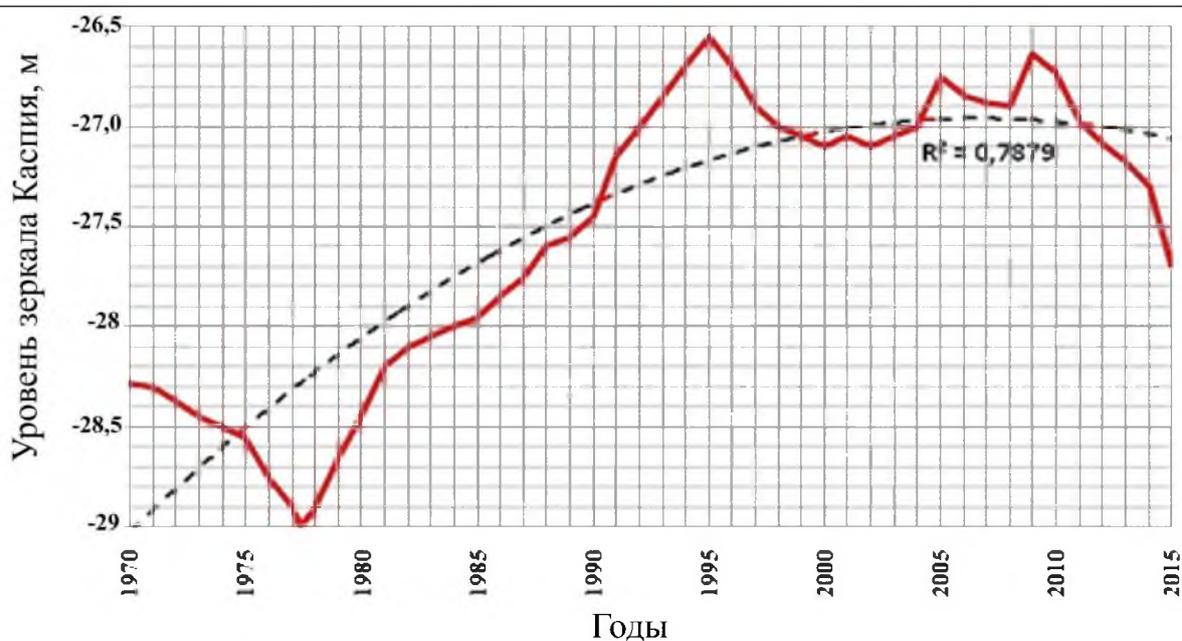


Рис. 1. Колебания среднегодовых уровней Каспийского моря (пунктирная линия – полиномиальный тренд; составлено по данным [Свиточ, 1997; Олейник, 2008, 2011; Уровень Каспийского моря и прогнозы его изменения, 2012; Ковалев, Парада, 2013; и др.]

Fig. 1. Fluctuations in the mean annual values of the level of the Caspian Sea (the dotted line is a polynomial trend, compiled from the data [Svitoch, 1997; Oleinik, 2008, 2011; Level of the Caspian Sea and forecasts of its change, 2012; Kovalev, Parada, 2013; etc.]

Как показало время, одни из прогнозов оказались в недостаточной степени точны, другие были опровергнуты фактическим поведением Каспия в последние два десятилетия. На основании этого можно заключить, что в настоящее время не существует достаточно надежных и адекватных методов прогнозирования ожидаемых изменений уровня Каспийского моря, что существенно затрудняет решение вопросов, связанных с экономикой и развитием народного хозяйства в бассейне моря. Разработка таких методов – одно из наиболее важных направлений исследований Каспия.

Как уже отмечалось, к настоящему времени очень многими исследователями уже предпринимались попытки прогнозирования с использованием разнообразных подходов и приемов: (корреляционный [Аполлов, Алексеева, 1959; Романчук, 1986; Шило, Кривошей, 1989; Бабаев, Ляпунов, 1992; Панин и др., 1994; и др.], экстраполяционный [Будыко, Юдин, 1960; Музылев и др., 1982; Хубларян, Найденов, 1991; Раткович, 1993; Голицын, 1995; Фролов, 2003; и др.], с использованием больших климатических моделей [Golitsyn G.S. et al., 1996; Arpe et al., 2000; Mokhov, Khon 2001; и др.]). Однако следует констатировать, что до сих пор не было выработано ни одного более или менее надежного прогноза.

Главное препятствие, усложняющее использование детерминистических прогнозов, построенных на уравнении водного баланса моря, – это неразработанность теории и практики сверхдолгосрочных прогнозов изменения климата на больших территориях [Михайлов, 2000]. В свою очередь, вероятностные прогнозы основаны на постулировании целого ряда допущений и также не дают однозначной оценки колебаний уровня водоема. Вероятностный прогноз может приводить к такому большому расхождению, при котором его использование может потерять практический смысл. Так, расхождение между доверительными границами прогнозируемого к 2025 году уровня моря могут достигать 3.5 м [Малинин, 1994].

Немаловажным представляется вопрос выбора временного интервала прогнозирования. По длительности горизонта рассмотрения научно-технические прогнозы подразделяются на оперативные – до 3 месяцев, краткосрочные – до 1 года,



среднесрочные – на 1–5 лет, долгосрочные – на 5–20 лет и сверхдолгосрочные – более чем на 20 лет, а выбор периода прогноза определяется главным образом темпами развития прогнозируемого явления. С начала нашей эры в режиме уровня Каспия можно выделить 38 периодов, из которых 15 характеризуются ростом уровня, 15 – снижением уровня и 8 – стоянием уровня в пределах флуктуаций не более одного метра (табл. 2) [Варущенко и др., 1987; Бутаев, 1998].

Таблица 1
Table 1

Некоторые прогнозные оценки положения уровня Каспия (по [Бутаев, 1998] с дополнением)
The some forecast estimates of the position of the Caspian Sea level (according to [Butaev, 1998] with the addition)

Год	Уровень моря, м	Источник
2005	-26	Г. Рычагов [Рычагов, 1996]
2005	-25.6	М. Кривошей [Кривошей, 1997]
2006	-25	Р. Клиге [Клиге, 1997]
2005–2010	-20	Б. Голубов [Голубов, 1994]
2005–2010	-29...-31	И. Зонн [Зонн, 1997]
2010	-25.5	Р. Клиге [Клиге, 1994]
2010	-25	Е. Мухина и др. [Мухина и др., 1995]
2010	-25	Г. Рычагов [Рычагов, 1996]
2010	-25.5	В. Малинин [Малинин, 1994]
2010	-25.7	Н. Сидоренко [Сидоренко, Швейкина, 1996]
2020	-22	Б. Арламадхан [Арламадхан, 1995]
2020	-24	И. Зонн [Зонн, 1997]
2020	-25.4...-25.0	В. Малинин [Малинин, 1994]
2035	-25.5	В. Хаустов и др. [Хаустов и др., 1995]
2035	-21	Е. Мухина и др. [Мухина и др., 1995]

Таблица 2
Table 2

Характеристики периодов изменения уровня Каспийского моря с начала нашей эры [Варущенко и др., 1987]
Characteristics of periods of the Caspian Sea level changes [Varushchenko et al., 1987]

Характеристика периода	Число периодов	Продолжительность периодов, годы		
		средняя	максимальная	минимальная
Повышение	15	53	100	40
Падение	15	54	80	40
Стабилизация	8	46	60	40

Из табл. 2 видно, что средняя продолжительность периодов стояния, роста и падения уровня Каспия немногим превышает 50 лет. Следовательно, прогнозный период изменения уровня моря должен составлять не менее 50 лет.



Результаты и их обсуждение

Авторами впервые было предпринято прогнозирование уровня Каспия с применением авторегрессионной модели высокого порядка для временных рядов еще в 1995 году [Хаустов и др., 1995]. Полученный на тот момент времени результат (устойчивое повышение вплоть до отметок -25.5 абс. м к 2035 году) частично подтвердился фактическими данными по состоянию на 2010 год. Позднее, уже в 2010 г., нами были использованы стохастические авторегрессионные модели с лагами, то есть с памятью [Хаустов, Костенко, 2011].

Подобные модели можно представить следующим образом:

$$Y(t) = a_0 + a_1 * Y(t - 1) + a_2 * Y(t - 2) + a_3 * Y(t - 3) \dots + W(.),$$

где: $Y(t)$ – оценка величины изучаемого процесса (уровня Каспийского моря) в настоящие и будущие моменты времени; $Y(t - i)$ – значения функции в прошлые моменты времени (память модели); a_i – коэффициенты уравнения авторегрессии; $W(.)$ – случайная составляющая модели, «белый шум», с математическим ожиданием $M(W(i)) = 0$ и дисперсией $D(W(.)) = \text{const}$.

Приведенные модели характеризуются наличием высоких корреляционных связей между функцией и аргументами, что позволяет отобразить в них тончайшие вариации изучаемого явления. В процессе моделирования выполнялось сглаживание первоначальных замеров уровней с помощью скользящего окна с применением функции обратного гиперболического синуса и в дальнейшем использовались как неизменные, так и сглаженные отметки замеров уровня поверхности моря. Повторная математическая обработка фактического материала с использованием приведенных стохастических моделей и с учетом обновленных первичных данных (вплоть до 2016 года) позволила уточнить прогнозные оценки уровней Каспийского моря до 2030 года, а также рассчитать прогнозные оценки до 2100 года. В соответствии с результатами повторного прогнозирования уровень Каспийского моря должен постепенно повышаться до 2020 года почти на один метр (-25.5 абс. м). В последующем периоде (до 2060 года) и далее до 2100 года ожидалось плавное медленное снижение уровня водоема [Хаустов, 2011; Хаустов, Костенко, 2011].

Поскольку фактические данные изменения уровня водоема недостаточно хорошо (начиная с 2010 г.) согласуются с данными приведенного выше прогноза, то это обстоятельство стимулировало авторов на дальнейшие усилия по усовершенствованию прогнозных моделей [Хаустов, 2011].

Анализ сводного фактического материала позволяет выявить на протяжении последних нескольких тысяч лет наличие многочисленных гармоник с периодами 24; 80; 88; 96; 128; 169; 192; 248; 344; 360; 384; 470; 500; 2600 лет. Гармоника с максимальным периодом 2600 лет представлена кривой косинуса, первый максимум которой наблюдается в 600 г. до н. э. (-600 лет, колебания уровня от -34.0 абс. м до -20.0 абс. м, среднее -27.0 абс. м), минимум установлен в 500 г. н. э. (колебания уровня от -34.4 абс. м до -25.0 абс. м, среднее -29.7 абс. м). Второй максимум наблюдается в 1800 г., но, возможно, что это еще не завершение подъема кривой (колебания уровня от -29.2 абс. м до -22.8 абс. м, среднее -26.0 абс. м). Приведенная гармоника с очень большим периодом, в свою очередь, осложнена колебаниями с более короткими периодами.

Более стабильный характер колебательных движений уровня Каспия наблюдается на протяжении достаточно короткого периода от 1200 года до настоящего времени – восходящая волна глобального цикла. Поэтому в качестве обучающего множества был принят еще более сокращенный интервал имеющихся данных от 1584 года до настоящего времени. В качестве расчетной математической модели принята комплексная модель,



включающая регрессию с временным лагом 384 года и авторегрессионную составляющую с временным лагом 8 лет (табл. 3).

Таблица 3
Table 3

Статистические показатели по вариантам прогнозирования
Statistical indicators for forecasting options

Показатель	"L=48x8"	"L=8"
Коэффициент корреляции	0.648196131	0.820118323
Коэффициент уравнения регрессии	0.494588223	0.860944503
Свободный член уравнения регрессии	-11.94716568	0.015411671
Общая дисперсия для обучающего множества	3.070635152	
Дисперсия ошибки	0.558577529	
Коэффициент детерминации	0.818290557 81.82%	
Обобщенный коэффициент корреляции для всей модели	0.904518102	
Обобщенный коэффициент детерминации	90 %	

Высокая степень адекватности принятой модели подтверждается значительным коэффициентом детерминации комплексной модели, равным 0.8182, что свидетельствует о том, что 81.82 % дисперсии исследуемого фактора описывается настоящей математической моделью и только 18.18 % этой дисперсии определяется другими, пока неясными и поэтому неучтенными факторами, что возможно исправить при определенном усложнении математической модели и увеличении ее памяти в будущем.

В соответствии с результатами расчетов по усовершенствованной математической модели прогноза уровня Каспия уточнено, что в ближайшие десятилетия (2020–2060 гг.) следует ожидать повышение его уровня до отметки, близкой к -25 абс. м (рис. 2).

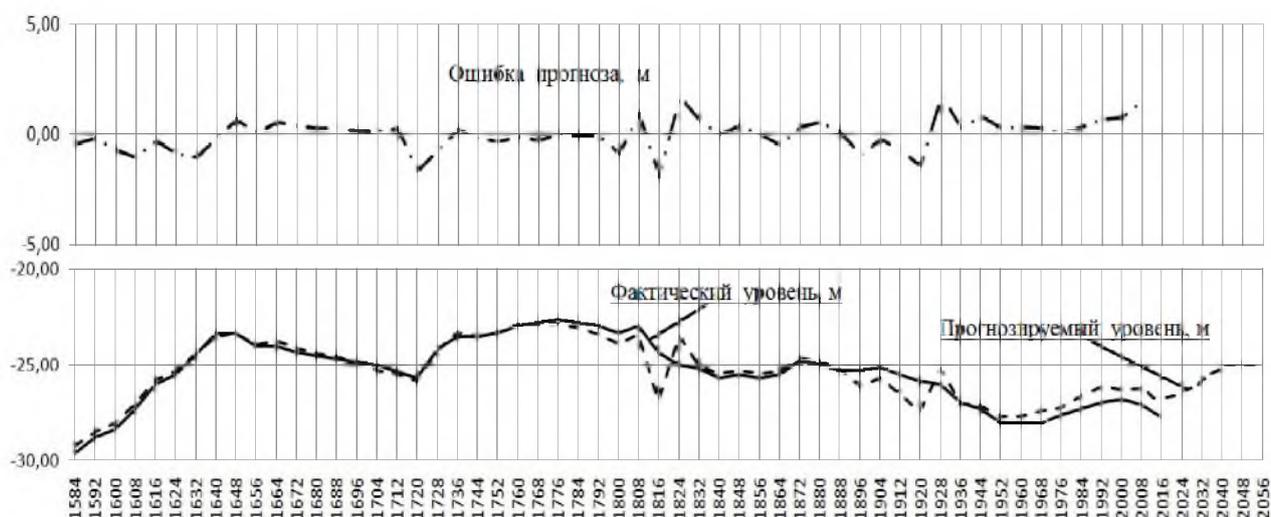


Рис. 2. Прогноз изменения уровня Каспийского моря
Fig. 2. Forecast of changes the Caspian Sea level

В целях определения степени адекватности полученного прогноза осуществлена инверсная верификация (инверсная экстраполяция) его результатов (рис. 3).

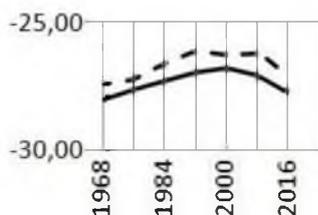


Рис. 3. График хода фактического (сплошная линия) и прогнозного (пунктирная линия) уровня Каспийского моря

Fig. 3. Graph of the actual (solid line) and forecast (dashed line) level of the Caspian Sea

Сопоставляя значения прогноза, полученного инверсной экстраполяцией с 1968 по 2016 годы, с фактическими значениями объекта в эти же годы ретроспекции, можно сделать вывод о вполне удовлетворительной достоверности усовершенствованной математической модели.

Выводы

Опираясь на результаты изложенных исследований, можно констатировать, что предположение некоторых исследователей (см. табл. 1) о невозможности превышения уровня Каспия отметки -26 абс. м в обозримом будущем (минимум 50 лет) вряд ли оправдано. И это даже с учетом того, что при уровне моря, близком к отметке -26 абс. м, начнется затопление просохших при низком положении уровня крупных заливов-сорос на северо-восточном побережье Каспия (Мертвый Култук и Кайдак), а также низменных территорий в других местах побережья, что неизбежно приведет к возрастанию величины испарения с водной поверхности. При более высоком уровне Каспийского моря также неизбежно увеличится отток вод в залив Кара-Богаз-Гол. В совокупности все это действительно может замедлить в определенной степени рост уровня водоема, но вряд ли изменит, на наш взгляд, общий тренд на повышение зеркала в обозримом будущем.

Изложенные результаты исследований свидетельствуют о том, что в ближайшие десятилетия (2020–2060 гг.) следует ожидать повышение уровня уникального водоема до отметки, близкой к -25 абс. м. Примечательно, что в современных прогнозах (с использованием различных подходов, методов и приемов прогнозирования) таких известных исследователей, как Клиге Р.К., Хубларян М.Г., Малинин В.Н., Раткович Д.Я., Фролов А.В., Найденов В.И. и др., также прослеживается общий тренд повышения уровня Каспия в разрезе грядущих десятилетий.

Список литературы References

1. Arpe K., Bengtsson L., Golitsyn G.S., Mokhov I.I., Semenov V.A., and Sporyshev P. V. 2000. Connection between Caspian Sea level variability and ENSO. *Geophys. Res. Lett.*, 27: 2693–2696.
2. Арламадхан Б. 1995. Проблема подъема уровня Каспийского моря. В кн.: Материалы Международной конференции "Каспийский регион: экономика, экология, минеральные ресурсы". М.: 14.
3. Arlamadhan B. 1995. The problem of raising the level of the Caspian Sea. In: Materials of the International Conference "The Caspian Region: Economics, Ecology, Mineral Resources". Moscow: 14. (in Russian)
4. Аполлов Б.А., Алексеева К.И. 1959. Прогноз уровня Каспийского моря. В кн.: Труды океанографической комиссии АН СССР. Т. 5. М.: Издательство АН СССР; 53–78.
5. Apollov B.A., Alekseeva K.I. 1959. Forecast of the level of the Caspian Sea. In: Proceedings of the Oceanographic Commission of the USSR Academy of Sciences. T. 5. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences: 53–78. (in Russian)
6. Бабаев А.Г., Ляптунов Ч.О. 1992. Феноменологические исследования связи уровня Каспийского моря и скорости его изменения с солнечной активностью. *Проблемы освоения пустынь*, 35: 3–12.

Babayev A.G., Liaptunov Ch.O. 1992. Phenomenological studies of the connection between the level of the Caspian Sea and the rate of its change with solar activity. *Problems of Desert Development*, 35: 3–12. (in Russian)

5. Берг Л.С. 1934. Уровень Каспийского моря за историческое время. В кн.: Проблемы физической географии. Т.1, Вып. 1. М.: 11–64.

Berg L.S. 1934. Level of the Caspian Sea for historical time. In: *Problems of physical geography*. Vol. 1, Iss.1. М.: 11–64. (in Russian)

6. Будыко М.И., Юдин М.И. 1960. О колебаниях уровня непроточных озер. *Метеорология и гидрология*, 8: 15–19.

Budyko M.I., Yudin M.I. 1960. On fluctuations in the level of non-current lakes. *Meteorology and Hydrology*, 8: 15–19. (in Russian)

7. Бутаев А.М. 1998. Каспий: загадки уровня. Махачкала, 70.

Butaev A.M. 1998. Caspian: riddles of the level. Makhachkala, 70. (in Russian)

8. Варущенко С.И., Варущенко А.Н., Клиге Р.К. 1987. Изменения режима Каспийского моря и бессточных водоемов в палеовремени. М., 240.

Varushchenko S.I., Varushchenko A.N., Klighe R.K. 1987. Changes in the regime of the Caspian Sea and inland reservoirs in paleo time. Moscow, 240. (in Russian)

9. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Каспийское море. Т. 6. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. СПб., 1992.

Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas. Caspian Sea. Vol. 6. Iss. 1. Hydrometeorological conditions. St. Petersburg, 1992. (in Russian)

10. Голубов Б.Н. 1994. Особенности современной геодинамической активности Арало-Каспийского региона. *Известия РАН. География*, 6: 96–100.

Golubov B.N. 1994. Peculiarities of the modern geodynamic activity of the Aral-Caspian region. *Izvestiya RAN. Geography*, 6: 96–100. (in Russian)

11. Голицын Г.С. 1995. Подъем уровня Каспийского моря как задача диагноза и прогноза региональных изменений климата. *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*, 31 (3): 1–7.

Golitsyn G.S. 1995. The rise of the level of the Caspian Sea as the task of diagnosing and forecasting regional climate changes. *Proceedings of the RAS. Physics of the atmosphere and ocean*, 31 (3): 1–7. (in Russian)

12. Golitsyn, G. S., Arpe, K., Bengtsson, L., Dümenil, L., Eliseev, A. V., Folland, C. K., Govorkova, V. A., Meleshko, V. P., Meshcherskaya, A. V., Mokhov, I. I., Pavlova, T. V., Renshaw, A. C. and Sporyshev, P. V. 1996. The study of the atmospheric water cycle variability in Eastern Europe and its association with the Caspian Sea level change. In: Staniforth, A. (ed.) *Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling. WMO/TD Reports (734)*. The World Meteorological Organisation. Geneva: 2.8-2.9.

13. Зонн И.С. 1997. Каспийский меморандум (введение в геополитическое каспиеведение). М., 290.

Zonn I.S. 1997. Caspian memorandum (introduction to geopolitical caspian studies). Moscow, 290. (in Russian)

14. Ковалев В.В., Парада С.Г. 2013. Геологические аспекты современных изменений уровня Каспийского моря. *Вестник Южного научного центра*, 9 (2): 38–46.

Kovalev V.V., Parada S.G. 2013. Geological Aspects of Current Changes in the Level of the Caspian Sea. *Vestnik of the Southern Scientific Center*, 9 (2): 38–46. (in Russian)

15. Клиге Р.К. 1997. Нарушение экологических условий подъемом уровня Каспия. В кн.: Проблемы экологической безопасности Каспийского региона. Москва-Махачкала: 42–44.

Klighe R.K. 1997. Infringement of ecological conditions by the rise of the level of the Caspian. In: *Problems of ecological safety of the Caspian region*. Moscow-Makhachkala: 42–44. (in Russian)

16. Клиге Р.К. 1994. Прогнозные оценки изменения уровня Каспия. *Мелиорация и водное хозяйство*, 1: 10–11.

Klighe R.K. 1994. Forecast estimates of changes in the level of the Caspian. *Melioration and water management*, 1: 10–11. (in Russian)

17. Кривошей М.И. 1997. Арал и Каспий (причины катастрофы). СПб., 130.

Krivoshey M.I. 1997. Aral and the Caspian (causes of the disaster). St. Petersburg, 130. (in Russian)

18. Малинин В.Н. 1994. Проблема прогноза уровня Каспийского моря. СПб., 160.



- Malinin V.N. 1994. The problem of forecasting the level of the Caspian Sea. St. Petersburg, 160. (in Russian)
19. Михайлов В.Н. 2000. Загадки Каспийского моря. Соросовский образовательный журнал. Науки о Земле, 6 (4): 63–70.
- Mikhailov V.N. 2000. Mysteries of the Caspian Sea. SEJ. Earth Sciences, 6 (4): 63–70. (in Russian)
20. Музылев С.В., Привальский В.Е., Раткович Д.Я. 1982. Стохастические модели в инженерной гидрологии. М., 283.
- Muzylev S.V., Privalsky V.E., Ratkovich D.Ya. 1982. Stochastic models in engineering hydrology. M., 283. (in Russian)
21. Мухина Е.В., Игнатов Е.И., Каплин П.А. 1995. Каспий: катастрофа, гипотезы и стратегия. В кн.: Наш дом – планета Земля. М.: 125–173.
- Mukhina E.V., Ignatov E.I., Kaplin P.A. 1995. Caspian: disaster, hypothesis and strategy. In: Our house is the planet Earth. M.: 125–173. (in Russian)
22. Mokhov I.I., Khon V.Ch. 2001. Projections of future changes of hydrological cycle in the Caspian Sea basin. Ed. H. Ritchie. In: Research activities in atmospheric and oceanic modeling. Geneva, WMO: 9–20.
23. Олейник О.В. 2008. Анализ временных рядов уровня Каспийского моря за последние 100 лет. Геофизические процессы и биосфера, 7 (2): 5–26.
- Oleinik O.V. 2008. Analysis of time series of the level of the Caspian Sea for the last 100 years. Geophysical processes and the biosphere, 7 (2): 5–26. (in Russian)
24. Олейник О.В. 2011. Анализ спектрально-временной структуры временных рядов уровня Каспийского моря. Пространство и Время, 1 (3): 149–161.
- Oleinik O.V. 2011. Analysis of the spectral-temporal structure of time series of the level of the Caspian Sea. Space and Time, 1 (3): 149–161. (in Russian)
25. Панин Г.Н., Дзюба А.В., Осипов А.Г. 1994. Региональные изменения процессов взаимодействия вод суши и атмосферы как проявление глобальных колебаний климата. В кн.: Воды суши: проблемы и решения. М.: 112–144.
- Panin G.N., Dzyuba A.V., Osipov A.G. 1994. Regional changes in the processes of interaction between land and the atmosphere as a manifestation of global climate fluctuations. In: Waters on land: Problems and Solutions. M.: 112–144. (in Russian)
26. Раткович Д.Я. 1993. Современные колебания уровня Каспийского моря. Водные ресурсы, 20 (2): 160–171.
- Ratkovic D.Ya. 1993. Current fluctuations in the level of the Caspian Sea. Water resources, 20 (2): 160–171. (in Russian)
27. Романчук П.Р. 1986. Уровень Каспийского моря и солнечная активность. Вестник Киевского университета. Астрономия, 28: 51–53.
- Romanchuk P.R. 1986. Level of the Caspian Sea and solar activity. Bulletin of the Kiev University. Astronomy, 28: 51–53. (in Russian)
28. Рычагов Г.И. 2011. Колебания уровня Каспийского моря: причины, последствия, прогноз. Вестник Московского университета. География, 5: 4–12.
- Rychagov G.I. 2011. Fluctuations in the level of the Caspian Sea: causes, consequences, forecast. Herald of Moscow University. Geography, 5: 4–12. (in Russian)
29. Рычагов Г.И. 1997. Плейстоценовая история Каспийского моря. М., 268.
- Rychagov G.I. 1997. Pleistocene history of the Caspian Sea. M., 268. (in Russian)
30. Рычагов Г.И. 1996. Экологические аспекты неустойчивости уровня Каспийского моря. Аридные экосистемы, 2 (2–3): 74–82.
- Rychagov G.I. 1996. Ecological Aspects of Instability of the Level of the Caspian Sea. Arid ecosystems, 2 (2–3): 74–82. (in Russian)
31. Свиточ А.А. 1997. Уровенный режим Каспийского моря по палеогеографическим данным. Водные ресурсы, 24 (1): 13–22.
- Svitoch A.A. 1997. Level regime of the Caspian Sea according to paleogeographic data. Water resources, 24 (1): 13–22. (in Russian)



32. Сидоренко Н.С., Швейкина В.И. 1996. Изменение климатического режима бассейна Волги и Каспийского моря за последнее столетие. Водные ресурсы, 4: 401–406.

Sidorenko N.S., Shvejkina V.I. 1996. Changes in the climatic regime of the basin of the Volga and the Caspian Sea over the last century. Water Resources, 4: 401–406. (in Russian)

33. Уровень Каспийского моря и прогнозы его изменения. Гидрометеорологический бюллетень, 2012. URL: <http://seakc.meteoinfo.ru/forecast/68-2016/246-2016> (дата обращения: 15 января 2018).

Level of the Caspian Sea and forecasts of its change. 2012. Hydrometeorological Bulletin, URL: <http://seakc.meteoinfo.ru/forecast/68-2016/246-2016> (accessed 15 January 2018). (in Russian)

34. Фролов А.В. 2003. Моделирование многолетних колебаний уровня Каспийского моря: теория и приложения. М., 171.

Frolov A.V. 2003. Modeling of long-term fluctuations in the level of the Caspian Sea: theory and applications. Moscow, 171. (in Russian)

35. Хаустов В.В., Мартынова М.А., Костенко В.Д. 1995. К экологической проблеме Каспийского региона. В кн.: Доклады международной конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы охраны окружающей среды». Томск: 115.

Khaustov V.V., Martynova M.A., Kostenko V.D. 1995. To the ecological problem of the Caspian region. In: Reports international conference «Fundamental and Applied Problems of Environmental Protection». Tomsk: 115. (in Russian)

36. Хаустов В.В. 2010. О геодинамическом типе водообмена в пределах Южно-Каспийской впадины. В кн.: Дегазация Земли: геотектоника, геодинамика, геофлюиды; нефть и газ; углеводороды и жизнь. М.: 616–617.

Khaustov V.V. 2010. On the geodynamic dash of water exchange within the South Caspian basin. In: Degassing of the Earth: geotectonics, geodynamics, geofluids; oil and gas; hydrocarbons and life. Moscow: 616–617. (in Russian)

37. Хаустов В.В. 2011. Роль глубинной геодинамики в формировании гидrolитосферы (на примере Каспийско-Кавказского сегмента Альпийско-Гималайского подвижного пояса). Автореф. дис. ... доктора геол.-минералог. наук. СПб., 40.

Khaustov V.V. 2011. The role of deep geodynamics in the formation of the hydrolithosphere (on the example of the Caspian-Caucasian segment of the Alpine-Himalayan mobile belt): the abstract. dis. ... doctors geol.-miner. sciences. St. Petersburg, 40. (in Russian)

38. Хаустов В.В., Костенко В.Д. 2011. К проблеме прогнозирования уровня Каспийского моря. Известия Юго-Западного государственного университета, 1 (34): 142–149.

Khaustov V.V., Kostenko V.D. 2011. To the problem of predicting the level of the Caspian Sea. News of South-Western State University, 1 (34): 142–149. (in Russian)

39. Хубларян М.Г., Найденов В.И. 1991. О тепловом механизме колебаний уровня водоемов. Доклады АН СССР, 319 (6): 1438–1444.

Khublaryan M.G., Naidenov V.I. 1991. On the thermal mechanism of water level fluctuations. Dokl. AN USSR, 319 (6): 1438–1444. (in Russian)

40. Шило Н.А., Кривошей М.И. 1989. Взаимосвязь колебания уровня Каспийского моря с напряжениями в земной коре. Вестник АН СССР. Физика Земли, 6: 83–90.

Shilo N.A., Krivoshey M.I. 1989. Interrelation of fluctuations in the level of the Caspian Sea with stresses in the Earth's crust. Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR. Physics of the Earth, 6: 83–90. (in Russian)

Ссылка для цитирования статьи

Хаустов В.В., Костенко В.Д. К прогнозированию колебаний уровня Каспийского моря // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2018. Т. 42, № 2. С. 162–171. doi: 10.18413/2075-4671-2018-42-2-162-171

Khaustov V.V., Kostenko V.D. About Forecasting Fluctuations of the Caspian Sea's level // Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences series. 2018. V. 42, № 2. P. 162–171. doi: 10.18413/2075-4671-2018-42-2-162-171