

ПРИРОДНЫЕ и антропогенные ФАКТОРЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ на УРОВЕНЬ Каспийского моря

Представлены данные количественной оценки динамики уровня Каспийского моря в зависимости от ряда гидрометеорологических показателей компонентов природной среды. Анализ результатов исследования подтверждает не только гидрологическую, но и тектоническую концепцию изменения уровня моря.



Введение

В последние 150 лет северный регион Каспийского моря подвергается разнообразным антропогенным воздействиям, глобальным и региональным климатическим изменениям, которые не могли не оказывать влияния на состояние его экосистемы. За время регулярных инструментальных наблюдений, которые ведутся с 1837 г., самый высокий уровень воды зарегистрирован в 1882 г. (-25,2 м), самый низкий — в 1977 г. (-29,0 м); с 1978 г. уровень воды повышался и в 1995 г. достиг отметки -26,7 м; с 1996 г. опять наметилась тенденция к понижению, которая продолжалась до 1998 г., когда уровень Каспия понизился до -27,17 м [1]. С 1999 до 2005 гг. наблюдается тенденция колебательных движений уровня с итоговым незначительным повышением до отметки -26,8 м (рис. 1).

В целях выявления причин изменения состояния экосистем Каспийского моря, её динамики под воздействием определенных

Н.Н. Митина*,
доктор географических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ Институт водных проблем Российской академии наук, профессор кафедры отраслевого и природно-ресурсного управления факультета Государственного управления, ГОУ ВПО Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

факторов и стабилизирующей роли отдельных компонентов проанализирована с использованием статистических методов — расчетов коэффициентов парной корреляции (r) — составленная матрица литературных и фондовых данных, в которую по годам с 1878 по 2007 гг. включены среднегодовые значения климатических и гидрологических показателей состояния природной среды региона и различных антропогенных воздействий (всего 36 показателей). Наиболее распространена точка зрения, согласно которой колебания уровня Каспийского моря тесно связаны с варьированием стока Волги (по данным многих исследователей ее годовой «вклад» составляет четверть объема всего моря) и других впадающих в него рек, что, в свою очередь, обусловлено вмешательством человека и климатическими изменениями на водосборах и акватории моря. Волга дает максимальный приток вод в море. Суммарный сток других наиболее крупных рек — Урала, Терека, Сулака, Эмбы, Самура составляет в среднем около 14 % от общего (табл. 1).

В отношении антропогенного воздействия на поступление речного стока в Каспийское море наблюдалось три периода. Первый пери-

*Адрес для корреспонденции: natalia_mitina@mail.ru

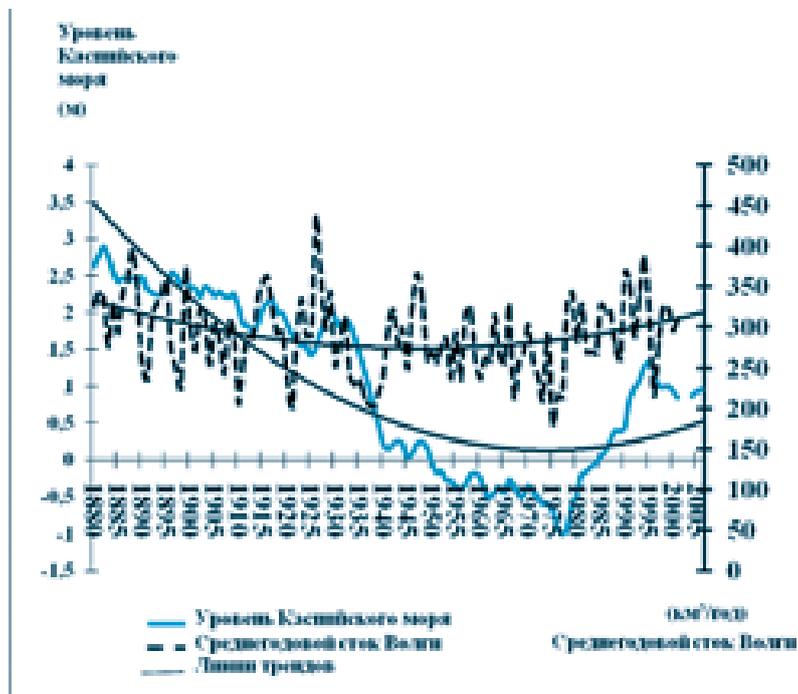


Рис. 1. Изменение уровня Каспийского моря с 1887 по 2007 гг.

од продолжался до 1933 г., когда сток не регулировали. С 1933 г. начался этап строительства ГЭС на крупных реках (Магнитогорская ГЭС), который продолжался до 1985 г., когда было заполнено Чебоксарское водохранилище (табл. 2). За этот период был построен каскад крупных водохранилищ на волжской речной системе и созданы более мелкие водохранилища на Урале, Тереке, Кура, Сулаке, Эмбе, иранских реках [4-6], при этом суммарный объем водохранилищ составил более 218 км³. Третий период начался в 1985 г. и продолжается до настоящего времени — это период зарегулированного стока рек, питающих Каспийское море.

Таблица 1

Характеристика крупных рек Каспийского моря (по [1])

Река	Площадь дельты, км ²	Сток воды, км ³		Сток наносов, млн. т.
		по [2]	по [3]	
Волга	18000	243	250,5	14
Урал	500	7	9,2	2,7
Терек	8900	8,9	7,8	15,1
Сулак	70	4,4	5,5	13,2
Самур	80	1,63	2,3	4,7
Кура	204	7,8	17,9	39,7
Сефидруд	1800	4,67	Нд*	31
Хараз	315	0,96	Нд	2,4
Горганруд	630	0,49	Нд	3,1

* Примечание: Нд — нет данных

Результаты и их обсуждение

За исследуемый период времени наблюдается общая тенденция падения уровня Каспийского моря: между показателями «уровень Каспия (Бакинский футшток) — годы» коэффициент корреляции $r = -0,82$ (табл. 3).

Площадь Каспийского моря, непосредственно связанная с его уровнем ($r = 0,99$), за столетие значительно уменьшилась ($r = -0,87$). Соответственно уменьшается отток вод в залив Кара-Богаз-Гол: коэффициент парной корреляции (r) между показателями «отток (в км³/год) — годы» составил $-0,61$ ¹. Объем оттока зависит от уровня и площади моря: коэффициенты парной корреляции между показателями «уровень моря — отток в Кара-Богаз-Гол» и «площадью моря — отток в Кара-Богаз-Гол» равны, соответственно, 0,83 и 0,82.

Коэффициент корреляции между общим объемом стока (включая подземный) и стоком Волги равен 0,96. Проанализировав данные годовых значений объемов стока и расходов р. Волги, уровня Каспийского моря, общего объема зарегулированного стока, мы обнаружили, что с 1879 по 2007 гг. сильной динамики по показателям стока Волги и объемов речного стока не произошло: коэффициенты парной корреляции между показателями «сток Волги — годы» и «расходы Волги — годы» составили, соответственно, $-0,31$ и $-0,36$, однако это значимые корреляционные связи, согласно [8]², показывающие, что сток Волги за прошедшие 126 лет уменьшился. Значимые корреляции наблюдаются также между уровнем моря и объемом стока Волги ($r = 0,3$), уровнем моря и расходом Волги ($r = 0,31$), а также уровнем моря и общим объемом стока всех впадающих в море рек, включая подземный сток ($r = 0,3$)³. В дополнение к вышеизложенному, на рис. 1 видно, что резкое падение как стока Волги, так и уровня моря отмечено с момента начала строительства каскада ГЭС и закончилось, когда были заполнены основные водохранилища Волжско-Камского каскада. За 1881 — 2000 гг. вслед за общим понижением уровня моря значительно уменьшился сток Терека ($r = -0,52$ при $f = 94$ и $P = 0,99$).

¹ Все приведенные корреляции значимые, согласно [8], при $f=98$ $P=0,99$ $r_{(теоретический)} = 0,26$

² (для всех расчетов число степеней свободы $f=100$ при доверительной вероятности $P=0,99$)

³ (для всех расчетов число степеней свободы $f=100$ при доверительной вероятности $P=0,99$ $r_{(теоретический)} = 0,26$)



Таблица 2

Водохранилища с полным объемом воды более 0,1 км³ на реках бассейна Каспийского моря [1, 4, 5, 7]

Водохранилище	Год Заполнения	Полный объем, км ³	Водохранилище	Год заполнения	Полный объем, км ³
Водохранилища на р. Волга			Водохранилища на р. Урал		
Иваньковское	1937	1,12	Ириклинское	1958-1966	3,26
Угличское	1939-1943	1,24	Верхнеуральское	1964	0,6
Рыбинское	1940-1949	25,42	Водохранилища на р. Кура		
Горьковское	1955-1957	8,82	Мингечаурское	1953-1959	16,07
Чебоксарское	1982-1985	13,80	Варваринское	1955-1957	0,06
Куйбышевское	1955-1957	58,00	Водохранилища на р. Сулак		
Саратовское	1967-1968	12,37	Чирюртское	1959-1961	0,1
Волгоградское	1958-1960	31,45	Чиркейское	1974-1976	2,78
Водохранилища на р. Кама			Водохранилища на р. Эмба		
Камское	1954-1955	12,20	Арал-Тюбинское	1970-1971	0,22
Воткинское	1961-1964	9,36	Прочие бассейны		
Нижекамское	1978	2,80	Водохранилища ИРИ	1980-1986	8,5
Магнитогорское	1933-1938	0,19	Все водохранилища	1937-1986	208,36

Проблема аномальных изменений уровня Каспийского моря широко обсуждается с самых разнообразных точек зрения [9-13]. Например, в [12, 13] на основе анализа особенностей строения и динамики литосферы, изучения структуры высокой региональной сейсмичности (рис. 2) и современных тектонических движений предлагается сейсмогеодинамическая модель Каспийского региона,

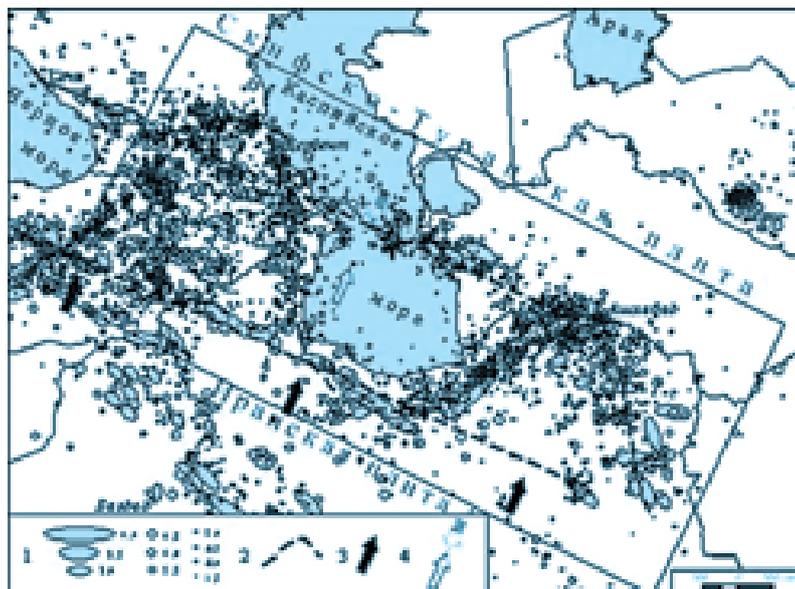


Рис. 2. Сейсмичность Каспия и сопредельной территории [13]:
1 — очаги землетрясений разных магнитуд; 2 — оси сейсмоактивных структур; 3, 4 — направление перемещения Иранской плиты и литосферы Южного и Северного Каспия.

согласно которой сейсмической активизации предшествует изгиб дна Южно-Каспийской впадины и появление «избытка» воды в море. И наоборот, после крупных землетрясений и погружения соответствующих участков земной коры в зоне Центрального Каспия следует общий спад его водной поверхности.

Действительно, Каспийское море представляет собой молодое в геологическом отношении образование — геосинклиналь Кавказских гор, которая относится к Альпийской складчатости, где в настоящее время продолжается процесс формирования — активная вулканическая и тектоническая деятельность. Кроме того, Каспийское море окружают множественные карстовые пустоты, куда могут свободно попадать огромные объемы каспийских вод. Тектоническую теорию динамики уровня Каспийского моря хорошо иллюстрирует график соотношения уровней Каспия и Арала (рис. 3), из которого видно, что данные процессы в этих водоемах взаимосвязаны как в двух сообщающихся сосудах, соединенных многочисленными подземными карстовыми пустотами, которыми изобилует регион.

Таким образом, речной сток значимо влияет на изменение уровня Каспийского моря, но тектоническая активность региона также вносит свой вклад в описываемый процесс.

Тенденции изменения климата в северном регионе Каспийского моря. Величина и характер стока рек, впадающих в Каспийское море, тип их питания и другие гидрологи-

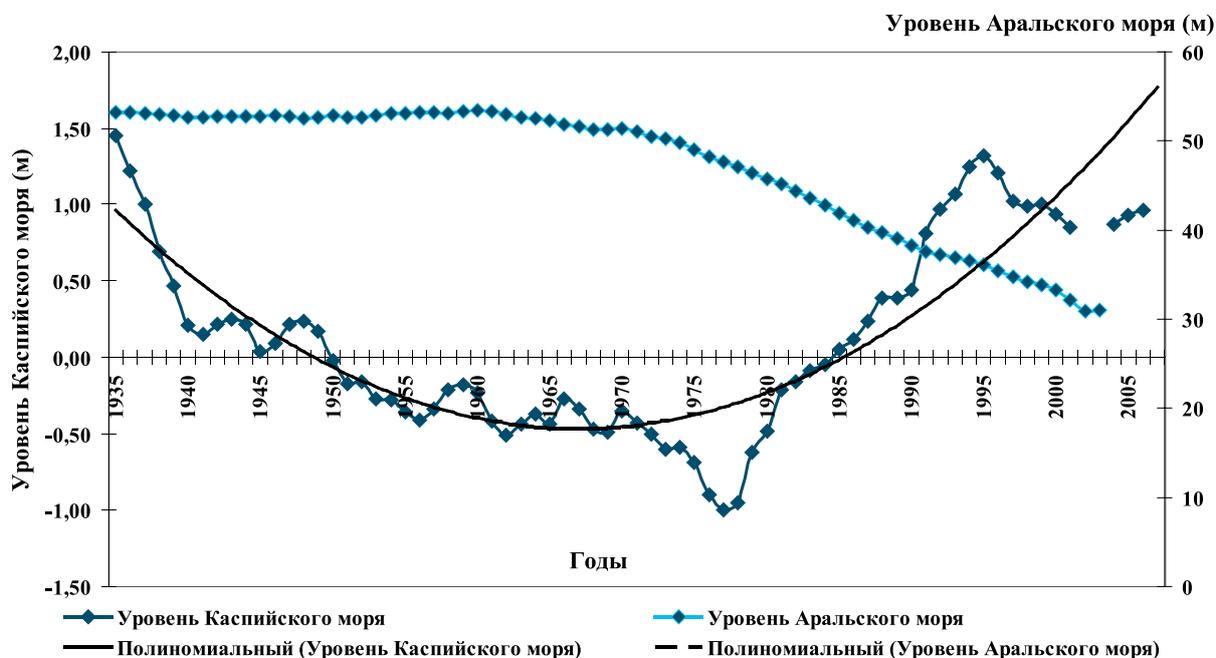


Рис. 3. Соотношение изменения уровней Каспийского и Аральского морей.

ческие показатели весьма различны, т.к. зависят от климата на водосборе и от антропогенного воздействия. Анализируя данные стока в Каспийское море наиболее крупных рек (Терека, Самура, Урала, Сулака, Эмбы и Куры) за 1881-1969 гг. получено, что уровень

и площадь Каспия имеет значимые положительные корреляции только со стоком Терека ($r = 0,62$) (табл. 3), что, вероятно, связано с повышением влажности на расположенном большей частью в предгорьях и северных склонах Кавказа водосборе Терека при увеличении площади моря.

Таблица 3

Матрица парных корреляционных связей параметров, описанных в статье (фрагмент)

Параметры	Годы	Среднегодовой сток р. Волги	Среднегодовые расходы р. Волги	Сток р. Терек	Уровень Каспийского моря	Площадь Каспийского моря	Отток в залив Кара-Богаз-Гол
Годы	1						
Среднегодовой сток р. Волги	-0,31	1					
Среднегодовые расходы р. Волги	-0,36	1,0	1				
Сток р. Терек	-0,49	0,09	0,09	1			
Уровень Каспийского моря	-0,82	0,32	0,31	0,62	1		
Площадь Каспийского моря	-0,87	0,35	0,35	0,62	0,99	1	
Отток в залив Кара-Богаз-Гол	-0,61	0,42	0,41	-0,10	0,83	0,82	1

Примечание: курсивом отмечены достоверные связи при доверительном интервале $P = 0,99$. Для данных расчетов число степеней свободы $f = 100$ при доверительной вероятности $P = 0,99$ $t_{(теоретический)} = \pm 0,26$.

По данным 1931-1990 гг. увеличился сток Волги в межень ($r = 0,82$), что связано с зарегулированием стока реки и постепенным увеличением среднегодового количества зимних осадков на ее водосборе. Для северо-западной части Каспийского моря (данные «ГМС Махачкала» с 1900 по 2000 гг.) годовые суммы осадков (в мм), выпадающие непосредственно над морем, дали значимые показатели ($P = 0,99$): коэффициенты корреляции $r = -0,51$ и $r = 0,50$ получены, соответственно, для показателей «осадки — годы» и «уровень Каспийского моря — осадки». На основании этого можно предположить, что повышение уровня моря способствует незначительному увеличению влажности и, соответственно, количеству осадков над северо-западной частью Каспийского моря, но за исследуемый период среднегодовое количество осадков в мелководном северо-западном регионе значимо ($P = 0,99$) уменьшилось вслед за общим понижением его уровня. Период падения уровня моря 1933-1985 гг. также сказался на климате региона (табл. 4) — зимы стали более суровыми и зимние температуры воды значимо понизились.

Согласно данным «ГМС Пешной» за 1964-1992 гг. вслед за повышением уровня моря после 1985 г. несколько возросли зимние температуры воздуха ($t_{\text{возд}}$ — годы $r = 0,6$). По данным «ГМС Форт Шевченко» в период

повышения уровня моря за 1970-2005 гг. возросла среднегодовая температура поверхностных вод ($t_{\text{вод}}$ — годы $r = 0,6$ $P = 0,99$), вероятно, за счет того, что за этот же период значимо возросла зимняя температура поверхностных вод ($t_{\text{воды в феврале}}$ — годы $r = 0,7$ $P = 0,99$). Для «ГМС о-ва Тюлений» за тот же период времени получены средние показатели корреляции приращения зимних и летних температур поверхностных вод моря ($t_{\text{вод}}$ — годы $r = 0,5$ и $0,6$ соответственно, при $P = 0,99$).

Коэффициенты корреляции показателей эффективного испарения с поверхности Каспийского моря (данные 1889-2001 гг.), которое является неотъемлемой составляющей гидрологического цикла любого водоема, не дали значимых результатов ни с одним из анализируемых показателей.

Заключение

Несмотря на то, что р. Волга имеет значительный приток вод в Каспийское море, результаты исследований заставляют придерживаться также «тектонической концепции» изменения уровня Каспийского моря. В связи с вышеизложенным следует развивать и всячески поддерживать фундаментальные исследования, посвященные тектонической концепции изменения уров-

Таблица 4

Динамика гидроклиматических показателей Каспийского моря за период конца XIX-начала XXI веков

Показатель	r показатель — годы	Период наблюдений, годы	f — число степеней свободы — $m - 2$	P — доверительная вероятность
Суровость зимы (число градусо-дней мороза) в центральной части разрезов Дивичи — Киндерли и о-в Куринский камень — о-в Огурчинский 24	0,31	1933-1987	49	0,95
Температура воздуха, январь («ГМС Пешной»)	0,57	1964-1992	25	0,95
Среднегодовая температура воды («ГМС Форт Шевченко»)	0,56	1970-2000	29	0,95
Температура воды, февраль («ГМС Форт Шевченко»)	0,70	1970-2005	34	0,99
Температура воды, февраль («ГМС о-ва Тюлений»)	0,46	1970-2005	34	0,99
Температура воды, август («ГМС о-ва Тюлений»)	0,55	1970-2005	34	0,99
Годовые суммы осадков (мм) в с-з части Каспийского моря («ГМС Махачкала»)	-0,51	1900-1998	97	0,99

ня Каспийского моря, т.к. состояние уровня Каспия и эффективный прогноз изменения уровня способствует пониманию экологического состояния его водной экосистемы.

Изменения климатических показателей тесно связаны с уровнем Каспийского моря. Повышение уровня моря способствует незначительному увеличению влажности и, соответственно, количеству осадков над северо-западной частью Каспийского моря, но за исследуемый период среднегодовое количество осадков в мелководном северо-западном регионе значимо ($P = 0,99$) уменьшилось вслед за общим понижением его уровня. В период падения уровня моря 1933-1985 гг. зимы стали более суровыми и зимние температуры воды значимо понизились.

Согласно данным «ГМС Пешной» за 1964-1992 гг. вслед за повышением уровня моря после 1985 г. возросли зимние температуры воздуха, среднегодовая и зимняя температуры поверхностных вод. Для «ГМС о-ва Тюлений» за тот же период времени получены средние показатели приращения зимних и летних температур поверхностных вод.

Литература

1. Фролов А.В. Моделирование многолетних колебаний уровня Каспийского моря: теория и приложения. М.: ГЕОС, 2003. 174 с.
2. Воропаев Г.В. Сток рек и устойчивость Иранского побережья Каспийского моря / Воропаев Г.В., Красножон Г.Ф., Лахиджани Х.К. // Водные ресурсы. 1998. Том 25. №6. С. 747-758.
3. Крицкий С. Н., Коренистов Д. В., Раткович Д. Я. Колебания уровня Каспийского моря: (Анализ ре-

жима и вероятностный прогноз). М.: Наука, 1975. 158 с.

4. Авакян А.Б. Волга в прошлом, настоящем и будущем. М.: Экопресс-ЗМ, 1998. 20 с.
5. Авакян А.Б. Водохранилища гидроэлектростанций СССР / А.Б. Авакян, В.А. Шарапов. М.: Энергия, 1977. 398 с.
6. Справочник «Водное хозяйство СССР». М.: ЦБНТИ, 1974. 270 с.
7. Устьевая область Волги: гидролого-морфологические процессы, режим загрязняющих веществ и влияние колебаний уровня Каспийского моря. М.: ГЕОС, 1998. 280 с.
8. Дёрффель К. Статистика в аналитической химии. М.: Мир, 1994. 268 с.
9. Баранова Е.П. Результаты переинтерпретации материалов ГСЗ по южному Каспию / Баранова Е.П., Косминская И.П., Павленкова Н.И. // Геофизический журнал. 1990. Т. 12. №5. С. 60-67.
10. Иванова Т.П. Сейсмоструктура и современные колебания уровня Каспийского моря / Иванова Т.П., Трифонов В.Г. // Геотектоника. 2002. №2. С. 27-42.
11. Лилиенберг Д.А. Новые подходы к оценке современной эндодинамики Каспийского региона и вопросы ее мониторинга // Изв. РАН, сер. Геогр. 1994. №2. С. 16-36
12. Уломов В.И. Динамика сейсмичности бассейна Каспийского моря / Уломов В.И., Полякова Т.П., Медведева Н.С. // Физика Земли. 1999. №12. С. 76-82.
13. Уломов В.И. Объемная модель динамики литосферы, структуры сейсмичности и изменений уровня Каспийского моря // Физика Земли. 2003. №5. С. 5-17.



N.N. Mitina, B.M. Malashenkov

NATURAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS INFLUENCING ON LEVEL OF THE CASPIAN SEA

The article represents quantitative data on dynamics of the Caspian Sea level depending on a set of hydrometeorological parameters of environment components. An analysis of the results confirms hydrological as well as "tectonical" conceptions of sea level changes.

Key words: level of the Caspian Sea, climate change, hydrometeorological parameters.

