

О РАСЧЕТЕ УРОВНЕЙ КАСПИЙСКОГО МОРЯ НА ПЕРСПЕКТИВУ  
С УЧЕТОМ ВОЗМОЖНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Канд. геогр. наук В. В. Голубцов  
Канд. техн. наук В. И. Ли

*Рассматриваются статистические характеристики уровня Каспия, определенные на перспективу до 2050 г. с учетом возможных изменений климата, водопотребления в бассейне и поступления морской воды в залив Кара-Богаз-Гол. Полученные результаты можно использовать для нужд хозяйственного планирования и строительного проектирования в прибрежной зоне моря.*

Каспийское море - крупнейший бессточный водоем земного шара. Его водная поверхность занимает более 390 тыс. км<sup>2</sup>, а площадь водосбора составляет около 3,1 млн км<sup>2</sup>, из которой 29,4 % приходится на бессточные области. Общая протяженность береговой линии Каспия равна 7 тыс. км, в том числе в пределах территории Казахстана около 2,3 тыс. км. В море впадают реки Волга, Кура, Урал, Терек, Сулак, Самур и ряд мелких притоков, большинство которых доносят свои воды только в многоводные годы. Для Каспийского моря характерны квазипериодические (циклические) колебания уровня, которые в основном обусловлены климатическими факторами. Амплитуда этих колебаний за последние 450 - 500 лет составляет около 7 м.

Основные трудности оценки уровня Каспийского моря на перспективу обусловлены отсутствием достаточно разработанных и обоснованных методов прогноза изменений климата. Поэтому составить однозначный (детерминированный) прогноз изменений уровня моря, который можно было бы использовать для нужд строительного проектирования, в настоящее время не

представляется возможным. В этих условиях следует ориентироваться на результаты вероятностного расчета (прогноза) уровня моря на ближайшую и более отдаленную перспективу.

В КазНИГМИ - головном научном учреждении Республики Казахстан в области гидрометеорологии - была разработана модель расчета уровня моря, в основу которой положено уравнение водного баланса водоема. Эта модель, реализованная на РС АТ - 386, позволяет рассчитывать уровни моря по стоку в водоем с учетом его изменений за счет возможных колебаний климата и изменения водопотребления в бассейне при различных значениях "видимого" испарения (испарение минус осадки) и поступления воды в залив Кара-Богаз-Гол.

Современное повышение уровня Каспийского моря продолжается уже в течении 15 лет (1978-1992 гг.). За это время уровень моря повысился на 2,1 м и к началу 1993 г. достиг отметки минус 27,02 м. По данным Гидрометцентра Российской Федерации, к концу текущего года он повысился еще на 7-12 см. Средняя интенсивность подъема уровня моря за 1978-1992 гг. составила около 0,14 м/год. Наиболее интенсивное повышение наблюдалось в 1979 г. (0,31 м), в 1990 г. (0,36 м), в 1991 г. (0,29 м). Этот подъем уровня не является исключительным явлением. Аналогичные по высоте и средней интенсивности повышения наблюдались во второй половине XVIII - начале XIX века (рис.1).

Анализ значений естественного речного стока в море и "видимого" испарения. Особенно хорошо прослеживается асинхронность изменения стока и "видимого" испарения за период современного повышения уровня Каспия. Средний сток в море за 1978 - 1991 гг. превысил норму примерно на 12 %, что соответствует обеспеченности около 25 %; "видимое" испарение было ниже нормы на 9 %, что оценивается обеспеченность 75 %. За указанный период сток увеличился на 45-50 млрд м<sup>3</sup>/год против его средней

многолетней величины, определенной с учетом водопотребления 35-40 млрд м<sup>3</sup>/год и равной 260-265 млрд м<sup>3</sup>/год.

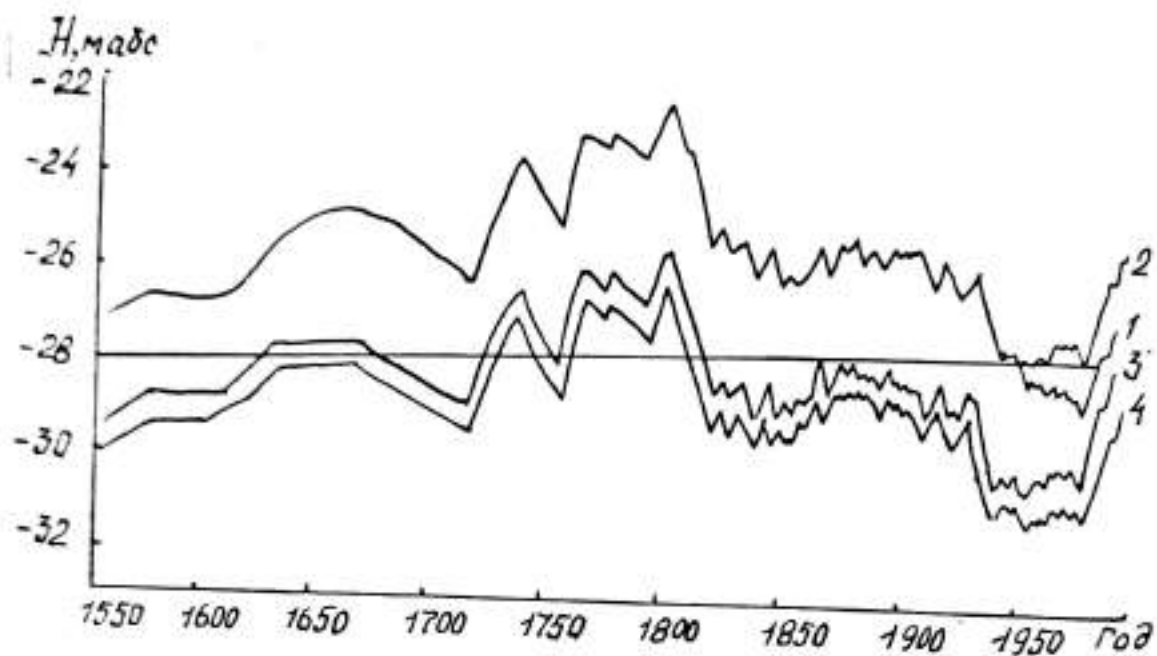


Рис.1. Изменение уровня Каспийского моря за 1556 - 1992 гг. по историческим сведениям, данным наблюдений (бытовые значения) и результатам расчета при водопотреблении  $S_x$  равном 0, 40, 50 млрд м<sup>3</sup>/год.

С помощью моделирования уровня Каспия по уравнению водного баланса было установлено, что современное повышение уровня в основном обусловлено увеличением речного стока в море (45 %) и осадков, выпадающих на его поверхность (16 %), а также уменьшением слоя испарения морской воды (25 %). Увеличение интенсивности повышения уровня моря в определенной мере было обусловлено и ограничением (до 0 - 1,6 млрд м<sup>3</sup>/год) поступления морской воды в залив Кара-Богаз-Гол (14 %) в период с марта 1980 г. по июнь 1992 г. дамба, перекрывающая пролив была разобрана и с этого времени в залив поступает 20-22 млрд м<sup>3</sup> морской воды в год.

Расчетные характеристики уровня Каспийского моря являются исходными при проектировании гидротехнических сооружений, а также промышленных и хозяйственных объектов в прибрежной зоне. Этому вопросу обычно уделяется первостепенное внимание потому, что использование в проектных проработках недостаточно обоснованных отметок уровня моря может привести и часто приводит к значительным дополнительным затратам, оцениваемым в десятки и сотни миллионов рублей. Поэтому было необходимо обеспечить проектные и строительные организации достаточно обоснованными данными о высоких уровнях моря редкой повторяемости.

Вероятностная оценка уровня Каспия на перспективу связана с необходимостью преодоления значительных трудностей, обусловленных ограниченностью информации (имеющий непрерывный 156-летний ряд наблюдений является мало информативным в связи с наличием сильной коррелятивной связи между его членами), а также необходимостью учета возможных изменений водопотребления в его бассейне и стока в залив Кара-Богаз-Гол.

При проведении исследований и выполнении воднобалансовых расчетов в качестве основной информации использования сведения об уровне моря за 1556 - 1829 гг., восстановленные по историческим и другим источникам в середине текущего столетия /1, 2, 3/ и за 1830 - 1991 гг. - полученные путем непосредственных наблюдений /3, 4/. В качестве дополнительной информации были использованы опубликованные в научной литературе результаты палеографических реконструкций изменений уровня моря за последние 2500 лет /5/. Это период современной климатической эпохи, продолжающейся до настоящего времени. Колебания уровня Каспия за историческое время (I - XX вв. н.э.) и за последние столетия (1556 - 1991 гг.) являются достаточно репрезентативными по отношению к рассматриваемому периоду по крайней мере в отношении высоких уровней редкой повторяе-

мости. Результаты восстановления уровня моря с учетом поправок на водопотребление и изменение стока морской воды в залив Кара-Богаз-Гол показывают, что в естественных условиях уровень начала 90-х годов превысил бы наблюдаемый почти на 1,5 м и достиг бы отметок, наблюдавшихся в 1830-1932 гг. (рис. 1).

Для определения уровней различной обеспеченности были использованы восстановленные и наблюдаемые значения элементов водного баланса моря за 1556 - 1991 гг. Основные трудности были связаны с восстановлением речного стока в море и поступления морской воды в залив Кара-Богаз-Гол за годы, когда наблюдения за указанными элементами водного баланса не проводились. Речной сток в Каспийское море за 1556 - 1876 гг. был восстановлен по его уровням с помощью уравнения водного баланса при среднемноголетней величине "видимого" испарения (испарение минус осадки), равной 785 мм. Средняя квадратическая погрешность определения стока по уровням моря за 80-летний период наиболее надежных наблюдений составила 32,9 млрд м<sup>3</sup> (коэффициент корреляции  $0,83 \pm 0,02$ , коэффициент детерминации 0,69).

Сток морской воды в залив Кара-Богаз-Гол за 1556 - 1927 гг. был восстановлен с помощью уравнения его водного баланса при условии, что уровень залива располагается в этот период примерно на 0,4 м ниже уровня моря. Данное условие соблюдалось при высоком положении уровня Каспия, когда поступление морской воды в залив приблизительно равнялось испарению с его поверхности. В связи с этим было уделено большое внимание определению величины испарения с поверхности залива в зависимости от солёности его воды. В результате была разработана методика расчета уровней залива по уравнению его водного баланса. В современных условиях сток воды в залив может быть определён по установленной аналитической зависимости его величины от уровня моря.

"Видимое" испарение было определено как оста-

точный член уравнения водного баланса, в котором учитывались: изменения уровня Каспия, речной сток в море и поступление морской воды в залив Кара-Богаз-Гол.

Использование наблюдаемых и восстановленных значений элементов водного баланса Каспия за 436 - летний период (1556 - 1991 гг.) дало возможность преодолеть ограниченность информации об уровнях моря и обеспечить возможность расчета их характеристик в условиях современного водопотребления в бассейне и поступления морской воды в залив Кара-Богаз-Гол.

Задача расчета фоновых уровней моря на перспективу была решена путем моделирования по уравнению водного баланса за 1556 - 1991 гг. при значениях: стока в море, уменьшенного на величину водопотребления, стока морской воды в залив Кара-Богаз-Гол в современных условиях и "видимого" испарения. В результате обработки 436-летних моделированных рядов уровней моря были определены их статистические характеристики при различном водопотреблении в бассейне Каспийского моря.

Увеличение водопотребления в бассейне моря в связи с развитием сельского хозяйства и промышленности является необратимым процессом. Однако при современной нестабильности хозяйственной деятельности расчеты роста водопотребления на ближайшую и особенно на более отдаленную перспективу недостаточно надежны. В этих условиях лучше ориентироваться на практически достигнутый уровень водопотребления, равный 40 - 45 млрд м<sup>3</sup>/год [6] или на его небольшое увеличение ( 0,5 млрд м<sup>3</sup>/год ).

Исследования и расчеты, выполненные в КазНИГМИ показали, что в современных климатических условиях при достигнутом в бассейне Каспия водопотребления равном 40 - 45 млрд м<sup>3</sup>/год уровни моря 1 %-й обеспеченности (повторяемость один раз в 100 лет) имеют около минус 26 м, а уровни 0,1 %-й обеспеченности (повторяемость один раз в 1000 лет)

около минус 25 м.

Вопрос об изменении уровня Каспийского моря в ближайшие десятилетия не может быть решен без вариантного рассмотрения влияния на его величину возможного антропогенного изменения климата - повышения температуры воздуха нашей планеты за счет повышения роли парникового эффекта в её тепловом балансе /7/. По мнению ученых это повышение температуры в перспективе может привести к увеличению речного стока в море и осадков, выпадающих на его поверхность, а также к уменьшению испарения. Для расчета уровней моря на перспективу были использованы характеристики изменения стока в море и "видимого" испарения в условиях возможного изменения климата, полученные в Институте географии РАН и ГГИ /8,9/.

Результаты расчетов показывают (рис.2), что влияние антропогенного изменения климата на уровни моря может проявиться не ранее 2005 г.; до 2020 г. колебания уровня моря будут находиться в пределах их естественных климатических изменений с учетом уменьшения стока на величину безвозвратного водопотребления. К 2050 г. высокие уровни моря редкой повторяемости могут достигнуть максимальных отметок, наблюдавшихся в условиях современного климата при отсутствии водопотребления (минус 23 - минус 22 м).

Для нужд строительного проектирования и обеспечения мероприятий в прибрежной зоне в качестве предельной (по крайней мере до 2020 г.) может быть рекомендована отметка фонового уровня 0,1 %-й обеспеченности (повторяемость один раз в 1000 лет), равная минус 25 м. абс. Это значение соответствует в естественных климатических условиях и при отсутствии водопотребления в бассейне моря отметке уровня Каспия минус 22 м, которая является наивысшей за последние 2000 - 2500 лет.

При планировании мероприятий в прибрежной зоне необходимо располагать данными о высоких уров-

испарение с поверхности залива. Следовательно в ближайшие годы затраты морской воды на испарение будут на 43 - 45 млрд  $\text{м}^3$  в год больше, чем в начале подъема уровня. Увеличение расходной составляющей водного баланса моря на указанную величину значительно сокращает возможность дальнейшего повышения его уровня.

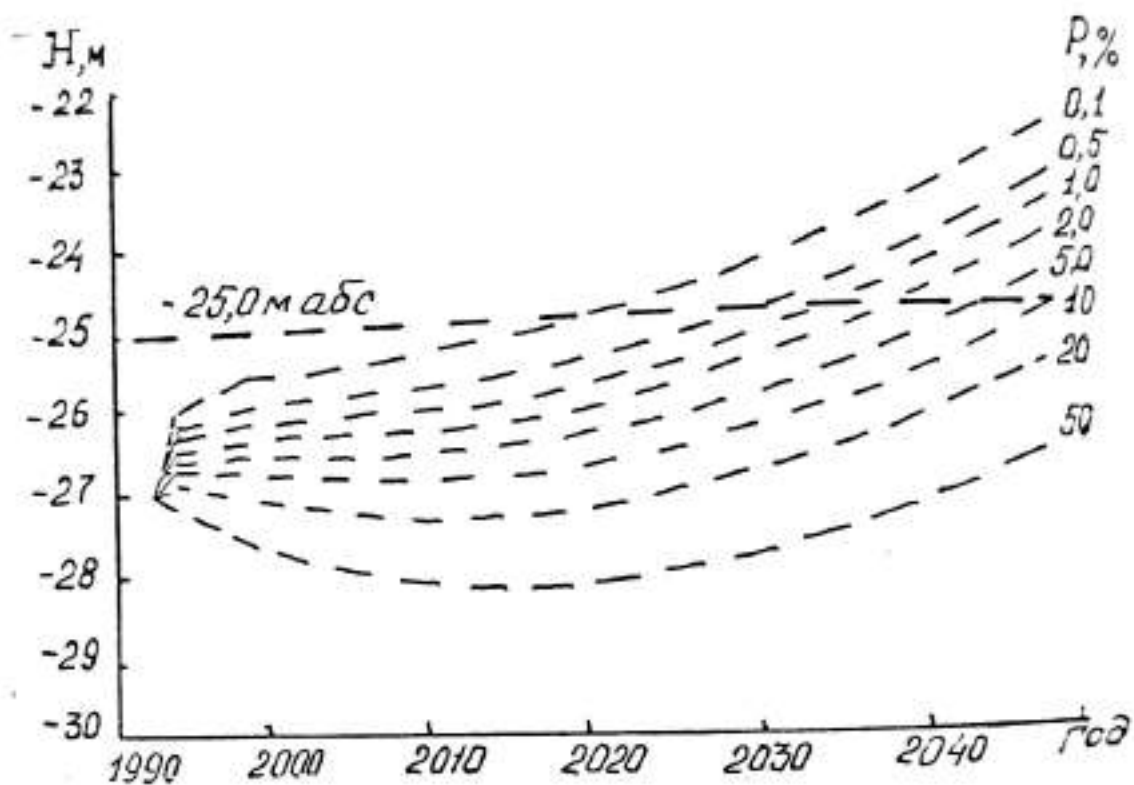


Рис. 2. Ординаты условных кривых обеспеченности ( $P, \%$ ) уровней Каспийского моря, рассчитанные на перспективу до 2050 г.:

- 1 - наблюдаемого уровня; 2 - уровня при  $S_x=0$ ;
- 3 - уровня при  $S_x=40$  млрд  $\text{м}^3$ ; 4 - уровня при  $S_x=50$  млрд  $\text{м}^3$ .

Уровень равновесия (средний многолетний уровень моря) при современном водопотреблении по нашей оценке примерно равен минус 28,5 м, т.е. более чем на 1,5 ниже отметок поверхности моря, наблюдавшихся в последние годы. Это указывает на то, что завершения текущего подъема уровня наиболее вероятной общей тенденцией его изменения будет



$\Sigma T_{\text{нв}}$  - минимальная сумма среднесуточных температур воздуха, необходимая для начала вегетации,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\gamma_0$  - параметр  $\gamma$  в начале вегетации растений;  $\Sigma T_{\text{кр}}$  - сумма среднесуточных температур воздуха на дату, когда  $\gamma=1$  (вначале задается равной нулю),  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\gamma_n$  и  $\gamma_{n-1}$  - соответственно параметр  $\gamma$  в текущие и предшествующие сутки;  $A_p$ -параметр, характеризующий увеличение  $\gamma$  при изменении суммы эффективных температур воздуха на  $1^{\circ}\text{C}$  в период роста растений;  $\Sigma T_{\text{эф.п.}}$ ,  $\Sigma T_{\text{эф.п.-1}}$  - суммы эффективных температур воздуха в текущие и предшествующие сутки,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $A_c$  - параметр, характеризующий уменьшение  $\gamma$  при изменении влагозапасов в почвогрунтах на  $1\text{ мм}$  в период старения растений;  $W_{n-1}$  - продуктивные влагозапасы в почвогрунтах в предшествующие сутки,  $\text{мм}$ ;  $W_n$  - продуктивные влагозапасы ( $W_{\text{нв}} - W_{\text{з}}$ ) в почвогрунтах при наименьшей (полевой) влагоемкости,  $\text{мм}$ ;  $W_{\text{нв}}$  - наименьшая влагоемкость,  $\text{мм}$ ;  $W_{\text{з}}$  - влажность завядания,  $\text{мм}$ .

Изменение параметра  $\gamma$  при расчете его с помощью выражений (13) - (15) ограничивается в пределах от 0 до 1. Сумма эффективных температур воздуха на текущие сутки рассчитывается:

при  $T > T_0$

$$\Sigma T_{\text{эф.п.}} = \Sigma T_{\text{эф.п.-1}} + (T - T_0) \frac{W_{n-1}}{W_n}, \quad (16)$$

при  $T < T_0$

$$\Sigma T_{\text{эф.п.}} = \Sigma T_{\text{эф.п.-1}}, \quad (17)$$

где  $T$  - среднесуточная температура воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $T_0$  - минимальная среднесуточная температура воздуха, при которой возможна вегетация растений (биологический ноль),  $^{\circ}\text{C}$ .

Исходной информацией для моделирования влагозапасов в почвогрунтах являются среднесуточные

7. Гидрометеорология и гидрохимия морей. - Т. VI. Каспийское море. - Вып. I. Гидрометеорологические условия. - СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. - 359 с.
8. Зайков Б. Д. Водный баланс Каспийского моря в связи с причинами понижения его уровня // Тр. НИУ ГМС. - 1946. - Сер. IV. - 49 с.
9. Шикломанов И. А. Влияние хозяйственной деятельности на речной сток. - Л.: Гидрометеоиздат, 1989. - 333 с.
10. Шнитников А. В. Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажненности. - Л.: Наука, 1969. - 245 с.

#### КЛИМАТТЫҢ КЕЛЕШЕКТЕ ӨЗГЕРУ МҮМКІНДІГІН ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП КАСПИЙ ТЕНІЗІ ДЕНГЕЙІН ЕСЕПТЕУ ТУРАЛЫ

Геогр. ф. канд.            В. В. Голубцов  
 Техн. ф. канд.            В. И. Ли

Климаттың өзгеру мүмкіндігін, бассейндерге су қолдануын және Қара Боғаз кел шығанағына теңіз суы келуін ескере отырып алдағы 2050 жылға дейін Каспий теңізі деңгейінің статистикалық көрсеткіштері қарастырылды. Алынған нәтижелер теңіз жағалауы аймақтарында шаруашылық жоспар және құрылыстық проект жасалғанда қолдануға болады.