

УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ МЕТОД ПРОГНОЗА ГОДОВОГО ХОДА УРОВНЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Введение

Возможность прогноза уровня Каспийского моря (УКМ) на один год вперед для условий естественного притока речных вод в Каспий впервые показал Г. П. Калинин [3]. Прогнозы колебаний УКМ по методу Калинина, основанные на приближенном решении уравнения водного баланса, выпускались в оперативном режиме. Впоследствии, в связи с искусственным зарегулированием стока основных рек, питающих Каспийское море, естественное поступление речных вод в море нарушилось, и применение метода Калинина стало невозможным.

В середине шестидесятых годов прошлого столетия в ГУ «Гидрометцентр России» метод был модифицирован применительно к условиям зарегулированного стока рек [4]. Были разработаны практические приемы учета составляющих водного баланса по имеющимся исходным гидрометеорологическим данным, включающим приток речных вод в море, эффективное испарение (испарение минус осадки), сток морских вод в залив Кара-Богаз-Гол, подземный приток вод и объемное расширение моря за счет плотностных изменений воды.

Прогноз УКМ, составленный по этому методу, ежегодно публикуется в бюллетене ГУ «Гидрометцентр России» вместе с обзором состояния уровня и водного баланса за прошлый год и рассылается во все заинтересованные организации. Выходными параметрами прогноза являются ежемесячный ход и средний годовой уровень моря по 7 опорным пунктам, расположенным по периметру Каспийского моря (Махачкала, Баку, о. Жилой, Форт-Шевченко, Куули-Маяк, Туркменбаши и Кара-Богаз-Гол), и средний уровень моря, вычисленный как среднее арифметическое данных наблюдений в этих семи пунктах.

Данный метод имеет эмпирическую основу, поэтому он неоднократно уточнялся [6, 14, 17]. За последние годы оправдываемость прогнозов по данному методу стала носить неустойчивый характер, что, по-видимому, связано как с изменившимся гидрологическим режимом Каспийского моря, так и с тем, что в методе заложены физически недостаточно обоснованные допущения. В частности, изменились многолетние характеристики

составляющих водного баланса, которые учитываются при прогнозировании годового хода уровня. Кроме того, в методе использован недостаточно обоснованный прием расчета трансформации весенней волжской «паводочной волны», распространяющейся с севера на юг по поверхности Каспийского моря. Все это вызвало необходимость пересмотра некоторых положений метода.

Цель работы состояла в усовершенствовании метода прогноза годового хода УКМ, оперативно используемого в ГУ «Гидрометцентр России».

1. Используемые материалы

В работе использованы следующие материалы наблюдений:

- средние месячные и средние годовые данные наблюдений за уровнем моря, температурой воды и воздуха и осадками по 12 прибрежным и островным станциям (Махачкала, Баку, Нефтяные камни, Сумгаит, о. Жилой, Ленкорань, Актау, о. Тюлений, Туркменбаши, Куули-Маяк, Кара-Богаз-Гол, Форт-Шевченко) за весь период наблюдений;
- средние месячные данные о расходах воды по замыкающим створам рек Волги, Куры, Урала, Терека, Самура и Сулака;
- данные о сбросах воды Волгоградской ГЭС и данные о водности основных рек, впадающих в Каспийское море.

По этим данным были сформированы многолетние ряды и рассчитаны их статистические характеристики (средние, среднеквадратические отклонения, тренды и др.) и основные составляющие водного баланса моря:

- поверхностный приток речной воды в море с учетом потерь воды в дельте Волги;
- испарение;
- ежемесячные осадки;
- ежемесячный объем стока морских вод в залив Кара-Богаз-Гол.

Для удобства расчетов все данные были сформированы в виде специализированного архива на ПК. Архив содержит статистические сведения об осадках, температуре воды, температуре воздуха, уровне моря по прибрежным и островным гидрометеорологическим станциям и постам, а также данные о суммарном многолетнем помесечном стоке рек, впадающих в Каспий, за период 1925-2006 гг., осадках и испарении. Составлен каталог специализированного архива помесечных гидрометеорологических данных по станциям и постам Каспийского моря.

1. Анализ возможных источников ошибок прогнозов УКМ, выпускаемых ГУ «Гидрометцентр России»

Основной источник ошибок прогноза, по-видимому, связан с недостаточно точным расчетом составляющих водного баланса моря [1, 2, 8]. Сущность расчета водного баланса Каспийского моря как замкнутого водоема заключается в определении объемных величин (км³) приходной и расходной части за каждый месяц рассматриваемого года и последующем сравнении балансового изменения уровня моря с фактическими изменениями уровня. Проблеме расчета водного баланса Каспийского моря посвящен ряд работ [9-13, 16, 18, 19]. Для суждения о межгодовой и сезонной изменчивости УКМ выполняются расчеты месячных приращений уровня моря (ΔH) по уравнению водного баланса

$$\Delta H_{\Delta t} = \frac{\sum Q_{\delta\dot{a}\ddot{z}:\ddot{n}\dot{o}}}{S} + \frac{Q_{\ddot{u}\ddot{a}\dot{c}}}{S} - \frac{Q_{\acute{e}\dot{a}\ddot{a}}}{S} + P - E \pm \Delta H_{\sigma}, \quad (1)$$

где $\Delta H_{\Delta t}$ - изменение среднего уровня моря за определенный промежуток времени Δt ; $\sum Q_{\delta\dot{a}\ddot{z}:\ddot{n}\dot{o}}$ - увеличение объема моря за счет суммарного поверхностного стока Волги, Куры, Урала, Терека, Сулака, Самура, иранских рек и междуречья; $Q_{\ddot{u}\ddot{a}\dot{c}}$ - объем подземного притока; $Q_{\acute{e}\dot{a}\ddot{a}}$ - объем стока каспийской воды в залив Кара-Богаз-Гол; P - повышение уровня моря за счет осадков, выпавших на поверхность моря; E - понижение уровня моря за счет испарения с поверхности моря; ΔH_{σ} - плотностные изменения уровня; S - площадь моря на момент расчета.

Годовые изменения уровня получались путем алгебраического сложения месячных значений прихода и расхода воды в море.

Ошибки прогнозов УКМ можно понять и объяснить, анализируя составляющие уравнения водного баланса моря (1). Из всех составляющих измеряется только сток Волги. Все другие рассчитываются по эмпирическим формулам.

В качестве показателя объема волжского стока используются плановые данные о сбросах воды в нижний бьеф Волгоградской ГЭС на 2-й квартал текущего года. Однако плановые цифры не всегда выдерживаются, и, когда готовится прогноз, точная величина сброса бывает неизвестна. Поэтому прогноз приходится уточнять в июле или в августе, если фактические объемы сброса сильно расходятся с плановыми объемами сброса. В весенние

месяцы (апрель-май) формируется основная доля годового притока речных вод в море, и, естественно, ошибки весенне-летних месяцев сказываются на оправдываемости среднего годового уровня моря.

В табл. 1 представлены данные о плановых и фактических сбросах воды в Нижнюю Волгу по годам.

Таблица 1

**Плановые ($Q_{пл}$) и фактические ($Q_{ф}$) сбросы Волгоградского водохранилища
во 2 квартале**

Годы	Объем сбросов, км ³		
	$Q_{пл}$	$Q_{ф}$	$Q_{ф} - Q_{пл}$
1980	80-82 (81*)	82	+1
1981	105	128	+23
1982	77-80 (78*)	77	-1
1983	85	90	+5
1984	65	71	+6
1985	105	117	+12
1986	105	121	+16
1987	90	108	+18
1988	92	125	+33
1989	98	113	+5
1990	145	180	+25
1991	140	181	+41
1992	110	134	+24
1993	110	141	+31
1994	140	164	+24
1995	125	155	+30
1996	70	62	+8
1997	80	115	+35
1998	110-130 (120*)	140	+20
1999	125-145 (135*)	127	-8
2000	90-120 (105*)	109	+4
2001	115-125 (120*)	134	+14
2002	105-130 (115*)	123	+8
2003	120-140 (130*)	103	-27
2004	100-120 (110*)	106	-4
2005	125-144 (135*)	136	+1
2006	85	77	-8

*) Принятые значения при составлении прогноза

Табл. 1 показывает, что в 22 случаях из 27 фактические сбросы превышали плановые; среднее превышение фактических сбросов над плановыми сбросами составило 12,4 км³. Максимальное превышение фактических сбросов над плановыми сбросами было в 1991 и 1997 гг. (41 и 35 км³ соответственно), а минимальное - в 1980 и 2005 гг. (1 км³). В 1999, 2003,

2004 и 2006 гг. фактические сбросы были меньше плановых сбросов на 8, 27, 4 и 8 км³ соответственно.

Временной ход фактических и плановых сбросов воды Волгоградской ГЭС показан на рис. 1.

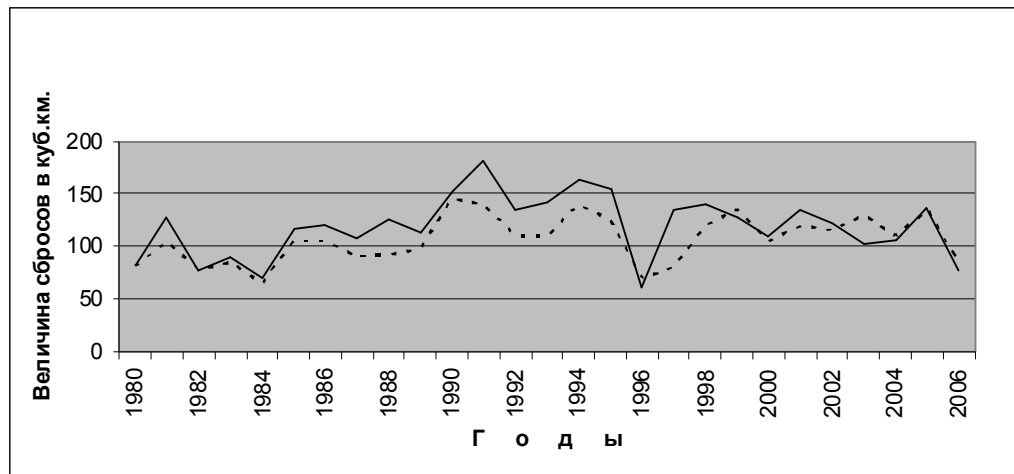


Рис. 1. Ход фактических и плановых сбросов воды в нижний бьеф Волгоградской ГЭС в 1980-2006 гг.

Из рис. 1 видно, что с 1985 по 1998 г. фактические сбросы превышали плановые. В предшествующие и последующие этому периоду годы фактические и плановые величины сбросов были достаточно близки друг к другу. Объяснение такому поведению сбросов, по-видимому, лежит в действиях энергетиков, которые в известной степени перестраховываются в плане поддержания достаточных запасов воды в водохранилище. Другая причина ошибок прогноза связана с недостаточно точным учетом объемов речной воды, непосредственно поступающей в Каспий. Дело в том, что часть стока теряется в процессе испарения и инфильтрации на участках от ГЭС до моря. Однако эти потери оцениваются приближенно из-за слабой изученности этого процесса и отсутствия необходимых данных наблюдений, при этом ошибки могут достигать 50 % и более.

Третьим источником ошибок прогноза является довольно быстро меняющиеся во времени и в пространстве гидрометеорологические и антропогенные режимы моря, причем эти изменения носят существенно нелинейный характер. В силу этого создаются проблемы в оценках статистических характеристик гидрометеорологических величин, таких как испарение, осадки, уровень моря, которые используются при составлении прогнозов. Выбор продолжительности лет, по которым должны рассчитываться статистические характеристики

– задача далеко не тривиальная и требует тщательного статистического анализа временных рядов. В табл. 2 показано, насколько существенно меняются средние статистические значения остаточного члена уравнения водного баланса $(E - P + Q_{\text{ит}} \pm \Delta H_{\sigma})$ за различные периоды.

Таблица 2

**Средние многолетние месячные значения остаточного члена
($E - P + Q_{\text{ит}} \pm \Delta H_{\sigma}$) за различные периоды, мм**

Периоды осреднения	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1925-2006	-24	-22	-22	-30	-52	-85	-116	-133	-120	-86	-51	-35
1925-1964	-46	-31	-15	-2	-1	-89	-95	-123	-155	-124	-70	-58
1978-1988	-47	-48	-26	8	-6	-31	-82	-118	-129	-126	-63	-54
1978-2006	-34	-28	-25	-34	-53	-81	-108	-127	-126	-98	-65	-44
1980-1985	-52	-37	-31	5	3	-34	-82	-120	-115	-120	-62	-55
1940-1970	-32	-34	-21	-24	-40	-77	-90	-116	-126	-94	-68	-49
Среднее	-43	-37	-27	-16	-28	-68	-97	-124	-132	-113	-69	-54

В процессе оперативной эксплуатации метода было обнаружено систематическое занижение прогнозируемых величин уровня по сравнению с фактическими величинами. Возможны три причины такого занижения. Одна из причин ошибок состоит в недостаточно точном учете выпадающих на поверхность моря осадков. Другой причиной могут быть завышенные результаты расчетов испарения по эмпирической формуле

$$E = 4,29 \dot{A}_{t_w} + 8, \quad (2)$$

где $\dot{A}_{t_w}$ - максимальное насыщение водяного пара при температуре воды, взятой за предшествующий месяц; t_w - температура поверхности моря.

Коэффициент корреляции этой зависимости при временном сдвиге один месяц по данным прибрежных станций составляет 0,95, а синхронная связь - 0,65.

Согласно этой формуле, годовой ход величины испарения тесно связан с годовым ходом температуры поверхности моря на прибрежных станциях, что не совсем согласуется с действительным внутригодовым распределением испарения. Наибольшее испарение с поверхности моря происходит не в месяцы с максимальной температурой поверхности моря, а в холодную часть года, когда скорость ветра и дефицит влажности воздуха непосредственно у поверхности моря достигает максимальных значений. Учитывая то обстоятельство, что

температура воды в открытых районах моря ниже, чем в прибрежных районах, рассчитанные по формуле (2) значения испарения всегда будут завышенными. Поэтому предлагается расчетную величину испарения уменьшить примерно на 20 %.

Третьей возможной причиной, как отмечено в работе [15], является неучтенное приращение уровня моря за счет трансформации весенней волжской паводочной волны по поверхности Каспийского моря. Для расчета приращений УКМ за счет трансформации весенней паводочной волны авторы применили искусственный прием корректировки прогноза уровня моря, воспользовавшись способом приближенного расчета неустановившегося движения водных масс в реках, изложенным в [5].

На основе совместного анализа стоковых приращений уровня $\Delta H_{\text{н\acute{o}i\acute{e}}}$ и фактических изменений уровня моря ΔH_{δ} сделан вывод о том, что время «добегания» волжской воды неодинаково для разных районов моря. Для пунктов, расположенных ближе к устью Волги (Махачкала и Форт-Шевченко), оно по предварительным данным составляет около одного месяца, а для пунктов значительно удаленных от устья Волги (Баку, о. Жилой, Туркменбаши, Куули-Маяк, Кара-Богаз-Гол) – около двух месяцев. Поэтому для корректировки прогноза УКМ с 1987 г. в прогноз стали вводить поправку, учитывающую приращение уровня за счет трансформации волжской весенней паводочной волны. Эта поправка для пунктов Махачкала и Форт-Шевченко рассчитывается по формуле

$$\Delta H_{\text{н\acute{o}i\acute{e}}}^i = \frac{\Delta \acute{I}_{\text{н\acute{o}i\acute{e}}}^{i-1} + 2\Delta H_{\text{н\acute{o}i\acute{e}}}^i + \Delta H_{\text{н\acute{o}i\acute{e}}}^{i+1}}{4}, \quad (3)$$

а для пунктов Баку, о. Жилой, Куули-Маяк, Кара-Богаз-Гол и Туркменбаши по формуле

$$\Delta H_{\text{н\acute{o}i\acute{e}}}^i = \frac{2\Delta \acute{I}_{\text{н\acute{o}i\acute{e}}}^{i-1} + \Delta H_{\text{н\acute{o}i\acute{e}}}^i + \Delta H_{\text{н\acute{o}i\acute{e}}}^{i+1}}{4}. \quad (4)$$

Применение этого способа к условиям Каспийского моря вряд ли может быть оправдано. В море нет однонаправленного устойчивого потока, как в реке. На движение волжских паводочных вод накладываются движения, обусловленные другими причинами, например ветровые, стоковые, градиентные и стонно-нагонные течения. Поэтому значения средних месячных уровней в отдельных пунктах моря не позволяют объективно характеризовать изменения уровня моря, обусловленные только влиянием паводочной волны. Отсутствие соответствующих материалов, характеризующих процесс трансформации весенней паводочной волны при ее распространении с севера на юг, не позволило выполнить

исследования и расчеты с необходимой надежностью. Поэтому в усовершенствованном методе эта поправка не вводилась.

Дополнительные ошибки в прогнозе УКМ могут быть обусловлены недостаточно точным учетом стока вод в залив Кара-Бога-Гол и притока подземных вод.

3. Усовершенствованный метод прогноза уровня моря

3.1. Общие положения

Для оперативного прогноза ежемесячных и годовых УКМ уравнение (1) было упрощено и практически сведено к учету двух основных составляющих баланса, которые определяют основной вклад в изменения уровня моря: суммарный приток речных вод в море ($\sum Q_{\text{приток}}$) и эффективное испарение ($Q_{\text{исп}} = E - P$) (испарение минус осадки). Другие составляющие, такие как подземный сток, изменение уровня в зависимости от изменения плотности воды и сток в залив Кара-Богаз-Гол, вносят незначительный вклад и, в известной степени, компенсируют друг друга. Поэтому приращения уровня моря рассчитывались по формуле

$$\Delta H = \sum Q_{\text{приток}} + Q_{\text{исп}} . \quad (5)$$

В условиях зарегулированного режима стока основных рек, питающих Каспийское море, главная приходная часть водного баланса моря – суммарный поверхностный сток $\sum Q_{\text{приток}}$, который рассчитывается с учетом данных, предоставляемых энергетиками, и величины стока остальных рек. Полученная таким образом величина суммарного стока рек распределяется по месяцам с учетом соответствующих весовых коэффициентов.

Из-за относительно малой изменчивости от года к году эффективного испарения $Q_{\text{исп}}$ по сравнению с изменчивостью поверхностного притока речных вод, ежемесячные значения этой величины в практических расчетах принимаются средними многолетними. Средние многолетние ежемесячные величины эффективного испарения $Q_{\text{исп}}$, вычисленные по большому ряду (1924-2006 гг.) для 7 пунктов и по морю в целом, представлены в табл. 3.

**Средние многолетние ежемесячные величины эффективного испарения $Q_{\text{эф}}$
для 7 базовых пунктов и по морю в целом, мм**

Пункты	Месяцы												Σ
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Баку	-34	-25	-28	-32	-55	-91	-127	-147	-138	-105	-68	-45	-894
о. Жилой	-39	-33	-32	-36	-54	-81	-116	-142	-143	-105	-71	-42	-895
Махачкала	-21	-16	-16	-24	-31	-54	-84	-105	-90	-73	-45	-28	-585
Форт-Шевченко	-33	-28	-24	-27	-44	-74	-112	-129	-111	-87	-57	-38	-763
Куули-Маяк	-40	-34	-30	-39	-58	-81	-90	-109	-131	-107	-74	-54	-845
Туркменбаши	-34	-29	-24	-39	-67	-103	-127	-146	-147	-111	-71	-48	-945
Кара-Богаз-Гол	-38	-34	-22	-40	-61	-83	-97	-109	-125	-97	-69	-50	-825
Среднее по морю	-34	-28	-25	-34	-53	-81	-108	-127	-126	-98	-65	-44	-822

3.2. Схема прогноза годового хода уровня моря по уточненной методике

Предлагаемый усовершенствованный метод прогноза УКМ существенно проще существующего и не уступает ему по точности. По применяемому в настоящее время методу сначала рассчитывается уровень моря для 7 базовых пунктов (Баку, о. Жилой, Махачкала, Форт-Шевченко, Куули-Маяк, Туркменбаши, Кара-Богаз-Гол) при одних и тех же значениях суммарного стока и затем путем арифметического осреднения получается средний уровень моря, что является не совсем корректной процедурой, так как приращение УКМ за счет речного притока в различных пунктах различно. Кроме того, применяемая процедура составления прогноза довольно трудоемкая.

По усовершенствованному методу, наоборот, сначала рассчитывается средний уровень моря. Уровни для отдельных пунктов получаются путем прибавления к среднему УКМ средних многолетних отклонений уровней в отдельных пунктах от среднего уровня моря. Величины средних многолетних помесечных приращений уровня моря для отдельных пунктов для каждого месяца года $\Delta \bar{H}$ и их среднеквадратичные отклонения S представлены в табл. 4.

Величины средних отклонений уровня моря $\Delta \bar{H}$ от среднего уровня моря и их средних квадратичных отклонений ($\bar{S}$) для 7 базовых пунктов приведены в табл. 5 (период осреднения 1925-2006 гг.) Данные таблицы свидетельствуют о том, что наиболее надежными

Таблица 4

**Средние многолетние помесечные приращения уровня моря $\Delta\bar{H}$
для 7 базовых пунктов и их среднеквадратичные отклонения $\bar{S}$**

Пункты	Стат. характ.	Месяцы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Баку	$\Delta\bar{H}$	1.4	0.4	1.8	4.8	8.3	10.9	4.3	-4.9	-10	-9	-4.3	-1.7
	$\bar{S}$	5.0	4.8	4.7	3.8	3.0	4.6	5.2	3.3	5.0	4.7	4.2	3.9
о. Жилой	$\Delta\bar{H}$	1.8	0.0	1.7	4.2	8.2	11.2	4.7	-4.4	-10	-10	-3.5	-1.9
	$\bar{S}$	5.7	4.0	4.0	4.3	4.4	5.0	5.3	5.0	4.5	5.3	6.2	5.9
Махач-кала	$\Delta\bar{H}$	3.6	-2	1.3	4.5	7.3	8.4	2.2	-3.7	-8	-7	-0.9	-1.5
	$\bar{S}$	8.6	7.0	6.2	4.6	4.1	5.8	5.7	4.5	5.3	5.1	6.0	6.1
Форт-Шевченко	$\Delta\bar{H}$	2.5	-1	2.2	5.4	8.1	8.7	2.3	-5.3	-8	-7	-3.0	-1.5
	$\bar{S}$	4.3	4.3	3.5	3.5	3.2	4.1	5.2	3.4	3.1	3.0	3.5	4.3
Куули-Маяк	$\Delta\bar{H}$	2.3	0.4	2.1	5.0	7.8	9.4	5.9	-2.9	-12	-9	-4.5	-0.4
	$\bar{S}$	9.4	9.7	2.7	3.3	6.0	4.7	6.3	9.2	8.1	3.8	11.6	11.5
Туркмен-баши	$\Delta\bar{H}$	2.0	0.8	1.1	5.0	7.7	9.8	7.1	-3.9	-12	-10	-2.8	-1.4
	$\bar{S}$	3.1	7.6	9.0	5.1	3.7	5.1	5.1	5.6	4.5	6.2	5.3	3.8
Кара-Богаз-Гол	$\Delta\bar{H}$	1.4	-1	3.2	5.8	7.5	9.5	4.1	-4.8	-11	-8	-3.8	-1.4
	$\bar{S}$	4.9	3.9	4.7	4.4	3.6	4.7	6.1	4.0	3.6	3.4	4.3	4.3

Таблица 5

Величины средних отклонений уровня моря $\Delta\bar{H}$ и их средних квадратичных отклонений ($\bar{S}$) от среднего уровня моря $\bar{H}$ для 7 пунктов

Пункты	Стат. характ.	Месяцы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Баку	$\Delta\bar{H}$	3	3	3	3	4	4	4	3	4	3	2	3
	$\bar{S}$	11	12	10	11	11	12	11	12	11	10	11	10
о. Жилой	$\Delta\bar{H}$	5	5	4	3	4	5	5	5	5	4	4	4
	$\bar{S}$	7	7	7	7	6	7	7	9	8	7	8	8
Махач-кала	$\Delta\bar{H}$	8	7	5	5	5	5	4	6	6	6	7	7
	$\bar{S}$	8	7	5	5	5	5	4	6	6	6	7	7
Форт-Шевченко	$\Delta\bar{H}$	9	8	8	8	9	7	5	4	6	8	8	8
	$\bar{S}$	6	6	6	5	6	6	6	7	5	6	6	5
Куули-Маяк	$\Delta\bar{H}$	-3	-1	-3	-3	-3	-3	-2	-1	-2	-3	-4	-3
	$\bar{S}$	11	17	6	5	7	5	6	9	6	6	12	6
Туркмен-баши	$\Delta\bar{H}$	-4	-3	-4	-4	-4	-5	-2	-2	-4	-5	-5	-5
	$\bar{S}$	6	9	7	6	6	6	6	6	6	7	6	6
Кара-Богаз-Гол	$\Delta\bar{H}$	-4	-4	-3	-2	-2	-3	-3	-4	-5	-4	-5	-4
	$\bar{S}$	5	6	5	5	6	6	5	6	6	6	7	7

для применения метода прогноза уровня, основанного на решении уравнения водного баланса, являются данные пунктов Баку, о. Жилой и Туркменбаши.

Для оценки оправдываемости прогнозов уровня в отдельных пунктах моря по усовершенствованному методу были уточнены допустимые погрешности ошибок прогноза. Ошибки прогноза зависят как от изменчивости среднего уровня моря ($S_{\bar{H}}$), так и от изменчивости отклонений уровня в данном пункте от среднего уровня моря ($S_{\Delta H}$).

Для определения допустимой погрешности прогноза уровня в каждом пункте вычислялась величина $\sigma = \sqrt{\sigma_H^2 + \sigma_{\Delta H}^2}$. В соответствии с [7], допустимые погрешности принимались равными: $0,67\sigma$ - при заблаговременности до 2 месяцев, $0,8\sigma$ - при заблаговременности от 2 до 6 месяцев и σ при заблаговременности более 6 месяцев.

Величины допустимых погрешностей, вычисленные таким образом для 7 базовых пунктов, приведены в табл. 6.

Допустимые погрешности прогнозов ежемесячных уровней моря в зависимости от их заблаговременности изменяются в пределах от 11 до 20 см.

Таблица 6

Допустимые погрешности прогноза уровня моря по месяцам для отдельных пунктов (период осреднения 1925-2006 гг.), см

Пункты	Месяцы											
	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV
Баку	11	11	14	14	14	13	16	16	16	17	16	16
о.Жилой	11	11	13	14	14	14	19	18	17	16	16	16
Махачкала	11	11	13	13	14	15	18	18	18	17	17	16
Форт-Шевченко	11	11	13	13	13	14	16	17	16	16	17	16
Куули-Маяк	11	11	13	16	15	13	23	19	20	20	14	15
Туркменбаши	11	11	13	14	14	14	17	16	15	20	18	16
Кара-Богаз-Гол	11	11	14	14	14	14	17	17	17	17	15	16
Средняя	11	11	13	14	14	14	18	17	17	18	16	16

Для составления прогноза УКМ по отдельным пунктам в качестве исходных данных использовались результаты расчета среднего уровня моря и таблица отклонений уровня моря в отдельных пунктах от среднего уровня моря (табл. 5). Схема прогноза очень простая. К

спрогнозированному среднему уровню моря способом, описанным выше, прибавляется или вычитается величина отклонения уровня в отдельном пункте от среднего уровня моря.

Прогноз среднего УКМ составляется в конце апреля на период с мая текущего года по апрель следующего года. Сначала составляется прогноз среднего уровня моря для каждого месяца года при помощи следующих процедур.

1. По фактическим данным о сбросах воды в нижний бьеф Волгоградской ГЭС в январе, феврале и марте текущего года определяется общий объем сбросов воды (км³) в первом квартале ($Q_{\text{н\oд\i\epsilon}}^{I-III}$).

2. После получения информации об ожидаемом (плановом) объеме сброса воды во 2 квартале текущего года ($Q_{\text{н\oд\i\epsilon}}^{IV-VI}$) устанавливаются следующие объемы сбросов воды: для апреля $0,209 Q_{\text{н\oд\i\epsilon}}^{IV-VI}$, мая – $0,482 Q_{\text{н\oд\i\epsilon}}^{IV-VI}$ и для июня - $0,309 Q_{\text{н\oд\i\epsilon}}^{IV-VI}$.

Объем сброса воды из водохранилища в Каспийское море в текущем году определяется по формуле

$$Q_{\text{н\oд\i\epsilon}}^{I-XII} = 1,22Q_{\text{н\oд\i\epsilon}}^{I-VI} + 62 . \quad (6)$$

3. Объем сброса воды за период июль-декабрь текущего года определяется по формуле

$$Q_{\text{н\oд\i\epsilon}}^{VII-XII} = Q_{\text{н\oд\i\epsilon}}^{I-XII} - Q_{\text{н\oд\i\epsilon}}^{I-VI} \quad (7)$$

Он распределяется по месяцам следующим образом: июль - $0,21 Q_{\text{н\oд\i\epsilon}}^{VII-XII}$, август - $0,17 Q_{\text{н\oд\i\epsilon}}^{VII-XII}$, сентябрь - $0,16 Q_{\text{н\oд\i\epsilon}}^{VII-XII}$, октябрь - $0,16 Q_{\text{н\oд\i\epsilon}}^{VII-XII}$, ноябрь - $0,17 Q_{\text{н\oд\i\epsilon}}^{VII-XII}$ и декабрь - $0,17 Q_{\text{н\oд\i\epsilon}}^{VII-XII}$. Для каждого месяца текущего года определяется суммарный сток воды в море ($\sum Q_{\text{н\oд\i\epsilon}}$). За январь-март берется фактический сток, а за остальные месяцы – средние многолетние величины стока рек.

4. Объем стока переводится в мм слоя воды. Для этого определяется площадь моря для каждого месяца года по уравнению

$$S = 0,151H + 375,034 , \quad (8)$$

где H – средний уровень моря (см); S - площадь моря (тыс. км²).

Величины стоковых приращений уровня за каждый месяц (мм) получают делением суммарного объема стока на площадь моря.

5. По сумме величин стоковых приращений уровня и средним многолетним величинам эффективного испарения (табл. 3) вычисляются приращения уровня моря от месяца к месяцу за период с мая по декабрь текущего года и с января по апрель следующего года. В качестве

исходного уровня принимается фактический уровень апреля. Начиная с мая, прогнозируемый уровень на каждый месяц получается путем последовательного прибавления рассчитанных ежемесячных приращений к полученному уровню предыдущего месяца.

*Пример составления прогноза внутригодового хода среднего уровня моря
на 2003-2004 гг.*

Плановый объем сброса воды в нижний бьеф Волгоградской ГЭС находился в пределах 120-140 км³. В расчет была принята средняя величина – 130 км³. Фактический уровень моря в апреле 2003 г. составил 86 см. Расчет выполнялся по схеме, представленной в табл. 7.

Таблица 7

Схема прогноза среднего уровня Каспийского моря на 2003-2004 гг.

Характеристики	2003 г.									2004 г.			
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV
$Q_{\text{нóиé}} (\acute{e}\grave{\text{ı}}^3)$	33,9	78,4	69,8	24,5	19,9	17,5	18,7	19,9	19,9	19,8	17,5	21,8	33,9
$Q_{\text{нóиé}} (\grave{\text{ı}}\grave{\text{ı}})$	85	196	175	61	50	44	47	50	50	50	44	55	85
$(E - P)(\grave{\text{ı}}\grave{\text{ı}})$	-34	-53	-81	-108	-127	-126	-98	-65	-44	-34	-28	-25	-34
$\Delta H_{\text{иòиā}} (\grave{\text{ı}}\grave{\text{ı}})$	+51	+143	+94	-47	-77	-82	-51	-15	+6	+16	+16	+30	+51
$\bar{H}_{\text{иòиā}} (\grave{\text{ı}}\grave{\text{ı}})$		91	105	114	109	101	93	88	86	92	94	96	99
$\bar{H}_{\text{òāēò}} (\grave{\text{ı}}\grave{\text{ı}})$	86	95	102	108	108	97	93	88	87	88	92	91	95
$\hat{I}_{\text{øéāéā}} (\grave{\text{ı}}\grave{\text{ı}})$		+4	-3	-6	-1	-4	0	0	+1	-4	-2	-5	-4

Сначала по уравнению водного баланса рассчитывается средний уровень моря, а уровни для отдельных пунктов получаются путем прибавления многолетних величин отклонений уровней в отдельных пунктах от среднего уровня моря.

Пример составления прогноза уровня для отдельных пунктов с мая 2003 по апрель 2004 г. представлен в табл. 8.

По усовершенствованному методу были составлены прогнозы УКМ с 1992 по 2006 г. За период было составлено 1008 прогнозов среднемесячных уровней в отдельных пунктах моря и средних по морю. График ежемесячного хода оправдываемости прогнозов по старому и новому, усовершенствованному методу, приведен на рис. 2.

Схема составления прогноза УКМ на 2003-2004 гг. для базовых пунктов моря

Пункт	Характеристика	2003 г.								2004 г.			
		V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV
	$\bar{H}_{i\delta i\bar{a}}^*)$	91	105	114	109	101	93	88	86	83	85	87	86
Баку	ΔH	4	4	4	3	4	3	2	3	3	3	3	3
	$H_{i\delta i\bar{a}}$	95	109	118	112	105	96	90	89	86	88	90	89
о. Жилой	ΔH	4	5	5	5	5	4	4	4	5	5	4	3
	$H_{i\delta i\bar{a}}$	95	110	119	114	106	97	92	90	88	90	91	89
Махачкала	ΔH	5	5	4	6	6	6	7	7	8	7	5	5
	$H_{i\delta i\bar{a}}$	96	110	118	115	107	99	95	93	91	92	92	91
Форт-Шевченко	ΔH	8	7	5	4	6	8	8	8	9	8	8	8
	$H_{i\delta i\bar{a}}$	100	112	119	113	107	105	96	94	92	93	95	94
Куули-Маяк	ΔH	-3	-3	-2	-1	-2	-3	-4	-3	-3	-1	-3	-3
	$H_{i\delta i\bar{a}}$	88	102	112	108	99	90	84	83	80	84	84	83
Туркменбаши	ΔH	-4	-5	-2	-2	-4	-5	-5	-5	-4	-3	-4	-4
	$H_{i\delta i\bar{a}}$	87	100	112	107	97	88	83	81	79	82	83	82
Кара-Богаз-Гол	ΔH	-2	-3	-3	-4	-5	-4	-5	-4	-4	-4	-3	-2
	$H_{i\delta i\bar{a}}$	89	102	111	105	96	89	83	82	79	81	84	84

* Спрогнозированные величины средних уровней моря по месяцам (см)

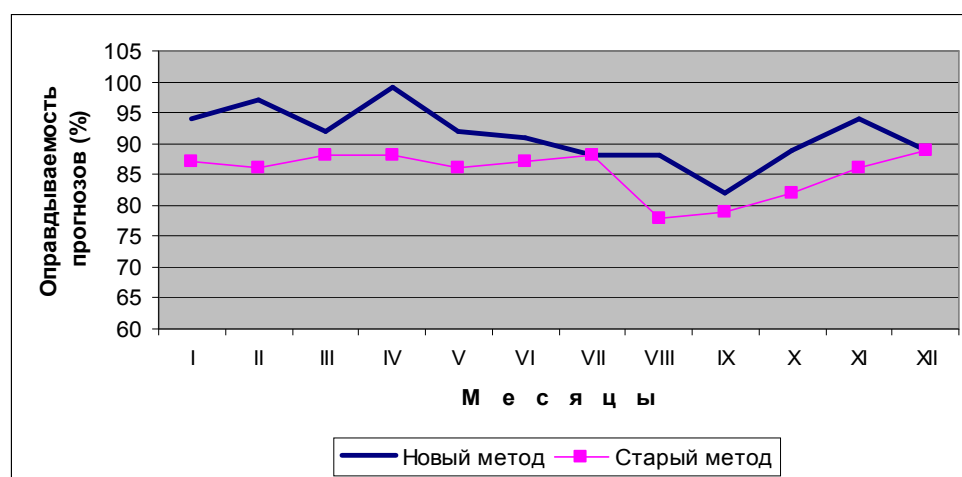


Рис. 2. Помесячный ход средней многолетней оправдываемости прогнозов уровня моря по новому и старому методам.

Средняя оправдываемость прогнозов по новому методу составила 91 %, а по старому – 85 %. Выигрыш прогнозов по усовершенствованному методу составил 6 % (табл. 9).

Таблица 9

**Помесячная и средняя годовая оправдываемость прогнозов уровня моря (%)
за период с 1992 по 2005 г. по новому и старому методу**

Годы	Метод	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сред. год.
1992	новый	86	100	100	100	86	86	71	71	86	86	100	86	88
	старый	100	88	88	75	100	88	88	86	88	75	100	100	90
1193	новый	86	100	100	100	100	86	100	100	100	100	86	86	95
	старый	100	100	100	88	88	88	75	100	88	85	85	100	91
1194	новый	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	старый	100	75	100	86	100	100	100	57	75	71	86	88	87
1195	новый	100	100	100	100	100	100	100	100	86	86	86	71	94
	старый	88	75	88	88	88	88	100	100	75	88	88	88	88
1196	новый	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	старый	62	62	62	100	75	75	75	75	88	100	88	86	79
1197	новый	86	100	57	100	100	100	86	100	71	100	100	100	92
	старый	88	88	88	75	75	80	83	71	86	71	75	88	81
1198	новый	100	100	100	100	100	86	71	43	57	57	71	43	77
	старый	88	86	100	100	100	63	62	50	50	62	71	88	77
1199	новый	57	57	57	86	86	71	43	71	43	71	86	100	69
	старый	62	75	75	75	88	88	75	75	62	86	75	88	76
2000	новый	100	100	71	100	86	100	100	100	86	100	100	100	95
	старый	100	75	75	75	88	100	100	100	100	100	100	100	93
2001	новый	100	100	100	100	86	86	100	100	86	71	100	100	93
	старый	100	100	100	100	100	87	100	75	62	38	50	71	82
2002	новый	100	100	100	100	88	100	88	88	88	100	100	100	98
	старый	71	100	88	100	88	100	88	88	88	100	100	100	93
2003	новый	100	100	100	100	86	100	100	100	100	100	100	100	99
	старый	100	88	88	88	88	88	88	75	88	100	100	100	91
2004	новый	100	100	100	100	86	100	100	86	86	100	100	86	95
	старый	100	100	100	100	62	85	100	75	100	100	100	100	94
2005	новый	100	100	100	100	86	71	57	57	57	71	86	71	80
	старый	62	88	88	88	75	83	88	62	60	75	88	60	76
Сред.	новый	94	97	92	99	92	91	88	88	82	89	94	89	91
	старый	87	86	88	88	86	87	88	78	79	82	86	89	85

Заключение

В результате выполненного исследования создан усовершенствованный метод прогноза годового хода среднего уровня моря и по 7 базовым пунктам, а также прогноза среднегодового уровня моря. Прогноз уровня моря по усовершенствованному методу более

прост и удобен в работе, время расчета существенно сокращается, что очень важно в оперативной работе, при этом по точности метод не уступает, а даже превышает существующий метод.

В процессе работы выполнены следующие усовершенствования существующего метода прогноза, оперативно используемого в ГУ «Гидрометцентр России»:

- уточнены статистические характеристики составляющих водного баланса и уровня моря;
- уточнены допустимые погрешности прогнозов уровня моря;
- предложена новая упрощенная схема составления прогноза уровня моря.

По усовершенствованному методу сначала рассчитывается средний уровень моря, а затем, используя заранее рассчитанную таблицу средних многолетних отклонений уровня моря в отдельных пунктах от среднего уровня моря, определяется среднемесячный уровень моря в каждом отдельном пункте, при этом время составления прогноза существенно сокращается.

Проверка усовершенствованного метода с 1992 по 2005 г. показала высокую среднюю оправдываемость, равную 91 %, превышающую среднюю оправдываемость по существующему методу на 6 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абузьяров З. К. Роль составляющих водного баланса Каспийского моря в месячных и годовых приращениях его уровня//Труды ГМЦ РФ.- 2006.-Вып.341.-С. 3-27.
2. Абузьяров З. К., Красюк В. С. Прогноз годового хода уровня Каспийского моря, основанный на приближенном расчете уравнения водного баланса. В кн. Гидрометеорологические аспекты проблемы Каспийского моря и его бассейна.- СПб.: Гидрометеоиздат, 2003.-С. 310-322.
3. Калинин Г. П. Прогноз уровня Каспийского моря//Тр. НИУ ГУГМС. - Сер.VIII.-Вып. 1.-1941.-С. 72.
4. Калинин Г. П., Смирнова К. И., Шереметевская О. И. Водобалансовые расчеты будущих уровней Каспийского моря//Метеорология и гидрология.-1968.-№9.- С. 45-52.
5. Калинин Г. П., Милюков П. И. Приближенный расчет неустановившегося движения водных масс//Тр. ЦИП.- 958.-Вып.66.-С. 21-30.

6. Лунякова Л. Г. К вопросу о прогнозе среднего уровня Каспийского моря в условиях современного подъема уровня//Тр. ГМЦ СССР.-1991.-Вып. 314.-С. 113-122.
7. Наставление по службе прогнозов. Разд. 3. Часть III. Служба морских гидрологических прогнозов.- Л.: Гидрометеиздат, 1982.- 143 с.
8. Победоносцев С. В., Абузаров З. К., Копейкина Т. Н. О качестве наблюдений за уровнем Каспийского моря//Тр. ГМЦ РФ.-2004.- Вып. 339.- С. 22-31.
9. Потайчук М.А. О подземном стоке воды в Каспийское море//Тр. ГОИН.-1970.-Вып. 98.- С. 42-48.
10. Руководство по морским гидрологическим прогнозам.- СПб.:Гидрометеиздат, 1994.-525 с.
11. Смирнова К. И. Водный баланс и долгосрочный прогноз уровня Каспийского моря//Тр. ГМЦ СССР.-1972.-Вып. 94.-С. 123.
12. Смирнова К. И. Режим современного и прогноз будущего уровня Каспийского моря//Метеорология и гидрология.-1974.-№1.-С. 56-62.
13. Смирнова К. И. Изменчивость элементов водного баланса Каспийского моря//Тр. ГМЦ СССР.- 1968.- Вып. 34.- С. 26-33.
14. Смирнова К. И. Уточнение метода прогноза уровня Каспийского моря//Тр.ЦИП. - 1966.- Вып. 156.- С. 103-106.
15. Смирнова К. И., Шереметевская О. И. Расчет водного баланса Каспийского моря для прогноза годового хода уровня моря// Тр.ГМЦ СССР.-1967.-Вып.3.-С. 49-74.
16. Современный и перспективный водный и солевой баланс южных морей СССР //Труды ГОИН.-1972.-Вып. 108.-С. 79-166.
17. Шереметевская О. И. Усовершенствование метода прогноза годового хода уровня Каспийского моря//Метеорология и гидрология.-1985.-№4.-С. 67-71.
18. Шереметевская О. И., Смирнова К. И. Влияние зарегулированного режима рек Волги, Куры и Урала на годовой ход уровня Каспийского моря//АН СССР.-Океанология. - 1966. - Т.VI. - Вып. 5. - С. 788-793.
19. Шереметевская О. И., Лунякова Л. Г. Опыт обеспечения народного хозяйства долгосрочными прогнозами уровня Каспийского моря//Тр. ГМЦ СССР. - Вып.270. - С. 36-42.

