

УДК 551.506.2:551.506.51(574)

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СХЕМЫ ПРОГНОЗА
НЕПЕРИОДИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ ВОДЫ
КАСПИЙСКОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ УЧЕТА ЭЛЕМЕНТОВ
ВОДНОГО БАЛАНСА**

Канд. геогр. наук Н.И. Ивкина

Т.П. Строева

В статье рассмотрены вопросы, связанные с исследованием влияния основных элементов водного баланса на уровенную поверхность Каспийского моря. Приведены конкретные примеры результатов моделирования.

Расчет и прогноз высоты непериодических колебаний уровня Каспийского моря является проблемой, без решения которой невозможно разрабатывать планы по стратегии в непредвиденных обстоятельствах в случаях затопления побережья. Поэтому в отделе проблем Каспия была создана оперативная система для прогнозирования штормовых нагонов, обусловленных ветровым воздействием, которая используется для гражданского предупреждения. В технологическом отношении система включает двумерный гидродинамический модуль MIKE 21, разработанный в Датском гидравлическом институте (ДГИ). Реализация этого модуля изложена в работах [4...6]. Результаты тестирования разработанной системы прогнозирования штормового нагона свидетельствуют о ее пригодности для оперативного использования [2]. Тем не менее, возможности модели позволяют улучшить качество расчета уровня воды посредством учета ежегодных колебаний уровня воды и сезонной специфики. Целью данного исследования было показать влияние элементов водного баланса (речной приток и видимое испарение) на точность расчета уровня воды Каспийского моря.

Годовые и межгодовые, сезонные и месячные колебания уровня Каспийского моря, как и любого замкнутого водоема, обусловлены непостоянством соотношения между приходными и расходными составляющими водного баланса, на которые накладываются величины деформационного изменения уровня моря. Анализ причин колебаний уровня моря показывает, что они определяются, главным образом, материковым сто-

ком, осадками, выпадающими на поверхность моря, и подземным притоком (приходная часть), испарением и стоком воды в залив Кара-Богаз-Гол (расходная часть). В табл. 1 приведен среднемноголетний водный баланс Каспийского моря по данным Б. Д. Зайкова [1].

Как следует из этой таблицы наибольшее влияние на колебание уровня оказывают следующие элементы водного баланса: поверхностный приток, испарение и осадки. Недоучет этих характеристик при прогнозировании уровня моря может привести к существенным ошибкам. Поэтому, одной из основных задач по модернизации схемы прогноза непериодических колебаний уровня воды, стала задача по определению и вводу в модель значений основных характеристик водного баланса.

Таблица 1

Среднемноголетний водный баланс Каспийского моря

Приход воды	Слой		Расход воды	Слой	
	в мм	в км ³		в мм	в км ³
Осадки на водную поверхность	177	71,1	Испарение с водной поверхности	978	392,3
Поверхностный приток	808	324,2	Сток в залив Кара-Богаз-Гол	21	22,2
Подземный приток	14	5,5			
Итого:	999	400,8	Итого:	999	400,8

Площадь бассейна Каспийского моря составляет 3,5 млн км². Характер ландшафтов, климатические условия и тип рек, впадающих в море, весьма различны. Несмотря на обширность бассейна, только около 62,6 % его площади приходится на сточные области, около 26,1 % - на бессточные, а площадь самого Каспийского моря составляет 11,3 %.

Наиболее крупными реками бассейна Каспийского моря являются реки Волга, Урал, Кура, Терек, Самур и Сулак. Их сток оказывает влияние на колебание уровня воды Каспийского моря, поэтому он был включен в расчеты в качестве одного из основных элементов тестирования модели.

Около 88 % всего стока в Каспийское море поступает с северной части его бассейна, в пределах которой находятся реки Волга и Урал. Основной объем стока в море приносит Волга - до 85 %, на остальные реки бассейна приходится 15 % стока (рис. 1). Расходы воды р. Волга измеряются в с. Верхнее Лебяжье, где располагается основной гидропост, по ко-

торому проводят расчеты стока в море. Этот пост удален от вершины устьевой области на 4 км, а от морского края дельты на 150...160 км.

Замыкающий гидроствор на р. Урал до 1972 г. был расположен в с. Тополи в 200 км от морского края дельты на входе в устьевую область, затем перенесен в с. Махамбет, находящийся в 145 км от морского края дельты. Площадь водосбора р. Урал у с. Махамбет равна 235 тыс. км².

Сток р. Терек, отличающийся большими естественными колебаниями, за последние годы существенно изменился. До 1973 г. сток р. Терек поступал в Кизлярский залив Северного Каспия через узкий пролив, с 1973 г. — непосредственно в Средний Каспий через искусственную прорезь Аграханского полуострова. В настоящее время р. Терек, расходы которой измеряются в створе ст. Каргалинской, впадает в море общим рукавом на открытом побережье.

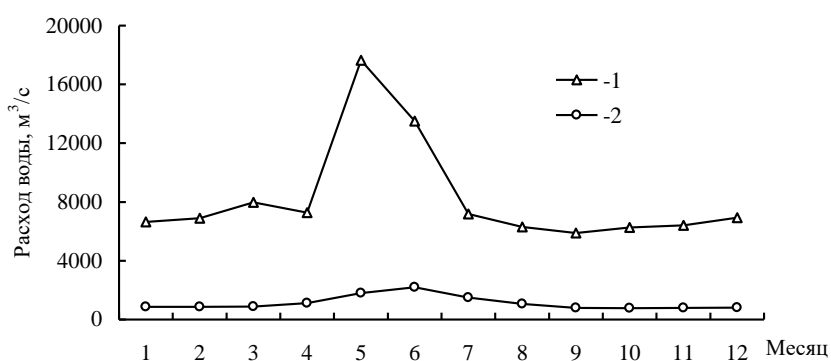


Рис. 1. Сопоставление расходов воды р. Волги и остальных рек, впадающих в Каспийское море. 1 – р. Волга, 2 – остальные реки бассейна.

Река Сулак впадает в море, образуя однорукавное русло. Замыкающий гидроствор расположен в 123 км от устья в поселке Миатлы. В 1957 г. река ниже поселка Главный Сулак была направлена по искусственной прорези на юго-восток. Измерение расходов р. Самур проводится по гидроствору в с. Усух.

Река Кура впадает в море двумя рукавами: юго-восточным, по которому в море поступает около 95 % стока, и северо-восточным. Расход воды измеряется на гидростворе в пос. Сальяны, находящемся на расстоянии 78 км от вершины устьевой области и 85 км от морского края дельты [3].

Внутригодовое распределение общего поверхностного притока в море, несмотря на различие физико-географических условий речных бас-

сейнов и особенностям годового хода стока отдельных рек, почти полностью соответствует внутригодовому распределению стока Волги. В сезонном ходе волжского стока выделяется максимум в мае — июне, в период прохождения пика половодья. В это время в море ежемесячно поступает от 13 до 26 % годового объема стока. Меньше всего воды р. Волга приносит в море в зимние месяцы (декабрь — февраль).

Для ввода в модель значений речного притока был рассчитан средний приток воды за последние десять лет и определены модельные координаты пяти, так называемых, источников. В связи с тем, что бассейны рек Терек и Самур располагаются недалеко друг от друга, то их приток был объединен при экспериментах в один источник. Безусловно, что для получения более точной оценки притока, необходимы данные фактического притока и прогноза притока на ежедневной основе. Однако, на практике получить такие данные для Каспийского моря не представляется возможным. Поэтому были проведены исследования и установлены ряды многолетнего речного притока основных рек в Каспийское море, при выполнении условия, чтобы временное разрешение хронологических рядов было не менее одного месяца (табл. 2).

Таблица 2

Среднемесячный приток рек в Каспийское море, м³/с

Месяц	Река				
	Волга	Урал	Кура	Сулак	Терек + Самур
Январь	6350	224	448	149	299
Февраль	6060	214	427	142	285
Март	7340	259	518	173	346
Апрель	13200	465	929	310	620
Май	22160	782	1560	521	1040
Июнь	11500	407	813	271	542
Июль	7800	276	553	184	369
Август	6610	233	467	156	311
Сентябрь	6070	214	429	143	286
Октябрь	6650	235	469	156	313
Ноябрь	6750	238	476	159	318
Декабрь	6590	233	465	155	310

Выполненные расчеты показали, что ввод величины притока рек в модель существенно поднимает уровенную поверхность моря, составляя в среднем 40 % (рис. 2). Совершенно очевидно, что ввод в модель только характеристик речного притока приведет к искажению водного уровня.

Поэтому следующей задачей по улучшению качества расчетов (прогнозов) стал ввод в модель рассчитанных величин «видимого» испарения (осадки за вычетом испарения) с поверхности Каспийского моря. Поскольку модель штормового нагона не предназначена для моделирования элементов водного баланса, временные ряды испарения и осадков рассчитаны по модели водного баланса, разработанной Робинот Вардлоу (Robin Wardlow, 2000) [7, 8]. Месячные суммы осадков на поверхность моря вычислялись на основе архива данных, подготовленного Университетом Восточной Англии (Hulme, 1998) по глобальной сетке с размерами ячейки $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ (табл. 3). При этом данные по осадкам, полученные для ячеек, расположенным на берегу, интерполировались на поверхность моря. Испарение определялось как остаточный член из уравнения водного баланса.

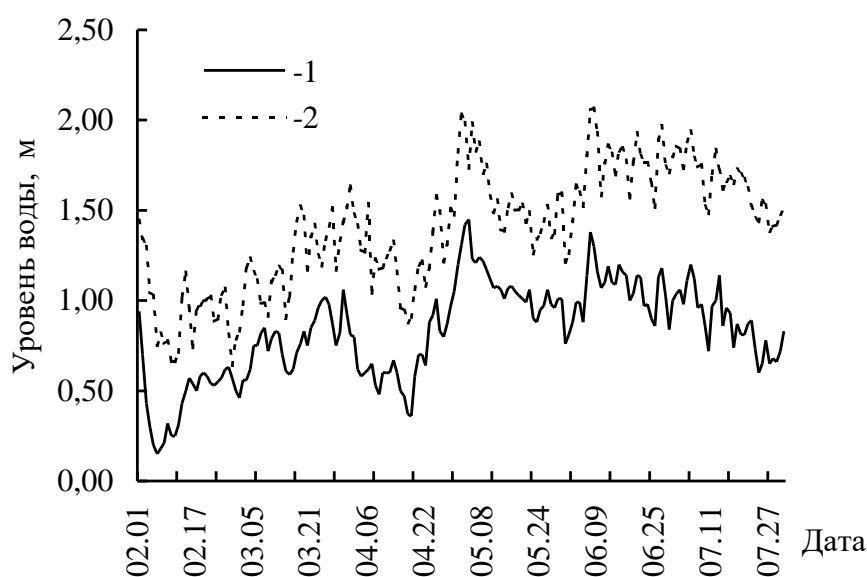


Рис. 2. Сопоставление измеренного (1) и рассчитанного (2) с учетом речного притока уровня воды Каспийского моря за период с 2.02-31.07.2003.

Таблица 3

Средняя величина «видимого» испарения с поверхности Каспийского моря, $\text{м}^3/\text{с}$

Месяц											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
518	239	1132	1752	1489	2475	2499	3130	3837	2711	1861	1384

В качестве фонового уровня Каспийского моря использовался современный уровень, равный минус 27,00 м, который в дальнейшем может быть модифицирован.

На рис. 3 приведено сопоставление фактического и рассчитанного уровня воды МГ Пешной при условии учета «видимого испарения». На этом рисунке видно, что ввод в модель величин «видимого» испарения занижает величину уровня моря.

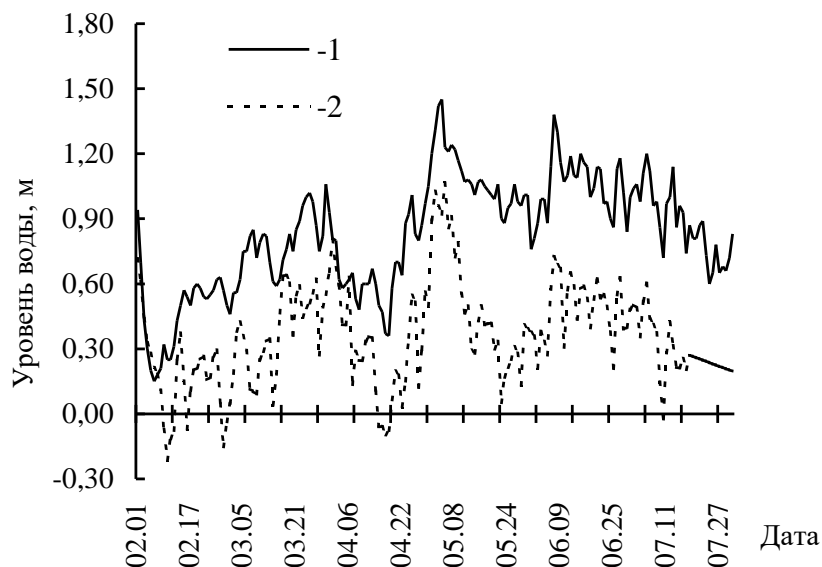


Рис. 3. Сопоставление измеренного (1) и рассчитанного (2) с учетом «видимого» испарения уровня воды Каспийского моря за период с 2.02-31.07.2003.

Естественно, что для достижения положительных результатов необходимо при расчете (прогнозе) вводить в модель все основные элементы водного баланса одновременно. Как показывают результаты сопоставления измеренных и рассчитанных, с учетом элементов водного баланса, уровней воды Каспийского качество расчетов существенно улучшается (рис.4). В частности, коэффициент корреляции между измеренными уровнями воды и рассчитанными без учета элементов водного баланса составлял 0,76, а с учетом речного притока и «видимого» испарения его величина увеличилась до 0,85.

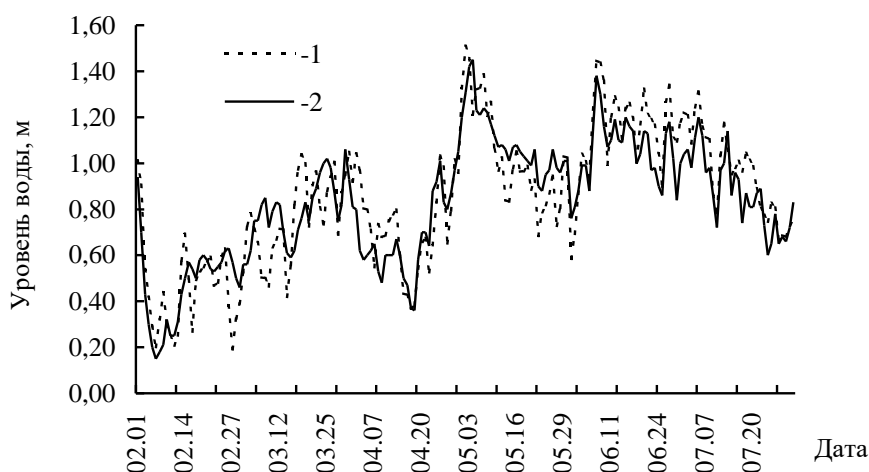


Рис. 4. Сопоставление измеренного (2) и рассчитанного (1), с учетом основных элементов водного баланса, уровня воды Каспийского моря за период с 2.02-31.07.2003.

Таким образом, эксперименты показали, что при прогнозировании уровня режима моря необходимо учитывать не только важнейшие элементы водного баланса самого моря, но и его речного бассейна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зайков Б. Д. Водный баланс Каспийского моря в связи с причинами понижения его уровня. Труды НИУ ГУ ГМС, сер. IV, вып. 38, 1946.- С.19-27.
2. Йенсен Х.Р., Ивкина Н.И., Строева Т.П. Некоторые результаты тестирования системы предупреждения штормовых нагонов на Каспийском море// Гидрометеорология и экология.- 2002.- N 1.- С. 93-100.
3. Каспийское море. Проект моря, Вып. 1 Гидрометеорология и гидрохимия морей.- СПб.: Гидрометеоздат.- 1992.- С. 211-221.
4. Abbott M.B., McCowan A., Warren I.R. Numerical Modelling of Free-Surface Flows that are Two Dimensional in Plan // Transport models for Inland and coastal waters.-Academic press, 1991.-P.222-283.
5. Jensen H. R., Vested H. J., Simonsen C. Storm Surge Forecasting for the Danish North Sea Area // PIANC Bulletin.-1991.-N 72.-P.76-98.
6. Skill assessment of an operation hydrodynamic forecast system for North Sea and Danish Belts // Vested H.J., Woge Nielsen J., Jensen H.R. and Bolding Kristensen K. // Quantitative skill assessment for coastal ocean models.- 1995.- Vol. 47.- P. 373-396.

7. Wardlaw, R.B., 1999. Caspian Sea water balance studies. Caspian Environmental Programme (CEP_I, EU funded), Almaty, November 1999.-50 pp.
8. Wardlaw, R.B., 2000. Caspian Sea water balance studies: model update report. Caspian Environmental Programme (CEP_II, EU funded), Almaty, November 2000.-17 pp.

Научно-производственный Гидрометцентр РГП «Казгидромет»

**СУ БАЛАНСЫ ЭЛЕМЕНТТЕРІН ЕСЕПКЕ АЛУ НЕГІЗІНДЕ КАСПИЙ
ТЕҢІЗІ СУ ДЕҢГЕЙІНІҢ АРА-ТҰРА ТЕРБЕЛІСТЕРІН БОЛЖАУ ҮЛГІСІН
ЖЕТІЛДІРУ**

Геогр. ғылымд. канд. Н.И. Ивкина

 Т.П. Строева

Мақалада су балансының негізгі элементтерінің Каспий теңізінің деңгейлік бетіне әсерін зерттеуге байланысты мәселелер қарастырылған. Үлгілеу нәтижелерінің нақты мысалдары келтірілген.