

## **О качестве наблюдений за уровнем Каспийского моря**

Данные наблюдений за уровнем моря, выполняемые на постах, расположенных по периметру Каспийского моря, используются для решения различных задач, связанных как с информационным обеспечением природохозяйственной деятельности на Каспийском море, так и для составления краткосрочных и долгосрочных прогнозов изменений уровня моря на сроки от нескольких дней (штормовые сгонно-нагонные явления) до одного года и более. Эффективность информации и прогнозов во многом зависит от качества наблюдений за уровнем моря, которое должно быть безупречным. Вместе с тем, анализ данных наблюдений за уровнем моря убеждает нас в том, что во многих случаях качество этих наблюдений либо низкое, либо мы просто о нем ничего не знаем, т.к. нет соответствующих оценок. Существует две основные причины такого положения: отсутствие необходимой информации обо всех изменениях в системе уровенных наблюдений и должной целенаправленности при постановке и проведении этих наблюдений, несовершенство методики наблюдений и аппаратуры.

Особенно сложное положение с системой уровенных наблюдений на Каспии сложилось в последнее десятилетие, что связано не только с распадом СССР и последующими за этим экономическими трудностями на постсоветском пространстве, но и современным аномальным повышением среднего уровня моря, что повлекло за собой затопление ряда постов или перенесение части водпостов в новые места. Это, естественно, привело к прерыванию рядов наблюдений или нарушению их однородности.

Целью данной работы является оценка качества наблюдений за уровнем моря, выполняемых на водпостах Каспийского моря. Здесь не затрагивается вопрос существующего дефицита наблюдений за уровнем моря, хотя он также является сегодня очень важным.

Систематические инструментальные наблюдения за колебаниями уровня Каспийского моря начались в 19 веке, сначала в Баку (с 1830 г.) и Астрабадском заливе (с 1853 г.), а затем в Махачкале и в Куули-Маяке (с 1900 г.), в Туркменбаши (с 1915 г.), в Форте-Шевченко и заливе Кара-Богаз-Гол (с 1921 г.). После этого было открыто еще большое количество постов, некоторые из них просуществовали недолго. Наибольшее число уровенных постов (порядка 78) приходилось в 20-30-е годы прошлого столетия. Посты располагались по периметру Каспийского моря более или менее равномерно. Затем их количество по разным причинам сократилось почти в два раза. В годы Великой отечественной войны наблюдения за уровнем моря велись с перерывами.

Данные об уровнях моря публиковались в Водном кадастре и в Морском гидрологическом ежегоднике, но в разных высотных системах отсчета (Черноморская, Балтийская, условная, местная система высот) [1,2,3]. В 1961 г. наблюдения в 31 пункте были сведены в Каталог в единой системе высот реперов и установлен единый нуль поста Каспийского моря на 28,00 м ниже нуля Кронштадтского футштока [9]. Качество наблюдений в Каталоге не оценивалось. Главное достоинство Каталога состояло в систематизации наблюдений и расчете приводок уровней моря для пересчета в единую систему высот нуля поста Каспийского моря. Характеристики уровня моря даются в превышениях над единым нулем поста, равным  $-28,00$  м БС (средний взвешанный уровень моря за 1940-1955 гг.) относительно нуля Кронштадтского футштока – Балтийской системы высот 1950 г.

В 1975-1980 гг. репера уровенных постов повторно привязывались к Государственной системе высот (эпоха 1977 г.). В результате нивелирования реперов в регионе Каспийского моря (западное побережье) получили изменение высотных отметок относительно эпохи 1950 г. в пределах от +7 до +11 см.

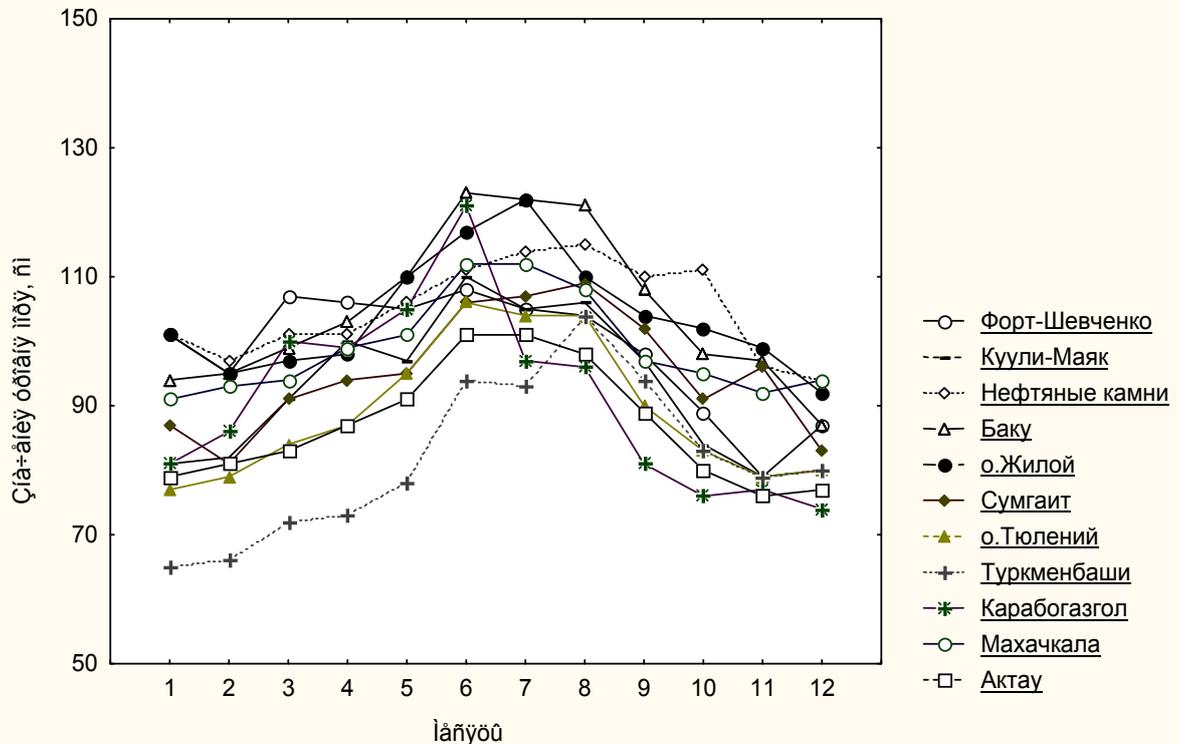
Выполненное в 70-е годы геометрическое нивелирование на западном побережье Каспийского моря и последующее нивелировочное уравнивание сети изменили высотные отметки реперов. Изменение отметок было связано с повышением точности нивелирования и вертикальными движениями реперов за период 1950-1977 гг. В то же время на восточном побережье Каспийского моря по различным причинам в 70-е годы нивелирование не проводилось. Поэтому в настоящее время на Каспийском море для расчета уровня моря существует две системы высот: система высот 1950 г. для восточного побережья и система высот 1977 г., введенная с 1 января 1979 г., для западного побережья. Отсутствие единого геофизического обоснования уровенных наблюдений на Каспийском море приводит к разностям между средними годовыми высотами уровня восточного и западного побережий (иногда до 30 см). Поэтому для уровенных постов западного побережья вводятся поправки, чтобы все уровенные наблюдения привести к «эпохе 1950 г». Это создает определенные неудобства и часто приводит к путанице. В связи с этим давно назрела необходимость безотлагательного и срочного проведения нивелирования уровенных постов и приведению уровенных наблюдений к Балтийской системе высот. Проблема расчета уровня моря на водомерных постах не является тривиальной задачей. Из данных фактических наблюдений должны быть исключены сгонно-нагонные явления, изменения атмосферного давления и ряд других явлений, а также тектонические вертикальные смещения земной коры (побережья). Скорости вертикальных перемещений земной коры не превышают 1 см в год. На большей части каспийского побережья, согласно работам [5,6], они соответствуют длительным движениям (опусканиям и подъемам) со скоростями 2-5 мм в год, на среднем Каспии – около 3 мм в год. Учет вертикальных движений необходим в любом сколько-нибудь долговременном плане оценки изменений уровня Каспийского моря. В настоящее время наиболее просто и экономно его следовало бы провести с помощью методов спутниковой геодезии.

По данным наблюдений на семи постах (Баку, Жилой, Махачкала, Форт-Шевченко, Туркменбаши, Кули-Маяке, Кара-Богаз-Гол) в Гидрометцентре России ежегодно составляется прогноз изменений уровня моря с годовой заблаговременностью и прогноз среднего годового уровня по всему морю. Отсутствие данных хотя бы с одного из указанных постов существенно сказывается на качестве прогноза. Важное значение имеет достоверность наблюдений, которая зависит как от качества самих наблюдений, так и от определения фактического положения нуля поста относительно Балтийской системы высот. Необходимая точность наблюдений за уровнем моря находится в пределах 1 см [10]. В действительности, такая точность не всегда соблюдается из-за запутанности системы поправок, вводимых в измеренные значения уровня моря. При этом фактические размеры погрешностей наблюдений неизвестны. В качестве примера на рисунке показаны кривые хода уровня Каспийского моря по месяцам в 1999 г. для отдельных пунктов. Из него видно, что имеет место значительные различия в ходе уровня моря между отдельными пунктами, которые могут достигать 30 см и более. Однако однозначного объяснения этим различиям дать трудно, так они могут быть обусловлены самыми разными причинами, в том числе и ошибочностью поправок, вводимых в наблюденные значения уровня, которые возможно изменились, но информация об этом отсутствует.

Как известно, при наблюдениях на морских уровенных постах рекомендуется приводить отсчеты по уровенной рейке к единому нулю поста (-28.00 м). Такое приведение позволяет иметь единую систему отметок уровня моря в каждом пункте при наблюдениях по рейкам с различными положениями нуля рейки. Положение плоскости -28.00 м определяется по отношению к береговому реперу. Вопрос приведения отсчетов уровня к нулю уровенного поста не является сложным. Однако он, как это не странно, часто является источником очень серьезных погрешностей при вычислении величины колебания уровня.

Неоднократно перед Росгидрометом ставился вопрос о том, что для приведения всех наблюдений за уровнем моря к единому нулю отсчета необходимо безотлагательное и срочное выполнение геодезических работ по привязке всех водпостов к реперам, связанным с единой Балтийской системой высот.

Для эффективного оперативного обслуживания заинтересованных организаций информацией и прогнозами об уровне моря, а также для выполнения научных исследований, данные с уровнемерных постов должны поступать регулярно и в полном объеме.



Годовой ход уровня Каспийского моря по отдельным пунктам в 1999 г.

В настоящей работе уделяется внимание качеству наблюдений за уровнем моря в семи пунктах побережья Каспия, которые являются опорными для составления прогноза годового хода уровня и среднего уровня моря с нулевой заблаговременностью: Махачкала (Россия), Форт-Шевченко (Казахстан), Куули-Маяк, Кара-Богаз-Гол, Туркменбаши (Туркменистан), Баку, Жилой (Азербайджан). Данные срочных наблюдений с этих постов по национальным каналам связи поступают в Гидрометцентр России. При этом сведения об изменениях в измерениях положения уровня моря, реперов или изменения приводок наблюдений к единому нулю поста моря не сообщаются. По этим данным затем рассчитываются средние месячные и средние годовые значения уровня моря.

Проверка значений уровня моря на каждом из постов за период 1991-2000 гг. осуществлялась путем вычислений отклонений среднего месячного уровня от среднего годового и сравнений полученных отклонений в смежных пунктах [7]. В результате выполнения этой процедуры отмечено сохранение сезонного уровня моря, в то же время высоты уровней моря в сравниваемых пунктах могут различаться до 25 см (например, в 1994 г. о.Жилой- Туркменбаши).

Регрессионный метод, примененный для проверки уровней моря [11] в условиях Каспийского моря, не дал положительных результатов. Поэтому в данной работе предлагается способ, позволяющий производить проверку высоты измеренного уровня независимо от высотного основания нуля поста. С этой целью были приняты следующие основные положения:

- изменения уровня от года к году могут иметь разные значения приращений как при подъеме, так и при понижении уровня;

- средний месячный и годовой уровень моря по постам изменяются синхронно;
- временной ход измеренных значений уровня относительно репера, который испытывает вертикальные движения, имеет тренд. Тренд может сопровождаться волновыми периодами [5,7,8].

Рассмотрим расхождения годовых значений уровня моря, полученных путем расчета межгодовых приращений уровня моря (табл. 1) для определения наиболее репрезентативных пунктов и лет наблюдений:

$$\Delta H = H_n - H_{n+1} \dots, \quad (1)$$

где  $\Delta H$  - представляет «абсолютное» изменение уровня моря, не связанное с высотой основной;  $H_n$  - уровень моря в принятый год;  $H_{n+1}$  - уровень моря в следующий год.

Среднее межгодовое приращение среднего годового уровня моря для каждого года будет :

$$\Delta H = \sum_{i=1}^K \Delta H_i / N, \quad (2)$$

где  $K$  - число пунктов наблюдений, расположенных по побережью моря.

В табл. 1 приведены средние годовые приращения уровня моря  $\Delta H$  для различных пунктов наблюдений.

Таблица 1

Средние годовые приращения уровня моря ( $\Delta H$ ) в различных пунктах Каспийского моря

Пункты наблюдений	Значения годовых приращений уровня моря (см)									
	1991-1992	1992-1993	1993-1994	1994-1995	1995-1996	1996-1997	1997-1998	1998-1999	1999-2000	Среднее
Баку	16	9	20	12	-23	-15	-21	-9	9	0
О. Жилой	14	13	25	6	-7	-26	0	-7	0	2
Форт-Шевченко	14	8	20	17	-9	-30	-1	-5	-4	1
Махачкала	11	7	22	10	-14	-16	-3	-4	-5	1
Куули-Маяк	13	10	17	12	-20	-11	0	1	4	2
Туркменбаши	16	5	18	16	-24	-12	-7	1	-6	1.5
Кара-Богаз-Гол	10	21	16	17	-28	-16	1	-3	-9	1
Среднее приращение( $\Delta H$ )	12	10	20	13	-18	-18	-4	-4	-2	1

Из таблицы видно, что в отдельные годы в каждом пункте годовые приращения оказываются либо близкими к среднему годовому значению приращения, либо сильно отклоняются от них. Так, например, значительные отклонения в отдельных пунктах от среднего годового приращения по всему морю отмечались в 1997-1999 гг (Баку), 1995-1997 гг. (о. Жилой), 1995-1997 гг. (Форт-Шевченко, Туркменбаши), 1992-1993 и 1995-1996 гг. (Кара-Богаз-Гол). Такие значительные отклонения в указанные годы могут быть связаны с нарушениями, искажающими высотные положения уровня моря.

Наименьшие отклонения наблюдались в пунктах Баку ( до 1997 г. ), Махачкала и Куули-Маяк ( за исключением 1997 г. и 2000 г.). В этой связи рассмотрим отклонения среднемесячных значений уровня моря в пунктах наблюдений относительно пунктов Баку и Куули-Маяк (табл. 2).

Таблица 2

Значения среднемесячного уровня моря(НМ) и отклонения среднемесячных уровней моря ( $\Delta$ НМ) относительно пунктов Баку, Махачкала и Куули-Маяк

Пункт наблюдений	1992 г.												Сред. Годов.	
	НМ	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI		XII
Баку	НМ	88	89	96	102	112	127	128	121	112	102	99	104	107
Кара-Богаз-Гол	НМ	81	76	80	88	99	108	87	82	73	65	85	88	84
Баку-Кара-Богаз-Гол	$\Delta$ НМ	7	13	16	14	13	19	41	39	39	37	14	16	23
О.Жилой	НМ	83	81	88	94	102	120	123	114	107	89	95	103	100
Баку-о.Жилой	$\Delta$ НМ	5	8	8	8	10	7	5	7	5	13	4	1	7
Куули-Маяк	НМ	82	80	82	88	93	105	107	105	95	77	89	94	91
Баку-Куули-Маяк	$\Delta$ НМ	6	9	14	14	19	22	21	16	17	25	10	10	16
Туркменбаши	НМ	82	82	83	86	92	105	108	108	98	85	88	95	93
Баку-Туркменбаши	$\Delta$ НМ	6	7	13	16	20	22	20	13	14	7	11	9	14

Из таблицы видно, что в пункте Кара-Богаз-Гол уровень моря с июля по октябрь занижался на 10-20 см. Вызывают также сомнения уровни моря в октябре в пунктах о.Жилой, Куули-Маяк и Туркменбаши. В остальные месяцы уровень моря в указанных пунктах менялся в пределах изменений сезонного хода.

Данный подход применялся ко всем 7 пунктам Каспия за период 1991-2000 гг. Обнаруженные погрешности в средних месячных значениях уровня моря в различных пунктах затем исправлялись.(см табл. 1 и 2). Исправленные уровни моря в виде годовых приращений приведены в табл. 3.

Таблица 3

Значения средних годовых приращений уровня моря после корректировки средних месячных уровней моря

Пункты наблюдений	Значения годовых приращений уровня моря (см)										
	1990-1991	1991-1992	1992-1993	1993-1994	1994-1995	1995-1996	1996-1997	1997-1998	1998-1999	1999-2000	1991-2000
Баку	34	16	9	20	12	-23	-15	-1	-1	-5	4,6
о.Жилой	36	14	8	20	16	-17	-16	0	-2	-5	5,4
Форт-Шевченко	40	14	8	21	16	-19	-20	-1	-1	-4	5,4
Махачкала	36	17	7	22	15	-17	-18	-3	-4	-5	5,0
Куули-Маяк	38	13	10	17	12	-20	-16	0	-4	-6	4,4
Туркменбаши	40	16	5	18	16	-19	-16	-2	-4	-6	5,2
Кара-Богаз-Гол	41	15	6	16	17	-18	-16	-2	0	-6	5,3
$\Sigma\Delta$ HR	265	105	53	134	104	-133	-117	-9	-13	-37	
$\Delta$ HR	38	15	8	19	15	-18	-17	-1	-2	-5	5,1
$\Sigma\Delta$ HR	38	53	61	80	95	77	66	59	57	52	

Среднее приращение уровня моря по всем пунктам от года к году ( $\Delta H$ ) показывает «абсолютное» изменение уровня моря за рассматриваемый период. Последовательно суммируя приращения и принимая уровень моря в 1990 г. за исходный (равный 0 см), получим «абсолютное» изменение уровня всего моря (по годам относительно 1990 г.).

Сравнение данных табл.1 и 3 показывает изменения приращений среднего годового уровня моря даже в так называемых «надежных» пунктах наблюдений – Баку и Махачкале. Полученные расхождения в средних приращениях уровня моря по всем пунктам не выходят за пределы 2 см, за исключением пункта Туркменбаши (1996-1997 гг), где, начиная с 1997 г., произошли изменения в наблюдениях уровня моря. Проверить качество выполненных вычислений, т.е. корректировки средних месячных и средних годовых значений уровня моря, можно при помощи расчетов современных вертикальных движений земной коры, производящихся по средним годовым значениям уровня моря [ 4 ].

Современные вертикальные движения берегов морей по данным непрерывных наблюдений за уровнем моря, привязанных к реперам уровенных постов, могут содержать изменения уровня моря на величину смещения реперов, равную возможной ошибке в наблюдениях и обработке уровня моря. Годовые значения вертикальных движений берегов представляют собой разность между данными, полученными из наблюдений, и расчетным уровнем моря ( $\Delta h$ ). Расчетный уровень вычисляется как среднее арифметическое по приращениям среднего годового уровня моря по всем пунктам от года к году.

Как отмечалось выше, приращения представляют «абсолютный» средний годовой уровень моря без вертикальных движений, существующих в каждом пункте наблюдений [4,5 ], и ошибок в высотной привязке (нивелировании) реперов и уровенных реек. Годовые вертикальные движения (смещения) репера вычисляются как разность между средним годовым уровнем и средним годовым приращением уровня в каждом пункте.

Годовые вертикальные движения (смещения) репера  $HV$ , а следовательно, кажущиеся изменения уровня моря, вычисляются по формуле :

$$HV_i = H_i - \Delta H_i, \quad (3)$$

где  $\Delta H_i$  – приращение среднего годового уровня моря в  $i$ –год,  $H_i$  - средний годовой уровень моря в пункте наблюдений.

В табл. 4 приведены вертикальные смещения репера (земной коры, берега). Исходным для всех пунктов принято значение смещения в 1990 г.

Таблица 4

Вертикальные смещения берегов Каспийского моря (см)

Пункты наблюдений	Годы											
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	1991-2000
Баку	9	11	12	11	10	13	17 (13)	15 (11)	15 (11)	14 (10)	15 (11)	13 (11)
о.Жилой	9	11	12	12	11	10	7	6	5	5	3	8
Форт-Шевченко	9	7	8	8	6	5	4	7	7	6	5	7
Махачкала	9	11	9	10	7	7	5	6	8	10	10	8
Куули-Маяк	9	10	12	10	12	15	16	15	14	16	17	13
Туркменбаши	9	8	7	10	12	11	11	10	11	13	14	15
Кара-Богаз-Гол	9	9	9	11	14	12	10	9	10	8	7	10
Среднее смещение	9,0	9,6	9,8	10,2	10,2	10,4	9,4	9,1	9,4	9,7	9,9	9,7

Табл. 4 показывает, что вертикальные смещения (движения) реперов в пунктах по годам имеют сходство и различие. Так, в пунктах Баку и о. Жилой вертикальные движения близки, но эти значения смещений различаются с движениями в Махачкале, Куули-маяке и в Форте-Шевченко (находятся в противофазе). Движения в Туркменбаши и Кара-Богаз-Голе находятся в противофазе.

В пункте о. Жилой после 1995 г. происходит опускание репера. В Кара-Богаз-Голе движение репера не синхронизируется с движением репера в других пунктах моря (табл. 4).

Таким образом, относительно 1990 г. вертикальные движения в пунктах в 2000 г., в крайних значениях, расходятся на 17 см (Кара-Богаз-Гол - Туркменбаши); в пунктах Баку и Куули-Маяке - на 8 см. Вертикальные смещения за эти годы в Форте-Шевченко, Махачкале, Кара-Богаз-Голе понизились на 3 см (табл. 4). В то же время средние значения вертикальных смещений ( $HV_i$ ) по годам за период 1990 – 2000 гг. показывают, что смещения реперов в семи пунктах Каспия незначительны, колеблясь в пределах  $\pm 0,5$  см.

#### Выводы

Разработан прием проверки средних месячных и годовых уровней моря. Качество «исправленных» уровней моря оценивается последовательным изменением вертикальных смещений берегов моря от года к году; в нашем примере изменения не выходят за пределы 2 см (в отдельные годы – 3 см), что соответствует определенным предельным изменениям уровня моря [4].

Колебания средних годовых вертикальных смещений ( $T_i$ ) в течение 1990 – 2000 гг. не выходят за пределы  $\pm 0,5$  см для семи пунктов, представленных в работе. Следовательно, влияние (искажение) среднего месячного уровня моря, рассчитанного по данным семи пунктам, находится в пределах  $\pm 2$  см.

Уточнен уровень Каспийского моря. Понижение уровня моря началось в 1996 г., однако с 1990 – 2000 гг. уровень моря поднялся на 14 см. Однако при использовании данных наблюдений каждого отдельного пункта следует учитывать влияния вертикальных смещений реперов в зависимости от временной длины (периода) используемых наблюдений.

### Список литературы

1. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Том 6. Каспийское море. Вып. 1.

Гидрометеорологические условия. Гидрометеиздат, СПб.: 1992.- 360 с.

2. Основные гидрометеорологические сведения о морях СССР. Т 2. Каспийское море. Вып. 1. (водный кадастр). Гидрометеиздат, Л.: 1940.- 320 с.

3. Гидрометеорологические ежегодники Каспийского моря за 1939 – 1988 гг.

Гидрометеиздат, Л.

4. Победоносцев С.В. Применение расчетного среднего годового уровня моря для определения современных вертикальных движений земной коры. // Геодезия и картография-1971.- № 3.- С. 18-28.

5. Победоносцев С.В. Современные вертикальные Том 12.- № 4.- М.: 1972.- С. 741-745.

6. Лазаренко Н.Н. Колебания уровня Балтийского моря // Труды ГОИН.-1961.- Вып. 65.- С. 39-127.

7. Победоносцев С.В. Использование водного нивелирования для проверок и восстановления значений уровня моря //Труды ГОИНа.- 1978.- Вып. 137.- С. 37-107.

8. Победоносцев С.В. Методика восстановления среднего годового уровня моря с учетом влияния вертикальных движений берегов // Сб. “Гидродинамические методы моделирования процессов на морях СССР”. - М.: Гидрометеиздат.- 1987.- С. 24-28.

9. Каталог уровенных наблюдений гидрометеорологических станций и постов, расположенных на Каспийском море // М.: Гидрометеоиздат.- 1964.- 132 с.
10. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам // Л.: Гидрометеоздат.- 1984.- Вып. 9.-Ч. 1- 302 с.
11. Батов В.И., Соколов С.Ю. О восстановлении пропусков во временных рядах океанографических наблюдений // В сб. “ Гидрологические методы моделирования процессов на морях СССР”. М.: Гидрометеоздат.- 1987.- С. 118-127.