

## УРОВЕНЬ

### 1. Вековые колебания уровня

Уровень Каспийского моря, как замкнутого водоема, несвязанного с Мировым океаном, подвержен значительным колебаниям. Здесь отмечаются вековые (от года к году), периодические (сезонные) и непериодические (кратковременные) колебания уровня.

Первые систематические наблюдения над уровнем Каспийского моря начались в 1830 г., когда была установлена водомерная рейка в Бакинской бухте. Однако имеются косвенные признаки, которые позволяют судить об уровне моря в более отдаленные времена [3, 4, 19].

Восстанавливая изменения уровня Каспия за последние 400 лет, Л. С. Берг [14] пришел к заключению, что низкие и высокие стояния уровня за этот период сменяли друг друга. В середине XVI века уровень стоял очень низко ( $-26,5$  м абс.), в середине XVII века, примерно через сто лет, он достиг высокого положения ( $-24,5$  м), после чего начал падать. В начале XVIII века уровень Каспия опять упал до  $-26,1$  м. Затем, после резкого подъема начинается длительный период высокого стояния уровня, который достиг своего наивысшего значения в начале XIX века, после чего вновь стал падать.

Согласно Бергу, амплитуда колебания уровня с 1556 по 1820 г. достигала 4,20 м, а по Аполлову и Самойлову [3] — 2,06 м.

Последние данные исследований Аполлова [4] величин колебаний уровня Каспия отличаются от данных Берга. Если для середины XVI века величины уровня по данным обоих авторов почти совпадают ( $-26,5$  м — по Бергу и  $-26,7$  м — по Аполлову), то для середины XVII века по Аполлову уровень стоял на отметке  $-25,6$  м, т. е. на 1,1 м ниже по сравнению с данными Берга.

Наибольшее расхождение в данных отмечается для начала XVIII века. Берг считал, что в начале XVIII века уровень Каспия достигал своего минимального значения и был равен  $-26,1$  м, в то время как по данным Аполлова в этот период уровень достигал своего максимума — 24,0 м.

С 1830 по 1930 г. уровень по наблюдениям у Баку незначительно колеблется около своего среднего столетнего значения — 25,4 м (326 см от нуля Бакинского футштока). С 1930 г. началось интенсивное падение уровня и к 1955 г. он понизился почти на 2,5 м (около 100 см над нулем Бакинского футштока). Современное стояние его — наинизшее за последние четыре столетия (рис. 12).

О причинах вековых колебаний уровня существовало много различ-

ных мнений, иногда прямо противоположных. Однако до последнего времени сохранились два основных мнения. Одни исследовали (Н. В. Ханькин, А. И. Воейков, Ю. М. Шокальский и др.) обуславливают колебания уровня климатическими причинами. Другие (К. М. Бэр, И. М. Губкин, К. К. Марков и др.) считают, что решающее значение на вековые изменения уровня оказывают геологические (тектонические) процессы. Сторонники этого направления основывались на том, что Каспийское море находится в районе, где наблюдаются тектонические движения

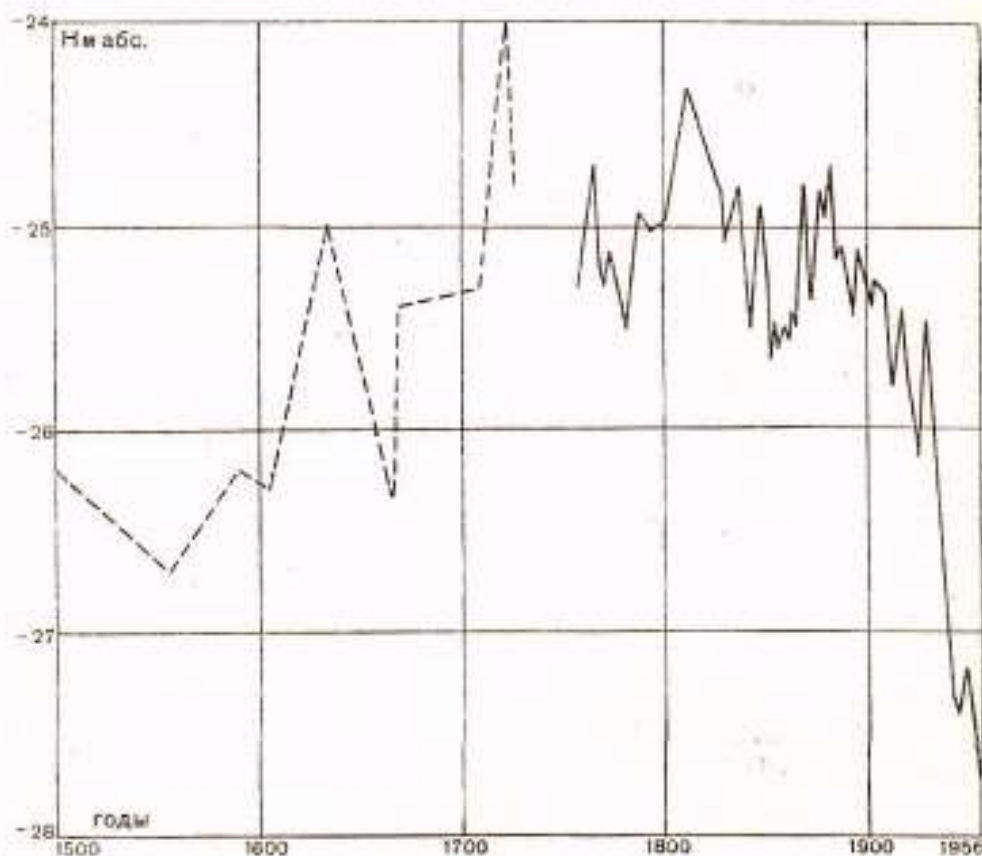


Рис. 12. График хода уровня Каспийского моря за период 1500—1956 гг. по Б. А. Аполлову.

земной коры. Сопоставление величины тектонических деформаций древних береговых линий Каспия с периодами, в течение которых эти береговые линии могли быть образованы, показало, что сами изменения происходили очень медленно (со скоростью не более 0,05 см в год). Следовательно, тектонические причины могут объяснить лишь самое незначительное понижение уровня. Повышение же уровня Каспия вообще не может быть объяснено тектоническими причинами. В настоящее время большинство ученых объясняют изменение уровня Каспия климатическими факторами (Б. А. Аполлов, Н. А. Белинский, Г. П. Кадинин).

Поскольку Каспийское море изолировано от океана, то колебания его уровня должны определяться изменениями величин составляющих водного баланса. Основным фактором, изменяющим соотношение между элементами водного баланса Каспийского моря, а следовательно, — и его уровень, является сток рек. Так как остальные составляющие либо имеют небольшой вес в водном балансе (подземный сток, сток в заливы

Кара-Богаз-Гол), либо от года к году мало меняются (испарение, атмосферные осадки).

Все количество воды, поступающее в Каспийское море, расходуется на испарение с его поверхности (табл. 11). Однако в каждый отдельный год приход и расход воды в море неравны друг другу. Так, например, по данным И. А. Бенашвили [12], при средней годовой величине поверхностного притока в 416 км<sup>3</sup>, в 1926 г. приток достигал 460 км<sup>3</sup>, а в 1937 г. — всего лишь 219 км<sup>3</sup>. Столь существенные различия в объеме

Таблица 11

Средние величины водного баланса Каспийского моря, определенные для случая стабилизации уровня по К. К. Гюлю [32]

Элемент водного баланса	Приход		Элемент водного баланса	Расход	
	Объем воды, км <sup>3</sup>	Высота слоя, м.м.		Объем воды, км <sup>3</sup>	Высота слоя, м.м.
Атмосферные осадки . . . . .	117	71,3	Испарение . . . . .	978	394,1
Поверхностный сток (реки) . . . . .	942	339,5	Сток в залив Кара-Богаз-Гол . . . . .	55	22,2
Подземный приток . . . . .	14	—			
Всего . . . . .	1073	410,8		1033	416,3

речного стока при достаточном постоянстве расходной части водного баланса и являются основной причиной колебания уровня Каспийского моря от года к году. Резкое падение уровня моря, происшедшее после 1930 г. в результате изменения соотношения между элементами водного баланса, наглядно подтверждается подсчетами Б. Д. Зайкова [37] (табл. 12).

Таблица 12

Водный баланс Каспийского моря за многолетний период (по Зайкову)

Элементы водного баланса	Слой воды, м.м.	Объем воды, км <sup>3</sup>	Элементы водного баланса	Слой воды, м.м.	Объем воды, км <sup>3</sup>
Осадки . . . . .	182	70,8	Испарение . . . . .	1000	389,6
Поверхностный приток	715	278,5	Сток в залив Кара-Богаз-Гол . . . . .	30	11,9
Подземный приток . . . . .	14	5,5			
Всего . . . . .	911	354,8		1030	401,5

Из анализа элементов водного баланса Каспийского моря видно, что величина речного стока в море уменьшилась. За период с 1930 по 1955 г. Волга недодала морю около 900 км<sup>3</sup> воды по сравнению со средним многолетним. Одновременно несколько возросло испарение с поверхности моря за счет повышения средней температуры воздуха. По данным Аполова [4] среднегодовая температура воздуха на ЕТС за последние 25 лет увеличилась на 1,0°. Все это привело к резкому падению уровня моря.

Уменьшение стока рек Волги и Урала за этот период вызвано значительным уменьшением количества атмосферных осадков, особенно зимних, выпадающих в бассейнах этих рек, что в свою очередь, сказалось

на уменьшении объема весеннего половодья. Другим фактором, приводящим к уменьшению речного стока, является хозяйственная деятельность человека — снегозадержание, расширение площади пахотных земель, орошение, водоснабжение, устройство водохранилищ и т. п. Однако этот фактор, по сравнению с климатическим, имеет второстепенное значение [4].

## 2. Периодические (сезонные) колебания уровня

Сезонные колебания уровня предустьевого взморья обуславливаются изменениями величин стока Волги и испарения с поверхности моря в различные сезоны года. Основную роль играют сезонные изменения стока Волги, поэтому годовой ход уровня предустьевого взморья в основном довольно правильно повторяет колебания волжского стока, но имеет более сглаженный вид.

Для характеристики режима уровня предустьевого взморья нами использованы наблюдения по водпосту Белинский маяк и по островным водпостам взморья — островам Искусственный, Чистая Банка, Жесткий, Тюлений, Кузалы (табл. 13). Основной трудностью изучения режима уровня взморья является невозможность увязки отметок уровня на разных станциях взморья, поскольку береговые станции Северного Каспия имеют абсолютные отметки, а островные — условные.

Таблица 13

Список водомерных постов взморья дельты Волги

Пост	Координаты		Отметка нуля графика, м	Период работы
	Широта	Долгота		
о. Искусственный . . .	45° 24'	47° 48'	-28,51	с 1929 г.
о. Чистая Банка . . .	45 13	48 00	(-3,179) условная	с 1941 г.
о. Жесткий . . . . .	46 03	49 37	условная	с 1951 г.
о. Тюлений . . . . .	44 28	47 29	-27,92 (Черн. моря)	с 1937 г.
о. Кузалы . . . . .	45 01	50 02	-26,76 (Черн. моря)	—
в/п Зеленига . . . . .	46 11	48 37	-26,22	с VIII 1930 г.
в/п Белинский маяк . . .	45 56	50 02	-27,98	с VII 1950 г.
в/п 12-я Огневка . . . . .	45 44	48 55	—	с V—X 1954 г.
в/п Станционер № 3 . . .	45 36	48 56	—	с V—X 1954 г.

В годовом ходе уровня взморья можно выделить весенне-летнее половодье, летне-осеннюю межень, осенний подъем и предполоводный спад уровня. Весной (в марте) с разрушением ледяного покрова уровень резко падает и, как правило, достигает своего годового минимума. В апреле, в связи с увеличением волжского стока, на взморье начинается повышение уровня, которое длится около 2 месяцев. В июне или июле уровень воды достигает максимума, после чего начинает падать. Это падение также длится около 2 месяцев. Период летне-осенней межени (август—сентябрь) характеризуется относительно низким стоянием уровня, продолжительностью около 2 месяцев. В октябре, в связи с осенним паводком на Волге, уровень взморья несколько повышается, а в ноябре снова понижается. В декабре в результате подпора волжских вод ледяным покровом уровень на взморье несколько повышается и затем почти не меняется до вскрытия.

Годовая амплитуда колебаний среднемесячных уровней зависит от сезонных колебаний стока Волги и гидрометеорологических условий (ветер, ледяной покров) и изменяется в среднем от 30 до 55 см. Макси-

мальные и минимальные уровни за год обуславливаются стогно-нагонными явлениями.

Для более полной характеристики сезонных колебаний уровня в различных пунктах взморья на рис. 13 представлен годовой ход среднемесячных уровней взморья за 1953 г.

Для каждой станции взморья годовой ход уровня имеет свои особенности и несколько отличается от годового хода уровня на морском крае

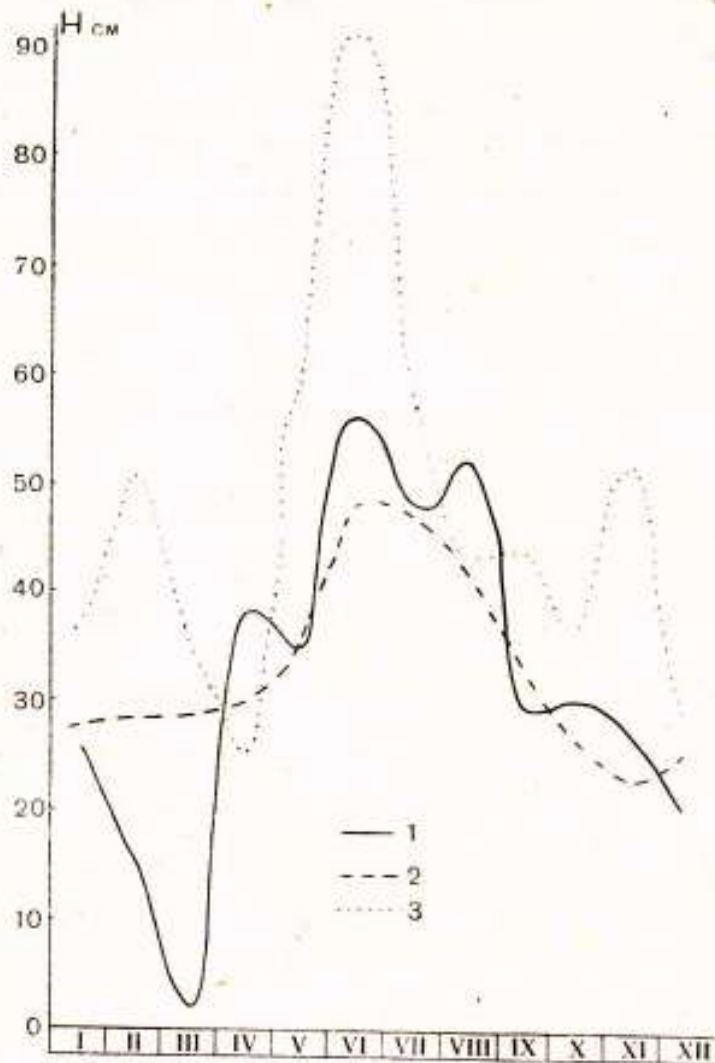


Рис. 13. Годовой ход уровня взморья Волги в 1953 г.  
1 — о. Тюлений, 2 — о. Жесткий, 3 — Белитский маяк.

дельты. Амплитуда среднемесячных уровней в западной части взморья (о. Тюлений, о. Чистая Банка) больше, чем в восточной (о. Жесткий, о. Кулалы). Это можно объяснить тем, что, как указывалось во второй главе, в западную часть взморья поступает значительно большая доля

стока Волги, чем в восточную. В морском крае дельты, в западной вень воды в мае несколько ниже, что в мае резко увеличивается по сравнению с апрелем, когда преобладает взморья этого не происходит, погонных колебаний уровня здесь невой ход уровня взморья вследствие несколько отличается от описанной сохраняется.

Амплитуда сезонного изменения распластывания волны половодья на взморье, уменьшается (табл. 1) мента наступления максимума в конце летне-осенней межени (сентябре мере удаления от морского края Белинского банка она составляет дельты — только 0,25 м.

Среднемесячные уровни за период навигации  
(по данным Каспморпроекта)

Пункт	V	VI
Зеленга . . . . .	-24,75	-24,63
Белинский маяк . . . . .	-27,02	-26,83
12-я Огневка . . . . .	-27,60	-27,53
Станция № 3 . . . . .	-	-27,73

Необходимо отметить, что средняя часть взморья должна быть восточной части Северного Каспия, поскольку восточная часть имеет большую приемность нагонных ветров, создающих единую систему отметок, и восточные районы Северного Каспия имеют более высокие отметки.

### 3. Нормальные уклоны

Прежде чем рассмотреть сток в устьевом взморье Волги, следует рассмотреть нормальные уклоны водной поверхности, они оказывают существенное влияние на сток и нагонные колебания уровня.

Уклоны водной поверхности в устьевом взморье Волги зависят от стока Волги и режимом ветра. Они зависят только от стока Волги. При этом восточная часть водной поверхности взморья, обуславливая существенные изменения.

В 1938 г. Каспморпроект вычислил нормальные уклоны уровня в западной части предустьевых каналов (табл. 15).

Как видно из табл. 15, в штиль даже в межень на взморье существует заметный наклон воды в сторону моря (0,84 м на 86 км). Наиболь-

Таблица 15

Уровень на взморье дельты Волги при штиле (1938 г.)

Пункт	Расстояние между пунктами, км	Уровень в абсолютных отметках		Падение уровня, м	
		октябрь	ноябрь	октябрь	ноябрь
Бирючья Коса . . . .		-26,59	-26,41		
10-я Огневка . . . .	11,0	-26,74	—	0,15	0,59
16-я Огневка . . . .	13,0	-27,19	-27,00	0,45	
Бровковый знак . . .	18,5	-27,36	-27,08	0,17	
д/к „Донбасс“ . . . .	43,5	-24,43	—	0,07	0,08
Всего . . . .	86			0,84	

шее падение уровня на взморье отмечается у морского края дельты (10-я и 13-я Огневки), а южнее оно постепенно уменьшается.

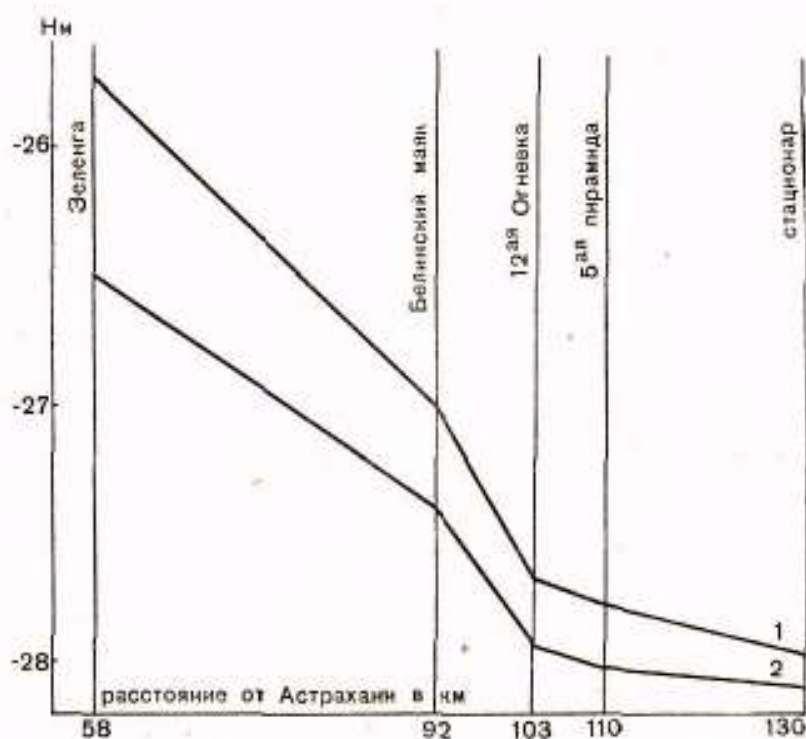


Рис. 14. Уклоны водной поверхности на взморье Волги в штиль. 1 — в паводок, 2 — в межень.

Такая же картина по данным Каспморпроекта наблюдалась и на Белинском канале в октябре 1940 г. и в сентябре 1954 г. (табл. 16). Между Белинским маяком, расположенным у выхода канала на взморье, и 12-й Огневкой, отстоящей от маяка на 11 км, перепад уровня составил 62 см, т. е. в среднем около 6 см на 1 км. В то же время дальше в море, между пирамидой № 5 (18 км от маяка) и Стационаром № 3 (41 км от маяка) средний перепад уровня составил менее 1 см на 1 км.

Таблица 16

Падение уровня воды на взморье по трассе Белинского канала в сентябре 1954 г. (по данным Каспморпроекта)

Пункт	Расстояние между пунктами, км	Перепад уровня, м
Белинский маяк . . . . .	11,0	0,62
12-я Огневка . . . . .	7,2	0,10
Пирамида № 5 . . . . .	23,0	0,15
Стационар № 3 . . . . .		

Таким образом, максимальные уклоны по каналам наблюдаются на первых десяти километрах взморья (рис. 14).

Уклоны водной поверхности на взморье меняются по сезонам в зависимости от колебаний стока Волги. Максимальные уклоны на взморье наблюдаются в половодье, минимальные — в межень.

Среднемесечные и сезонные изменения уклонов на взморье могут достигать значительной величины. Так, например, на выходном участке Волго-Каспийского канала (табл. 17) среднемесечные уклоны изменялись от 0,012 до 0,037‰.

Таблица 17

Среднемесечные уклоны и падение уровня на участке 12-я Огневка — о. Искусственный Волго-Каспийского канала в 1939 г. (по данным Каспморпроекта)

	Месяц					
	I	II	III	IV	V	VI
Перепад уровня, м . . . . .	0,45	0,48	0,30	0,42	0,60	—
Уклон, ‰ . . . . .	0,018	0,020	0,012	0,017	0,025	0,037

Максимальные уклоны водной поверхности наблюдаются в районе наибольшего распластывания речных вод. Поэтому в половодье, когда вода выходит из берегов и заливает дельту, наибольшие уклоны наблюдаются в нижней части дельты. После половодья, когда река вновь входит в свое русло, зона наибольшего распластывания перемещается на предустьевой участок взморья (табл. 18, 19), т. е. в межень основной перепад уровня между рекой и морем сосредоточен между морским краем дельты и морским склоном бара.



Таблица 18

Уклоны воды при характерных уровнях в 1954 г. по трассе Белинского канала  
(по данным Каспморпроекта, 1954 г.)

Пункт	Расстояние между пунктами, км	Фаза				
		Начало подъема уровня 10/IV	Середина подъема уровня 5/V	Гребень подъема (вык) 3/VI	Середина спада уровня 25/VI	Конец спада 31/VII
Зеленга . . . . .	34	0,031	0,061	0,070	0,058	0,040
Белинский маяк . . . . .	11		0,032	0,072	0,045	0,058
12-я Огневка . . . . .						

Таблица 19

Среднемесячные уклоны (‰) на трассе Белинского канала в 1954 г.  
(по данным Каспморпроекта)

Водност	Расстояние от Астрахани, км	Расстояние между постами, км	Месяц						
			IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Зеленга . . . . .	58	34	0,045	0,067	0,065	0,045	0,038	0,037	0,050
Белинский маяк . . . . .	92	11	—	0,053	0,064	0,063	0,060	0,055	0,055
12-я Огневка . . . . .	103	7	—	—	0,007	0,004	0,008	0,005	0,001
Пирамида № 5 . . . . .	110								

Необходимо отметить, что все приведенные данные об уклонах водной поверхности относятся только к каналам и бороздинам. Можно предполагать, судя по режиму течений, что уклоны на остальной части взморья несколько отличаются от уклонов в каналах вследствие влияния растительности, рельефа дна и т. п. Однако специальных наблюдений над уклонами водной поверхности здесь не проводилось.

#### 4. Сгонно-нагонные колебания уровня

На плавные периодические сезонные колебания уровня взморья накладываются резкие неперiodические кратковременные ветровые сгонно-нагонные колебания.

Наличие сильных ветров, направленных большей частью перпендикулярно береговой черте, большая протяженность мелководного взморья дельты Волги, конфигурация дна и берега (форма залива в северо-западной части моря), приток речных вод, создают весьма благоприятные условия для развития сгонно-нагонных колебаний на взморье.

Изучение этих явлений имеет большое практическое значение. Вследствие мелководности района нефтеналивные суда вынуждены при сильных сгонах проходить по взморью с неполной нагрузкой, что приносит миллионные убытки государству. При сгонах на взморье часто обсыхают «рыбницы» и другие мелкие рыболовные суда, доставляющие рыбу в

Астрахань и на плавзаводы. В летний период, вследствие высоких температур воздуха, транспортируемая такими судами рыба в случае их задержки быстро портится. При сильных сгонах становятся непроходимы даже для малых судов Белинский канал и другие мелкие каналы взморья.

Обсыхают огромные площади мелководья (например 9—12 апреля 1952 г.). Вода остается только в углублениях в виде мелких (иногда менее 10 см) луж, в которых скапливается и быстро погибает большое количество промысловых рыб — судака, сазана, леща и даже осетра и севрюги.

Влияние нагонов также значительно. При сильном нагоне 17—20 ноября 1951 г. при среднем подъеме уровня на 1,2—1,5 м были затоплены и повреждены служебные и хозяйственные постройки на островах взморья, а также унесено водой много имущества. Особенно много неприятностей доставил катастрофический нагон на взморье 7—19 ноября 1952 г. В результате действия сильных продолжительных восточных и юго-восточных ветров, достигавших 28—30 м/сек, уровень воды на взморье к 13 ноября поднялся у о. Тюленьего на 2,5, у о. Искусственного на — 2, у Белинского маяка на — 1,8 м по отношению к среднемесячному уровню. Даже у Астрахани уровень воды поднялся на 0,5 м. На взморье оказались затопленными все острова, а также обширная полоса северо-западного и западного побережья шириной до 40 км и размыто в нескольких местах полотно железнодорожной линии Астрахань—Кизляр. Особенно огромный ущерб был причинен рыболовному флоту и береговому хозяйству рыбной промышленности. Нагон произошел в разгар путины. Множество застигнутых в море рыболовных судов и барж не были в состоянии противостоять такому ветру и скорости течения и выносились на бар и за бар взморья. После быстрого спада воды большинство из этих судов вследствие очень малых глубин не смогло вырваться из «плена» и постепенно были занесены песком. И в настоящий момент на баре и на предустьевых островах взморья можно видеть «памятники» ноябрьской моряны (нагона) 1952 г. — остовы погибших рыбниц и барж, которые служат хорошими и единственными ориентирами на мелководье взморья. Однако такие нагоны на взморье наблюдаются очень редко (раз в 30—40 лет) и относятся к исключительным явлениям.

Сгонно-нагонные явления на взморье оказывают большое влияние не только на уровень, но и на другие элементы гидрологического режима (течения, температуру, соленость воды, мутность и т. д.).

В мелководном Северном Каспии направление дрейфового течения почти совпадает с направлением ветра. Следовательно, если ветер имеет составляющую нормальную к берегу, то у наветренного берега наблюдается накопление масс воды (нагон), если же ветер с берега, то происходит сгон.

Основным материалом для анализа сгонно-нагонных явлений на взморье явились срочные гидрологические и метеорологические наблюдения на гидрометстанциях взморья, а также экспедиционные наблюдения Каспморпроекта за отдельные годы. Обработка материала и его анализ позволили выяснить некоторые черты сгонно-нагонных колебаний уровня в этом районе.

Сопоставление хода уровня с направлением ветра на взморье показывает, что в соответствии с направлением берега линия, идущая с северо-северо-востока на юго-юго-запад, нейтральна; ветры к востоку от нее — нагонные, а к западу — сгонные. Наибольшие изменения уровня вызываются ветрами, дующими по нормали к этой линии. Чем меньше угол между направлением ветра и нейтральной линией, тем меньшие изменения уровня производит ветер.

По данным наблюдений на взморье с 1945 по 1955 г. суммарная повторяемость нагонных ветров составляет в среднем 59,2%, стонных — 39,1%, а нейтральных — 1,7%. Нагонные ветры преобладают с октября по март, стонные наиболее часты с апреля по сентябрь.

Сгонно-нагонные колебания уровня определяются главным образом ветрами, действующими над Северным Каспием. Влияние ветров, дующих над Средним и Южным Каспием, на уровень Северного Каспия мало. Это видно хотя бы из того, что при наличии ледяного покрова, когда воздействие местных ветров на уровень взморья исключено, колебания уровня на взморье очень малы (у о. Искусственного 1—3 см). Наибольший нагон создается сильным и продолжительным юго-восточным ветром, когда происходит сложение двух волн нагона — с восточной части Северного Каспия и с Среднего Каспия.

С. И. Кан [54] установила, что при изучении сгонно-нагонных колебаний уровня, его величину можно связывать не со скоростью ветра, а с разностью атмосферного давления, наблюдаемого в двух достаточно удаленных друг от друга пунктах. Правильность выбора пунктов определялась коэффициентом корреляции. Для района Лаганы наилучшей является разность давлений в пунктах Гурьев — Махачкала. Поскольку связь между уровнем и градиентом давления практически прямолинейна, то Кан предложила по прогнозу давления, а также, учитывая инерцию водной массы, давать прогноз среднесуточного уровня заблаговременностью в 1 день.

Однако колебания уровня на взморье могут происходить очень быстро (5—6 час.). Отклонение экстремальных значений уровня от его среднесуточной величины в отдельных случаях достигает 0,5 м. Поэтому среднесуточный уровень не может служить достаточной характеристикой сгонно-нагонных колебаний уровня. Отсюда вытекает необходимость изучения не только среднесуточных колебаний уровня, но и экстремальных его значений.

Б. А. Аполлов [22] для расчета возможного понижения уровня на 12-футовом рейде предложил, на основании материалов наблюдений до 1925 г., вычислять возможные изменения уровня по импульсу силы ветра. Однако расчеты показали, что вычисленные этим способом величины понижения уровня в несколько раз превышают наблюдаемые в настоящее время в природе. Такие ошибки могут быть объяснены как недостатками самого метода расчета, так и изменением гидрологического режима взморья после последнего падения уровня моря.

Н. П. Гоптарев (1954 г.) дает следующее уравнение для вычисления изменений уровня за какой-то промежуток времени для района о. Чистая Банка:

$$\Delta H = k \cdot \omega^2 \cos \alpha = \frac{t}{T},$$

где  $\Delta H$  — изменения уровня в см за время  $t$  в часах,  $\omega$  — средняя скорость ветра в м/сек за время  $t$ ,  $\alpha$  — угол между направлением ветра и направлением нейтральной линии,  $T$  — время в часах, в течение которого наступает равновесие между ветром и уровнем,  $k$  — коэффициент пропорциональности.

Здесь продолжительность действия ветра учитывается в виде отношения фактического времени действия ветра к тому промежутку времени, за который ветер производит максимальное изменение уровня. Величина  $T$  была принята равной 54 часа. Коэффициент  $k$  оказался равным 0,7.

Полученное выражение для определения приращений уровня является весьма приближенным, так как учет основных факторов, определяющих

изменения уровня, произведен неточно, не говоря уж о таких факторах, как уклоны водной поверхности взморья, рельеф дна, высота стояния уровня, инерция водных масс и пр., которые могут оказывать существенное влияние на изменение уровня в этом районе.

Несмотря на этот недостаток, предложенная формула, как показала

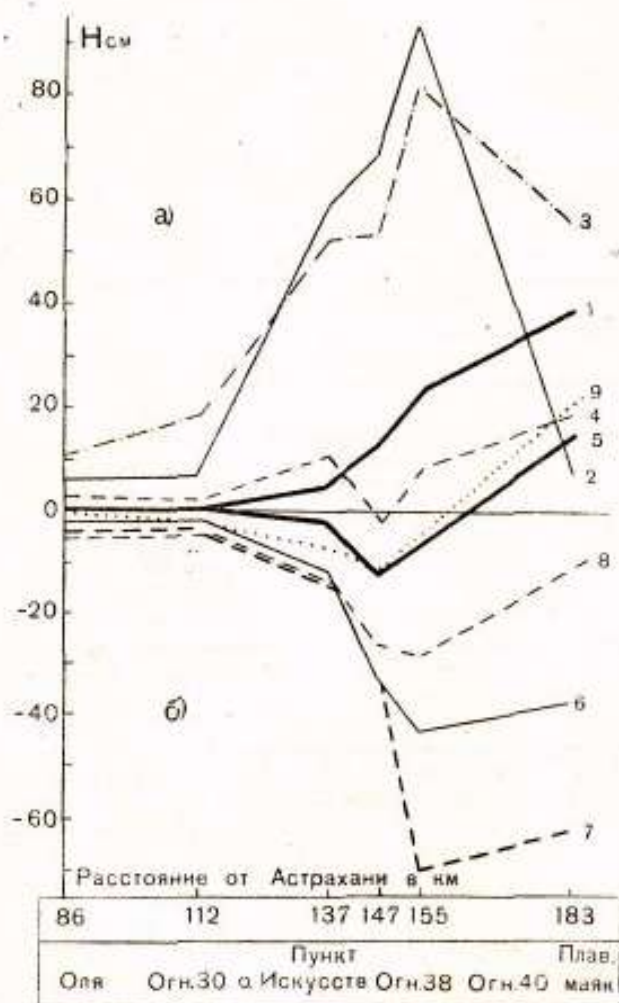


Рис. 15. Среднесуточные величины (а) нагона (1 — 25/VIII, 2 — 25/VIII, 3 — 27/VIII, 4 — 29/VIII) 1951 г.) и (б) спада (5 — 16/X, 6 — 17/X, 7 — 18/X, 8 — 20/X, 9 — 21/X 1949 г.) вдоль Бахтемировского фарватера.

проверка ее на фактическом материале, может служить для вычисления, например, максимально возможного изменения уровня при заданном ветре продолжительностью более двух с половиной суток, а также для расчета по заданному ветру приращения уровня за определенное время.

Анализ наблюдений синхронного хода уровня и ветра у о. Чистая Банка и о. Жесткого показал, что очень кратковременные и незначительные изменения ветра не оказывают существенного влияния на уровень. Наименьший период ветровых колебаний уровня на взморье равен 5—6 час., в течение которых изменения уровня могут достигать 0,2—0,3 м. В течение суток изменение уровня при сильных ветрах достигает 0,8—1,0 м.

В соответствии с режимом ветра, повторяемость нагонов в году по станциям взморья составляет 62%, а сгонов — 38% от общего числа ветровых колебаний уровня. Наибольшая повторяемость нагона отмечается в марте—апреле, и в октябре—ноябре, а сгона — с мая по июль.

Повторяемость сгонно-нагонных колебаний уровня от года к году непостоянна, она изменяется также и по акватории дельты. Этот факт свидетельствует о том, что влияние ветра на уровень в различных пунктах взморья сказывается различно.

За последние семь лет (1949—55 гг.) в районе о. Искусственного ежегодно отмечалось в среднем 60 сгонно-нагонных колебаний уровня, в районе о. Жесткого — около 125, у о. Чистая Банка — 150 (а в отдельные годы — 180), у Белинского маяка — 40.

Повторяемость сгонов и нагонов зависит от устойчивости ветра в году: чем менее устойчив ветер (однако не менее 6 час.), тем больше повторяемость сгонно-нагонных колебаний. Повторяемость колебаний уровня до 0,20 м в среднем для всего взморья составляет более 65%, причем она увеличивается с востока на запад и от дельты к бару. Общая повторяемость сгонно-нагонных колебаний увеличивается в этих направлениях.

Наблюдения Каспморпроекта [36] за первую половину 1939 г. показали, что наибольшая амплитуда колебания уровня вдоль Волго-Каспийского канала отмечается не у морского края дельты, а на некотором расстоянии от него (табл. 20). Сопоставление хода уровня у о. Чистая Бан-

Таблица 20

Амплитуды колебаний уровня за I—V 1939 г. по трассе Волго-Каспийского канала (по данным Каспморпроекта 1940 г.)

Пункт	Расстояние от Астрахани, км	Амплитуда колебания уровня, м
13-я Огневка . . . . .	118	0,48
о. Искусственный . . . . .	137	1,65
Опытная дамба . . . . .	142	1,22
д.к. „Донбасс“ . . . . .	186	0,80

ка и у о. Искусственного за одни и те же отрезки времени показывает, что амплитуда колебаний уровня у о. Чистая Банка, находящегося намного дальше от берега, оказывается больше амплитуды колебаний у о. Искусственного (табл. 21).

Средняя высота нагона у о. Искусственного составляет примерно 3/4 от высоты нагона у о. Чистая Банка, а средняя величина сгона составляет соответственно 1/4.

Наибольшая высота нагона отмечалась в районе 40-й Огневки (155 км от Астрахани). Ближе к дельте и дальше в море от этого пункта высота нагона уменьшалась. Наиболее резкое уменьшение высоты нагона происходило у морского края дельты, на участке между о. Искусственным и 30-й Огневкой (рис. 15). Среднесуточная высота нагона у 40-й Огневки в 3—4 раза больше, чем у 30-й Огневки. Такое значи-

Таблица 21

Амплитуды колебаний уровня на взморье (1949—51 гг.) в м

Пункт	22—26/V 1949 г.		5—8/VI 1949 г.		5—10/VII 1949 г.		4—9/IX 1949 г.		18—25/X 1949 г.		15—25/IX 1950 г.		3—6/X 1950 г.		10—16/X 1950 г.		26—30/X 1950 г.		30/X—2/II 1951 г.	
	0,46	1,04	0,84	0,74	1,52	1,17	0,64	0,97	1,30	1,20	0,27	0,70	0,52	0,32	0,72	0,66	0,30	0,30	0,73	0,41
о. Чистая Банка . . . . .																				
о. Искусственный . . . . .																				

тельное уменьшение высоты нагона у морского края дельты можно объяснить большими уклонами водной поверхности (до 0,03‰) в придельтовой части взморья. Таким образом, и в настоящее время район наибольших нагонов находится на значительном расстоянии от дельты (табл. 22). Наибольшая величина стога приурочена к району наибольшей величины нагона.

Таблица 22

Средние высоты нагона на трассе Волго-Каспийского канала (1949—51 гг.)

Пункт	Расстояние от Астрахани, км	Средняя высота нагона
30-я Огневка . . . . .	112	0,23
о. Искусственный . . . . .	137	0,59
38-я Огневка . . . . .	147	0,58
40-я Огневка . . . . .	155	0,70
Плавмаяк . . . . .	183	0,56

Для изучения стожно-нагонных колебаний в восточной части предустьевого взморья нами были использованы наблюдения на водпостах Каспморпроекта в период навигации 1954 г. на трассе Белинского канала. С июня по октябрь наибольшая амплитуда колебания уровня у Белинского маяка (морской край) — 0,45 м, у 12-й Огневки (11 км от дельты) — 0,77 м и у Стационара № 3 (41 км от дельты) — 1,23 м. Величина стога и нагона по мере удаления от морского края здесь также увеличивается (табл. 23).

Таблица 23

Изменения уровня воды (м) при стогах и нагонах на трассе Белинского канала (1954 г.)

Пункт	Расстояние от дельты, км	Нагон				Стой		
		25 VI	13 VIII	2 X	7 X	15 VIII	11 IX	20 XI
12-я Огневка . . . . .	11	0,25	0,14	0,28	0,37	0,07	0,07	0,10
Стационар № 3 . . . . .	41	0,49	0,26	0,47	0,51	0,40	0,35	0,23

Таким образом, на всем взморье величины нагонов и стогов увеличиваются по мере удаления от морского края дельты в море и наибольшего значения достигают на морском баре в 30—40 км от дельты, а затем уменьшаются. Такое изменение амплитуды стожно-нагонных колебаний на взморье по длине каналов можно объяснить наличием постоянного наклона водной поверхности взморья в сторону моря и, главным образом, существованием самого бара с глубинами 0,2—0,5 м. При нагоне

здесь роль берега выполняет бар. Кроме того, именно на баре обычно происходит схождение стокового и дрейфового течений и затухание их скоростей. Это приводит к повышению уровня здесь.

При сгоне морской край бара играет роль берега, так как со всего взморья вода быстро сгоняется в море за бар, и он иногда почти сохнет, в то время как у морского края дельты сгон частично компенсируется речным стоком. Ниже морского бара сгон воды в поверхностном слое компенсируется притоком вод донного компенсационного течения.

Интересны также и изменения экстремальных уровней по длине канала. Среднемесячная амплитуда уровня в период навигации (V—X) увеличивается от морского края в море, и у Стационара она в 8—10 раз больше, чем у Белинского маяка. Кроме того, среднемесячная амплитуда уменьшается на всех пунктах до июля—августа, а к октябрю увеличивается. Особенно резкое увеличение амплитуды колебания уровня происходит в октябре у Стационара (табл. 24). Эти сезонные изменения экстремальных уровней обуславливаются сезонным изменением режима ветра.

Таблица 24

Экстремальные уровни по водпостам Белинского канала (1954 г.)

Уровень, м	V	VI	VII	VIII	IX	X
Белинский маяк						
Наибольший . . . . .	-26,87	-26,75	-26,93	-27,09	-27,17	-27,19
Наименьший . . . . .	-27,23	-26,92	-27,09	-27,17	-27,29	-27,30
Амплитуда . . . . .	0,36	0,17	0,16	0,08	0,12	0,11
12-я Огневка						
Наибольший . . . . .	-27,21	-27,28	-27,57	-27,61	-27,49	-27,51
Наименьший . . . . .	-27,86	-27,68	-27,79	-27,86	-27,94	-27,98
Амплитуда . . . . .	0,65	0,40	0,22	0,25	0,45	0,47
Стационар № 3						
Наибольший . . . . .	—	-27,25	-27,55	-27,77	-27,58	-26,98
Наименьший . . . . .	—	-28,23	-28,11	-28,48	-28,33	-28,33
Амплитуда . . . . .	—	0,98	0,56	0,71	0,75	1,35

Сравнивая ветровые колебания уровня у о. Жесткий и о. Кулалы, можно отметить следующую особенность. При ветрах ВЮВ—ЮВ у о. Жесткого уровень все время повышается, в то время как у о. Кулалы он сначала падает, а затем постепенно повышается. Например, 14—20 марта 1955 г. при сильном ветре В—ЮВ у о. Жесткий уровень поднялся на 30 см, а у о. Кулалы он сначала несколько понизился, затем начал повышаться, а в среднем не изменился. Это, по-видимому, объясняется тем, что ЮВ ветер для о. Жесткий является нагонным, а для о. Кулалы — сгонным. В первый период действия ветра вследствие мелководности района у о. Жесткий уровень быстро растет, а у о. Кулалы падает. Но при дальнейшем действии ветра водные массы Среднего Каспия также приходят в движение, и, поступая в Северный Каспий, компенсируют убыль воды у п-ова Бузачи (о. Кулалы). В этом движении, имеющем составляющую против ветра, основную роль играет гравитационная сила, вызываемая разностью отметок воды у п-ова Бузачи и в районе Северного Каспия к западу от о. Кулалы.

Характер наклона уровенной поверхности взморья при сгонах и нагонах изменяется (рис. 16). При нагонах вследствие подпора речных вод морскими водами уклоны водной поверхности уменьшаются, особенно в прибрежной части взморья. Во время больших нагонов уклоны воды на взморье могут падать до нуля, а иногда, в нижней части взморья, принимать даже отрицательные значения. Так, например, 7/X 1954 г. нагон-

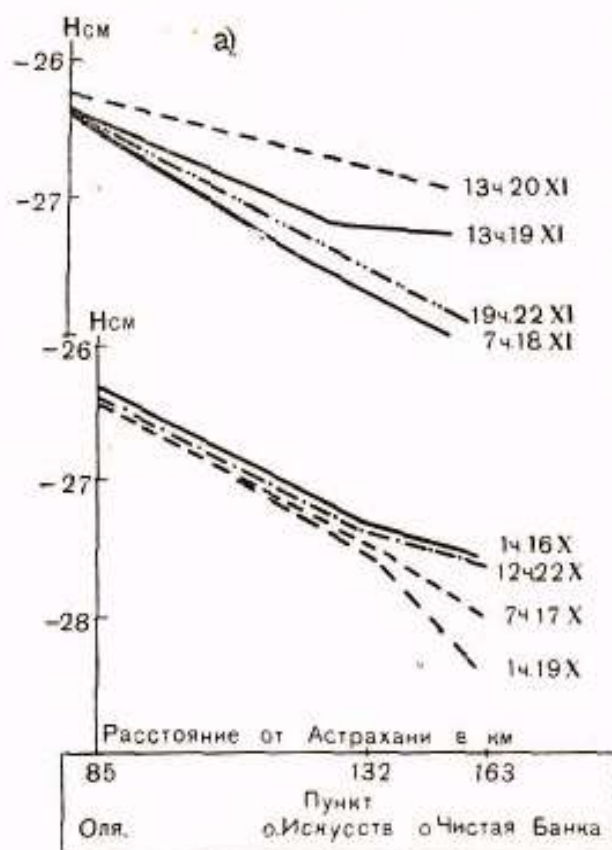


Рис. 16. Изменение профиля водной поверхности вдоль Бахтемировского фарватера: а — нагон, б — сгон.

ный ветер ВЮВ 6—11 м/сек на участке 12-я Огневка — Станция Белинского канала создал обратный уклон воды, равный  $-0,07\text{‰}$ ; в то же время на участке Белинский маяк — 12-я Огневка уклон был равен  $+0,027\text{‰}$ .

При обратных уклонах создаются течения с взморья в рукава дельты, вследствие чего соленые морские воды могут поступать на мелководное предустьевое взморье, что отмечалось во время шторма в ноябре 1951 г. у о. Жесткого, о. Чистая Банка и даже у о. Искусственного.

При сгонах, вследствие увеличения перепада уровней в реке и на взморье за баром, происходит увеличение уклонов водной поверхности, особенно в нижней части взморья. Например, на трассе Белинского канала сгонный западный ветер (10—12 м/сек) 14/VIII 1954 г. в верхней части взморья (Белинский маяк — 12-я Огневка) почти не изменил уклона, а в нижней части (12-я Огневка — Станция № 3) он вызвал уклон  $-0,020\text{‰}$ , в то время как до сгона средний уклон был равен  $0,008\text{‰}$ .



Наличие речного стока приводит к тому, что на взморье сгонная волна при приближении к морскому краю дельты уменьшается значительно быстрее, чем нагонная.

В западной части взморья, на профиле Лагань — д/к «Донбасс», в отличие от остального взморья характер уклонов совершенно другой. Здесь явление сгонов и нагонов происходит так же, как у обычного мелководного берега без речного стока, т. е. при сгоне наблюдается уклон воды к берегу, а при нагоне — от берега. Сравнение этого профиля при

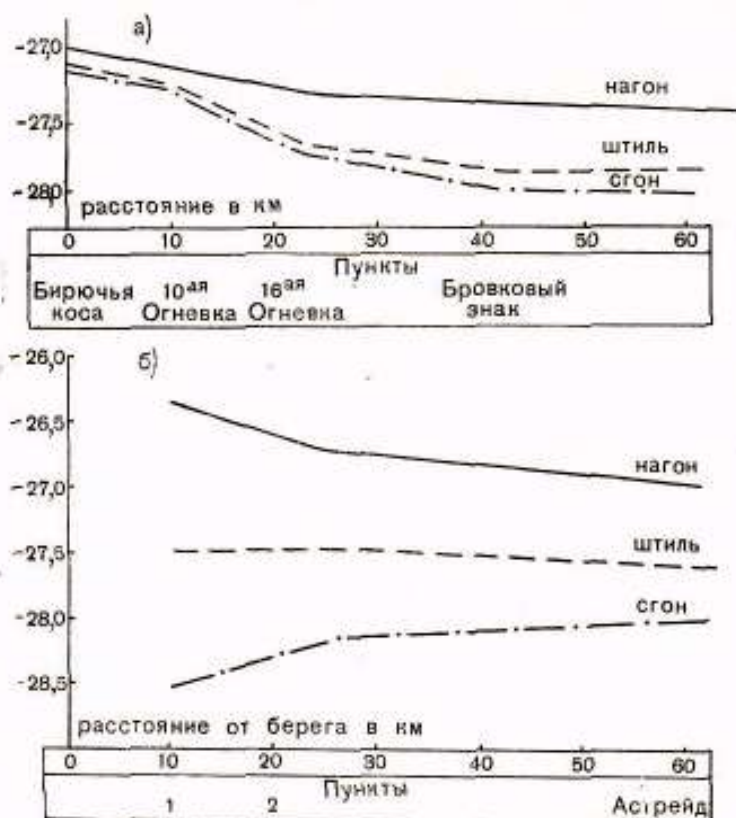


Рис. 17. Профили водной поверхности в штиль при нагоне и сгоне: а — на взморье Волги, б — у западного берега Северного Каспия.

сгонах и нагонах (рис. 17а) с профилем водной поверхности взморья (рис. 17б) дает представление о том, какие изменения вносит специфика взморья (наличие речного стока и бара) в режим сгонов и нагонов.

На взморье нагоны более выражены, чем сгоны. Величина нагона в среднем больше величины сгона 30%. Это, по-видимому, можно объяснить следующим: 1) влиянием при нагоне бара и схождением речных и морских вод; 2) при сгоне происходит компенсация оттока вод речным стоком; 3) при сгоне в связи с мелководьем резко увеличивается сила трения потока о дно, что уменьшает величину сгона; 4) сама потенциальная возможность сгона воды мала; бывают случаи при сильных нагонах, когда вода полностью сгоняется с бара, и речной сток сосредоточен только по бороздинам и углублениям взморья.

Величина стога и нагона зависит также и от уклонов воды взморья, т. е. от фазы половодья Волги. Анализ наблюдений показал, что при одной и той же силе ветра в период межени (март, апрель, сентябрь, октябрь) величина стогов и нагонов больше, чем в период половодья. При самом низком среднем уровне взморья (март) наблюдаются наибольшие величины стогов и нагонов.

Большое влияние на повторяемость и величину стого-нагонных колебаний уровня оказывает ледяной покров. При его наличии повторяемость и величина этих колебаний уровня резко уменьшается. Так, в первую половину марта 1939 г. при сплошном ледяном покрове на взморье максимальная амплитуда колебания уровня у 13-й Огневки составляла 0,07 м, а у о. Искусственного — 0,37, в то время как во вторую половину марта при открытой воде амплитуда колебания уровня была соответственно равна 1,43 и 1,65 м.

Скорость изменения уровня при стогах может достигать до 10 см/час, а при нагонах — до 8 см/час.

Отметим еще одну особенность колебания уровня на взморье. В период сильных стогов уровень в каналах и бороздинах несколько выше, чем на акватории, расположенной рядом. Например, по нивелированию Каспморпроекта 22/X 1943 г. при стоге уровень воды в Волго-Каспийском канале (на 35-м км) был на 9 см выше, чем за бровкой канала.

---