

10. УРОВЕНЬ ВОДЫ

10.1. Организация инструментальных наблюдений за уровнем моря и их высотная основа

Эпизодические инструментальные наблюдения за уровнем Каспийского моря в Бакинской бухте были начаты по инициативе акад. Э. Х. Ленца с 1830 г., систематические наблюдения проводятся с 1837 г., а регулярные — с 1890 г.

Со второй половины XIX — начала XX в. ур-венные наблюдения организованы и в других пунктах, расположенных в различных частях Каспийского моря (рис. 10.1).



Рис. 10.1. Схема расположения уровенных постов на Каспийском море.

Инструментальные наблюдения за уровнем моря до начала XX в. проводились разными ведомствами, организованные ими уровенные посты имели условные системы высот, что снижает их практическую значимость. К тому же большая часть этих материалов к настоящему времени не сохранилась.

Наибольшего развития сеть наблюдений за уровнем моря получила после организации в 1929 г.

Гидрометеорологической службы СССР. С этого времени до 1937 г. по всему побережью Каспийского моря были открыты многие из действующих и сейчас уровенных постов (рис. 10.1, табл. 10.1).

В результате интенсивного падения уровня моря в 30-е годы часть уровневых постов оказалась далеко на суше.

Существующая сеть морских береговых станций и постов, особенно в северной части моря, в целом не достаточно полно освещает режим уровня и не удовлетворяет потребностям современного народного хозяйства. Тем не менее расположение большинства уровенных постов репрезентативно. Понижение уровня моря, продолжавшееся до середины 70-х годов текущего столетия, поставило под угрозу проведение наблюдений на постах, расположенных в мелководных районах, некоторые посты были закрыты (Астара). На станциях западного побережья средней части моря [Дербент, Кизил-Бурун (Кильгирка), Низовая Пристань] наблюдения проводились в мелководной прибрежной полосе открытого моря, в зоне прибоя.

Много станций в этот период было закрыто в северной части моря.

Таким образом, количество уровневых постов на Каспийском море со дня организации Гидрометслужбы СССР до настоящего времени менялось в связи с длительной тенденцией падения уровня моря, а также в зависимости от потребностей народного хозяйства.

Организация Гидрометслужбы СССР обусловила необходимость приведения отсчетов уровня моря, измеряемых в различных частях и районах каспийского побережья, к единой исходной плоскости, так как до этого времени единой системы высотных отметок не существовало и каждый уровеньный пост имел условный нуль поста.

Первую попытку увязки нулей постов предприняли В. В. Борисов и В. А. Зенин [161]. Расхождения в вычисленных ими отметках нулей постов составляют 4—5 см.

До 1961 г. на побережье Каспия существовало несколько не связанных между собой систем высот: черноморская (относительно уровня Черного моря), в основе которой лежит водная нивелировка В. А. Зенина; система высот 1950 г.—Каталога ГУГКа издания 1949—1952 гг.; ведомственные, в том числе основанные из нивелировке Военно-топографического управления (ВТУ), исходными реперами которых служат репера III и IV классов, не включенные в Каталог ГУГКа.

С 1 января 1961 г. характеристики уровня моря даются в превышениях над единым нулем поста, который принят для Каспийского моря разным —28,0 м (средневзвешенный уровень моря за 1940—1955 гг.) относительно нуля Кронштадтского футштока («Балтийская система высот» 1950 г.).

В настоящее время на Каспийском море действует система высот 1977 г., введенная с 1 января 1979 г.— Главная высотная основа СССР 1977 г.

Таблица 10.1

Периоды работы уровневых постов на Каспийском море

Станция	Период наблюдений, годы	Станция	Период наблюдений, годы
Западное побережье:			
Астара	1912—1916, 1926—1975	Низовая Пристань Дербент Изберг Махачкала	1933—1963 1936—1957 1943—1981 1900—по н. в.
Ленкорань	1869—1881, 1903—1916 1936—1938 (I) 1907—1919, 1921—1955 (V)		
Остров Сары	1952—1962	Восточное побережье	
Куринская Коса Нефтечала (Эйдесто- вый Култук)	1911—1924, 1927—1936, 1940—по н. в.	Форт-Шевченко Шевченко Александр-Бай Бухта Кандерли Коса Ада Бекдаш Кара-Богаз-Гол Салтас	1921—по н. в. 1961—по н. в. 1936—1958 1935—1956 1957—1969 1930—по н. в. 1921—по н. в. 1930—1938
Устье Куры	1925—1935		1940—1943
Остров Кулагин	1947—1951		1943—1955
Аллат	1932—1954		1933—1941
Синий остров	1923—1940, 1953—по н. в.		1932—1944
Баку	1880—по н. в.		1936—1938
Остров Жилой	1924—по н. в.		1900—1917
Нефтяные Камни	1963—по н. в.		1921—по н. в.
Остров Артема	1940—1966		1915—1920,
Апшерон	1912—1918, 1921—1941, 1984—по н. в.		1922—по н. в.
Сумгайт	1948—по н. в.		1924—1958
Джорат	1935—1941		1912—1963
Кизил-Бурук (Славянъ)	1935—1938, 1957—1959		1963—по н. в.
Кильгинка	1939—1957		1958—по н. в.
Челекен (эстакада)	1963—по н. в.		1960—по н. в.
Огурчичный остров	1938—по н. в.		1941—1955
Чакшишляр	1912—1917		1938—по н. в.
Гасан-Кули	1938—1951		1989—1968
Астррабадский (Горган- ский) залив	1850—1883		1936—1954
Эзеля (Пехлеви)	1925—1936		1929—1953, 1954—по н. в.
Северный Каспий			1956—1964
Забуркуне	1933—1949		1914—1917,
Гелюшхине	1934—1939		1926—1938
Остров Укайный (Жест- кий)	1950—1964		1933—1941
Двенадцатая Огневка	1970—по н. в.		1937—1945
Каспийский (Лаганъ)	1939—1949, 1979—по н. в.		1936—по н. в.
			1948—1958

Примечание. Н. в. — настоящее время.

10.2. Вековые колебания уровня

Формирование Каспийского моря, возраст которого составляет около 10 млн лет, происходило в течение длительной геологической истории, на протяжении которой наблюдалась неоднократная смена трансгрессивных и регрессивных фаз уровня разной величины и продолжительности. В третичном периоде (начался 70 млн лет тому назад) происходила медленная изоляция и отчленение континентального бассейна от южных морей и от океана Тетис. В конце позднего третичного периода, в среднем плиоцене (10 млн лет тому назад) огромное внутреннее Сарматское море, охватывающее территорию современных Черного и Каспийского морей, распалось на отдельные части, образовав Каспийское море — самостоятельный изолированный бассейн. При этом площадь морской акватории была меньше современной, а в отдельные века среднего плиоцена море занимало лишь южную котловину,

т. е. его уровень находился значительно ниже современных отметок. Трансгрессии и регрессии моря в дочернепермский период определялись разными причинами: в раннем неогене преобладали в основном тектонические процессы и горообразовательные движения, а в конце неогена — верхнем плиоцене (в акчагыльский и апшеронский периоды) повышение уровня происходило не только в результате влияния тектонических факторов, но и климатических изменений. В четвертичное время колебания уровня были обусловлены исключительно климатической изменчивостью.

Исследования [349, 418, 419 и др.] показали, что в истории развития Каспийского региона выделяются четыре основных этапа: бакинский, хазарский, хвалынский и новокаспийский. Эти этапы и были положены Г. И. Рычаговым в основу описания плейстоценовой истории Каспия и хронологической шкалы каспийских трансгрессий (табл. 10.2). Размах колебаний уровня Каспийского

Таблица 10.2
Хронологическая шкала каспийских трансгрессий
(по Г. И. Рычагову [349])

Трансгрессия и ее стадии	Положение береговой линии, м БС	Абсолютный возраст
Новокаспийская трансгрессия — настоящее время — 8—9 тыс. лет назад		
Последние пики пятой стадии	—24, —25	XIV в. н. э., середина XVII — начало XVIII в. н. э., начало XIX в. н. э.
Четвертая стадия	—22, —23	3,0—3,5 тыс. лет
Третья стадия	—21	5,5—6,5 тыс. лет
Максимальная стадия	—19, —20	около 8,0 тыс. лет
Первые пики трансгрессии	—25	около 9,0 тыс. лет
Позднехвалынская трансгрессия — 10—20 тыс. лет назад		
Сартасская стадия	—12	около 12,0 тыс. лет
Кумская стадия	—5, —6	около 14,5 тыс. лет
Махачкалинская, максимальная стадия	около 0	около 16,0 тыс. лет
Стадия, предшествовавшая максимальной	—	около 18,5 тыс. лет
Раннехвалынская трансгрессия — 40—70 тыс. лет назад		
Буйнакская стадия	20—22	около 42,0 тыс. лет
Талганская стадия	34—36	около 47,0 тыс. лет
Максимальная стадия	47—48	около 60,0 тыс. лет
Стадия, предшествовавшая максимальной	—	около 70,0 тыс. лет
Позднеказарская трансгрессия — от 90—100 тыс. лет до 200 тыс. лет		
Раннеказарская трансгрессия	—	250—300 тыс. лет
Бакинская трансгрессия	—	400—500 тыс. лет (но древнее 690 тыс. лет)

моря в плейстоцене с учётом данных В. Г. Рихтера по так называемой красноводской регressiveйной стадии превышал 100 м.

Наиболее низкие уровни, достаточно достоверно установленные, наблюдались в предновокаспийское, предхвалынское, предказарское и особенно в предбакинское время (более 500 тыс. лет тому назад), когда уровень моря располагался на абсолютных отметках —150 м. Эпохи наибольшего стояния уровня были переломными в эволюции Каспийского бассейна, так как каждая трансгрессия, следовавшая за низким стоянием уровня, характеризовалась своими специфическими чертами.

С третичного периода до наших дней на месте Каспийского моря сменилось четыре различных по своим очертаниям и характеру бассейна: Понтическое, Киммерийское, Акчатыльское и Апшеронское моря. Еще более сокращаясь в бакинский и древнекаспийский века, море постепенно принимало современные очертания.

В последние 7 тыс. лет на Каспии после глубокой мангышлакской регрессии, когда уровень моря упал на 30 м ниже современного, развивается новокаспийская трансгрессия (рис. 10.2). В настоящее время еще не сложилось единого мнения о числе ее стадий, их последовательности продолжительности и масштабах [418, 419].

Вполне естественно, что все сведения об отметках уровня моря в геологическом прошлом носят условный характер.

Скудные сведения об уровнях Каспийского моря с XII в. до н. э., помещенные в работах учёных, географов и литераторов того времени, были получены на основании косвенных и далеко не надежных данных, имеющих различное толкование. Современные археологические раскопки указывают лишь на ориентировочные значения отметок уровня моря за этот период. Удалось установить, что за

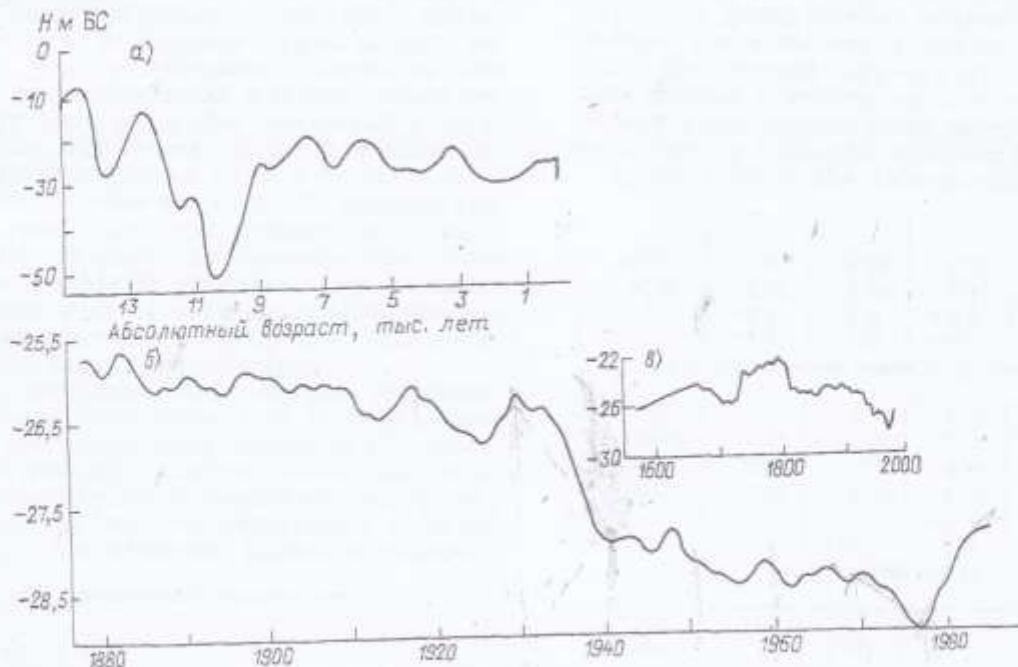


Рис. 10.2. Колебания уровня Каспийского моря в различные периоды.
а — в позднем плейстоцене; б — за период инструментальных наблюдений; * — с 1556 г.

12 веков до н.э. размах колебаний уровня моря достигал 15 м. В I в. до н.э., т.е. более 2 тыс. лет тому назад, уровень моря находился на отметках выше —14 м [11, 40].

От начала нашей эры до X в. описания колебаний уровня моря носят более достоверный характер по сравнению с предшествующим периодом. Появляются уточненные карты Каспийского моря, позволяющие относительно объективно определить уровненные отметки за первое тысячелетие нашей эры.

Было установлено, что в отдельные периоды с X по XVI в. уровень опускался ниже современного на 12 м. Основная причина значительного понижения уровня Каспия между X и XIII веками, по мнению многих авторов [11, 28, 40], заключалась в прекращении стока Амударии в Каспийское море, существовавшего с V в. до н.э. до X в. н.э., т.е. непрерывно в течение 14 веков. С первой половины XIII в. до середины XVI в. сток Амударии в Каспий возобновился, и уровень моря заметно повысился: размах его колебаний составил за эти три неполных столетия около 6 м.

Б. А. Аполлов [11] получил отметки уровня моря для отдельных лет и периодов от начала нашей эры до середины XVI в. Эти данные показывают, что уровень колебался в значительно меньшем диапазоне, чем до нашей эры: размах вековых колебаний уровня за 16 столетий составил около 8 м (—24,5...—32,5 м).

В середине XVI в. уровень моря находился на низкой отметке —26,6 м, через столетие произошло повышение уровня до отметки —23,9 м, после чего он вновь стал падать и в начале XVIII в. достиг минимального значения —26 м. После резкого падения начался длительный период высокого стояния уровня, достигшего в начале XIX в. (так же, как 4—6 тыс. лет назад и в начале нашей эры) наиболее высоких отметок —22,5 м. После этого уровень моря стал падать и к 1830 г. опустился до —25,9 м.

10.2.1. Многолетняя изменчивость уровня моря и ее причины

С начала проведения инструментальных наблюдений и до XX в. уровень Каспийского моря колебался в среднем около отметки —25,8 м. С конца XIX в. в многолетнем ходе уровня наблюдалась тенденция понижения, продолжавшаяся до 1977 г., когда уровень моря находился на самой низкой отметке не только за период инструментальных наблюдений, но и за последние 500 лет (—29 м), в течение которых размах колебаний уровня составлял 7 м.

В текущем столетии в многолетнем ходе уровня Каспийского моря прослеживаются несколько характерных периодов. Так, на фоне общей тенденции понижения уровня в конце прошлого и в начале текущего столетия (1900—1929 гг.) изменения уровня моря были незначительными и происходили около средней отметки —26,2 м. Значение тренда за этот период составило —0,34 м. Состояние относительно разновесного положения уровня сменилось периодом резкого его падения в 1930—1941 гг. (на 1,8 м). С начала 40-х до конца 50-х годов прослеживается замедленное понижение уровня моря. В 60-е годы в многолетнем ходе отмечалась

некоторая стабилизация на отметках около —28,4 м, сменившаяся в 1970 г. резким падением до самой низкой отметки —29,0 м. Общее понижение уровня моря за текущее столетие до 1977 г. составило 3,2 м. Снижение уровня происходило с интенсивностью в среднем около 4 см/год, а в 1930—1941 и 1970—1977 гг. интенсивность снижения возрастила соответственно до 16 и 14 см/год.

С 1978 г. уровень моря стал резко повышаться, и в 1991 г. его среднегодовая отметка поднялась до значения —27,15 м. Интенсивность подъема уровня за этот период составила в среднем около 14 см/год, а в отдельные годы достигала и 30 см.

На многолетние колебания уровня моря оказывают влияние многие факторы, основные из которых следующие: климатические изменения, тектонические процессы, меняющие объем морской впадины, и хозяйственная деятельность человека. Вклад этих факторов в многолетние колебания уровня далеко не одинаков. Как показали многочисленные исследования, климат — это основной фактор, определяющий вековые и межгодовые изменения уровня моря, т.е. эвстатические (объемные) колебания уровня.

Еще в начале XIX в. Э. Х. Ленц [284], изучив колебания уровня Каспия за более чем 400 лет, объяснил их изменениями климатических условий. А. И. Войкова [94] установил зависимость положения уровня моря от стока впадающих в него рек, изменения испарения с его поверхности и количества выпадающих осадков, т.е. от элементов водного баланса, определяемых климатическими факторами. Гипотеза климатической обусловленности многолетних колебаний уровня моря получила развитие в ряде исследований [94, 116, 117, 171]. Многие исследователи рассматривают проблему неизменности уровня Каспия в глобальном масштабе. Л. С. Берг и В. Ю. Визе [40, 82] установили зависимость между сировостью зимы в Арктике, стоком р. Волги и уровнем Каспия. Л. С. Берг отмечал, что изменение интенсивности общей циркуляции атмосферы оказывает прямое воздействие на уровень моря, во время потепления Арктики уровень понижается, а при похолодании — повышается. Проникновение на север в циклонах теплых и влажных воздушных масс вызывает потепление Арктики, в то время как в средних широтах, включая бассейн Каспийского моря, увеличивается преобладание антициклонического режима погоды в холодный сезон. Это приводит к дефициту зимних осадков в бассейне Волги, уменьшению ее стока и соответственно к падению уровня моря.

А. В. Шнитников [448, 449] сделал вывод о связи вековых колебаний уровня с изменчивостью общей увлажненности Европы. Выделив период многовековой изменчивости общей увлажненности Евразии в 1850 лет, он отмечал, что трансгрессии Каспия происходят во время максимумов увлажненности (прохладно-влажных фаз цикла), а минимумы увлажненности (сухим и теплым фазам цикла) соответствуют регрессии Каспийского моря.

По данным многих авторов [7, 19, 35, 98 и др.] главная причина многолетних колебаний уровня Каспийского моря — изменчивость климатообразующих факторов (солнечной активности, циркуляции атмосферы и др.), влияющих на формирование элементов водного баланса водоема и при-

водящих к непостоянству соотношений между отдельными его элементами. Она определяет циклические изменения объема вод моря и соответствующие им циклические колебания уровня моря различной продолжительности: от 2—3-летних до квазивековых. Эти колебания носят нерегулярный характер, поэтому трудно предсказуемы.

Климатические аномалии приводят к значительным изменениям положения уровня моря. Так, крупная аномалия, охватившая все Северное полушарие в начале текущего столетия и достигшая максимума в 30-е годы, привела к наиболее резкому снижению уровня моря за короткий срок (с 1930 по 1941 г.) на 1,8 м. В 1970-х годах в бассейне моря сложились аналогичные условия. Уменьшение увлажненности, резкое сокращение поверхности притока и повышенное испарение с поверхности моря, установившийся антициклонический режим погоды привели к дефициту водного баланса и снижению уровня к 1977 г. примерно на 0,7 м. Климатические изменения приводят и к повышению уровня моря, о чем свидетельствует его последний резкий подъем, начавшийся с 1978 г. и продолжающийся до настоящего времени. Современное повышение уровня, составившее уже более 1,5 м, не представляет собой аномального явления. Аналогичные изменения наблюдались как в конце прошлого столетия, так и в текущем: с 1862 по 1889 и с 1873 по 1878 гг. повышение уровня моря достигло соответственно около 1,0 и 0,6 м, а с 1914 по 1917 и с 1926 по 1929 гг. — 0,5—0,6 м. Следует отметить, что происходящий с 1978 г. подъем уровня — самый продолжительный за весь период инструментальных наблюдений (табл. 10.3).

По мнению некоторых ученых, причиной неустойчивости уровня Каспия в современную геологическую эпоху являются тектонические процессы. Однако многие исследования [50, 349, 418, 419 и др.] свидетельствуют, что тектонические движения в изменении уровня Каспия имеют лишь второстепенное значение. В работах [233, 307, 431] отмечено, что современные тектонические движения земной коры на побережье Каспия не превышают нескольких миллиметров в год, поэтому их вклад в межгодовую изменчивость уровня моря ничтожно мал.

Исследования П. В. Федорова [418, 419] показали, что тектонические движения в области моря были значительны в первой половине четвертич-

ного периода и приводили к деформации древних береговых линий. Их скорости были в десятки раз меньше скоростей колебаний уровня моря и не могли оказать существенного влияния на трансгрессии и регрессии моря. В то же время климатические изменения были значительными и приводили к смене ледниковых и межледниковых эпох.

Г. И. Рычагов [349] на основании анализа высотного положения уровня Каспия в различные этапы плейстоцена пришел к выводу, что уровень, близкий к современному (—28 м), является нормальным уровнем Каспия для межледниковых эпох и может служить репером, на который следует ориентироваться при определении тенденции развития Каспийского бассейна.

При отметках уровня моря, разных или близких к современному, устанавливается динамическое равновесие между приходной и расходной частями баланса Каспийского бассейна даже при неблагоприятных климатических условиях. Ниже —28 м уровень моря падал лишь при сочетании особо неблагоприятных климатических условий. Таким образом, при уровне выше отметки —28 м море находится в трансгрессивной стадии, ниже — в регressive [349]. Современный уровень моря с отклонениями ±(1,0... 1,5) м может быть принят за оптимальный при разработке народнохозяйственных мероприятий как на ближайшее время, так и на более отдаленную перспективу.

Современные тектонические движения на побережье Каспийского моря приводят к вертикальным перемещениям нулей уровневых постов. Поэтому при оценке современных колебаний уровня моря необходимо это учитывать. Мнения исследователей [233, 307] относительно перемещений нулей уровневых постов и их направленности расходятся. Вместе с тем, если рассматривать относительные движения нулей уровневых постов, видно, что оценки, даваемые разными авторами, совпадают. При этом относительное высотное положение нулей уровневых постов Махачкала, Форт-Шевченко, Кули-Маяк и Красноводск изменяется очень незначительно, а относительное опускание нуля уровня поста Бакинского футшота прослеживается отчетливо. Анализ вертикальных перемещений нулей всех основных уровневых постов Каспийского моря свидетельствует о разнонаправленности этих движений в различных частях моря и о различной скорости перемещений на каждом уровневом посту за многолетний период (рис. 10.3).

Таким образом, тектонические движения не могут быть соизмеримы с существующими скоростями межгодовых изменений уровня моря, достигающими в последние годы 20—30 см/год и определяемыми главным образом климатическими факторами.

Важной причиной многолетних изменений уровня Каспийского моря в настоящее время является все возрастающее влияние хозяйственной деятельности, прежде всего, на речной сток в море.

В начале столетия формирование гидрометеорологического режима моря происходило в естественных условиях. В 30-е годы на реках Каспийского бассейна началось строительство и эксплуатация водохранилищ, гидроэлектростанций, в 40-е и последующие годы влияние хозяйственной деятельности на режим рек становится все более интенсив-

Таблица 10.3

Периодичность и интенсивность (см/год)
непрерывного изменения уровня Каспийского моря
с 1837 по 1987 г.

Продолжительность циклического колебания, годы	Количество случаев		Подъем		Спуск	
	подъема	спуска	средний	максимальный	средний	максимальный
1	12	4	8,9	18	-2,5	—
2	8	9	8,3	21	-9,2	-30
3	2	6	10,3	23	-15,4	-30
4	4	4	14,8	37	-9,8	-22
5	—	3	—	—	-9,7	-22
6	—	1	—	—	-9,4	-15
7	1	1	13,3	29	-19,4	-33

ным. В начале 30-х годов из рек бассейна безвозвратно изымалось на нужды хозяйства не более 5—7 км³, а в середине 50-х годов на заполнение новых водохранилищ потребовалось около 200 км³ речной воды. До середины 50-х годов уменьшение

ротехнических сооружений — море недополучило около 350 км³ поверхностного притока (25 км³ в год). С каждым годом объемы безвозвратных изъятий речного стока растут и в целом за время зарегулирования стока (1956—1990 гг.) составили

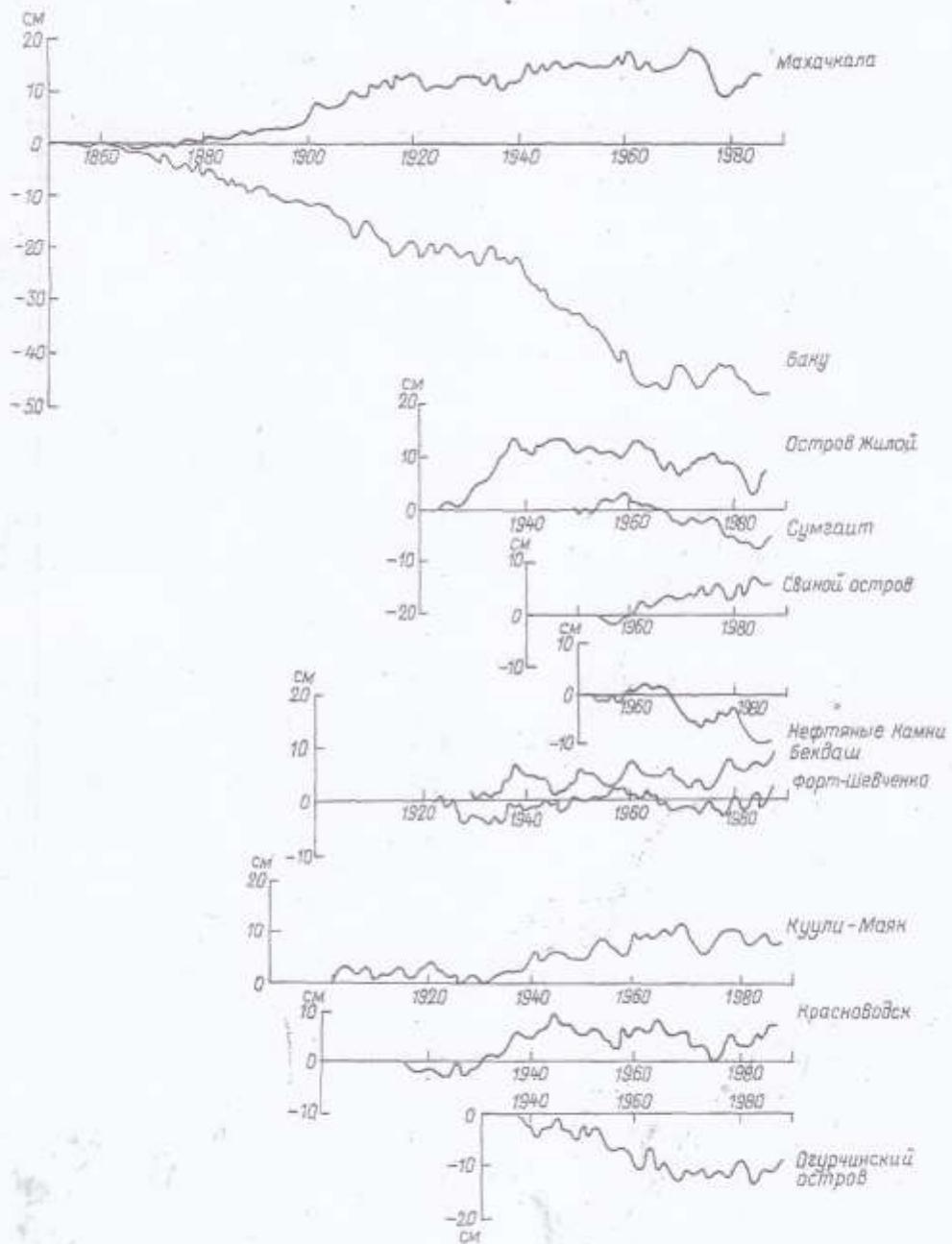


Рис. 10.3. Относительное перемещение уровневых постов Каспийского моря.

поверхностного притока к морю за счет хозяйственной деятельности составляло не более 3 % многолетней нормы и незначительно влияло на снижение уровня моря. Так, за 1942—1955 гг. суммарные безвозвратные изъятия речного стока составили около 113 км³ (8,1 км³ в год), а с 1956 по 1969 г.—период строительства и эксплуатации крупных гид-

по данным ГГИ около 30 км³ в год. В настоящее время объем безвозвратного водопотребления в бассейне Каспия составляет 40—50 км³ в год. С 1942 по 1990 г. в хозяйственных целях было использовано около 1000 км³ речной воды, в том числе в бассейне Волги около 600 км³. Снижение уровня моря под влиянием водохозяйственных ме-

роприятий в его бассейне в 30—40-х годах не превышало 2—3 см/год, а в конце 70-х — начале 80-х годов достигло 10—12 см/год. Скорость подъема уровня моря в последние годы составляла 20—30 см/год (в 1979 г. подъем составил 30 см, в 1981 г. — 26 см). Следовательно, в естественных, не нарушенных хозяйственной деятельностью условиях уровень в настоящее время мог бы находиться на 1,0—1,5 м выше фактических отметок.

Таким образом, межгодовые колебания уровня Каспийского моря в настоящее время определяются в основном сочетанием климатических и антропогенных факторов, причем климатические факторы — преобладающие.

10.2.2. Внутригодовые изменения уровня.

Анализ внутригодового хода уровня Каспия, определяемого изменением среднемесячных значений, проводился по данным наблюдений на уровен-

ных постах, расположенных в северной, средней и южной частях моря.

Поскольку каждый район моря обладает своеобразным гидрометеорологическим режимом, внутригодовой ход уровня на различных ГМС имеет свои особенности, отражая в то же время и общие закономерности, характерные для моря в целом. Так, в мелководных и открытых районах, особенно в северной части моря, а также на западном и восточном побережье средней части на среднемесячные значения уровня моря оказывают влияние значительные гидро-нагонные явления. Внутригодовые изменения уровня в основном обусловлены сезонной изменчивостью составляющих водного баланса. Составляющие водного баланса также подвержены значительной межгодовой изменчивости, поэтому изменяется их ежегодное соотношение и роль в сезонном ходе уровня моря. На фоне квазипериодических колебаний происходят короткопериодные колебания уровня непериодического характера.

Самое низкое положение уровня чаще всего наблюдается в декабре — феврале, затем в марте — июле он повышается, достигая наибольшей интенсивности в мае — июне. Наивысший уровень моря отмечается в июне — июле, а затем понижается до зимнего минимума. В декабре — январе иногда наблюдается небольшой подъем уровня (на 2—4 см), сменяющийся незначительным снижением в феврале (на 1—3 см), после чего уровень снова начинает повышаться (рис. 10.4).

Сезонный ход уровня в основном определяется речным стоком, отличающимся большой межгодовой и внутригодовой изменчивостью. Отклонения среднемесячных значений стока от среднемноголетних более существенны в период паводка (апрель — июль), когда сток рек может колебаться от 15 до 90 км³ в месяц, а в межень (декабрь — февраль) — от 5 до 29 км³ в месяц, т. е. объем стока может увеличиваться или уменьшаться в 2—3 раза. Наиболее значительная межгодовая изменчивость стока характерна для июня ($C_v = 0,44$, $\sigma = 21,5$ км³) и декабря ($C_v = 0,40$, $\sigma = 6,1$ км³), когда наблюдаются соответственно максимальный и минимальный среднемесячные объемы стока.

Сток с апреля по июнь, когда его объем наибольший, играет решающую роль в весенне-летнем подъеме уровня. В этот же период существенны и атмосферные осадки, выпадающие на акваторию моря. Основное накопление воды в море происходит в июне — июле, поэтому в эти месяцы его уровень и достигает максимальных годовых значений.

Среднемесячный максимум уровня чаще всего отмечается в июле при росте повторяемости с севера на юг. В средней и южной частях моря более высокая повторяемость июльского пика уровня характерна для западного побережья. В целом наступление максимума и минимума годового хода уровня за многолетний период имеет довольно широкий временной диапазон (табл. 10.4).

С июля — августа в связи с уменьшением речного притока и увеличением испарения с морской акватории уровень моря постепенно понижается до зимнего минимума в декабре в Среднем и Южном и в декабре и феврале в Северном Каспии (см. рис. 10.4).

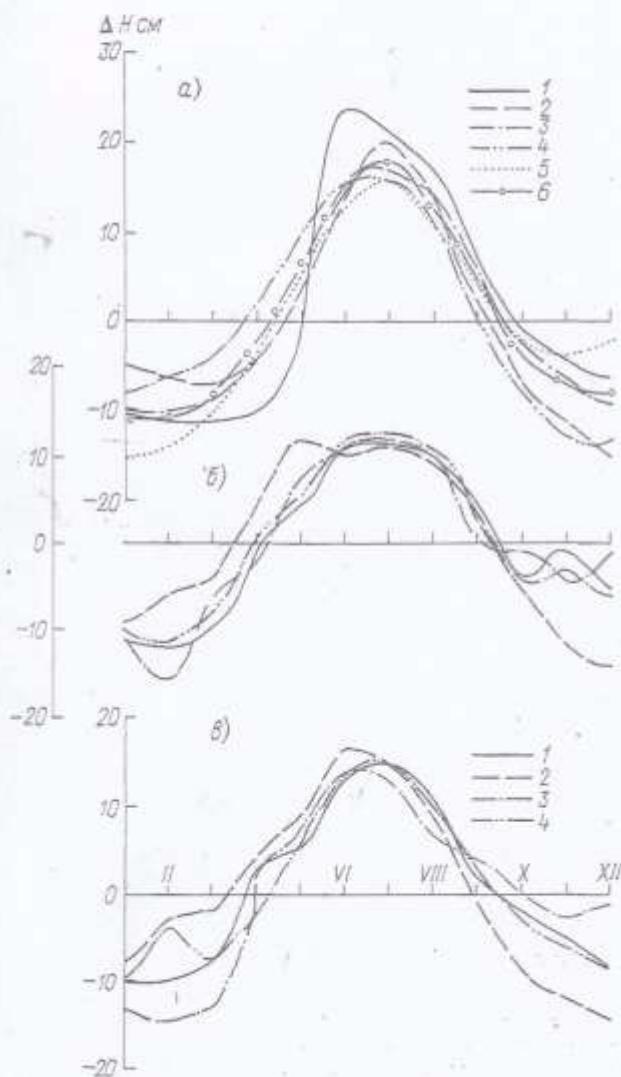


Рис. 10.4. Сезонные изменения уровня Каспийского моря.
а — среднего уровня по данным за 1900—1929 (1), 1930—1941 (2), 1942—1968 (3), 1970—1977 (4), 1978—1990 (5) и 1942—1990 гг. (6); б и в — уровня в районе гидрометстанций соответствия Остров Тюлени и Остров Куллам по данным за 1942—1969 (1), 1970—1977 (2), 1978—1990 (3) и 1942—1990 гг. (4).

Таблица 10.4

Повторяемость (%) максимальных и минимальных среднемесячных значений уровня моря

Уровень	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Остров Тюлений												
Максимальный	2	—	—	8	14	16	24	18	10	4	4	—
Минимальный	20,5	27	12	2	—	—	—	—	6	12	—	20,5
Остров Кулалы												
Максимальный	—	—	—	2	—	50	40	6	—	2	—	—
Минимальный	20	26	14	—	—	—	—	—	—	10	30	—
Баку												
Максимальный	—	—	—	16	2	1	8	81	11	—	—	—
Минимальный	23	22	16	2	1	—	—	—	1	7	28	—
Махачкала												
Максимальный	—	—	—	—	3	16	69	11	1	—	—	—
Минимальный	20	20	16	5	1	—	—	—	5	10	23	—
Форт-Шевченко												
Максимальный	—	—	—	1	1	32	64	3	—	—	—	—
Минимальный	15	31	7	1	—	—	—	—	1	9	36	—
Красноводск												
Максимальный	—	—	—	—	4	74	22	—	—	—	13	—
Минимальный	24	22	7	—	—	—	—	—	—	—	34	—

За счет притока речных вод происходит повышение уровня в среднем за год на 77 см (от 55 до 115 см), что в отдельные годы составляет 60–90 % годового приращения уровня.

Роль атмосферных осадков в сезонных колебаниях уровня моря по сравнению со стоком рек и испарением менее существенна. Ежегодное повышение уровня моря в результате выпадения на поверхность моря атмосферных осадков составляет примерно 20 см. Отклонения количества осадков от нормы могут обусловить отклонения в годовых приращениях уровня в среднем на $\pm(3 \dots 7)$ см, что составляет 10–15 % размаха его внутригодовых колебаний.

Большое влияние на внутригодовой ход уровня моря оказывает испарение. Отклонения испарения от среднемноголетнего значения в отдельные годы достигают $\pm(10 \dots 20)$ см, что соответствует примерно 30–50 % размаха внутригодовых колебаний уровня. За счет испарения уровень понижается в среднем за год на 97 см. На протяжении текущего столетия (до 1978 г.) влияние испарения на внутригодовой ход уровня в основном преобладало по сравнению с влиянием речного стока, объем которого постепенно сокращался.

На сезонном ходе уровня моря сказалось сокращение, а с марта 1980 по сентябрь 1984 г. прекращение стока морских вод в зал. Кара-Богаз-Гол. Внутригодовое распределение стока морских вод в залив до 1984 г. было аналогично годовому ходу уровня моря. До 40 % годового стока в залив приходилось на июнь–август и сентябрь. В период повышения уровня моря сток в залив уменьшал его в среднем на 1–2 см в год, а в период падения – увеличивал на 0,5–1,0 см в год. Ежегодное снижение уровня моря за счет стока вод в залив

в среднем за текущее столетие составляло около 3,5 см (от 7 до 1 см), а в настоящее время – менее 1 см, т. е. на сезонный ход уровня не влияет.

Таким образом, основные факторы, определяющие сезонный ход уровня – это сток рек и испарение, их внутригодовое распределение.

Среднемноголетний размах годового хода уровня моря (разность наибольшего и наименьшего среднемесячных уровней в году) за 1900–1990 гг.

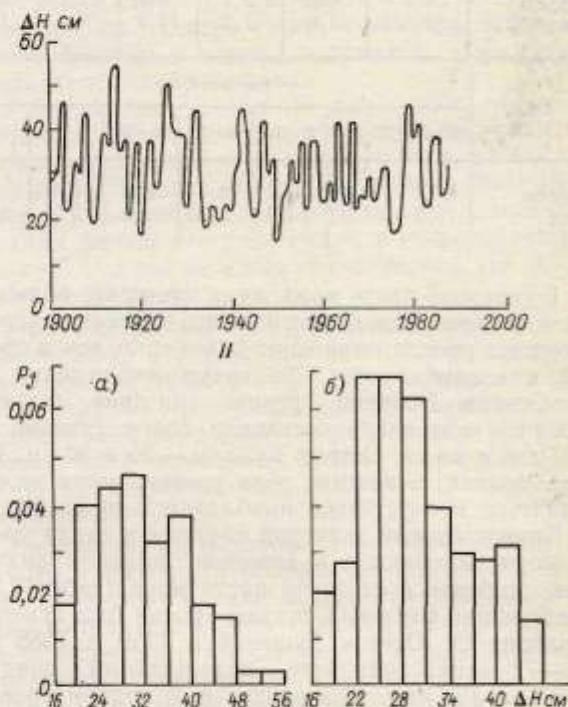


Рис. 10.5. Межгодовые изменения размаха годового хода уровня Каспийского моря (I) и гистограммы (II) их статистического распределения за 1900–1987 (а) и 1942–1987 гг. (б).

P_f – средняя плотность распределения.

составил в среднем по морю около 30 см. Наибольшие значения отмечались в многоводные 1914, 1926 и 1979 гг. (соответственно 55, 50 и 47 см), наименьшие – в маловодные 1920, 1975, 1976 (17–18 см) и 1950 гг. (16 см) (рис. 10.5).

В Северном Каспии по сравнению с морем в целом размах годовых колебаний немного больше и составил за многолетний период в районе ст. Остров Кулалы около 34 см и у ст. Остров Тюлений 40 см. В отдельные годы размах сезонного хода уровня моря значительно менялся, составляя, например, у ст. Остров Тюлений 20 см в 1968 г. и 71 см в 1959 г., у ст. Остров Кулалы 20 см в 1983 г. и 51 см в 1942 г., а в районе о. Зуйдвестовая Шалыга от 37 до 63 см (за 1954–1964 гг.).

Сезонные подъем и спад уровня Каспийского моря, обусловленные прежде всего объемомолжского половодья, его интенсивностью и продолжительностью, характеризуются значительной изменчивостью. Наиболее значительные подъемы уровня отмечались в многоводные 1914, 1926, 1947, 1978 и 1981 гг. (42–54 см), в маловодные 1910, 1934, 1937, 1938 и 1975 гг. происходили наибольшие спады уровня (41–45 см).

Таблица 10.5

Повторяемость (%) сезонных подъемов и спадов уровня по среднемесячным данным ГМС Остров Тюлений, 1938—1987 гг.

Фаза	Интервал, см					
	60 и более	56—59	52—55	48—51	44—47	40—43
Подъем	6,7	2,2	2,2	6,7	11,1	15,6
Спад	9,3	7,0	7,0	14,0	7,0	7,0
Сезон	Интервал, см					
	36—39	32—35	28—31	24—27	20—23	16—19
Подъем	13,2	15,6	6,7	4,4	8,9	6,7
Спад	11,6	11,6	14,0	2,3	4,6	2,3

В северной части моря, куда поступает большая часть речного стока, многолетние изменения сезонного хода уровня выражены более ярко, чем в средней и южной частях. За время наблюдений на ст. Остров Тюлений средние значения подъема уровня и его спада составили соответственно 30 и 27 см, а на ст. Остров Кулалы — 36 и 30 см. Таким образом, в течение года уровень моря может подняться и опуститься приблизительно на 30 см.

Внутригодовые значения подъема и спада уровня моря изменяются в довольно широком диапазоне, особенно в северной части моря (табл. 10.5). Наибольший сезонный подъем уровня был отмечен в районе ст. Остров Тюлений в 1959 и 1985 гг. (71—72 см), наиболее значительный спад — в 1975 г. (64 см). Незначительный подъем уровня в западной части Северного Каспия отмечался в 1969 г. (10 см), а спад — в 1944 и 1976 гг. (9 см). В восточной части, в районе ст. Остров Кулалы, наибольшие подъемы в сезонном ходе уровня моря наблюдались в 1942 (51 см) и 1949 гг. (49 см), незначительный подъем уровня происходил в 1961 и 1971 гг. (11 см), а небольшой спад — в 1987 (14 см) и 1981 гг. (15 см). Наибольший спад уровня был зафиксирован в 1954 г. (42 см).

Как правило, в годы со значительным подъемом уровня отмечается и значительный спад, а в годы с небольшим подъемом значения спада в 1,5—4,0 раза больше значений подъема. В многоводные годы среднемноголетний подъем уровня в сезонном ходе больше, чем в маловодные (табл. 10.6).

В период стабилизации уровенной поверхности, в условиях равновесного водного баланса, значения

подъема и спада уровня примерно равны, в периоды падения уровня моря или его повышения значение подъема уровня намного меньше или соответственно больше значения спада в сезонном ходе уровня.

Сопоставление среднемесячных многолетних значений уровня Каспия в периоды с различным водным балансом: относительно равновесным (1900—1929 гг.), крайне дефицитным (1930—1941 гг. и 1970—1977 гг.), незначительного дефицита (1942—1969 гг.), положительного баланса (1978—1987 гг.), показало, что в условиях маловодности в первую половину года отклонения среднемесячных уровней от среднегодового меньше, а во вторую половину года — больше, чем в условиях многоводности.

Объем и интенсивность волжского половодья ежегодно изменяются, поэтому максимумы и минимумы в годовом ходе уровня наступают в различных частях моря в разные месяцы, и размах уровня в разные годы значительно отличается от среднемноголетнего значения. Диапазон времени наступления среднемесячного минимума в годовом ходе уровня моря несколько шире и наблюдается с октября по май.

Наиболее вероятное наступление наименьшего среднемесячного уровня моря отмечается с декабря по февраль (в сумме 70—80 %) (см. табл. 10.4). В различных районах средней и южной частей наибольшая повторяемость минимума отмечается в декабре (20—40 %).

Зарегулирование речного стока в бассейне Каспийского моря повлияло на сезонный ход уровня. Так, в современных условиях половодье на Волге начинается из месяца-полтора раньше и проходит быстрее, чем это было в естественных условиях. Поэтому среднемесячный максимум в годовом ходе уровня наступает раньше. Весенне-летние попуски речной воды приводят к сглаживанию хода уровня моря в это время года, а в осенне-зимний сезон происходит повышение уровня, обусловленное зимними попусками воды из водохранилищ Волжско-Камского каскада. В общем, в условиях нарушенного гидрологического режима годовой ход уровня стал более плавным (см. рис. 10.4).

Таким образом, время наступления наибольшего среднемесячного уровня определяется в основном пиком волжского половодья и его продолжительностью, поэтому максимальный среднемесячный уровень определяется условиями данного года и наблюдается в среднем по морю в июле (24—28 %), а минимальный уровень зависит от условий предшествующего года.

Под влиянием стоянно-нагонных явлений среднемесячные значения уровня могут значительно отличаться от тех, которые обусловлены составляющими водного баланса. В отдельные месяцы в ходе уровня отмечаются отдельные скачкообразные отклонения от обычного годового хода за счет существенного влияния сгонов или нагонов. Размах таких отклонений соизмерим с размахом внутригодовых изменений уровня и составляет, например, в районе о. Тюленьего ежемесячно 35—40 см. Наиболее значительные отклонения от «нормы» в районе о. Тюленьего наблюдались в феврале 1959 г. (—44 см) и 1985 г. (—46 см), в марте 1942 и 1953 гг. (соответственно —27 и —30 см). В ноябре

Таблица 10.6

Сезонные подъемы и спады уровня (см) в Северном Каспии

Годы	Остров Тюлений		Остров Кулалы	
	Подъем	Спад	Подъем	Спад
1940 (1938)—1989	30	27	36	30
1941—1948	34	24	35	26
1949—1956	29	30	38	31
1957—1970	31	26	37	28
1971—1977	22	32	30	38
1978—1987	32	22	40	28

Таблица 10.7

Внутригодовая повторяемость (%) экстремальных значений уровня моря

Уровень	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Махачкала												
Максимальный	6	4	4	1	9	16	24	20	5	3	4	6
Минимальный	22	19	10	5	3	—	2	1	3	7	12	16
Баку												
Максимальный	—	—	—	—	1	21	54	18	5	—	—	1
Минимальный	25	13	15	9	3	—	1	—	2	9	10	13
Форт-Шевченко												
Максимальный	4	1	1	—	7	23	43	12	3	—	4	1
Минимальный	17	17	13	1	—	—	—	—	1	7	15	28
Красноводск												
Максимальный	1	—	—	1	12	59	27	—	3	8	—	—
Минимальный	18	14	15	10	4	4	1	—	3	8	11	14

1952 г., октябре и декабре 1987 г. вместо обычного спада уровня, отмечавшегося почти на всех уровнях постах Северного Каспия, под влиянием катастрофических нагонов происходил его подъем и отклонения от среднегодового составили соответственно 30, 19 и 21 см вместо обычных —4 см в октябре и ноябре и —6 см в декабре.

Внутригодовое распределение повторяемости экстремальных значений уровня, обусловленных прежде всего стоянно-нагонными явлениями, хотя и соответствует характеристикам повторяемости максимальных и минимальных среднемесячных значений уровня, имеет свои особенности. Наибольшая повторяемость экстремально высоких значений уровня в средней и южной частях Каспия отмечается в июле. Причем закономерность возрастания повторяемости с севера на юг здесь сохраняется: на восточном побережье повторяемость экстремально высоких уровней больше, чем на западном. В декабре — феврале уровень моря наиболее часто достигает экстремально низкого положения. Наибольшая повторяемость отмечается в районе Махачкалы и Баку в январе (22—25 %), а на восточном побережье (Форт-Шевченко и Красноводск) — в декабре — январе (16—28 %) (табл. 10.7).

Анализ внутригодовой изменчивости уровня по различным пунктам, расположенным на разном удалении от устья Волги, позволил проследить, что

максимальный уровень наблюдается у о. Искусственного в мае — июне, в Форт-Шевченко и Махачкале в июне — июле, в Баку в июле, в Астаре в июле — августе. В пунктах, расположенных вблизи устьев рек, оказывается влияние течений, поэтому среднемесячные значения уровня в отдельных пунктах не всегда обусловлены только распространением паводочной волны. Вследствие преобладающего поступления речных вод в северную часть моря (до 85 %) уровенная поверхность моря имеет наклон с севера на юг, изменяющийся по сезонам. Весной, в период половодья, этот наклон проявляется наиболее ярко.

Годовой ход уровня на различных гидрометстанциях Каспийского моря в отдельные годы несколько отличается от среднего уровня, рассчитанного по 4 станциям (Баку, Махачкала, Форт-Шевченко и Красноводск), что обусловлено различиями местных физико-географических и гидрологических условий. Однако за многолетний период эти отклонения не превышают ± 2 см.

При оценке влияния различных факторов на уровень моря определенное место отводится атмосферному давлению и ветру. При повышении давления (зимой) происходит соответствующее понижение уровня моря (изменение давления на 1 ГПа соответствует изменение уровня моря на 1 см слоя), а при понижении давления (летом) — его повышение.

На различия в сезонном ходе уровня между западным и восточным побережьем северной и средней частей моря влияют и сезонные изменения режима ветра над морем. Средний за год перепад среднемесячных значений уровня между западным и восточным побережьем моря составляет около 12 см, а в отдельные годы — от 6 до 20 см.

Наибольшие отклонения среднемесячных значений уровня от среднегодового отмечаются в мае — июне и особенно в июле в восточной части моря (табл. 10.7 и 10.8). При этом в летние месяцы у западного побережья Северного Каспия уровень стоит ниже, а у восточного — выше, чем он должен быть на основании сезонного хода составляющих водного баланса или в сравнении со средним значением уровня по всему морю. Эти отличия зависят от режима ветров над морем и вызываются тем, что влияние одного и того же поля ветра на изменения уровня моря у западного и восточного берегов различное.

Летом, особенно в июле, повторяемость северо-западных и западных ветров увеличивается в 1,5—

Таблица 10.8

Среднегодовые и экстремальные отклонения (см) среднемесячного уровня моря от среднегодового

Отклонение	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Остров Кулалы, 1941—1987 гг.												
Минимальное	-24	-26	-22	-14	-4	-3	7	0	-10	-17	-24	-25
Максимальное	9	16	18	19	16	27	27	22	14	15	19	6
Среднегодовое	-10,0	-10,3	-8,2	-1,5	6,0	13,9	15,2	10,1	2,4	-2,8	-5,8	-7,8
Остров Тюлений, 1938—1987 гг.												
Минимальное	-42	-45	-30	-19	-8	-3	-4	-5	-15	-29	-24	-37
Максимальное	18	10	8	27	27	24	27	25	20	30	21	9
Среднегодовое	-10,1	-11,5	-9,4	-0,8	6,7	11,0	11,7	10,5	3,5	-3,9	-3,7	-5,5

2,0 раза. Эти ветры вызывают нагоны в восточной части моря и сгоны в западной. Поэтому в северной части Каспия отклонения среднемесячного уровня от среднегодового в июле на 3—4 см больше для постов восточного побережья, чем для западного. Поздней осенью в связи с резким усилением ветров восточных направлений увеличивается нагонная составляющая уровня моря у западного побережья и сгонная — у восточного. Поэтому в ноябре для постов восточного побережья среднее отклонение среднемесячного уровня от среднегодового составило 6 см, а для западного — всего 1,5 см. В декабре между отклонением уровня на западном и восточном побережье разница равна 2 см.

В Среднем и Южном Каспии при устойчивых ветрах сгонно-нагонные колебания могут привести к значительным отклонениям среднемесячных значений уровня от среднего уровня моря. Так, в пунктах, расположенных в устьях рек, бухтах, районах со сложной конфигурацией берега, уровень моря может существенно (до 30 см) отличаться от среднего уровня моря: в районе Махачкалы и Форт-Шевченко отклонения достигают 16—18 см, в мелководных районах Куриńskiej косы — 40 см и более.

Особенность расположения уровенного поста в махачкалинском порту такова, что нагонные для открытой части моря ветры являются для него сгонными, поэтому при юго-восточном ветре часто фиксируется пониженный уровень моря, а сгонный северо-западный ветер является здесь нагонным, и соответственно показания уровня моря возрастают.

На сезонный ход уровня, помимо сгонно-нагонных колебаний, оказывают влияние изменения плотности воды и ее объема, определяемые в основном сезонной изменчивостью температуры воды. Л. И. Галеркин [95] предложил следующую формулу для их определения:

$$\Delta H_c = 0,1H\Delta V_t, \quad (10.1)$$

где ΔH_c — изменение уровня в столбе воды с единичным основанием за время t , см; H — толщина слоя воды, в котором рассчитываются плотностные изменения уровня, м; ΔV_t — изменение условного удельного объема за время t .

Роль плотностных изменений уровня в его общих изменениях оценивается по-разному [96, 334, 380, 440]. В наших расчетах использованы данные О. И. Шереметевской [440] за многолетний период. Они показывают, что в большинстве районов моря увеличение объема за счет плотностного расширения наблюдается с марта по август, а уменьшение — с сентября по февраль. Наибольшие плотностные приращения уровня в средней и южной частях моря достигают 3 см/мес (с мая по июль, в период формирования слоя с скачка), в северной части не превышают 1 см/мес, а в среднем по морю с мая по август эти приращения равны 0,7 см/мес (максимальные достигают 2 в июле и 1,6 см в августе). Роль плотностных изменений уровня в северной части моря, несмотря на самую большую изменчивость температуры и солености, менее заметна, чем в средней и южной частях, где изменения температуры и солености охватывают более значительный объем вод.

В отдельные годы в зависимости от интенсивности прогрева и охлаждения в разных районах моря значения плотностных изменений уровня могут меняться. В связи с этим были рассмотрены три различных года: с нормально теплыми (1966 г.), холодными (1969 г.) и близкими к норме (1967 г.) термическими условиями [261]. Условия оценивались по температуре воздуха, изменению теплосодержания вод и ледовитости моря, ΔH_c рассчитывалось для разрезов, расположенных в глубоководных частях Каспийского моря.

Анализ подтвердил, что изменения ΔH_c в основном обусловлены изменениями температуры, так как изменения солености незначительны. Поэтому наибольшие изменения уровня наблюдаются в периоды интенсивного прогрева и охлаждения (весной — в мае, осенью — в октябре — ноябре) и составляют в слое 0—100 м в средней части 3,5, в южной — 4,8 см/мес. Весной и летом в результате прогрева объемы вод увеличиваются и плотностные приращения имеют знак плюс, осенью и зимой в результате охлаждения и уменьшения объемов вод плотностные изменения уровня имеют знак минус. Размах внутригодовых изменений ΔH_c в южной части моря составляет в теплый (1966) год 8,6, в нормальный (1967) — 8,4 и холодный (1969) — 6,7 см. В средней части моря в теплый год размах равен 6—7 см, в холодный уменьшается до 5 см, на границе с северной частью — до 3 см.

С увеличением глубины деятельного слоя до 200 м размах колебаний ΔH_c уменьшается, что объясняется особенностями годового хода температуры воды на различных глубинах. Особенно четко это проявляется в годы с аномальными температурными условиями. Прогревание и охлаждение значительно эффективнее сказываются в поверхностных слоях моря.

Учет плотностных изменений уровня представляется необходимым при расчетах водного баланса моря по среднемесячным данным, так как размах сезонного хода плотностных изменений может достигать в отдельные годы 8—9 см.

10.2.3. Сверхдолгосрочные прогнозы уровня

Большой научный и практический интерес представляет задача прогноза уровня моря на длительную перспективу. В настоящее время можно выделить несколько методов прогноза. Во-первых, это так называемые климатические (гелиогеофизические) прогнозы. Они основаны на физических моделях, связывающих колебания уровня Каспия или отдельных элементов водного баланса с различными внешними факторами — солнечной активностью, атмосферной циркуляцией, температурой воздуха и другими геофизическими и климатическими характеристиками.

Многие авторы [9, 14, 82, 116, 117 и др.] проводили поиск таких связей, т. е., по существу, пытались разработать сверхдолгосрочный прогноз климата в бассейне Каспия. Климатический прогноз для таких обширных территорий на длительное время продолжает оставаться одной из сложнейших и нерешенных проблем современной науки. Несмотря на то, что наличие солнечно-земных связей в настоящее время общепризнано, механизм этих связей и теоретическая сторона вопроса оста-

ются во многом не ясными. Зависимости между уровнем моря и характеристиками атмосферной циркуляции также далеко не всегда дают возможность получить прогнозы на длительную перспективу. Периоды достаточно тесной связи между средними значениями уровня Каспийского моря и соответствующими показателями солнечной активности и индексами атмосферной циркуляции сменяются периодами, когда эта связь нарушается, меняет свой знак или совсем отсутствует. Из-за непродолжительности исходных рядов нельзя предвидеть такие изменения в характере связи уровня моря с геофизическими процессами. Поэтому использование полученных связей в целях надежного прогнозирования пока не представляется возможным.

Однако следует обратить внимание, что в большинстве работ указанного направления основные выводы исследователей совпадают и свидетельствуют о том, что до 2000 г. следует в среднем ориентироваться на несколько более высокое положение уровней поверхности Каспия (без учета влияния хозяйственной деятельности на гидрометеорологический режим моря).

Ко второй группе прогнозов относятся вероятностно-статистические методы, суть которых состоит в вероятностном описании колебаний уровня исходя из представлений о порождающих их климатических и гидрологических факторах как стохастических процессах [232, 233].

Водный баланс Каспия и положение его уровня определяются взаимодействием двух основных факторов: притока речных вод и видимого испарения (атмосферные осадки минус испарение) с морской акваторией. Моделирование рядов этих характеристик позволяет исследовать изменчивость уровня моря как в естественных условиях формирования гидрологического режима, так и при различных его нарушениях.

Расчеты вероятных изменений уровня Каспийского моря на перспективу до 2000 г., основанные на водобалансовом методе, выполнены многими исследователями [7, 9, 19, 382, 443 и др.]. Полученные прогнозы хотя и отличаются друг от друга в количественном отношении, тем не менее указывают на понижение уровней поверхности к 2000 г., что противоречит результатам климатических прогнозов. Так, по данным А. И. Шикломанова [443], средний уровень моря к 2000 г. по сравнению с отметкой $-28,5$ м снизится на $1,4$ м, а при условии увеличения нормы естественного притока к морю на 10% повысится на $0,3$ м. По прогнозу Г. П. Калянина [35] в среднеклиматических условиях и при условных изъятиях речного стока в объеме 62 km^3 в 1980 г. и 82 km^3 в 2000 г. уровень моря к 2000 г. может снизиться до $-30,4$ м. При благоприятных гидрометеорологических условиях уровень будет находиться на отметках $-28,2\dots-27,9$ м ВС. По климатическому же прогнозу уровень может подняться до отметок $-25,5\dots-26,5$ м. Как видим, диапазон прогнозируемого уровня моря значителен.

Оба направления прогноза имеют свои преимущества и недостатки. К преимуществам прогнозов первого направления можно отнести их однозначность, что в наибольшей степени устраивает все заинтересованные организации, связанные с освое-

нием и использованием природных богатств Каспийского моря и его бассейна. Недостатком является то обстоятельство, что для построения надежных физических моделей необходимо найти такие определяющие внешние факторы, изменения которых опережали бы изменения уровня или элементов водного баланса на срок не менее заблаговременности прогноза. Найти такие факторы очень трудно, поэтому возникает необходимость их экстраполяции, что представляет не менее сложную задачу, чем разработка самого метода сверхдолгосрочного прогноза уровня моря.

Вероятностно-статистические методы прогноза имеют более строгую теоретическую основу, чем климатические, но вероятностная форма получаемых прогнозов, когда однозначно определяется календарный ход уровня при средних климатических условиях притока и испарения и задается широкая полоса вероятных отклонений положений уровня в каждый год прогнозируемого периода, затрудняет их практическое использование.

Таким образом, в настоящее время не существует достаточно надежных методов прогнозирования перспективных изменений уровня Каспийского моря, что существенно затрудняет решение практических вопросов, связанных с экономикой и развитием народного хозяйства в бассейне моря.

В заключение отметим, что колебания уровня моря — интегральной составляющей сложного взаимодействия различных элементов водного баланса Каспийского моря — в основном определяются климатической изменчивостью, на фоне которой все заметнее проявляется воздействие хозяйственной деятельности человека. Разработка методов сверхдолгосрочного прогноза уровня Каспия — актуальная проблема современности, непосредственно связанная с прогнозированием климата обширных территорий земного шара. Решение этой проблемы позволит наметить пути наиболее рационального использования природных богатств Каспийского моря и его бассейна.

10.3. Короткопериодные колебания уровня

Под короткопериодными колебаниями уровня понимаются солнечно-нагонные, приливные и сейсмические колебания.

В работах [7, 422, 455] по изучению солнечно-нагонных явлений на Каспийском море авторы ограничивались преимущественно обобщением наблюдений.

А. И. Каракаш [183] по данным уровняенного поста Махачкала установил следующую зависимость между изменениями уровня моря, атмосферного давления и скорости ветра за некоторый промежуток времени:

$$\Delta H = A \Delta p + B \Delta V, \quad (10.2)$$

где ΔH — изменение уровня, сантиметров за 12 ч; Δp — изменение давления, гектопаскалей за 12 ч; ΔV — изменение скорости ветра, метров в секунду за 12 ч; A и B — эмпирические коэффициенты, определяемые ежемесячно для каждой гидрометстанции. Предлагаемая методика дает удовлетворительные результаты при плавном изменении давления и уровня моря. При появлении над морем

глубоких быстро движущихся циклонов и при прохождении фронтов нарушается линейный характер зависимости между уровнем моря и давлением.

С. И. Кан [178] считает, что ветер может быть заменен разностью атмосферного давления, наблюдаемого в двух удаленных друг от друга пунктах, выбор которых зависит от направления сгонно-нагонных ветров. Полученное уравнение регрессии применимо для прогноза уровня в любом пункте северной части Каспийского моря с суточной заблаговременностью.

В. Х. Герман и Н. П. Довгопол [163], анализируя составляющие максимальных уровней Каспийского моря в периоды стабильного положения, интенсивного поднятия и слабого понижения, предложили для расчета максимальных приращений уровня моря применять асимптотический закон крайних членов выборки, разработанный Е. И. Гамбелем [97]. Проведен расчет обеспеченности максимальных приращений уровня моря по двойному экспоненциальному закону. Авторы сравнивают максимальные приращения уровня малой обеспеченности, полученные по эмпирическим и по теоретическим кривым обеспеченности. В качестве исходных данных использованы наблюдения на гидрометстанциях Баку (1900—1964 гг.), Форт-Шевченко (1921—1964 гг.) и в зал. Александр-Бай (1940—1959 гг.).

По условиям формирования экстремальных уровней средняя и южная части моря разделены на три крупных района:

I — район бессточных областей (восточное побережье и Ашеронский полуостров, Ашеронский и Бакинский архипелаги);

II — юго-западный район (от м. Алят до иранского побережья);

III — западное побережье от Аграханского до Ашеронского залива.

По разработанной в ГОИНе методике [423] автором получены региональные безразмерные функции распределения экстремальных уровней моря, которые позволяют рассчитывать максимальные отклонения в любом из этих районов. На основе выполненных расчетов были получены экстремальные уровни моря малой обеспеченности с учетом современного и ожидаемого водного баланса.

10.3.1. Сгонно-нагонные колебания уровня

В вопросе о том, что считать нагоном и сгоном и что принимать за начало отсчета при оценке их значений, единого мнения до сих пор не существует.

Морские гидрометстанции, данные которых использовались для анализа сгонно-нагонных колебаний уровня в Северном Каспии

Гидрометстанция	Годы	Гидрометстанция	Годы
Прорва	1933—1939	Остров Укатный	1950—1964
Жилая Коса	1925—1939	Искусственный остров	1950—1968
Гурьев	1916—1988	Остров Чистой Банки	1950—1964
Большой Пешной	1934—1956; 1964—1988	Брянская Коса	1940—1958
Зюйдвестовая Шалыга	1956—1964	Каспийский (Лагань)	1936—1948; 1981—1988
Остров Кулалы	1936—1988	Бурунчук	1937—1939
Остров Тюлений	1938—1988		

ствует. В настоящей работе для выделения сгонов и нагонов за фоновый принят среднемесячный уровень.

Ввиду того что практический интерес представляют значительные изменения уровня моря, рассматривались лишь такие сгоны и нагоны, которые превышали среднемесячный уровень моря на 30 см и более.

Для анализа сгонно-нагонных колебаний уровня в средней и южной частях моря были использованы ежечасные наблюдения на уровнях постов, расположенных на западном и восточном побережье. По некоторым уровням постам (Астрахань, Сумгаит), где нет самописцев уровня моря, но сгоны и нагоны значительные, использованы срочные наблюдения.

При этом полагалось, что высоты нагонов и сгонов, полученные по уровенной рейке, занижены по сравнению с высотами, полученными по метеограммам. Разница в отдельных случаях может достигать 10—20 см. Значения погрешностей для уровенных постов Баку, Махачкала, Форт-Шевченко и Красноводск определены Н. Д. Фоминой [425]. Расчеты показали, что в Махачкале и Красноводске, где сгоны и нагоны имеют примерно одинаковую продолжительность, средняя относительная погрешность составляет 30 %, для постов Форт-Шевченко и Баку она возрастает соответственно до 50 и 43 %.

Для оценки значений сгонно-нагонных колебаний уровня в северной части моря использовались все наблюдения за уровнем со времени открытия поста (станции) и по 1988 г. включительно (табл. 10.9).

Обширные мелководья, малые уклоны дна и суши, конфигурация береговой черты, активная деятельность ветра создают благоприятные условия для развития в Северном Каспии значительных сгонно-нагонных колебаний уровня. Ежегодно отмечаются нагоны свыше 60 см и сгоны свыше 50 см. Огромная протяженность прибрежных мелководий приводит к тому, что экстремальный размах сгонно-нагонных колебаний уровня здесь имеет тот же порядок, что и глубины (до 5—7 м). Здесь выделяются два района с наибольшими сгонно-нагонными колебаниями уровня: 1) западное побережье и взморье р. Волги; 2) северо-восточное и восточное побережье от устья р. Урала до п-ова Бузачи.

Эффективные направления нагонного ветра следующие: для западного побережья северной части моря — юго-восточное и восточное; для северного побережья — юго-восточное и южное; для восточ-

Таблица 10.9

ного: в дельте р. Урала и р. Эмбы — юго-западное; на участке устье р. Эмбы — пос. Прорва — западное и юго-западное.

Значительные нагоны, создаваемые преобладающими, особенно в холодный период года, шторами восточных и юго-восточных направлений, характерны для северо-западного побережья Северного Каспия. За последние 110 лет в этом районе наблюдалось 9 сильных нагонов (более 1,5—2,0 м): в 1877 г., 25—27 ноября 1910 г., 11 ноября 1925 г., 19—23 марта 1940 г., 10—13 ноября 1952 г., 19—20 ноября 1960 г., 17—18 февраля и 27—30 декабря 1981 г., 25—28 января 1984 г. В 1877 и 1910 гг. высота нагона достигала 3,6 м, в 1925 г. — 2,4 м.

Большие нагоны у западного побережья обычно сопровождаются предварительной «раскачкой» водной поверхности предшествующим сгоном или нагоном. В первом случае за 1—2 сут перед максимумом нагона действует сгонный ветер, переходящий затем в сильный нагонный. Подъем уровня складывается из двух составляющих: восстановление (подъем) уровня после сгона и чистый ветровой нагон. Во втором случае действуют последовательно два нагона: сначала меньший, выводящий уровень из равновесия, а затем через 1—2 сут, после вторичного усиления нагонного ветра, формируется большой нагон, максимум которого иногда совпадает по времени с максимумом уровня при сейшее, образованной в результате предшествующего нагона.

Особенно сильный нагон с катастрофическими последствиями в северо-западной части Каспия и в дельте Волги отмечен 10—13 ноября 1952 г., при штормовых восточном и юго-восточном ветрах. Все четверо суток скорость ветра над северной частью моря была более 15—18 м/с, а 12 ноября — 26—28 м/с. Максимальная скорость ветра (до 34—40 м/с) отмечалась на ГМС Махачкала. Нагон начался 10 ноября, его максимум отмечен 12 ноября. Поле ветра сформировало двойной нагон: восточные и юго-восточные ветры из восточной части Северного Каспия и юго-восточные ветры из средней части моря. Высота нагона составила 4,2 м у пос. Каспийского, 3,0 м у ст. Брянская Коса, 3,7 м в Кизлярском заливе (с. Кочубей) и 1,5 м в северной части моря (о. Жесткий). При последующей нивелировке были зафиксированы отметки уровня — 24,53 и — 24,68 м БС. Интенсивность подъема уровня при нагоне достигала 20 см/ч (ст. Брянская Коса).

Нагон 1952 г. нанес огромный ущерб народному хозяйству. Общая площадь затопления суши составила 17 тыс. км². По рассказам очевидцев, по ложбинам суши вода шла 1,5—2,0-метровым валом со скоростью 5—7 м/с. Полоса суши шириной 25—35 км была затоплена морской водой. По расчетам Н. Д. Герштанскоого повторяемость такого нагона составляет 1 раз в 150—200 лет [104].

Средняя высота наибольших за год нагонов по данным ГМС Брянская Коса за 1940—1958 гг. равна 121 см, а экстремальная — 239 см (12 ноября 1952 г.). У о. Тюльеньего, расположенного в 40 км от западного побережья, средняя высота наибольших за год нагонов за 1938—1988 гг. равна 95 см, а экстремальная — 238 см. Таким образом, средняя высота значительных нагонов у берега моря на 26 см больше, чем в 40 км мористее.

В соответствии с характером ветров наибольшие частота и значения нагонов и сгонов отмечаются ранней весной (март — апрель) и осенью (сентябрь — ноябрь). В летний сезон (с мая по август) сгонно-нагонные колебания уровня обычно незначительны и повторяемость их мала. На холодный сезон приходится до 75% всех наибольших за каждый год нагонов и сгонов. За 50 лет у о. Тюльеньего 41% наибольших за год нагонов отмечен в ноябре—декабре, 21% — в феврале—марте. В июле — августе сильных нагонов здесь вообще не было.

На северном участке побережья между дельтами Волги и Урала наблюдения за уровнем моря выполнялись всего несколько лет на водостоках Ганиушкино и Забурунье и были прекращены из-за ненадежности наблюдений. По этим наблюдениям и другим источникам установлено, что за последние 50 лет наибольшие нагоны отмечались в 1913, 1928, 1937, 1952 и 1980 гг. и достигали 1,6—1,9 м. Почти все эти нагоны происходили в ноябре и длились 3—4 дня [105, 368]. В районе о. Укатного наибольшая высота нагона отмечена в ноябре 1952 г. и составила 1,25 м. Сгонно-нагонные колебания уровня моря в восточной части Северного Каспия изучены крайне слабо, поскольку за последние 50 лет стационарных длительных наблюдений за уровнем здесь не было. Можно дать только ориентировочную эмпирическую оценку нагонных колебаний уровня моря в этом районе по коротким рядам стационарных наблюдений 30-х годов (ГМС Прорва, Жилая Коса), по очень редким экспедиционным наблюдениям, данным авиаразведки, а также по отдельным сведениям о затоплении поселков, нефтепромыслов в период сильных нагонов и т. п. Ориентировочными материалами для оценки нагонов в восточной части могут служить стационарные наблюдения за уровнем в устье р. Урала (ГМС Зюльвестовая Шалыга, Большой Пешной, Гурьев) в 1950—1980 гг.

У восточного побережья северной части моря сильные нагоны обычно отмечаются тогда, когда глубокий циклон перемещается с запада на восток, располагаясь в междуречье Волги и Урала, а над южной частью Каспия располагается область повышенного давления. Показательным в этом отношении был нагон 18—21 апреля 1987 г., когда разность атмосферного давления над северной частью моря с севера на юг была равна 5—8 гПа.

Наивысший уровень при нагоне, как правило, наступает через 2—3 сут после начала естественного синоптического периода.

При сильных ветровых нагонах может затапливаться побережье шириной до 15—30 км от уреза воды при среднем уровне моря — 28 м. Ширина затопления побережья зависит от высоты нагона у берега, уклонов и отметок высот прибрежного участка суши и времени стояния максимального уровня. При одной и той же высоте нагона, при более высоком среднем уровне моря вероятность затопления побережья в Северном Каспии увеличивается, а при более низком — уменьшается. Например, при среднегодовом уровне моря — 29 м и при нагоне 2 м затопление произойдет до изогипсы — 27 м, а при среднегодовом уровне моря — 27 м и при таком же нагоне будет затоплена суши до изогипсы — 25 м.

По имеющимся данным, за последние полвека наибольшие нагоны у восточного побережья отмечались в июне 1934 г. (140 см), в апреле 1946 г. (210 см), в октябре 1957 г. (около 200 см), в октябре 1953 г. (195 см), в апреле 1987 г. (около 150 см) и в мае 1989 г. (190 см) и затоплялась зона от 15 до 35 км в глубь территории. Все эти нагоны формировались штормовыми северо-западными, западными и юго-западными ветрами со скоростью 15—25 м/с, действующими 3—6 сут.

По наблюдениям ГМС Прорва за 1933—1939 гг. средняя высота нагона из максимальных за месяц равна 64 см, а по ГМС Жилая Коса — 70 см. Наибольшая высота нагона за весь этот период наблюдений в районе ГМС Прорва составила 182 см (12 апреля 1938 г.), в районе ГМС Жилая Коса — 230 см. Сильные нагоны были отмечены на этих станциях 11 июня 1938 г. (133 и 190 см соответственно).

Средняя скорость подъема уровня при наибольших за месяц нагонах для района ГМС Прорва равна 3 см/ч, для района ГМС Жилая Коса — 5 см/ч. Наибольшая же скорость подъема уровня при нагонах на этих станциях достигала 25—32 см/ч.

Статистика наблюдений за ветром и уровнем за безледний период по водострую Зюйдвестовая Шельга за 1956—1964 гг. показывает, что здесь отмечается 3% штиля, 32% нагонного ветра, 52% — сгонного и 8% — нейтрального. Нагонные ветры со скоростью 2—5 м/с повышают уровень на 6—30 см, со скоростью 6—10 м/с — на 31—50 см, со скоростью 11—15 м/с — на 51—80 см и со скоростью 16—25 м/с — на 90—150 см.

В среднем в месяц отмечается 3—4 нагона и 4—5 сгонов, поэтому 80—85% времени в безледный период береговая черта у восточного побережья моря изменяется. При средних ветровых условиях размах этой миграции составляет 3—5 км, а в экстремальных условиях при сгоне зона осушки может достигать 8—12 км, при нагоне затапливается зона суши до 30 км в отдельных районах.

Продолжительность нагонов и сгонов изменяется в широких пределах — от нескольких часов до нескольких суток. Наиболее часто нагоны делятся 1,5—2,5 сут, а максимальная продолжительность достигает 6—8 сут. Продолжительность отдельных сгонов в среднем равна 2—3 сут, а наибольшая составляет 8—10 сут. При этом за продолжительность нагона принимается время нахождения уровня на отметках выше среднемесячной.

Средняя скорость изменения уровня при нагоне составляет 4 см/ч, а при максимальных скоростях ветра может достигать (90 ± 20...30) см/ч.

До 1940-х годов при нагонах большое количество морской воды уходило в заливы Мертвый Култук и Кайдак. В начале 40-х годов эти заливы отчленились от моря и обсохли. В первые годы после отчленения при сильных нагонах заливы соединялись с морем. Однако уже в 60—70-е годы при дальнейшем понижении уровня эти заливы перестали затапливаться при нагонах.

В связи с последним подъемом уровня моря начиная с 1983 г. при сильных нагонах каспийские воды стали проникать в обсохшие ранее заливы Комсомолец и Кайдак. Это отмечено на снимках ИСЗ в 1984—1989 гг., где залив Кайдак частично

затоплен водой. В это же время начинает подтапливаться морской водой и сор Мертвый Култук. Особенно большое его затопление было отмечено в июле — августе 1988 г.

Статистический анализ уровня показывает, что большинство сильных и катастрофических нагонов в северной части моря отмечается осенью и весной. Однако штормовые ветры часто наблюдаются здесь и в ледовый период. Ледяной покров значительно уменьшает значения сгонно-нагонных колебаний уровня моря по сравнению с безледным периодом. В среднем высота нагона при установлении прочного ледяного припая в западной части Северного Каспия уменьшается не менее чем в 3—5 раз в зависимости от ширины припая и характеристик ветра. В восточной части водоема в середине зимы (январь — февраль) практически вся акватория занята льдом и заметных нагонов здесь не отмечается.

В суровые и умеренные зимы в январе — марте волна нагона, возникающая у кромки припая под действием штормового ветра, быстро гасится сплошным ледяным покровом и практически не создает нагона. Обычно ледяной припай в такие зимы здесь не разрушается даже под действием штормовых ветров.

В Уральской бороздине в умеренные зимы существует огромная полынь примерно на изобате 5—6 м, где при сильных ветрах может формироваться местный нагон, дающий небольшой (20—30 см) подъем уровня у восточного побережья водоема.

В западной части Северного Каспия ледовые условия менее суровы и в нормальные зимы припай может разрушаться под действием штормовых ветров, которые могут вызывать нагоны у западного побережья.

В теплые зимы отмечаются практически такие же по высоте нагоны, что и в безледный период. В такие зимы ледяной покров очень неустойчив и обычно разрушается при первом же усилении ветра, превращаясь в плавучий лед, который почти не препятствует развитию нагона.

Влияние ледяного покрова на нагоны в северной части моря показывают три зимние нагонные ситуации, близкие по характеристикам ветра, но отличающиеся по ледовым условиям.

В суровую зиму 1969 г. трое суток (12—14 февраля) над всей акваторией Северного Каспия наблюдался устойчивый восточный ветер со скоростью до 28 м/с. В западной части моря, у о. Тюльенского, который расположен относительно недалеко от кромки припая, высота нагона составила около 75 см, а в прибрежной части — не более 10—15 см. Таким образом, повышение уровня имело локальный характер, так как припай у западного побережья не был разрушен.

В умеренные зимы при нагонных ситуациях высота нагона больше, чем в суровые. Так, 17—18 марта 1959 г. при восточном ветре со скоростью 24—34 в северо-западной и 16—20 м/с в северо-восточной частях моря высота нагона у о. Тюльенского составила 137 см, и отмечалось большое затопление северо-западного побережья моря.

Очень мягкой зимой 1980—81 г. в северо-восточной части моря отмечался только плавучий лед, устойчивого припая не было. Вдоль восточного по-

бережья от устья р. Урала до п-ова Бузачи 1—3 и 10—11 февраля 1981 г. наблюдались значительные нагоны под воздействием сильных устойчивых ветров северо-западного и западного направлений со скоростью до 17—20 м/с. По данным авиаразведки Астраханской ГМО, выполненной после этих нагонов, в районе пос. Прорва затопление территории достигало 6 км к северу, а южнее поселка ширина затопления была еще больше.

В этот же месяц, 17—18 февраля 1981 г., под воздействием сильных ветров восточных румбов отмечался значительный нагон (до 1,5—2,0 м) у северо-западного побережья, в результате чего приморская часть дельты Волги и прилегающая к ней территория были затоплены водами с моря.

При сильных нагонах в начале зимы прибрежный припай взламывается и под влиянием ветра и течений происходит торожение, дрейф льдин и ледяных полей, в том числе и по затапливаемой морскими водами территории суши.

По данным авиаразведки Астраханской ГМО, 29 ноября 1964 г. в результате нагона по восточному берегу от устья р. Урала до о. Дурнева была затоплена полоса побережья шириной 25—30 км, причем почти вся она была покрыта первичными формами льда густотой 6 баллов. Авиаразведка 20 ноября 1985 г. также обнаружила у восточного побережья Северного Каспия зону затопления от нагона шириной до 10 км. Урез воды подошел к обвалованным участкам нефтепромыслов Прорва и Карапона. На затопленном участке образовался наледь густотой 7 баллов.

Наибольшие сгоны также отмечаются в северной части моря, они изучены слабее, чем нагоны. Основная причина заключается в чрезвычайной отмели берегов: при сгонах образуется обширная осушка, вода может уходить в сторону моря на несколько километров от водостока, и при сильных сгонах взять отсчет по рейке невозможно. В таких случаях в таблицах ставилась буква «С» (сгоны), поэтому максимальные значения сгонов, показанные в различных справочниках по Северному Каспию, значительно меньше, чем наблюдаются в природе.

За последние десятилетия наиболее сильные (более 1 м) сгоны были 9 октября 1957 г., 21 января 1960 г., 26 ноября 1963 г., 29 января 1964 г., 26 октября 1965 г., 13 сентября, 22 октября и 25 декабря 1977 г. и 1 октября 1978 г. Сгон 1 октября 1978 г. был одним из наибольших (до 1,3 м), когда уровень у о. Тюленьего понизился до отметки —30,14 м БС.

Величина сгона у побережья ограничена глубиной места. Наибольшие сгоны происходят на свалах глубин (изобаты 2—3 м). При понижении среднего уровня моря зоны максимальных значений нагонов и сгонов смешаются в сторону моря, а при подъеме — в сторону суши. В связи с этим невозможно использовать длинные ряды наблюдений для получения надежных статистических характеристик сгонов и нагонов для конкретного поста.

Существенные изменения сгонно-нагонных колебаний уровня в Северном Каспии могут произойти при падении уровня ниже отметки —30...

—31 м, когда восточная часть моря начинает изолироваться от западной.

Специальные наблюдения за уровнем и течениями на профилях, перпендикулярных береговой черте, показали [104, 375], что во время возникновения нагона зона его максимальной высоты располагается у берега над определенной глубиной и при дальнейшем развитии смещается в сторону берега, а при сгонах — наоборот, в сторону моря. Зона максимальных нагонов обычно располагается недалеко от берега, в зона максимальных сгонов — в районе изобат 2—3 м. Установлено, что существует критическая глубина у берега, при которой при нагонах и сгонах начинает действовать придонное градиентное компенсационное течение. При сильных ветрах эта глубина находится в пределах 1,5—1,9 м. Чем больше скорость ветра, тем больше критическая глубина. В районах с глубинами менее критической весь водный поток от поверхности до дна перемещается по направлению ветра, поэтому с этого места происходит наибольший подъем уровня воды при нагоне и его понижение при сгоне. Значения нагонов и сгонов при малых уклонах дна и прилегающей к берегу суши убывают от района критической глубины как в сторону моря, так и в сторону суши.

Внутригодовое распределение сгонов и нагонов в районе Махачкалы определяется в основном сезонной повторяемостью господствующих ветров. Из общего числа случаев сильных и штормовых ветров на юго-восточные приходится 55, на северо-западные — 44 и лишь 1% на остальные румбы. Продолжительные штормы чаще наблюдаются в холодное время года, в результате чего преобладающая часть сгонов и нагонов приходится на осенне-зимний период.

Сгоны в районе Махачкалы достигают больших значений, чем нагоны, и имеют место преимущественно зимой. Так, в ноябре — феврале повторяемость сгонов за 1930—1980 гг. составила 64%, причем значительная их часть приходится на сгоны до 30—40 см. Максимальный сгон составил 100 см (20—21 ноября 1957 г.) во время жестокого северо-западного шторма. В Махачкале в это время дул сильный западный ветер скоростью 34 м/с.

Нагоны имеют наибольшую повторяемость в диапазоне 30—49 см. На их долю приходится свыше 97% всех случаев (табл. 10.10). Около 4% общего числа падает на нагоны высотой 50—59 см.

Максимальный нагон наблюдался 12 февраля 1969 г. и составил 72 см при юго-восточном ветре до 20 м/с.

Район Сумгита относится к мелководной зоне, а его местоположение у «основания» Апшеронского полуострова благоприятствует подпору воды при сильных северных и северо-западных ветрах. Сгонными ветрами являются южные и юго-восточные.

В среднем за год в Сумгите на северные (22%) и северо-западные (28%) ветры приходится около 50%, причем летом повторяемость их несколько выше (55%), чем зимой (48%). Зимой и весной повторяемость южных ветров составляет 27, летом — 18%. Наибольшее число дней (67%) с сильным ветром (7—15 м/с) из общих за год (125) приходится на осенне-зимний сезон, что хорошо согласуется с повторяемостью сгонов и нагонов.

Таблица 10.10

Число случаев N и повторяемость P (%) нагонов на побережье Среднего и Южного Каспия

Интервал, см	Астара (1930—1975 гг.)		Зюйдостовая Култук (1930—1987 гг.)		Самий остров (1954—1987 гг.)		Баку (1930—1987 гг.)		Сумгайт (1949—1987 гг.)		Махачкала (1930—1987 гг.)		Форт-Шевченко (1930—1987 гг.)		Кара-Богаз-Гол (1930—1987 гг.)		Огурчинский остров (1930—1987 гг.)	
	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P
30—39	198	70,3	105	76,2	233	76,1	120	88,3	355	63,7	377	87,1	270	73,6	227	75,2	134	86,5
40—49	55	19,5	21	15,2	59	19,3	15	11,0	152	27,3	45	10,4	61	16,6	52	17,2	18	11,6
50—59	28	9,9	9	6,5	12	3,9	1	0,7	37	6,6	10	4,0	25	6,8	19	6,3	3	1,9
60—69	1	0,3	2	1,4	—	—	—	—	9	1,6	1	0,4	4	1,1	4	1,3	—	—
70—79	—	—	1	0,7	—	—	—	—	2	0,4	—	—	6	1,6	—	—	—	—
80—89	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	0,3	—	—	—	—
90—99	—	—	—	—	—	—	—	—	1	0,2	—	—	—	—	—	—	—	—
100—109	—	—	—	—	—	—	—	—	1	0,2	—	—	—	—	—	—	—	—

Из общего количества случаев сгонов и нагонов на нагоны приходится 88,2%, а на сгоны — 11,8% на рассматриваемой акватории.

Сгонно-нагонные колебания уровня в районе Сумгайта отмечаются в течение всего года, но наибольшая повторяемость их приходится на холодный период. На декабрь — февраль приходится 32% всех нагонов и 40% — сгонов. По сравнению с другими сезонами весной отмечается наименьшая повторяемость нагонов и сгонов. Так, в апреле — мае повторяемость нагонов за исследуемый период составила всего 11%, а сгонов высотой 30 см вообще не наблюдалось.

Наибольшую повторяемость имеют нагоны и сгоны в интервале 30—39 см (для случая нагона 63%, для сгона 89%), а для нагонов и сгонов в интервале 40—49 см повторяемость соответственно 27 и 11%. Около 2% приходится на нагоны высотой 60 см и выше (табл. 10.10, 10.11).

Максимальный нагон в Сумгайте за 1948—1980 гг. отмечен 12 октября 1948 г. и составил 104 см при ветре северного направления 24 м/с. Максимальный сгон (45 см) был отмечен 17 декабря 1948 г. при южном ветре (см. табл. 10.12). Как видим, максимальный нагон значительно больше.

Однако эти значения не следует считать абсолютными максимумами подъема и спада, так как они наблюдались по уровенной рейке, что дает повторяемость 20—30% и более в зависимости от продолжительности стояния уровня.

Юго-западные штормы в районе Апшеронского полуострова вызывают в Баку продолжительный,

но небольшой сгон. Повторяемость сгонов здесь примерно одинакова во все сезоны. Наибольшее количество сгонов и нагонов приходится на интервал 30—49 см, повторяемость нагонов в этом интервале составляет 99%, сгонов — 84% (см. табл. 10.10 и 10.11). Более 16% общего числа падает на сгоны 50—90 см.

При сильных северных ветрах сгоны достигают максимального развития. Уровень моря понижается резко и менее чем за три часа может достигнуть своего минимального положения. Анализ совместных графиков хода уровня и ветра [19] показал, что высота сгона будет больше, если ветер усиливается быстро, и меньше, если его скорость возрастает медленно.

В 14% случаев максимум уровня наступает раньше максимума скорости ветра. В большинстве случаев (64%) максимум уровня наступает одновременно с максимумом скорости ветра.

Максимальный сгон (86 см) по данным за 1930—1980 гг. наблюдался в Баку 16 ноября 1963 г., при этом западо-северо-западный ветер достигал скорости 20 м/с (см. табл. 10.12). Сгон начался в 4 ч и за три часа достиг максимума; с ослаблением ветра до 2 м/с уровень моря начал повышаться и в 15 ч этого же дня поднялся на 128 см.

Юго-западная часть моря по характеру ветрового режима подразделяется на два района: северный, представляющий собой по существу «переходную зону», и собственно юго-западный к югу от устья р. Куры.

Основная причина нагонов в юго-западном районе — сильные штормовые ветры северо-восточного

Таблица 10.11

Число случаев N и повторяемость P (%) сгонов на побережье Среднего и Южного Каспия

Интервал, см	Баку (1930—1987 гг.)		Сумгайт (1949—1987 гг.)		Махачкала (1930—1987 гг.)		Форт-Шевченко (1930—1987 гг.)		Кара-Богаз-Гол (1930—1987 гг.)		Красноводск (1930—1987 гг.)		Огурчинский остров (1930—1987 гг.)			
	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P
30—39	646	61,7	54	88,9	461	69,1	263	83,0	205	82,3	618	58,1	345	56,8	—	—
40—49	262	26,0	8	11,1	135	20,2	46	14,5	33	13,3	259	24,4	140	23,7	—	—
50—59	88	8,4	—	—	50	7,5	7	2,2	8	3,2	118	11,1	57	9,4	—	—
60—69	32	3,1	—	—	15	2,2	1	0,3	2	0,8	32	3,0	28	4,6	—	—
70—79	13	1,2	—	—	4	—	—	—	1	0,4	26	2,4	20	3,3	—	—
80—89	6	0,7	—	—	—	—	—	—	—	—	3	0,8	5	2,5	—	—
90—99	—	—	—	—	1	0,1	—	—	—	—	5	0,5	2	0,3	—	—
100—109	—	—	—	—	2	0,3	—	—	—	—	2	0,2	—	—	—	—

Таблица 10.12

Максимальные и минимальные сгноны и нагоны (см) в средней и южной частях Каспийского моря

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Дата экстремума
Астара, 1930—1978 гг.													
Сгон Нагон	—	54	56	54	43	46	39	52	57	57	58	56	2 XI 1963
Зюйдостовый Култук, 1930—1987 гг.													
Сгон Нагон	—	41	44	38	51	44	54	53	62	57	44	72	11 XII 1952
Свиной остров, 1954—1987 гг.													
Сгон Нагон	64	50	49	50	47	38	44	47	54	60	50	50	20 X 1973
Баку, 1930—1987 гг.													
Сгон Нагон	74	67	81	75	81	73	75	72	85	85	86	63	16 XI 1963
	47	40	44	40	38	47	31	33	40	45	46	49	23 XII 1975
Острова Жилой, 1930—1987 гг.													
Сгон Нагон	31	34	46	38	37	—	31	42	60	31	31	51	—
	46	35	34	30	32	—	31	—	31	35	45	—	—
Сумгайт, 1948—1987 гг.													
Сгон Нагон	39	33	40	—	—	30	44	30	41	41	40	45	17 XII 1948
	52	68	69	52	59	57	54	62	56	104	65	70	12 X 1948
Махачкала, 1930—1987 гг.													
Сгон Нагон	58	90	49	69	42	43	44	42	56	61	100	72	20—21 XI 1957
	50	72	50	37	41	32	37	54	35	45	59	54	12 II 1979
Форт-Шевченко, 1930—1987 гг.													
Сгон Нагон	54	45	46	38	48	44	44	49	44	62	59	54	26 XII 1948
	69	81	57	61	58	53	57	58	72	79	77	83	4 XII 1956
Бекдаш, 1930—1987 гг.													
Сгон Нагон	38	33	34	41	51	35	42	33	47	47	32	41	11 V 1964
	46	45	32	60	51	41	33	—	34	62	37	43	—
Кара-Богаз-Гол, 1930—1987 гг.													
Сгон Нагон	46	49	51	53	55	71	53	51	42	47	58	44	8 VI 1942
	66	49	64	53	50	50	37	37	42	46	57	60	1 I 1973
Красноводск, 1930—1987 гг.													
Сгон Нагон	75	78	93	102	91	77	80	92	77	60	75	75	2 IV 1971
	40	47	38	47	49	50	—	30	—	30	60	37	—
Огурчинский остров, 1937—1987 гг.													
Сгон Нагон	83	76	61	67	60	62	47	68	87	78	80	90	23 XII 1978
	50	43	47	39	45	43	31	34	37	42	52	48	27—28 XI 1964

направления, на долю которых приходится 88 % всех штормов.

Наибольшее число нагонов наблюдается в осенне-зимний сезон (69 % на ст. Свиной остров, 65 % на ст. Зюйдостовый Култук), в летнее время их повторяемость незначительна (соответственно 8 и 17 %). Нагоны в интервале 30—49 см составляют до 95 % на ст. Свиной остров и 91 % на ст. Зюйдостовый Култук, но встречаются нагоны высотой 50—70 см, на долю которых приходится соответственно 9 и 5 % случаев (см. табл. 10.10).

Максимальная высота нагона у о. Свинаго зафиксирована 20 октября 1973 г. при развитии над средней частью Каспийского моря штормового зетра северной четверти скоростью 24—28 м/с и продолжительностью 12 ч.

В районе ст. Зюйдостовый Култук максимальный нагон наблюдался 11 декабря 1952 г. при северо-восточном ветре скоростью 18 м/с. Наибольшая продолжительность нагона в этом районе может составлять 100—120 ч в зависимости от продолжительности штормового северо-восточного ветра.

Режим сгонно-нагонных колебаний уровня к югу от устья Куры до Астары зависит от региональных синоптических процессов над морем. Местные ветры не играют почти никакой роли, поскольку сильные ветры — явление редкое и кратковременное, их продолжительность ограничивается несколькими часами.

Нагоны в этой части моря наблюдаются даже при маловетрии вследствие распространения на-

гонной волны из средней части Каспийского моря в южную при северо-западных штормах.

В среднем за год повторяемость нагонов намного превышает повторяемость сгонов, что полностью согласуется с режимом ветров.

Наибольшую повторяемость (до 70 %) имеют нагоны в пределах 30—39 см, из которых 48,4 % приходится на осенне-зимний период, когда над морем действуют сильные продолжительные штормы. На долю нагонов высотой в 50—60 см приходится не более 10 % всех случаев (см. табл. 10.10).

Сгонно-нагонные колебания уровня на северо-востоке средней части моря установлены по данным метеографа на ГМС Форт-Шевченко.

В соответствии с ориентацией береговой черты в месте расположения уровенного поста сгоны вызываются ветрами от северных до западо-северо-западных румбов. Наиболее часто сгоны наблюдаются при северо-западных ветрах. Западные и северо-западные ветры могут приводить как к сгонам, так и к нагонам, в зависимости от продолжительности их действия.

При юго-восточных и юго-юго-восточных ветрах осуществляется перенос вод с юга из открытого моря в северо-восточную часть Среднего Каспия и на ст. Форт-Шевченко отмечаются нагоны.

Сгонно-нагонные колебания уровня моря в данном районе наблюдаются во все сезоны, но наибольшая их повторяемость приходится на осенне-зимний период вследствие усиления штормовой деятельности.

По высоте сгоны значительно уступают нагонам, и в большинстве случаев (80 %) их высота не превышает 30—39 см, а на сгоны высотой 50—60 см приходится всего 2,5 % (см. табл. 10.10, 10.11).

Максимальный сгон на ст. Форт-Шевченко за 1930—1980 гг. наблюдался 26 октября 1948 г. и составил 62 см при северо-северо-западном ветре скоростью 20 м/с.

Максимальный нагон отмечен 4 декабря 1956 г. при юго-восточном ветре скоростью 18 м/с и составил 83 см (см. табл. 10.12). Характерная особенность сгонно-нагонных колебаний уровня моря в этом районе — их малая продолжительность: средняя продолжительность сгона и нагона изменяется в отдельные месяцы от 2 до 7 ч. Максимальная продолжительность в осенне-зимний период не превосходит 12—13 ч.

Значительные сгоны в районе зал. Кара-Богаз-Гол вызываются ветрами северной четверти: северо-западными и северо-северо-западными. Особенностью устойчивые северо-западные ветры наблюдаются в июне, в результате чего на этот месяц и приходится наибольшая повторяемость сгона — 21 %. Наибольшая повторяемость приходится на сгоны высотой 30—40 см (82,5 %), а на сгоны 40—70 см — всего 17 % всех случаев (см. табл. 10.11). Максимальный сгон отмечен 8 июня 1942 г. при штормовом северо-западном ветре скоростью 20 м/с и составил 71 см (см. табл. 10.12).

Нагонные ветры для данного района имеют направления от востоко-юго-востока через юг до запада; большая повторяемость этих ветров имеет место в зимние месяцы. По высоте нагоны значительно меньше сгона. Максимальный нагон за исследуемый период наблюдался 1 января 1973 г.

при западо-северо-западном ветре скоростью 18 м/с и составил 64 см (см. табл. 10.12).

Ориентация Красноводского залива определяет значительные по высоте и продолжительности сгоны. Нагоны в этом районе — явление редкое, их повторяемость составляет 5 %, тогда как на сгоны приходится 95 %.

Значительные сгоны (30 см) отмечаются в весенне-летний сезон. Их повторяемость в эти месяцы составляет 57 %, что фактически соответствует повторяемости сгонных ветров, и на сгоны высотой 80 см и более за 1930—1987 гг. приходится всего 1,0 % (см. табл. 10.11). В Красноводском заливе отмечены наибольшие для восточного побережья средней и южной частей Каспийского моря сгоны, достигающие высоты 100 см, как это было 2 апреля 1971 г. при северо-северо-западном ветре скоростью 24 м/с (см. табл. 10.12).

В районе о. Огурчинского сгонными являются ветры северной четверти, а нагоны формируются под воздействием юго-восточных штормов. В среднем повторяемость сгона (75 %) значительно превышает повторяемость нагонов (25 %). Наибольшую повторяемость (до 55 %) имеют сгоны в интервале 30—39 см, нагоны этой высоты составляют лишь 4 %.

Нагон только в редких случаях превышал 50 см, тогда как сгоны в отдельные годы достигали 90 см (в 15 % случаев).

10.3.2. Сейшевые колебания уровня

Первые сведения о сейшах Каспийского моря приводятся Н. М. Кипиевичем [212]. Анализируя метеограммы, он пришел к выводу о существовании в Махачкале сейш с периодами 5,5; 2,75 и 1,5 ч.

В 1960 г. Г. В. Полукаров [308] рассчитал сейшевые колебания уровня Каспия по методу Кристалла.

В. Х. Герман [102] выделил периодичности в колебаниях уровня Каспийского моря от одних до нескольких суток по материалам наблюдений на нескольких уровнях постах. Спектральный анализ позволил автору выявить составляющие колебаний уровня: полусуточную (12,5 ч), главная роль в формировании которой принадлежит приливу, и суточную (24 ч), обусловленную бризами. Период одноуловой сейши (12 ч), рассчитанный В. Г. Полукаровым [308] по методу Кристалла, почти полностью совпадает с периодом, полученным путем спектрального анализа В. Х. Германом [102]. Узловая линия проходит по линии Избербаш — Бекдаш. Полученные автором функции спектральной плотности колебаний уровня приведены на рис. 10.6.

Колебания уровня моря на уровневом посту Баку имеют хорошо выраженный пик на периоде 4,7 ч. Предполагается, что он соответствует попечной одноуловой сейше, образующейся в южной части моря.

А. Н. Косарев и В. Ф. Цыганов [226] на основе спектрального анализа рядов уровня по данным нескольких гидрометстанций за длительное время наблюдений подтвердили результаты, полученные в работе [102].

Для исследования колебаний в прямоугольном бассейне А. Б. Рабинович [321] использовал метод Ритца. Численное решение находилось для модели, аппроксимирующей Каспийское море. В результате расчетов по модели им были выделены периоды одноузловой (8,66 ч) и двухузловой сейши

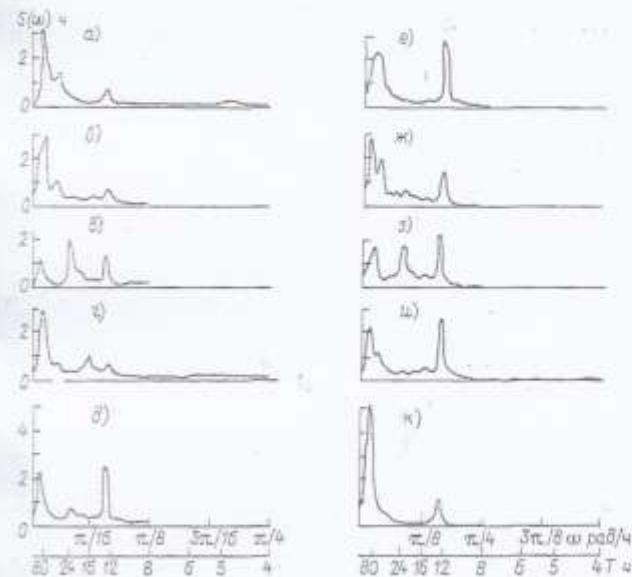


Рис. 10.6. Функции спектральной плотности колебаний уровня Каспийского моря [102].

а — Баку (1 ноября 1953 г. — 31 января 1964 г.), $\sigma = 9,5$; б — Ишберг (1 июня — 31 августа 1954 г.), $\sigma = 3,8$; в — Форт-Шевченко (1 июня — 31 августа 1966 г.), $\sigma = 4,9$; г — Актау (1 июня — 31 января 1964 г.), $\sigma = 6,1$; д — Бекдаш (1 июня — 31 августа 1954 г.), $\sigma = 3,3$; е — Красноводск (1 ноября 1966 г. — 31 января 1967 г.), $\sigma = 5,3$; ж — Огурчинский остров (1 июня — 31 августа 1964 г.), $\sigma = 6,2$; и — Огурчинский остров (1 ноября 1966 г. — 31 января 1967 г.), $\sigma = 6,7$; к — Синий остров (1 июня — 31 августа 1966 г.), $\sigma = 4,2$.

(4,39 ч). Небольшое отличие второго периода от результатов В. Х. Германа, А. Н. Косарева и В. Ф. Цыганова [226] автор объясняет тем, что влияние некоторых орографических особенностей южной части Каспийского моря в модели не учитывалось.

Позднее А. Б. Рабинович продолжил теоретические исследования сейш Каспийского моря [322]. Решение системы уравнений с учетом 20 членов ряда дало форму свободных колебаний со следующими периодами: 9,0; 8,4; 7,4; 4,0; 3,0; 2,7; 2,3; 2,2; 2,0; 1,9 и 1,6 ч. Наибольший период ($T = 9,08$ ч) имеет самый простой вид колебаний — продольная сейша с одной узловой линией. В этой же работе представлены изолинии свободной поверхности для 12 видов колебаний. Анализ этих колебаний показывает, что они носят сложный характер и заметное влияние на их форму оказывает рельеф дна. Наличие в Каспийском море двух глубоководных впадин, разделенных мелководным Ашхеронским порогом, способствует образованию в каждой котловине своих независимых колебаний с различными амплитудами. Узловые линии двухузловой продольной сейши ($T = 4,43$ ч) проходят над зонами максимальных глубин средней и южной частей моря.

Полученные на основе моделирования периоды автор сравнивает с результатами расчетов по дан-

ным наблюдений и показывает их удовлетворительное соответствие.

10.3.3. Приливные колебания уровня

Первые исследования проведены Н. В. Малиновским [263] по материалам наблюдений за уровнем моря в Баку, Махачкале и Красноводске за 30 сут. Обработка метеорографических записей этих уровневых постов методом гармонического анализа показала, что характер приливных волн везде полусуточный незначительной величины.

А. Н. Косарев и В. Ф. Цыганов [226] на основании спектрального анализа уровня выделили составляющую полусуточного прилива с периодом, близким к 12,4 ч, у о. Огурчинского. Колебания уровня в этом районе не превышают 12 см, а на Нефтяных Камнях — 2 см.

Наиболее полно приливные колебания уровня на Каспии исследованы А. Н. Спидченко [384]. Им вычислены характеристики прилива методом гармонического анализа (табл. 10.13).

На всех уровневых постах прилив имеет полусуточный или неправильный полусуточный характер. Неправильности могут возникать под влиянием бриза на проявляющуюся суточную составляющую, хотя автор [384] считает, что это требует дополнительных доказательств.

В результате гармонического анализа показано существование приливов полусуточного и реже суточного характера, т. е. данные А. Н. Спидченко почти полностью совпадают с результатами Н. В. Малиновского [263].

10.3.4. Связь непериодических колебаний уровня моря с вынуждающими силами

Непериодические колебания уровня моря формируются главным образом в результате действия ветра и атмосферного давления. Естественно, чем сильнее ветер, тем большая скорость поверхностного течения и больше наклон уровенной поверхности моря. При этом увеличивается градиент давления, вызывающий в придонных слоях течение, по направлению противоположное ветровому.

Циклоны, перемещающиеся над поверхностью моря, формируют колебания уровня, отражающие воздействие ветра и статического эффекта атмосферного давления. Они возбуждают также длин-

Таблица 10.13
Характеристики полусуточного прилива в Каспийском море

Уровневый пост	Средняя величина прилива, см		Средняя величина синхронного прилива, см		Средняя величина квадратурного прилива, см	
	по Малиновскому	по Спидченко	по Малиновскому	по Спидченко	по Малиновскому	по Спидченко
Баку	5,7	5,5	7,7	7,3	2,8	3,4
Ишберг	—	2,1	—	3,0	—	0,7
Махачкала	3,5	3,2	4,9	4,6	1,6	2,5
Красноводск	5,4	5,9	7,4	8,3	3,0	2,2
Синий остров	—	4,5	—	5,9	—	2,9
Форт-Шевченко	—	5,3	—	6,4	—	4,1
Бекдаш	—	5,9	—	6,0	—	2,2

ные волны, влияние которых зачастую превосходит суммарное воздействие ветра и давления.

Сгоны и нагоны образуются через некоторое время (6—13 ч) после действия ветра.

Н. А. Багров [24], изучая сгоно-нагонные колебания уровня замкнутого моря, отмечал: «Всякое устойчивое изменение скорости и направления ветра отразится на изменении уровня моря в период времени, не превышающий 13 часов».

Для получения численной характеристики барического поля, выражающей влияние ветра, часто вычисляют разность давления воздуха в двух пунктах, достаточно удаленных друг от друга, или так называемый эффективный градиент [178]. Используя такой подход для Северного Каспия, С. И. Кан [197] установила тесную линейную связь ($r=0,83$) между колебаниями уровня на гидрометстанции Каспийск и градиентом давления по линии Гурьев — Махачкала.

Анализ материалов показал, что колебания градиентов давления опережают колебания уровня моря. Сдвиг во времени для северной части Каспия составляет около 6 ч. Полученные автором уравнения регрессии применимы для прогноза уровня в любом пункте северной части Каспийского моря.

О. И. Шереметевская [442] разработала методику прогноза сгоно-нагонных колебаний уровня Каспия, использовав в качестве предиктора атмосферное давление, представленное в виде коэффициентов разложения по полиномам Чебышева. Давление снималось в 25 узлах сетки, покрывающей все Каспийское море.

Вычислялись 6 коэффициентов разложения давления: A_{10} , A_{01} , A_{22} , A_{20} , A_{11} и A_{00} . При разработке метода выбирались характерные периоды: катастрофический нагон, сильный сгон и небольшие колебания уровня моря. В результате были установлены зависимости для прогноза уровня моря с за-

Таблица 10.14
Коэффициенты корреляции между изменениями барического поля и колебаниями уровня Каспийского моря для разных временных сдвигов [442]

Станция	Временной сдвиг, ч			
	6	12	18	24
Махачкала	0,95	0,91	0,87	0,82
Изберг	0,93	0,90	0,87	0,82
Сумгайт	0,90	0,85	0,79	0,72
Форт-Шевченко	0,72	0,71	0,69	0,54
Бендаш	0,91	0,87	0,76	0,63
Кара-Богаз-Гол	0,85	0,83	0,78	0,70
Красноводск	0,83	0,85	0,52	0,42

благовременностью 6, 12, 18 и 24 ч в каждом пункте по фактическому давлению и предшествующим данным наблюдений за уровнем моря, которые имеют вид

$$H_n - \bar{H}_{n-1} = f(\Delta h_{n-1}; \sum A_{ij}; (H - \bar{H})_{n-1}), \quad (10.3)$$

где H_n — уровень в момент выпуска прогноза; \bar{H}_{n-1} — среднедекадный скользящий уровень в тот же срок; Δh_{n-1} — разность между положением уровня в данном и опорном пунктах; A_{ij} — коэффициент разложения поля давления в ряд по полиномам Чебышева.

Самые высокие коэффициенты корреляции получены при 6-часовой заблаговременности (табл. 10.14). Синхронная связь поля атмосферного давления с уровнем моря дает неудовлетворительные результаты, поскольку для перестройки поля течений и уровня необходимо определенное время.

Для наглядного представления характера связи между сгоно-нагонными изменениями уровня и

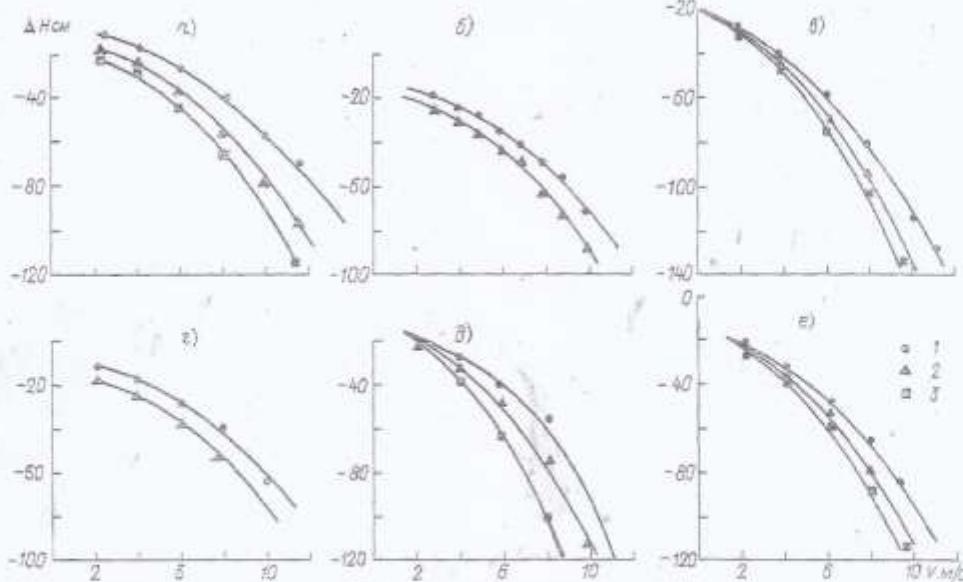


Рис. 10.7. Понижение уровня Каспийского моря ΔH как функция скорости и продолжительности сгоно-нагонного ветра t_v на станциях Махачкала (а), Аладжа (б), Огурцивские острова (с), Баку (д), Форт-Шевченко (д) и Красноводск (е) [424].
 $t - t_v = 0,5$ сут; $2 - t_v = 1,0$ сут; $3 - t_v > 1,0$ сут.

ветром различной силы и продолжительности Н. Д. Фомичева [424] построила эмпирические связи для ряда уровневых постов средней и южной частей Каспийского моря (рис. 10.7 и 10.8). Эти графики строились отдельно для сгонных и нагонных ветров.

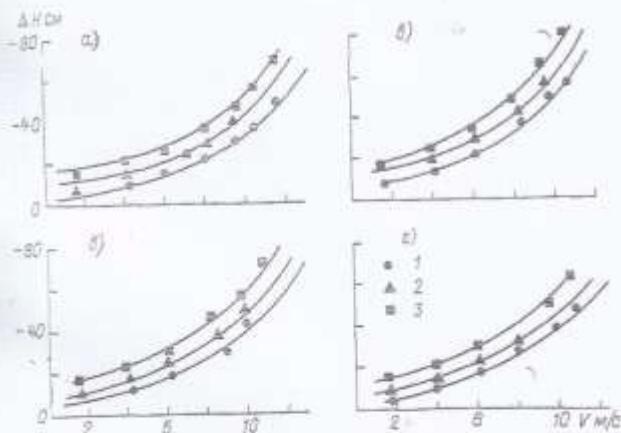


Рис. 10.8. Повышение уровня Каспийского моря ΔH как функция скорости и продолжительности нагонного ветра t_V на станциях Махачкала (а), Астра (б), Сумгайт (с) и Энзели (д) [424].
 $1 - t_V = 0.5$ сут; $2 - t_V = 1.0$ сут; $3 - t_V > 1.0$ сут.

Для каждого конкретного случая сгонного и нагонного ветра умеренной и штормовой силы выбирались преобладающая скорость ветра и соответствующие ей значения уровня. Такие выборки были сделаны для различной продолжительности ветра:

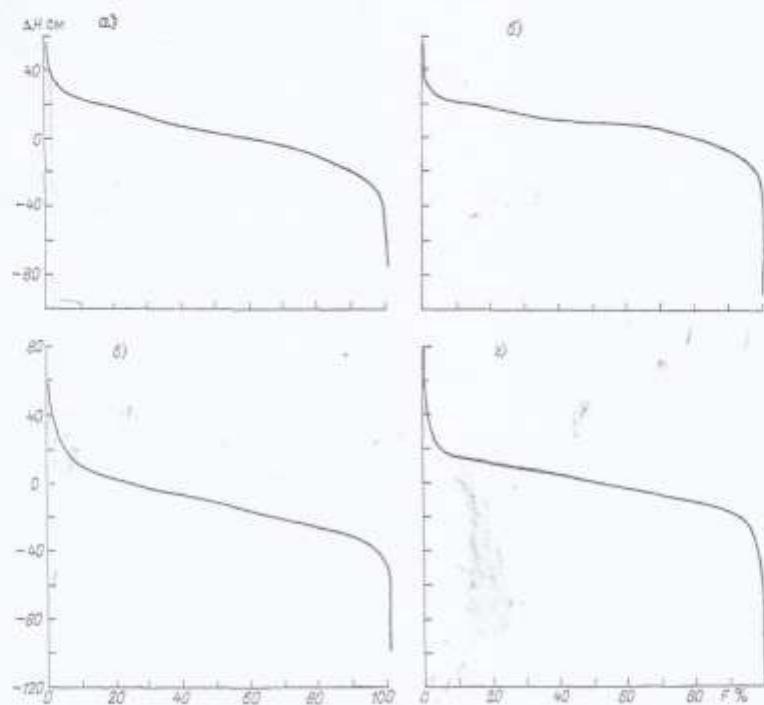


Рис. 10.9. Обеспеченность F отклонений ежечасовых уровней от среднегодовых ΔH за 1976—1987 гг.
 а — Красноводск; б — Форт-Шевченко; в — Баку; г — Махачкала.

полусуток, суток и более. Каждому баллу ветра соответствовал определенный интервал значений уровня. Для каждого интервала определялся средний уровень моря отдельно для сгонных и нагонных ветров и по полученным данным при различной продолжительности ветра t_V строились связи

$$H = f(V), \quad (10.4)$$

где H — средняя высота нагона (сгона), см; V — сила ветра, балл.

10.4. Статистические характеристики колебаний уровня

В Каспийском море основная роль в формировании экстремальных значений уровня принадлежит сгонно-нагонным явлениям.

Наибольший интерес для практики представляют уровни моря малой обеспеченности (10, 5, 2 и 1 %) с соответствующими периодами повторяемости 10, 20, 50, 100 лет.

Исходным материалом для расчета экстремальных уровней послужили таблицы ТГМ-1м, «Каталог уровневых наблюдений», «Справочник по гидрометеорологическому режиму Каспийского моря» [191, 385].

Вследствие нестабильности среднего уровня Каспийского моря расчет проводился не для экстремальных уровней, а для их отклонений от среднегодовых значений.

Для расчета максимальных годовых отклонений уровня моря различной вероятности построены региональные функции распределения для следующих районов моря:

Таблица 10.15

Рассчитанные отклонения (см) экстремальных значений уровня редкой обеспеченности от среднегодовых значений за опорный период 1900—1987 гг.

Станица	Отклонения максимального уровня заданной обеспеченности от среднегодового					Отклонения минимального уровня заданной обеспеченности от среднегодового				
	Обеспеченность, %					Обеспеченность, %				
	1	2	4	10	20	1	2	4	10	20
Махачкала	70±5	65±4	60±4	59±3	47±2	-112±8	-105±7	-95±6	-88±5	-81±4
Изберг	58±4	54±3	50±3	44±2	39±2	-59±3	-55±3	-51±2	-46±2	-41±1
Сумгант	96±6	86±5	78±4	69±3	62±2	-95±6	-88±6	-81±4	-71±3	-63±3
Баку	68±4	63±3	58±3	51±3	46±2	-107±6	-93±5	-88±4	-74±3	-65±2
Остров Жилой	65±4	60±4	56±3	49±3	44±2	-66±4	-61±5	-56±3	-50±2	-45±1
Нефтяные Камни	62±4	57±4	53±3	46±3	41±2	-49±3	-46±2	-43±2	-37±2	34±2
Синий остров	83±5	78±5	71±4	63±3	56±2	-69±4	-65±3	-60±3	-54±2	-49±2
Астара	92±6	85±6	78±4	69±3	62±2	-56±3	-52±3	-48±2	-42±2	-38±1
Форт-Шевченко	70±4	63±3	60±3	54±2	48±1	-76±4	-70±4	-62±3	58±2	-53±2
Шевченко	56±3	53±3	49±2	44±1	39±1	-51±3	-48±2	-44±2	-40±1	-36±1
Бекдаш	61±3	57±3	53±2	47±2	43±1	-57±3	-53±3	-49±2	-44±2	-40±1
Кара-Богаз-Гол	60±3	56±3	51±2	45±2	41±1	-62±3	-58±3	-54±2	-48±2	-43±1
Куули-Маяк	53±2	50±2	46±2	42±1	38±1	-52±3	-48±2	-45±2	-40±2	-36±1
Красноводск	68±3	63±3	60±3	55±2	50±2	-107±6	-100±5	-90±5	-78±4	-69±3
Аладжа	90±4	84±4	78±3	71±2	65±2	-111±7	-101±6	-93±5	-81±4	-71±3
Огурчинский остров	73±5	69±2	64±2	58±2	42±1	-101±6	-93±5	-88±4	-74±3	-63±2

1) Махачкала, Изберг, о. Жилой, Нефтяные Камни;

2) Баку, Сумгант, о. Свинарь, Астара;

3) Форт-Шевченко, Актау, Бекдаш, Кара-Богаз-Гол;

4) Куули-Маяк, Красноводск, Аладжа, о. Огурчинский.

Региональные функции распределения годовых минимумов уровня построены для следующих районов:

1) Сумгант, Нефтяные Камни, о. Свинарь, Изберг;

2) Астара, о. Жилой;

3) Куули-Маяк, Бекдаш, Форт-Шевченко, Кара-Богаз-Гол;

4) Баку, Красноводск, о. Огурчинский, Аладжа;

5) Шевченко, Махачкала, Зюйдостовый Култук. В качестве опорного был выбран период 1900—1980 гг.

Региональные функции распределения аппроксимированы первым предельным распределением максимумов.

Важной характеристикой, дающей наглядное представление об изменчивости уровня моря, является эмпирическая кривая обеспеченности ежечасных (срочных) значений уровня моря (рис. 10.9, табл. 10.15).