

13. ВОЛНЕНИЕ

Для освещения режима ветра и волн в морях СССР и в шельфовой зоне морей в ГОИНе и Санкт-Петербургском отделении ГОИНа разработан ряд специальных методов, позволяющих получать эти данные путем расчета по синоптическим картам за много лет и анализа многолетних рядов судовых наблюдений.

В рамках первого метода [327] рассматриваются все синоптические карты за промежуток времени не менее 10 лет. Расчет ветра и волн осуществляется для однородных в синоптическом отношении районов, в каждом из которых при рассматриваемой синоптической ситуации направление и скорость ветра изменяются в небольших пределах. Границы этих районов корректируются путем анализа всех карт ветровых полей используемого синоптического архива. Для каждого района строились типовые карты полей ветра. Тип поля ветра определяется его направлением в данном районе (по 8 основным румбам), а подтип — интервалом скорости ветра ($0-5, 6-10, 11-15$ м/с и т. д.). Штилевой подтип, отвечающий обычно случаю выбы, означает, что в пределах района скорость ветра мала, но на его акваторию распространяется волнение из соседних районов. Для каждого типа и подтипа по картам строились поля ветра, на основе которых выполнялись расчеты элементов волн с учетом синоптической обстановки над всем морем. Для этого на каждой карте через расчетную точку проводят веер лучей с интервалом 30° . Из них выбирают так называемые рабочие лучи — лучи, на которых ветер имеет составляющую в направлении к расчетной точке. Далее рабочие лучи разбиваются на участки, в пределах которых скорость и (или) направление ветра менялись не более чем на 4 м/с и 20° соответственно. Описанным способом получают распределение характеристик ветра на каждой синоптической карте. Далее по формулам, приведенным в [327], находят элементы волн в данной расчетной точке. Такой прием называется расчетом «по замороженной карте».

Путем статистического анализа величин, вычисленных для всех полей ветра, строят функции распределения средних высот и периодов волн, а также получают некоторые другие характеристики, описывающие режим ветра и волн. В заключение на основе функций распределения высот определяются их значения, возможные один раз в заданное число лет.

Второй метод позволяет проанализировать весь послевоенный архив данных — за 30—40 лет [177]. По этому методу расчет ветра и волн осуществляется только для наиболее сильных штормов (волноопасных ситуаций) по районам моря. Районы выбираются описанным выше приемом. В качестве критерия штorma — пороговой скорости ветра для циклонов умеренных широт, которые в основном вызывают крупные волны на морях СССР — принимается скорость 15 м/с. Исследования волнового режима за рубежом, а также результаты расчета многолетних значений других гидрометеорологиче-

ских элементов, например уровня моря, показали, что соответствующие режимные характеристики практически не зависят от выбранного порогового уровня. Имеющиеся сведения о режиме ветра на морях СССР [177] показывают, что вероятность появления волноопасных ситуаций с названной скоростью ветра составляет примерно 5—10 %. Поэтому трудоемкость работ по расчету ветрового режима по сравнению с первым методом заметно сокращается (в 10—15 раз). Вместе с тем при таком способе анализа неосвещенным остается режим относительно слабого волнения.

При использовании второго метода, кроме сложного контура береговой черты и неоднородности поля ветра, учитывается его нестационарность. Для этого берется серия последовательных карт атмосферного давления, с помощью которых ведется расчет изменяющегося во времени волнения, т. е. учитывается предшествующая ветровая обстановка, формирующая поле волн к моменту расчета. Вначале выполняются описанные выше операции по проведению лучей, выделению из них рабочих и другие, позволяющие получить распределение характеристик ветра на каждой синоптической карте. Далее строят пространственно-временные диаграммы с осями времени — длина разгона. На диаграмме проводят своего рода траекторию распространения фронта ветровых волн и по алгоритмам, описанным в [327], находят элементы волн на момент составления синоптических карт. В итоге для каждого шторма можно найти наибольшие значения этих элементов. Путем статистического анализа всех штормов получают более достоверные сведения о режимных значениях скорости ветра и элементов волн в области малых значений вероятности их превышения, а также о расчетных элементах ветра и волн, возможных в заданное число лет.

В качестве самостоятельного или дополнительного к первым двум методам используется способ получения режимных характеристик путем обобщения данных визуальных наблюдений элементов волн с попутных судов [81]. При использовании этого способа задается форма функций распределения характеристик ветра и волн и по данным наблюдений после временного и пространственного сглаживания определяются параметры этих функций. По выравненным значениям параметров с использованием соответствующих nomogramm находят повторяемость и обеспеченность характеристик ветра и волн.

Следует иметь в виду, что результаты расчета, полученные любым из перечисленных методов, можно использовать только для освещения основных черт ветрового режима моря. При определении же элементов ветра и волн для проектирования гидротехнических сооружений и средств океанотехники, а также при решении других практических задач необходимо выполнение специальных исследований.

В настоящей книге расчеты ветра и волн выполнены по первой методике [327], которая применена

для расчета элементов волн в глубоководных районах Среднего и Южного Каспия и в мелководном Северном Каспии. Для описания волнового режима отдельных районов прибрежной зоны моря использовались многолетние наблюдения на волномерных постах и станциях, расположенных на акватории морских нефтепромыслов Каспийского моря. По этим наблюдениям построены режимные функции распределения скоростей ветра, высот и периодов волн, рассчитаны межгодовая изменчивость этих функций, совместная повторяемость скоростей ветра и высот волн, высот и периодов волн. Приводятся максимальные высоты волн, измеренные на Каспии в разные годы.

13.1. Историческая справка

Регулярные наблюдения за волнением в Каспийском море впервые были начаты в 1916 г. на организованных прибрежных и островных гидрометеорологических станциях. Определялось только состояние поверхности моря по 9-балльной шкале. К концу 1921 г. наблюдения за волнением производились на 13 станциях [146]. В дальнейшем их число увеличивалось и к 1940 г. достигло 32. Проводились наблюдения за состоянием поверхности моря, направлением и типом волнения, высотой и периодом волн. Начиная с 1947 г. станции Махачкала, Дербент и Остров Артема, а с 1948—1949 гг. и остальные стали проводить полуинструментальные наблюдения по волномеру Богдановича—Шульгина. С 1949 г. на некоторых станциях были установлены волномеры-перспектометры Р. Н. Иванова, которыми вскоре были оснащены все станции. В 1954 г. была введена более совершенная методика прибрежных наблюдений за волнением, которые в дальнейшем служили основным исходным материалом для изучения режима волнения в прибрежных районах Каспия.

Первые наблюдения за волнением в открытом море в Среднем и Южном Каспии были проведены экспедицией Убекокаспа в 1924 г., а затем продолжены в 1926—1927 гг. [110]. Определялся только балл состояния поверхности моря.

Осенью 1933 г. сотрудниками Государственного гидрологического института впервые на Каспийском море были организованы комплексные исследования волнения в открытом море [36]. Измерения волн производились с т/х «Коминтерн», совершившего рейсы Баку—Астраханский рейд. Получено 25 пар стереофотоснимков вззволнованной поверхности моря и другие материалы.

Открытие морских месторождений нефти и газа и начало их промышленной разработки потребовали специализированного изучения гидрометеорологического режима моря и в первую очередь — волнения. В связи с этим Государственный океанографический институт (ГОИН) по договору с объединением «Азнефть» с 1950 г. приступил к широкопрофильным исследованиям с основной задачей изучения режима волнения на нефтеносных акваториях моря и выдачи информации о возможных элементах волн, необходимой для проектирования и эксплуатации нефтегазодобывающих гидротехнических сооружений. В 1950 г. были начаты наблюдения на волномерных постах Нефтяные Камни

(с морского основания), Камни Григоренко (с морского основания), Банка Дарвина (с морского основания), южная эстакада о. Артема, Остров Булла (с берега), Свиной остров (с берега), Изберг (с эстакады), Каягент (с берега), Буйнак (с берега).

Волнение наблюдало по волномеру-перспектометру Иванова и волномерной рейке (вехе), скорость и направление ветра — по анемометру и флюгеру. Вскоре на волномерной станции Изберг впервые применили прибрежный волнограф ГОИН, разработанный Я. Г. Виленским и Б. Х. Глуховским. Впервые на этой станции начаты также исследования по определению давления волн на сваю с помощью динамометрической консоли, разработанной теми же авторами. Помимо наблюдений на волномерных постах, осуществлялись судовые наблюдения за волнением в открытом море, проводились комплексные гидрометеорологические наблюдения в 30-мильной прибрежной зоне, а также на разрезе вдоль Апшеронского порога. В районе Нефтяных Камней проводилась площадная съемка волнения. Во многих точках этой акватории были установлены максимальные рейки, которые автоматически регистрировали максимальные высоты волн за определенный период времени.

В 1952 г. перечисленные волномерные посты экспедиции были переданы в ведение УГМС Азербайджанской ССР и на их базе организованы постоянно действующие станции. В 1953—1955 гг. в Апшеронском районе моря и, в частности, на Нефтяных Камнях ГОИН провел большие экспериментальные исследования, базируясь на эстакадах и изолированных основаниях. В распоряжении экспедиции было судно «На вахте» водоизмещением 3600 т.

В задачу экспедиции входило определение следующих основных гидрометеорологических характеристик:

- максимальных высот волн и превышений гребня волн над спокойным уровнем моря в районе Нефтяных Камней;
- сил давления волн на цилиндрические сваи различных диаметров;
- максимальных скоростей поверхностных и глубинных течений в районах нефтепромыслов и трасс нефтепроводов;

— эпюры и характеристики пульсаций скорости ветра в слое 0—50 м в условиях сильных штормов.

Для постановки исследований были разработаны и изготовлены специальные приборы и установки. Систематические наблюдения за ветровым волнением велись в двух пунктах на Нефтяных Камнях с глубинами 11,6 и 18,0 м, эпизодические наблюдения осуществлялись во многих точках этой акватории. Применялись различные методы наблюдений за волнением: визуальные — по рейке и волномеру-перспектометру, отсчеты по максимальным рейкам, киносъемка волн по рейке, стереофотосъемка вззволнованной поверхности моря и, наконец, регистрация волн с помощью волнографов. За 2 года работы с помощью волнографов собран массивный материал, который послужил основой для последующего анализа и обобщений.

Большое внимание было уделено исследованию функций распределения элементов волн как на глубоководных акваториях, так и в прибрежной зоне

[83]. Работы, выполненные Каспийской экспедицией ГОИНа в 1953—1955 гг., дали существенный толчок дальнейшему развитию исследований волнения не только на Каспийском, но и на других морях и в океане, способствовали созданию теоретических и эмпирических методов расчета элементов волны [73]. Они послужили основой для изданного в 1960 г. первого у нас в стране «Руководства по расчету морских волн и ветра над морем» [346]. После окончания в 1955 г. работ экспедиции ГОИНа ГМС Нефтяные Камни была реорганизована в специализированную гидрометстанцию (СГМС), на которой были продолжены исследования, начатые экспедицией ГОИНа.

В 1958 г. для изучения волнового режима в новых, перспективных для добычи нефти и газа районах моря на базе СГМС Нефтяные Камни и других станциях была организована Каспийская океанографическая экспедиция УГМС Азербайджанской ССР. Исследования волнения и течений проводились путем организации мобильных постов на эстакадах и отдельных свайных платформах, с тем чтобы охватить наблюдениями возможно большую акваторию моря. При наблюдениях за волнением использовались дистанционные струнные волнографы, волномерные вехи и волномеры-перспектометры Иванова. С октября 1958 по ноябрь 1961 г. в составе экспедиции работали 7 волнографических постов.

За время работы экспедиции с 1958 по 1961 г. собрали большой материал наблюдений за ветром, волнением, течениями и другими гидрометеорологическими характеристиками на обширной акватории Ашшеронского и Бакинского архипелагов, позволивший выявить особенности режима волнения в этих районах.

В 1964 г. работы Каспийской океанографической экспедиции УГМС Азербайджанской ССР по изучению волнения были продолжены на качественно новой основе. Исследования велись в акватории, расположенной в юго-западной части моря, в районе Бакинского архипелага, о. Жилого, вблизи восточного побережья моря у п-ова Челекен и в других местах.

Программа экспедиции на 1964—1968 гг. предусматривала экспериментальные исследования развития волнения в условиях глубокого и мелкого моря, а также трансформации волн в прибрежной зоне и затухания давления волн с глубиной; проверку оправдываемости различных методов расчета волны и расчет элементов волны для районов строительства и эксплуатации различных гидротехнических сооружений.

Волнение в глубоком море изучалось путем организации детальных съемок в различных пунктах моря по специальной программе. Для исследования трансформации волны в прибрежной зоне были организованы волнографные наблюдения на разных глубинах с южной эстакады у о. Жилого и на Нефтяных Камнях. Для изучения затухания давления волн с глубиной на Нефтяных Камнях и вблизи о. Жилого была смонтирована градиентная установка с размещенными на разных горизонтах от поверхности моря датчиками давления. С ее помощью получены уникальные синхронные записи волнового давления на различных уровнях и на дне моря. Волнение в характерных районах моря

изучалось путем организации мобильных волномерных постов, которые вели также регулярные наблюдения за ветром и течениями в западном районе. В итоге был собран обширный экспериментальный материал [70].

Наличие разветвленной сети эстакад и отдельных свайных оснований, большая повторяемость сильного волнения в районе Нефтяных Камней благоприятствуют проведению различных исследований волнения. По этой причине СГМС Нефтяные Камни всегда оставалась базовой станцией и испытательным полигоном. На Каспийском море и, в частности, на Нефтяных Камнях были осуществлены первые испытания радиоволнографа ГМ-32 и радиоизмерителя течений ГМ-33. Волнографы ГМ-61 и ГМ-62 до начала их серийного производства также нашли испытания на Нефтяных Камнях. В 1964—1965 гг. в пункте расположения СГМС ГОИН провел исследования вертикальной структуры ветрового потока над морем. Для этой цели вблизи площадки № 665 была оборудована специальная градиентная установка. Синхронно с записью показаний анемометров, расположенных на разных уровнях над поверхностью моря, производилась запись волн при помощи струнного волнографа. Полученные материалы позволили определить частотную структуру флюктуаций ветрового потока над морем и его связь с энергетическим спектром волн [262].

Экспедицией Московского энергетического института в течение трех лет с 1968 по 1971 г. изучалась отражающая способность взволнованной поверхности моря и возможность определения элементов волны методами радиолокации [316]. В 1974—1975 гг. оценкой неконтактных методов определения элементов волны занимался ГОИН. На Нефтяных Камнях были проведены комплексные исследования с применением радиолокации, лазерной техники, эхолота и других средств. Чтобы оценить эти методы, волнение одновременно фиксировалось с помощью обычных волнографов. В частности, на специальной установке производились записи волн и уклонов взволнованной поверхности моря, волнографные наблюдения в глубоком море с э/с «Экватор» и другие работы [174].

В 1974 г. для определения пространственной структуры ветровых волн экспедиция ГОИНа на эстакаде вблизи СГМС Нефтяные Камни (при глубине моря 18 м) на расстоянии 4—5 м друг от друга по направлению преобладающего волнения установила 14 проволочных волнографов. Основная цель этих исследований — оценка неконтактных методов определения элементов волны, но полученные материалы наблюдений имеют и самостоятельное значение.

В 1975 г. аналогичную установку, состоящую из 14 проволочных волнографов, в том же пункте смонтировала экспедиционная группа СГМС Нефтяные Камни. В декабре 1975 г. на ней удалось записать необычные (резонансные) волны зыби, возникновение которых связывают с флюктуациями атмосферного давления в момент прохождения над морем холодного фронта. Это первая запись таких волн, выполненная на Каспийском море.

В марте 1983 г. в районе нового перспективного нефтепромысла им. 28 Апреля был открыт волномерный пост СГМС Нефтяные Камни. Он располо-

жен на платформе на расстоянии 15 км к востоку от б-ки Нефтяные Камни (глубина моря 84 м). На посту установлен волнограф ГМ-61. Ведутся ежедневные наблюдения за ветром и волнением. В штормовую погоду синхронно с наблюдениями на ст. Нефтяные Камни осуществляются ежечасные записи волн длительностью 15—25 мин (в зависимости от степени волнения). В настоящее время СГМС Нефтяные Камни располагает уже достаточно большим количеством волнограмм (более 200), полученных на этом посту, которые обрабатываются и анализируются.

Начало экспериментальным исследованиям волнения в Северном Каспии было положено в 1963 г. с момента изготовления первого опытного образца автономной гидрометстанции на передвижном свайном основании (АПС-1). Она представляла собой металлическую конструкцию, состоящую из площадки (8×8 м) на двух цилиндрических понтонах и четырех выдвижных опорах с поинточными башмаками. В рубке, расположенной на металлической площадке, размещались регистрирующие устройства метеорологических приборов автономного или дистанционного действия с передачей основной информации по радио или записью на шлейфовые осциллографы или потенциометры. Полностью оснащенная, готовая к действию гидрометстанция в плавучем состоянии буксировалась к месту установки в море, где с помощью лебедок и системы талей опорные стойки опускались на морское дно, а плавучая платформа вместе с рубкой поднималась над поверхностью моря на необходимую высоту, гарантирующую от захлестывания площадки станции гребнями самых высоких волн. После подъема платформа крепилась неподвижно к опорным стойкам, а пустые отсеки понтонов заполнялись, что обеспечивало устойчивость АПС.

В 1964 г. в центральной части Северного Каспия Астраханская гидрометобсерватория совместно с ГОИИМ провела испытания АПС, и с этого же года началась ее регулярная эксплуатация для стационарных и специальных экспедиционных исследований в заданных пунктах моря. В течение 1964—1965 гг. АПС устанавливалась в разных пунктах Северного Каспия на удалении от берега до 50 миль.

При использовании АПС в качестве автоматической станции на ней был установлен автоматический радиозиеритель ветра (АРИВ), который систематически передавал в эфир данные о ветре в открытом море, причем сигналы принимались в Астрахани (на расстоянии около 100 миль). Кроме того, на АПС были установлены самопищащие приборы автономного действия, которые регистрировали данные о волнении, течениях и уровне моря. Работой волнографа управлял волновой автомат включения, разработанный на СГМС Нефтяные Камни Е. М. Копайгородским и др. С помощью описанной выше установки были получены инструментальные записи ветрового волнения в открытой части моря в Северном Каспии. Измерения волн производились с помощью волнографов разных систем в четырех пунктах Северного Каспия. Наибольшие измеренные высоты волн приведены в табл. 13.1.

Волнографные наблюдения анализировались с целью изучения развития ветровых волн на мел-

Таблица 13.1

Наибольшие измеренные элементы волн во время экспедиций 1964—1965 гг.

Точка	Дата	Время, ч мес	Направление ветра	Скорость ветра, м/с	Глубина, м	t_{\max} , с	h_{\max} , м
1	15 X 1964	9 20	ЮВ	12,0	4,8	7,7	1,8
2	16 X 1964	3 00	ЮВ	12,3	7,2	10,4	2,2
3	26 X 1964	11 00	ЮВ	11,4	6,8	8,8	2,7
4	13 V 1965	5 45	З	15,2	3,8	6,7	2,6

ководье, функций распределения высот и периодов воли для подобных условий и уточнения методов расчета элементов волн мелкого моря. Около 100 волнографических записей, полученных в Северном Каспии, использованы для определения зависимости элементов волн мелководного бассейна от скорости ветра и глубины моря и для составления «Атласа ветра и воли Северного Каспия» [22]. Поля волн для этого атласа, рассчитанные по типовым полям ветра, построенным по наблюдениям на прибрежных и островных гидрометстанциях, получены по методу [347], верификация которого выполнена по материалам волнографических наблюдений с АПС в четырех пунктах Северного Каспия.

13.2. Районирование моря по ветровым условиям

Разнообразие ветровых условий на Каспии обусловлено его большой меридиональной протяженностью, различиями в физико-географических условиях побережья и преобладанием различных типов атмосферной циркуляции в разных районах. При синоптико-климатическом районировании выделяются такие районы, в пределах которых при каждой из рассматриваемых синоптических ситуаций направление и скорость ветра изменяются в небольших пределах.

Для Каспийского моря имеется несколько схем синоптико-климатического районирования — укрупненные, детализированные, специализированные [29, 175, 230, 256]. Анализ характеристик ветра, сильных и жестоких штормов, а также литературных источников [23, 113, 140, 230, 402] позволил произвести районирование Среднего и Южного Каспия по преобладающему ветру, показанное на рис. 13.1.

Основным критерием для районирования моря по ветру послужила обеспеченность скорости ветра 15 м/с (бурность района тем выше, чем ниже его номер). Режим сильных и штормовых ветров в конкретном районе формируется в зависимости от характера циркуляции атмосферы и рельефа окружающей местности. Наиболее бурными в Среднем и Южном Каспии являются районы Ашеронского полуострова, Махачкалы и Форт-Шевченко, где проявляются орографические эффекты. Сильные штормы ($V \geq 25$ м/с) над Каспийским морем характерны только для северо-западного, юго-восточного и северного (или северо-восточного) типов полей ветра [175, 230, 258].

Ашеронский район (3). Наибольшее число дней в году с ветрами скоростью $V \geq 15$ м/с при-

ходится на Апшеронский полуостров, где сочетаются орографический и мысовой эффекты. Оно варьирует от 55—60 на востоке до 115—145 на западе района [230]. Среднегодовая повторяемость ветра скоростью больше 15 м/с в Апшеронском районе наибольшая — 3,7 %. Повторяемость сильных ветров ($V \geq 10$ м/с) составляет 18 %. Сильные штормы ($V \geq 25$ м/с) могут наблюдаться во

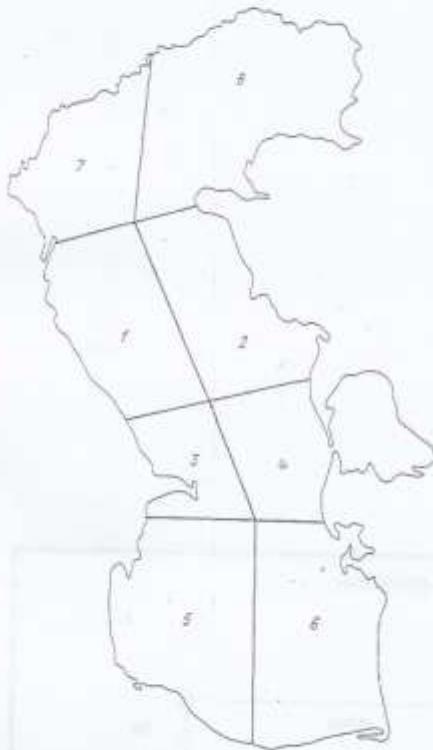


Рис. 13.1. Районирование Каспия по ветровым условиям.

всех пунктах Апшеронского района — от Низовой Пристани до о. Святого [230]. Во все сезоны преобладают ветры северных направлений, среднегодовая повторяемость которых составляет 55 % (северного — 24, северо-восточного — 13, северо-западного — 18 %).

Распределение числа дней с ветрами скоростью $V \geq 15$ м/с (рис. 13.2) показывает несколько гла-женнюю картину, так как оно построено в основном по данным береговых и небольшого числа островных станций в Апшеронском районе (Остров Артема, остров Жилой, Нефтяные Камни, Синий остров). Относительно густая сеть береговых (10) и островных (4) гидрометеорологических станций, одна из которых (Нефтяные Камни) расположена в условиях открытого моря, позволила получить более подробную картину распределения числа бурных дней в районе расположения этих станций вокруг Апшеронского полуострова.

Район Махачкала — Дербент (1). Число дней с ветрами скоростью $V \geq 15$ м/с примерно вдвое больше, чем в западной части Апшеронского района, и составляет 40—50. Как и в районе 3, здесь могут наблюдаться ветры всех румбов, однако пре-

обладают юго-восточные (30 %) и северо-западные (25 %). Независимо от направления повторяемость скоростей ветра более 16, более 21 и более 25 м/с равна соответственно 2,70; 0,40; и 0,06 %.

Район Форт-Шевченко — Кендерли (2). Число дней с ветрами скоростью $V \geq 15$ м/с такое же, как и в районе Махачкала — Дербент (40—50). Преобладают юго-восточные (23 %) и северо-за-

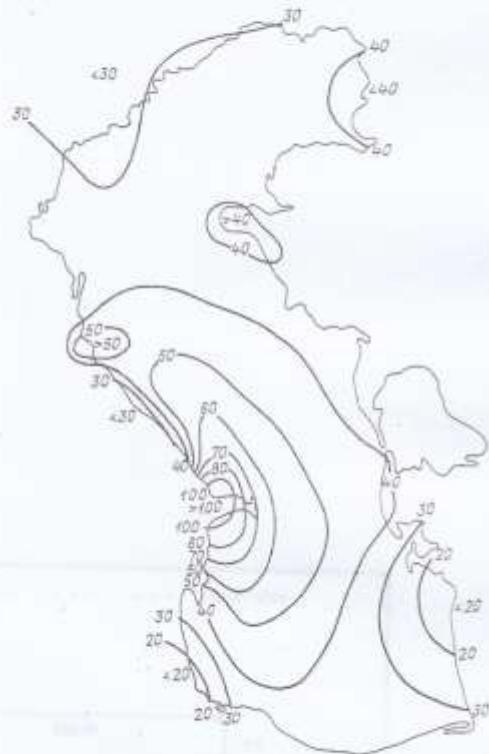


Рис. 13.2. Количество дней в году с сильным ветром ($V \geq 15$ м/с).

падные (17 %) направления ветра. Наибольшие скорости ($V \geq 25$ м/с) характерны для северного и северо-западного направлений. Повторяемость ветров со скоростями более 16, более 21 и более 25 м/с составляет соответственно 2,4, 0,37 и 0,03 %.

Район Красноводск — зал. Кара-Богаз-Гол (4). По ветровым условиям он мало отличается от расположенного севернее района 2. Число дней с ветрами скоростью более 15 м/с составляет 40—50. Для теплой половины года характерны северный (18 %) и северо-западный (17 %) ветры, для холода — ветры с восточной составляющей (30 %). Сильные штормы наблюдаются при северном и северо-восточном направлениях ветра.

Юго-западная часть моря (5). По характеру ветрового режима этот район можно разделить на два подрайона: первый расположен к северу, второй — к югу от устья Куры. В первом подрайоне еще сильно влияние юго-восточных отрогов главного Кавказского хребта. Преобладают северо-восточные (26 %) и северные (14 %) ветры. При штормах северного направления скорости ветра хотя и редко (0,008 %), но превышают 25 м/с. Число дней с ветрами скоростью $V \geq 15$ м/с дости-

гает 60—70. Во втором подрайоне это число уменьшается до 50—20 и менее.

Юго-восточная часть моря (6). Для этого района характерно наименьшее для моря количество дней с ветрами скоростью $V \geq 15$ м/с — от 30 до 20 и менее — и самая низкая повторяемость ветров скоростью $V \geq 16$ м/с (менее 1%). Преобладают ветры северного и северо-западного направлений (18—19%). Наибольшие скорости (21—25 м/с) наблюдаются при штормах северного (0,034%), северо-восточного, восточного и северо-западного (0,007%) направлений.

Границы районов определялись различными методами. В частности, характеристики ветра для района п-ова Челекен получены следующим образом. Данные о ветре, наблюдаемом на ГМС Челекен, расположенной в 2 км от берега, разбивались на периоды с однородными направлениями и градациями скоростей ветра. За эти же периоды выбирались и атмосферное давление на станциях, расположенных на западном и восточном побережье Среднего и Южного Каспия. Ряд наблюдений, составивший около 20 лет, дает возможность получить достаточно надежные статистические характеристики ветра. Такое обобщение выборок позволило определить распределение ветра в различных районах береговой полосы Среднего и Южного Каспия при той или иной ветровой ситуации в районе п-ова Челекен. Анализ ветровых условий в этом районе при ветрах юго-восточного и северо-западного направлений дал возможность выделить область с идентичными ветровыми условиями на участке побережья от о. Огурчинского на юге до зал. Кара-Богаз-Гол на севере [397].

В северной мелководной части моря по ветровым условиям также можно выделить 2 района: восточный (8), представляющий мелководное море с наибольшими глубинами в центральной части (Уральская бороздка), и западный (7), напоминающий открытый залив, который на севере переходит в мелководную зону предустьевого взморья р. Волги. В восточном районе развитие волн хорошо согласуется с ветром и зависит от уровня моря, в западном — размеры волн увеличиваются с севера на юг в сторону больших глубин.

13.3. Синоптические условия штормовых ситуаций, пути циклонов и антициклонов

Каспийское море находится в зоне постоянного взаимодействия холодных полярных и теплых субтропических масс воздуха, что способствует интенсивной циклонической деятельности. Все многообразие синоптических процессов можно свести к конечному числу типовых траекторий антициклонов и циклонов.

Существует несколько типизаций атмосферных процессов применительно к условиям погоды Кавказа и Каспийского моря. Наиболее обоснована типизация А. А. Мадат-заде [256, 258], который принял за основу положения Б. П. Мультановского о центрах действия атмосферы. Типизация проведена на основании анализа сборно-кинематических карт, ежедневных синоптических карт и карт барической топографии. Поскольку многообразие типов (и подтипов) создает определенные

трудности при практическом использовании, в оперативной работе пользуются несколько упрощенной схемой [140]. Выделено 5 типов крупномасштабных процессов, оказывающих непосредственное влияние на направление и скорость ветра над Каспийским морем.

Схема [158] учитывает классификацию синоптических процессов А. А. Мадат-заде (рис. 13.3), но с некоторой корректировкой и дополнением.

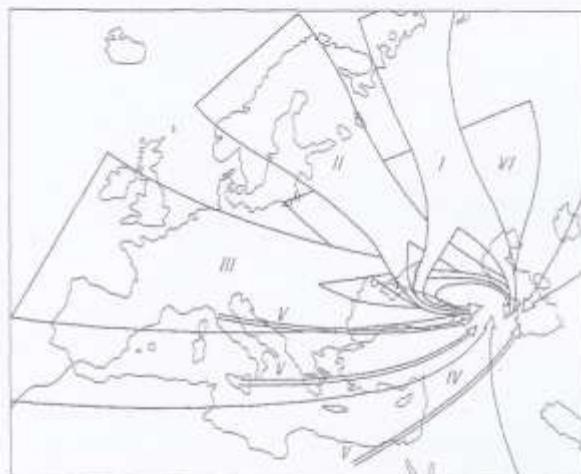


Рис. 13.3. Типы атмосферной циркуляции по А. А. Мадат-заде (158).

В результате анализа 385 случаев (1955—1964 гг.) выделены следующие типы синоптических процессов:

- I — воздействие азорского антициклона;
- II — воздействие скандинавских антициклонов;
- III — воздействие карских антициклонов;
- IV — юго-западная периферия антициклонов;
- V — циклоническая деятельность.

Ясно выраженных и продолжительных антициклонических процессов на Каспии не бывает. Преобладает влияние отрогов антициклонических систем, перемещающихся с более северных широт (табл. 13.2). В подавляющем большинстве случаев возникновение штормов на Каспии связано с про-

Таблица 13.2

Повторяемость типов атмосферных процессов

Номер типа	Тип процесса	Повторяемость	
		число случаев	%
I	Воздействие азорского антициклона	76	20
II	Воздействие скандинавских антициклонов	68	18
III	Воздействие карских антициклонов	33	9
IV	Юго-западная периферия антициклонов	94	24
V	Циклоническая деятельность	114	29
	Сумма	385	100

рывами на Каспий ядер отрогов азорского и полярных антициклонов (47 %). Штормы циклонического происхождения более редки (29 %) и охватывают меньшую площадь моря.

Развитие сильных северо-западных ветров при воздействии азорского антициклона обусловлено его перемещением по траектории типа I (рис. 13.4 a). Ядра или гребни с Атлантики через

Кавказ, Каспий и в последующем на западные районы Казахстана по траектории IVa. Смещение антициклонов с северо-запада на юг Урала происходит по траектории IVb (рис. 13.4 б). Траектория IVb отражает воздействие сибирского антициклона.

Основные сведения о типах синоптических процессов для Среднего Каспия приводятся

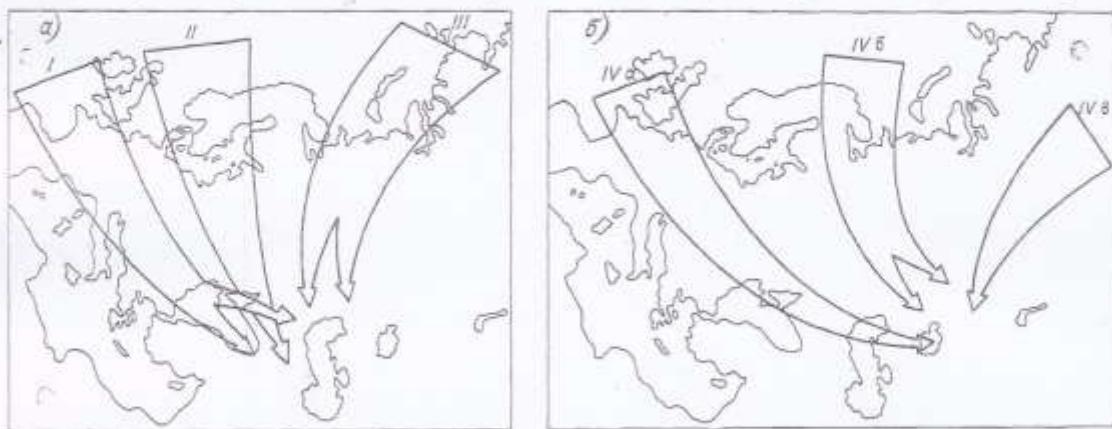


Рис. 13.4. Пути перемещения «штормовых» антициклонов, вызывающих штормы северных (а), южных и восточных (б) румбов.

Бискайский залив обычно перемещаются по северным районам Альпийского и Балканского полуостровов или через Центральную Европу на Черное море.

Возникновение штормовой деятельности под воздействием скандинавских антициклонов связано с их перемещением по траектории типа II. Пути перемещения областей высокого давления из Арктического бассейна и из восточных районов группируются в пучки траекторий типа III (рис. 13.4 а).

Несколько иная картина наблюдается при рассмотрении путей антициклонов, вызывающих штормы южных и восточных румбов (рис. 13.4 б). Барические максимумы с Атлантики перемещаются через Центральную Европу, Украину на Северный

в табл. 13.2 по данным работы [140]. В ней автор за один случай шторма принимал ветер со скоростью более 12 м/с и продолжительностью не менее 6 ч.

Процессы типа I встречаются во все сезоны года (23–27 %) и вызывают сильные северные и северо-западные ветры, возникающие сначала на западном побережье Среднего Каспия. Преобладают ветры силой 8–9 баллов (51 %). Как и на западном побережье, на восточном штормы достигают 8–9 баллов, но значительно чаще отмечается усиление ветра до 6–7 баллов (41 %). Вероятность штормов северных направлений силой 10 баллов и более на западном побережье составляет 14 %, на восточном — вдвое меньше (табл. 13.3).

Таблица 13.3

Повторяемость (число случаев/%) типов атмосферных процессов, характеризующих «штормовые» антициклионы с сильными ветрами северных направлений

Тип процесса	Зима	Весна	Лето	Осень	Западное побережье						Восточное побережье						Итого за год	
					Сила ветра, балл			Продолжительность шторма, ч			Сила ветра, балл			Продолжительность шторма, ч				
					6–7	8–9	10 и более	12–24	25–48	48 и более	6–7	8–9	10 и более	12–24	25–48	48 и более		
I	20 27	18 23	19 25	19 25	22 29	39 51	15 20	38 50	27 36	11 14	31 41	40 52	5 7	48 63	28 37	— 43	76 43	
II	24 35	10 15	10 15	24 35	— 54	37 46	31 51	35 34	23 31	10 15	21 47	32 22	15 22	42 62	21 31	5 7	68 38	
III	11 33	12 35	2 5	8 26	— 73	24 27	9 12	12 36	5 49	11 15	20 33	2 61	2 6	21 64	10 30	2 6	33 19	
Итого	55 31	40 22	31 17	51 30	22 12	100 57	55 31	85 45	66 37	26 15	63 36	92 52	22 12	111 63	59 33	7 4	177 100	

Примечание. В итоговых графах за 100 % бралось число случаев, когда наблюдались все три типа атмосферных процессов, равное 385.

Для типа II характерно смещение антициклона с Гренландии или со Скандинавского полуострова на центральные районы европейской части страны с последующим распространением гребней через Украину, Черное море на Северный Кавказ. Преобладает он осенью и зимой. На западном побережье Среднего Каспия ветер усиливается до 10 баллов и более в 46 % рассматриваемых случаев, на восточном — в 22 %. Сильные северо-западные ветры на западе исследуемого района в 51 % случаев продолжаются менее суток, в 15 % — более двух суток и в 34 % — от 25 до 48 ч. На восточном побережье наиболее часты штормы длительностью 12—24 ч (62 %), а вероятность штормов продолжительностью более двух суток составляет 7 % (см. табл. 13.3).

Главной чертой процессов типа III является резкое нарушение западно-восточного переноса в умеренных широтах. Смещение антициклонов или гребней по ультраполярной оси на европейскую часть страны в некоторых случаях может вызвать на акватории Среднего Каспия возникновение штормов северных и северо-восточных румбов. Синоптические процессы у поверхности земли за двое суток до начала усиления северных ветров характеризуются циклонической деятельностью над южными широтами. Отдельные циклоны, возникающие на полярном фронте, продвигаясь к востоку и северо-востоку, обусловливают со временем понижение давления над Закавказьем и южной частью Каспийского моря. От антициклона над Карским морем или Западной Сибирью через Казахстан распространяется усиливающийся гребень на европейскую часть страны.

Развитие северных штормов происходит вследствие образования на южной периферии гребня в поле почти прямолинейных изобар небольшого отрога, ось которого почти перпендикулярна к оси Главного Кавказского хребта. В связи с этим к западу от Северного и Среднего Каспия ветры восточных румбов сменяются северными и в районы Северного Кавказа усиливается адвекция (приток) холода с восточных районов европейской части страны. Одновременно над Закавказьем, Средним и Южным Каспием активизируется циклоническая деятельность. Барический градиент на западе Среднего Каспия увеличивается и со временем холодный воздух под воздействием орографии с большим ускорением устремляется в тыл отходящего к востоку циклона. Обычно при таких процессах штормовая деятельность развивается активно и охватывает все Каспийское море.

Менее интенсивные северные штормы при ультраполярной направленности процессов наблюдаются в случаях, когда отрог сибирского антициклона через Украину ориентируется на юго-восток Западной Европы, огибая изолированный малоподвижный неглубокий циклон на северо-востоке Черного моря. Продвижению этого циклона препятствует отрог Сибирского максимума, находящегося перед ним.

На Северный Кавказ гребень распространяется с юго-запада через Малую Азию, в связи с чем адвекция холода сюда ослаблена. Смещение же гребня на исследуемый район происходит при отходе частного малоактивного циклона с Каспия на Туркмению или на юго-западные районы Ка-

захстана. Между тылом отходящего циклона и передней частью приземного гребня возникает зона увеличенных барических градиентов и усиливается северо-западный ветер; на северо-востоке Среднего Каспия ветер может даже принять западное направление. Сила шторма зависит от глубины циклона над морем.

Усиления северо-западного ветра при типе III обычно кратковременны и шторм не получает большого развития. Это объясняется тем, что область роста давления охватывает весь Кавказ и быстро распространяется на Каспийское море, препятствуя сохранению увеличенных барических градиентов, а следовательно, и дальнейшему развитию шторма. Барический градиент на западе Среднего Каспия при активных процессах иногда достигает 8—9 гПа на 300 км и северо-западный ветер усиливается до 10—11 баллов в районе Альшеронского полуострова. Такие случаи наблюдаются довольно редко. Большой частью ветер усиливается до 8—9 баллов (67 %). Усиление ветров северных направлений до 10 баллов и более в исследуемом районе возможно в 27 % случаев. Штормовая деятельность чаще всего продолжается от 1 до 2 сут на всей акватории Среднего Каспия (см. табл. 13.3).

Тип IV — юго-западная периферия антициклонов — обуславливает возникновение сильных ветров восточных и юго-восточных направлений. Антициклоны из районов формирования довольно быстро перемещаются на юг Урала и Западный Казахстан, где становятся малоподвижными. Взаимодействие антициклона с циклоном над Средним Каспием способствует возникновению значительных барических градиентов и установлению восточных направлений ветра.

Высотное барическое поле может иметь разновидности, связанные с ориентировкой высотных гребней. Первая разновидность — группа процессов IVa — характеризуется стационаризацией антициклона над Западным Казахстаном. Вначале ветры усиливаются в Махачкале, а через 12—14 ч распространяются на восточное побережье. Сила ветра чаще составляет 8—9 баллов (46 %). В 52 % случаев штормы продолжаются от 12 до 24 ч, в 3 % — 1—2 сут. Вероятность штормов продолжительностью более 2 сут равна 15 % (табл. 13.4). При данной группе процессов из районов Малой Азии через Кавказ на южные области европейской части страны распространяется высотный гребень. Нередко над югом Апеннинского или Балканского полуострова возникает частный циклон с наклонной вертикальной осью.

При второй группе процессов (IVb) высотное барическое поле на картах AT₇₀₀ и AT₅₀₀ характеризуется хорошо выраженным гребнем, протянувшимся с Малой Азией через европейскую часть страны на Скандинавский полуостров. Приземный антициклон, смещающийся со Скандинавского полуострова, располагается перед штормом обычно на юге Уральского хребта, гребень же его ориентируется на Каспий и Казахстан. Нередко в районе Аральского моря в гребне формируется молодой антициклон, а старый вступает в стадию разрушения.

Двухсторонняя адвекция — тепла и холода — усиливает процессы циклогенеза над Малой Азией.

Таблица 13.4

Повторяемость (число случаев/%) атмосферных процессов, приводящих к сильным ветрам восточного и юго-восточного направлений

Группа процессов типа IV	Зима	Весна	Лето	Осень	Сила ветра, балл			Продолжительность шторма, ч			Итого за год
					6—7	8—9	10 и более	12—24	25—48	48 и более	
IVa	10 30	6 19	8 24	9 27	10 30	16 48	7 22	17 52	11 33	5 15	33 35
IVb	6 17	14 40	2 6	13 37	2 6	21 60	12 34	9 26	15 43	11 31	35 37
IVc	14 54	4 15	— —	8 31	2 8	14 54	10 38	6 23	12 46	8 31	26 28
Итого	30 32	24 25	10 11	30 32	14 15	51 54	29 31	32 34	38 41	24 25	94 100

Примечание. В итоговых графах за 100 % бралось общее число случаев всех подтипов атмосферного процесса типа IV.

Со временем область падения давления распространяется на Северный Кавказ, в то время как на востоке Каспия на западной периферии гребня давление растет. Совместное действие обеих барических систем приводит к увеличению градиентов до 6—7 гПа на 300 км и более над Средним Каспием, что способствует здесь развитию юго-восточных штормов. Процессы IVb летом почти не встречаются (6%). Более часто сильные юго-восточные ветры возникают в середине весны и осенью (см. табл. 13.4). Сила ветра чаще достигает 8—9 баллов (60%) и значительно реже 6—7 баллов (6%). Штормы силой 10 баллов и более наблюдаются в 34% случаев. Продолжительность штормов в 74% превышает 1—2 сут (см. табл. 13.4). В Северном Каспии при этом типе процессов наблюдаются штормовые ветры восточного направления.

Третья группа процессов (IVc) характеризуется стационарированием антициклонов над Западной Сибирью. Процессы этой группы более часто наблюдаются с ноября по январь, а в начале весны почти в 2 раза реже. Летом усиление ветров юго-восточных румбов за исследуемый период не обнаружено (см. табл. 13.4). Скорость ветра в 54% случаев превышает 8, в 38% — 10 баллов. Почти половина всех штормов имеет продолжительность 1—2 сут, около одной трети — более 2 сут и около одной четверти — менее 1 сут (см. табл. 13.4).

В заключение в отношении антициклонической деятельности на Каспийском море (типы I—IV) следует отметить, что скорость ветра зависит как от степени развития области высокого давления (чем она мощнее, тем выше и скорость ветра), так и от положения и глубины циклона или области низкого давления над Каспием и Кавказом.

По данным работы [223] «...в 90% случаев смещению области высокого давления предшествовало смещение циклонов». При наличии же только области высокого давления над Каспием район Махачкалы является единственным, где наблюдается штормовой ветер (до 16 м/с).

В отношении циклонической деятельности (тип V) можно отметить, что на ветровой режим Каспийского моря оказывает влияние как местный

циклогенез, так и смещение циклонов из других районов. Циклонические процессы развиваются главным образом летом над сушею. На Каспии выделяются два подтипа, имеющие чисто местный характер: 1) термический минимум над Азербайджаном; 2) термический минимум над районами Средней Азии.

Первый из них образуется вследствие сильного дневного прогревания суши в низменных районах Азербайджана, второй — вследствие сильного прогрева в теплое время года в низменных районах Средней Азии.

При первом подтипе наблюдается развитие сильных и штормовых ветров лишь в районе о. Зюйд-островный Култук и его юго-западной части моря, при втором — в районе Красноводска и в юго-восточной части моря [258]. При определенной синоптической ситуации возникают затяжные сильные ветры в южной части моря. Природа циклонов над Каспием многообразна. Чаще всего их появление связано с выходом южных циклонов. Прогноз синоптических процессов и соответствующих им условий погоды при выходе южных циклонов вызывает большие трудности в связи с разнообразием орографии и недостаточностью сведений по зарубежной территории.

В зависимости от направления перемещения областей низкого давления можно выделить четыре варианта появления замкнутой циклонической циркуляции над Средним Каспием. Пути перемещения циклонов в сторону Каспийского моря по данным [140] показаны на рис. 13.5.

Вариант 1. К нему относятся циклоны, перемещающиеся с северных и центральных районов Западной Европы на юго-восток европейской части страны и получившие название «ныряющих». Эти приземные циклоны перемещаются со значительными скоростями порядка 60—80 км/ч. В качестве типовой ситуации, при которой осуществляется «ныряние» циклона на Каспий, может служить шторм 27—28 января 1964 г.

Вариант 2 отражает выход южных циклонов на восток Черного моря с последующим перемещением на Северный Кавказ и далее на Средний Каспий. Этот тип процессов имеет наибольшую

повторяемость и встречается в любое время года, однако чаще в холодный период (57 %) (табл. 13.5).

Вариант 3 — частный циклогенез над Средним Каспиям. Возникновение замкнутой циклонической циркуляции над Средним Каспием наблюдается в ложбинках, ориентированных по меридиану с высоких широт на юг европейской части страны и

свой деятельности определяется интенсивностью адвекции холода на низкие широты и контрастами температуры в нижней части тропосферы.

Как отмечалось, циклоническая деятельность наиболее часто связана с южными циклонами. Циклон выходит на юго-восток Каспийского моря. Дальнейшее его перемещение происходит либо в сторону Аральского моря, либо на восточное по-

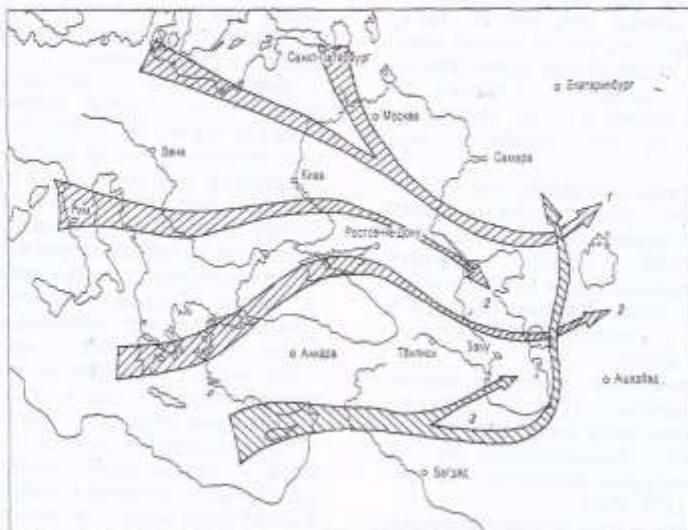


Рис. 13.5. Пути движения циклонов в сторону Каспийского моря.

довольно быстро продвигающихся к востоку. В тылу ложбин происходит активное вторжение холода на Северный Кавказ, а на восток Каспия выносится тепло из низких широт. Появление циклона над Каспием в этих ложбинках в основном встречается зимой с вероятностью 4 % общего числа случаев (см. табл. 13.5).

Вариант 4 — выход циклонов из низких широт на Южный Каспий. Приземные циклоны могут возникать над Малой Азией, востоком Средиземноморья или Месопотамией. Активность циклониче-

бережье Каспия, где в его тылу устанавливаются северные ветры. В редких случаях циклон выходит на Средний Каспий, откуда в северном направлении продолжает перемещаться на юго-восточные районы европейской части страны. Интенсивное развитие такого циклона происходит при вторжении холода на Северный Кавказ и западное побережье Среднего Каспия из более высоких широт.

Иногда, подходя к Малому Кавказу и горным массивам, расположенным к югу от него, южный циклон при своем перемещении расчленяется на

Таблица 13.5

Повторяемость (число случаев/%) вариантов циклонической деятельности над Средним Каспием

Вариант-типа V	Зима	Весна	Лето	Осень	Сила ветра, балл			Продолжительность шторма, ч			Итого за год
					6—7	8—9	10 и более	12—24	25—48	48 и более	
1	9 36	1 6	—	6 38	2 13	9 56	5 31	4 25	10 52	2 13	16 14
	11 24	12 25	8 17	16 34	14 30	26 55	7 15	15 32	25 53	7 15	47 42
2	4 31	5 38	1 8	3 23	4 31	7 54	2 15	7 54	5 38	1 8	13 11
	12 32	10 26	6 16	10 26	11 29	19 50	8 21	12 32	18 47	8 21	38 33
Итого	36 32	27 24	15 13	35 31	31 27	61 54	22 19	38 33	58 51	18 16	114 100

Примечание. В итоговых графах за 100 % принималось число всех вариантов типа V.

2—3 центра. Один из них выходит на Южный Каспий, другой — на Средний, а третий — небольшой по размерам — можно отметить над центральной степной зоной Азербайджана. Такие случаи наблюдаются редко — за 1955—1964 гг. они отмечались всего дважды.

Район зарождения южного циклона и его траекторию не всегда возможно установить. Обычно он обнаруживается после появления над Месопотамией. Выходы циклона на юг Каспия встречаются в любое время года, но чаще (58 %) в холодный период (см. табл. 13.5).

13.4. Режим ветра

Составленные ранее схемы полей ветра [23, 175, 256] по ряду причин (отсутствие статистических характеристик, неучет орографического эффекта, учет только господствующего переноса и т. д.), не могут быть использованы для детального освещения режима ветра и волн в Каспийском море. Для этой цели лучше подходит специализированная типизация ветровых условий, составленная Д. Ш. Исмаил-заде и М. У. Вапняром. Ее принципиальное отличие от предложенных ранее заключается в том, что за основу типа и подтипа ветрового поля принимается направление и скорость ветра в тех районах моря, для которых требуется провести расчет гидрологических характеристик.

Методика типизации ветровых условий над морем основана на предположении, что определенным направлениям и скоростям ветра в заданном районе соответствует определенное число вариантов их распределения над всей акваторией моря. С целью выявления таких вариантов в соответствии с методикой ГОИНа проанализированы синоптические карты (кольцевки) Гидрометфона Азергидромета за десятилетие (1967—1976) — всего 14 600 карт. Для каждого из выделенных районов проведена группировка карт по типам (направлениям) ветра по 8 основным румбам. Если на синоптической карте невозможно определить направление ветра, что характерно для малоградиентного поля, то она относится к типу «0». Внутри каждого типа карт, соответствующих одноковому направлению ветра, они дополнительно распределены на подгруппы (по градациям скорости ветра): 0—5, 6—10, 11—15, 16—20, 21—25 и более 25 м/с.

По синоптическим картам, расположенным в хронологической последовательности, составлен

календарь погоды с кратким указанием синоптической ситуации для всех шести районов моря. На его основе составлены таблицы «Число карт и число случаев различной продолжительности непрерывного действия ветра для всех типов и градаций скорости ветра». Эти таблицы позволяют получить повторяемость типов и градаций скорости для всех шести районов как от числа всех карт, так и от числа соответствующих данному типу ветра. Режимные характеристики ветра для всего моря приведены в табл. 13.6—13.8. Повторяемость скоростей ветра в них дана от числа всех случаев.

Сильные и жестокие штормы наблюдаются преимущественно при северных направлениях ветра. Ветры скоростью более 25 м/с при северном направлении наблюдаются в большинстве районов (1—5), при северо-западном — в четырех (1—4). Юго-восточные ветры скоростью более 25 м/с характерны только для района Махачкала—Дербент (1). Для северо-восточного ветра во всех районах (и бурных, и относительно спокойных) наибольшие скорости составляют 21—25, для западного — 16—20 м/с. Наименьшие скорости — 11—15 м/с — имеют место при восточном ветре в Апшеронском районе (3), при юго-восточном — в юго-западной части моря (5) и при юго-западном — в районе Махачкала—Дербент. Градации наибольших скоростей ветра по направлениям для различных районов Среднего и Южного Каспия сведены в табл. 13.6.

Наибольшая повторяемость слабого ветра ($V \leq 5$ м/с) характерна для северной части Среднего Каспия (юго-восточного направления 13 %, северо-западного — 9,8 % в районе Махачкала—Дербент и юго-восточного — 8,8 % в районе Форт-Шевченко). В самых спокойных районах (юго-западная и юго-восточная части моря) повторяемость таких ветров при наиболее штормовых направлениях ветра (северное, северо-восточное, юго-восточное и северо-западное) равна 8—9 % (см. табл. 13.8). Наибольшая повторяемость ветра со скоростью 6—10 м/с также наблюдается в северной части Среднего Каспия (при юго-восточном направлении 12 % и северо-западном — 11 % в районе Махачкала—Дербент). Практически с той же повторяемостью (при северном направлении и северо-восточном — 12 %) наблюдаются такие скорости в двух смежных районах — Апшеронском и в юго-западной части моря соответственно (см. табл. 13.7).

Штормы на Каспийском море бывают часто и

Градации наибольших скоростей ветра (м/с) по направлениям в различных районах Среднего и Южного Каспия

Район	Направление ветра								
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
1	25	21—25	16—20	25	21—25	11—15	16—20	25	
2	25	21—25	21—25	21—25	21—25	16—20	16—20	25	
3	25	21—25	11—15	16—20	21—25	21—25	16—20	25	
4	25	21—25	21—25	21—25	21—25	16—20	16—20	25	
5	25	21—25	16—20	11—15	16—20	21—25	16—20	21—25	
6	21—25	21—25	21—25	16—20	16—20	16—20	16—20	21—25	

Таблица 13.7

Повторяемость (%) скоростей ветра по направлениям в различных районах Среднего и Южного Каспия

Район	Направление ветра								Сумма
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
$V = 1 \dots 5 \text{ м/с}$									
1	5,5	3,8	3,4	13,0	1,4	1,0	1,2	9,8	39,1
2	6,3	6,5	4,2	8,8	1,9	1,4	1,6	6,1	36,8
3	6,0	4,5	3,6	6,2	3,3	2,9	1,8	4,8	33,1
4	7,0	4,9	5,4	6,7	2,3	2,2	2,4	7,2	34,1
5	4,2	8,0	5,5	7,6	5,2	4,0	3,5	3,7	41,7
6	7,9	4,7	4,6	7,2	2,9	2,4	2,7	8,7	41,1
$V = 6 \dots 10 \text{ м/с}$									
1	3,9	2,8	1,4	12,0	0,75	0,31	0,47	11,0	32,62
2	5,6	5,2	2,4	9,9	1,20	0,79	0,83	7,0	32,92
3	11,0	6,3	2,6	4,9	3,60	3,20	0,99	7,7	40,29
4	7,4	6,4	5,0	5,7	1,70	1,60	1,40	7,2	36,40
5	5,2	12,0	2,6	2,5	2,20	2,30	2,60	2,5	31,90
6	7,8	4,3	4,2	5,5	1,40	1,30	1,00	8,4	33,90
$V = 11 \dots 15 \text{ м/с}$									
1	1,6	0,60	0,16	4,00	0,14	0,014	0,088	3,70	10,29
2	2,3	1,50	0,52	3,80	0,34	0,100	0,140	3,00	11,70
3	5,4	1,70	0,13	0,66	0,78	1,100	0,110	4,30	14,18
4	2,7	1,20	1,00	1,20	0,35	0,390	0,360	2,00	9,20
5	3,2	5,00	0,14	0,10	0,13	0,340	0,380	0,42	9,71
6	2,3	0,97	0,59	0,85	0,14	0,180	0,150	1,60	6,78
$V = 16 \dots 20 \text{ м/с}$									
1	0,46	0,120	0,024	0,075	0,060	—	0,007	0,88	2,31
2	0,48	0,260	0,120	0,620	0,004	0,010	0,010	0,45	1,99
3	1,57	0,200	—	0,040	0,050	0,075	0,034	1,40	3,37
4	0,50	0,140	0,040	0,120	0,060	0,007	0,030	0,25	1,15
5	1,20	1,100	0,140	—	0,007	0,013	0,010	0,09	2,56
6	0,34	0,075	0,021	0,048	0,034	0,014	0,007	0,16	0,70
$V = 21 \dots 25 \text{ м/с}$									
1	0,010	0,014	—	0,18	0,020	—	—	0,114	0,34
2	0,110	0,030	0,007	0,11	0,020	—	—	0,060	0,34
3	0,130	0,027	—	—	0,007	0,007	—	0,150	0,32
4	0,060	0,020	0,010	0,02	0,007	—	—	0,020	0,14
5	0,100	0,060	—	—	—	0,007	—	0,100	0,18
6	0,034	0,007	0,007	—	—	—	0,007	0,06	—
$V > 25 \text{ м/с}$									
1	0,006	—	—	—	—	—	0,030	0,06	
2	0,007	—	—	—	—	—	0,020	0,03	
3	0,021	—	—	—	—	—	0,014	0,04	
4	0,020	—	—	—	—	—	0,007	0,03	
5	0,008	—	—	—	—	—	—	0,01	
6	—	—	—	—	—	—	—	—	

в любое время года. В связи с сочетанием орографического и мысового эффектов Апшеронский район более других подвержен действию сильных и штормовых ветров. Повторяемость скоростей 11—15 м/с здесь наибольшая — 5,4 при северном и 4,3 % при северо-западном направлениях ветра. Несколько менее выражена штормовая деятельность в районе Махачкала — Дербент (1), где повторяемость штормовых ветров северного и северо-западного направлений составляет 1,6 и 3,7 % соответственно. В этом районе преобладают ветры двух прямо противоположных направлений — северо-западного и юго-восточного, при которых повторяемость скоростей 11—15 м/с составляет 3,7 и 4 % соответственно. Общая повторяемость сильных ветров скоростью 11—15 м/с для рай-

Таблица 13.8

Повторяемость (%) штиля и штормовых ветров по градациям скорости (м/с) для различных районов Среднего и Южного Каспия

Район	Все градации скорости ветра, без штиля	Безградиентное поле, тип «0» (штиль)	11—15	16—20	21—25	> 25
1	85	15	10,29	2,31	0,34	0,06
2	84	16	11,70	1,99	0,34	0,04
3	91	9	14,18	3,37	0,32	0,04
4	86	14	9,20	1,15	0,14	0,03
5	86	14	9,71	2,56	0,18	0,01
6	83	17	6,78	0,70	0,06	—

она 1 (при северном, северо-восточном и северо-западном направлениях) равна 9,3 %, а в районе 3 повторяемость таких ветров двух направлений (северного и северо-западного) составляет 9,7 %.

В районах 2 и 4 (Форт-Шевченко — Кендерли и Кара-Богаз-Гол — Красноводск) повторяемость северных и северо-западных ветров со скоростью 11—15 м/с немного меньше — 5,3 и 4,7 % соответственно. Юго-восточные ветры наблюдаются чаще, чем в Апшеронском районе, и реже, чем в районе Махачкала — Дербент: 3,8 в районе 2 и 1,2 % в районе 4, в то время как в Апшеронском районе повторяемость их не достигает и 1 % (0,66 %).

Чем больше скорость ветра, тем реже она наблюдается, но для всех градаций скорости сильного штормового ветра последовательность районов по бурности ветра остается той же: наиболее штормовой — район 3, и затем следуют районы 1, 2 и 4 (см. табл. 13.8). При жестоких штормах ($V > 25 \text{ м/с}$) вероятность появления северных и северо-западных ветров в смежных по параллели районах несколько выше для западного побережья (0,035—0,056 %), чем для восточного (0,027 %). По жестоким штормам юго-восточного направления выделяется район Махачкалы (0,02 %).

Анализ синоптических карт и других источников показал, что наиболее штормовыми ветрами являются северо-западные и юго-восточные. Северо-западные ветры (как и северные жестокие штормы) охватывают почти все море, это так называемые сквозные штормы. Сильнее всего они проявляются в районах Махачкала — Дербент, Апшеронском и уп-ова Челекен. Один из тот же шторм (в частности, имевший место 12 октября 1976 г. и принятый за типовой для районов 1 и 3) является типовым для северо-западного ветра скоростью более 25 м/с, а для районов 4 и 6 (зал. Кара-Богаз-Гол, п-ов Челекен) — для ветра того же направления скоростью 21—25 м/с.

При любом типе атмосферных процессов, создающих северо-западные и северные поля ветра, максимальная скорость ветра в Апшеронском районе выше, чем в Махачкале [268] и других районах.

Ветры северной четверти горизонта (северные, северо-восточные и северо-западные) наблюдаются наиболее часто в Апшеронском районе (55 %), Красноводск — зал. Кара-Богаз-Гол (48 %), Форт-Шевченко — Кендерли (45 %) и Махачкала — Дербент (44 %) (см. табл. 13.7). Повторяемость южных ветров (юго-восточного, южного и юго-запад-

ного) меньше — от 34 в Махачкале до 22 % в районе 4.

О степени подверженности отдельных районов штормам можно в общих чертах судить и по характеру распределения среднегодовых скоростей ветра. По данным [230] наибольшие средние скорости ветра наблюдаются в районе Апшеронского полуострова (6,2—8,0 м/с). С давних времен сильные и штормовые северо-западные и северные ветры на Апшеронском полуострове и в прилегающих к нему районах Среднего и Южного Каспия называют бакинским нордом. Его отличительная особенность состоит в том, что обычно он бывает сильнее градиентного ветра. Такая ситуация создается вследствие того, что севернее Апшеронского полуострова отроги Главного Кавказского хребта тянутся параллельно берегу. Воздушные потоки обтекают Апшеронский полуостров, и линии тока сходятся у его оконечности.

В холодное полугодие среднемесячные скорости ветра близки к максимальным значениям средних скоростей на побережье Каспийского моря (7,0—7,2 м/с в районе Нефтяных Камней). В районе Махачкалы не так сильно, как в Апшеронском районе, выражена штормовая деятельность: среднегодовая скорость ветра на побережье составляет 5,7—6,0 м/с. К югу от п-ова Мангышлак среднегодовые скорости ветра равны 5,0—6,3 м/с с максимумом в районах Форт-Шевченко и зал. Карабогаз-Гол. В Южном Каспии штормы редки. Закономерное уменьшение скорости ветра к югу от Апшеронского полуострова и относительно малые скорости ветра на восточном побережье свидетельствуют о наличии спокойных зон на юге Каспия.

Для Среднего и Южного Каспия распределение скоростей ветра по направлениям и градациям скорости получено по десятилетнему ряду (1967—1976) синоптических карт (кольцочек), а для Северного Каспия такой архив не сохранился. В связи с этим типовые поля ветра для Северного Каспия построены на основе ежедневных карт за 09 ч, составленных в Астраханской ГМО, с привлечением кольцочек из Гидрометфонда Азергидромета за тот же десятилетний период. Вероятностные характеристики этих полей определены по наблюдениям на четырех основных гидрометстанциях Северного Каспия. Две из них находятся в его западной части — это станции Остров Тюлений и Искусственный остров и две в восточной — Остров Кулалы и Пешной.

Отличительной особенностью распределения ветра в Северном Каспии является преобладание в течение всего года, особенно в зимние месяцы, ветров восточного направления (табл. 13.9). Зимой их повторяемость приближается к 30, а в июне и в июле — к 10 %. Такой же годовой ход повторяемости характерен и для юго-восточного ветра, что по-видимому, связано с воздействием сибирского антициклона, который достигает максимального развития зимой и почти исчезает летом. В летние месяцы (июнь, июль) увеличивается повторяемость западных, северо-западных и северных ветров. Повторяемость северо-восточного ветра в течение всего года меняется в небольших пределах за исключением декабря, когда она минимальна (8,4 %). Значительно реже других в Северном Каспии наблюдаются ветры южного и юго-западного направлений. Наибольшая повторяемость штилей отмечается в летние месяцы и начале осени (июль, август, сентябрь, октябрь).

По распределению скоростей ветра западная часть Северного Каспия несколько отличается от восточной. Особенно это заметно по данным ГМС Пешной, так как ГМС Остров Кулалы хотя и относена к восточной части Северного Каспия, но практически ее положение характеризует его среднюю часть. Повторяемость скоростей восточного ветра 1—5 м/с в западной части незначительно больше, чем в восточной (табл. 13.10), а повторяемость скоростей восточного ветра 6—10 м/с на ст. Остров Тюлений более чем в 2,5 раза выше, чем на ст. Пешной (см. табл. 13.10). Повторяемость западного и северо-западного ветров в западной части также больше, чем на востоке, а южные и особенно юго-западные ветры чаще наблюдаются в восточной части Северного Каспия.

Такая картина характерна для всех градаций скоростей ветра. Так, например, повторяемость восточного ветра градации 11—15 м/с в западной части больше, чем в восточной в 3 раза, а северо-западного ветра — в 6 раз (см. табл. 13.10).

Скорости ветра 16—20 м/с наблюдаются почти при всех его направлениях. Исключение составляют только южные ветры в западной и северные в восточной части Северного Каспия. Ветры скоростью 21—25 м/с отмечались большей частью при восточных, юго-восточных, западных и северо-западных ветрах в равной мере на западе и востоке района. Такая же картина складывается по

Таблица 13.9

Среднемесячная повторяемость (%) направлений ветра и штиля в Северном Каспии
(ГМС Остров Кулалы)

Направление ветра	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
С	6,6	5,3	8,0	6,6	9,3	12,9	17,7	12,5	13,1	6,2	6,8	5,9	8,9
СВ	14,4	16,4	16,7	12,7	12,9	16,9	17,4	18,3	12,6	11,1	10,6	8,4	13,8
В	28,9	34,6	29,9	22,6	18,7	11,9	10,8	20,0	21,9	22,1	27,9	29,8	22,9
ЮВ	13,3	11,3	9,9	12,5	8,8	4,4	4,2	6,1	12,1	12,8	16,9	17,5	10,4
Ю	3,3	4,8	3,2	10,4	6,8	3,6	2,7	3,5	4,9	3,4	5,8	3,0	3,8
ЮЗ	6,6	5,4	6,2	8,3	8,9	11,8	6,2	3,6	3,6	6,3	4,9	2,9	5,7
З	8,4	7,3	8,7	7,9	10,6	14,2	11,1	6,9	7,2	9,9	6,9	10,2	12,1
СЗ	11,2	6,9	9,1	10,4	12,0	14,2	16,3	13,1	8,6	14,8	9,8	13,7	11,5
Штиль	8,3	8,0	7,3	8,6	12,0	10,0	13,4	16,2	15,0	13,5	10,4	8,6	10,9

Таблица 13.10

Повторяемость (%) скоростей ветра V по направлениям и штиля в Северном Каспии

Станция	Направление ветра								Сумма	Штиль
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ		
$V = 1 \dots 5 \text{ м/с}$										
Остров Тюлений	4,0	4,1	11,1	6,7	3,3	3,2	4,6	5,4	42,4	13,1
Искусственный остров	3,8	12,1	13,1	6,3	3,8	2,7	5,9	6,6	54,3	15,5
Остров Кулалы	4,5	7,9	11,7	6,7	2,0	4,0	6,1	5,9	48,2	10,9
Пешной	5,8	7,3	9,2	8,1	4,4	7,3	6,7	6,0	54,8	14,3
$V = 6 \dots 10 \text{ м/с}$										
Остров Тюлений	2,0	4,1	13,1	6,7	0,9	0,7	4,0	5,8	37,3	—
Искусственный остров	1,0	4,2	10,0	2,4	0,4	0,7	3,5	3,8	26,0	—
Остров Кулалы	3,4	4,7	11,2	4,1	1,8	1,7	5,0	5,6	37,5	—
Пешной	2,8	2,5	4,9	5,8	1,2	4,2	3,8	2,5	27,7	—
$V = 11 \dots 15 \text{ м/с}$										
Остров Тюлений	0,2	0,3	1,8	1,3	0,10	0,10	0,9	1,2	5,9	—
Искусственный остров	0,1	0,4	1,0	0,3	0,01	0,04	0,6	0,6	3,1	—
Остров Кулалы	0,1	0,2	0,7	0,2	0,10	0,01	0,7	0,6	2,6	—
Пешной	0,2	0,2	0,6	0,6	0,10	0,30	0,6	0,2	2,6	—
$V = 16 \dots 20 \text{ м/с}$										
Остров Тюлений	0,02	0,02	0,3	0,30	—	0,01	0,20	0,40	1,25	—
Искусственный остров	0,01	0,3	0,4	0,04	—	—	0,10	0,20	1,05	—
Остров Кулалы	0,01	0,01	0,1	0,02	0,40	—	0,10	0,10	0,74	—
Пешной	—	—	0,1	0,10	0,02	0,10	0,03	0,03	0,38	—
$V = 21 \dots 25 \text{ м/с}$										
Остров Тюлений	—	—	0,01	0,01	—	—	0,01	0,01	0,04	—
Искусственный остров	0,01	—	0,01	0,01	—	—	0,01	0,01	0,05	—
Остров Кулалы	0,01	—	0,01	0,01	—	—	0,01	0,01	0,05	—
Пешной	—	—	0,01	0,01	—	—	0,02	0,01	0,05	—
$V > 25 \text{ м/с}$										
Остров Тюлений	—	—	0,01	0,01	—	—	0,01	0,01	0,04	—
Искусственный остров	—	—	—	0,01	—	—	0,01	0,01	0,03	—
Остров Кулалы	0,01	—	0,01	0,01	—	—	—	0,01	0,04	—
Пешной	—	—	0,01	0,01	—	—	—	0,01	0,03	—

повторяемости скоростей ветра, превышающих 25 м/с. Только при северо-восточных, южных и юго-западных ветрах скорость $V > 25 \text{ м/с}$ не наблюдалась. Северный ветер со скоростью 25 м/с отмечен один раз в районе о. Кулалы. Наибольшую повторяемость скорость $V > 25 \text{ м/с}$ имеет при ветрах восточного, юго-восточного и северо-западного направлений (см. табл. 13.10).

13.5. Режимное распределение скоростей ветра, высот и периодов волн

Для исследования волнового режима моря использовались как материалы наблюдений за волнением на станциях и постах, так и результаты расчета. Режим ветрового волнения в глубоком море определяется главным образом распределением скорости и направления преобладающих ветров. В прибрежной зоне он зависит, кроме того, от глубины моря, направления береговой черты относительно преобладающих ветров и рельефа дна. По этой причине элементы волн, определенные в каком-либо пункте прибрежной зоны, могут служить характеристикой волнения только для ограниченной акватории моря, непосредственно примыкающей к пункту наблюдения.

На побережье Каспийского моря расположено достаточно большое число гидрометеорологических станций, которые ведут наблюдения за волнением. Однако в основном эти наблюдения мало представительны для открытого моря, так как зачастую характеризуют волнение небольшого залива или бухты.

Более ценную информацию дают станции и посты, расположенные в районах морских нефтепромыслов на буровых платформах или эстакадах. Их положение в открытом море вдали от берега, а также применяемые на станциях приборы и методика наблюдений позволяют считать элементы волн, определяемые в этих условиях, наиболее надежными и достоверными.

Для анализа были отобраны материалы наблюдений на следующих станциях и постах (рис. 13.6): Изберг, Банка Дарвина, Остров Жилой (море), Нефтяные Камни (два пункта), Остров Песчаный, Остров Булла, Свиной остров, Челекен (море).

По данным этих станций, за исключением станций Банка Дарвина, Остров Жилой (море) и Остров Песчаный, вычислены режимные функции распределения высот и периодов волн, которые позволяют рассчитать возможные элементы волн в районах расположения станций. Особо следует отметить результаты исследования ветра и волне-

ния по наблюдениям на СГМС Нефтяные Камни. Для анализа брались измерения ветра, выполненные только с помощью аноморумбометра М-47.

В табл. 13.11 приведены результаты расчета повторяемости P и обеспеченности F скоростей



Рис. 13.6. Схема расположения гидрометрических станций и постов.

1 — Изберг; 2 — Банка Дарваза; 3 — Остров Жигалой; 4 — Нефтяные Камни; 5 — Остров Песчаный; 6 — Остров Будла; 7 — Синий остров; 8 — Челекен.

ветра для рядов продолжительностью 5, 6, 10, 17 лет за 1966—1982 гг. по 4-срочным наблюдениям и за 1976—1982 гг. по ежечасным. Десятилетний

ряд наблюдений выбран не случайно. Дело в том, что в УГМС Азербайджанской ССР в 1979 г. проведена типизация ветровых полей Каспийского моря по синоптическим картам за тот же период. По типовым полям ветра рассчитаны режимные функции распределения скорости ветра по многим пунктам на Каспийском море, в том числе для района ст. Нефтяные Камни.

Эмпирическая режимная функция распределения скоростей ветра аппроксимируется аналитической функцией вида [75]

$$F(V) = \exp [-\alpha (V/V_{0.5})^y], \quad (13.1)$$

где $\alpha = \ln 2 = 0.693$; $V_{0.5}$ — медианное значение скорости ветра.

На рис. 13.7 в виде точек нанесены значения эмпирической функции распределения скорости ветра, вычисленные по сгруппированным данным по 17-летнему ряду наблюдения (табл. 13.12). Все точки этого распределения хорошо спроямляются на функциональной сетке распределения (3.1) при $y = 1.78$. Также хорошо спроямляются эмпирические функции распределения скоростей ветра по выборкам за 5-, 6-, 10-летний периоды наблюдений и за 7-летний период по ежечасным наблюдениям. Отличие их заключается в том, что в зависимости от бурности периода, по которому сделана выборка, на графике они сдвигаются вправо или влево от функции, рассчитанной по всей выборке в целом.

Пунктирными линиями показаны доверительные интервалы для доверительной вероятности 0.95.

На рис. 13.8 крестиками показаны значения ветра за 10-летний ряд наблюдений (1968—1977) эмпирической функции распределения скоростей на СГМС Нефтяные Камни, а кружками — значения функции распределения, рассчитанной по типовым полям ветра за этот же период. Сплошная кривая на рисунке рассчитана по формуле (13.1). Хорошее совпадение натурных измерений с расчетной кривой (по крайней мере, в верхней ее части) позволяет сделать вывод, что типовые поля ветра представительны и могут с большой долей достоверности использоваться для расчета волн по от-

Таблица 13.11

Повторяемость $P(\%)$ и обеспеченность $F(\%)$ скорости ветра по наблюдениям на СГМС Нефтяные Камни для рядов продолжительностью 5, 6, 10 и 17 лет

Скорость ветра, м/с	1966—1977 гг.		1972—1976 гг.		1977—1982 гг.		1968—1977 гг.		1966—1982 гг.		1976—1982 * гг.	
	P	F	P	F								
0	3,7	100	0,70	100	0,55	100	2,3	100	2,0	100	0,36	100
1—5	38	96	46	99	46	99	41	98	42	98	45	99
6—10	37	59	39	53	39	54	38	57	38	56	40	55
11—14	13	22	9,7	14	11	14	12	19	11	17	11	15
15—17	5,5	9,2	2,5	3,8	2,3	3,7	4,1	6,8	3,7	6,0	2,5	3,9
18—20	2,6	3,7	1,0	1,3	1,0	1,4	2,0	2,7	1,7	2,3	0,75	0,97
21—22	0,49	1,15	0,17	0,26	0,19	0,35	0,36	0,78	0,31	0,66	0,095	0,20
13—24	0,35	0,66	0,077	0,077	0,12	0,16	0,26	0,42	0,20	0,35	0,078	0,10
25—26	0,15	0,31	—	—	0,043	0,043	0,083	0,16	0,077	0,15	0,022	0,025
27—28	0,14	0,16	—	—	—	—	0,059	0,077	0,060	0,070	0,0034	0,0034
> 28	0,024	0,024	—	—	—	—	0,018	0,018	0,010	0,010	—	—

Примечание. Значения обеспеченности приведены с точностью до 2-й значащей цифры, т. е. с точностью, приемлемой для данной скорости.

* По ежечасным наблюдениям.

крытым глубоководной акватории Каспийского моря. Различие же между кривыми вполне объясняется разными методами построения этих кри-

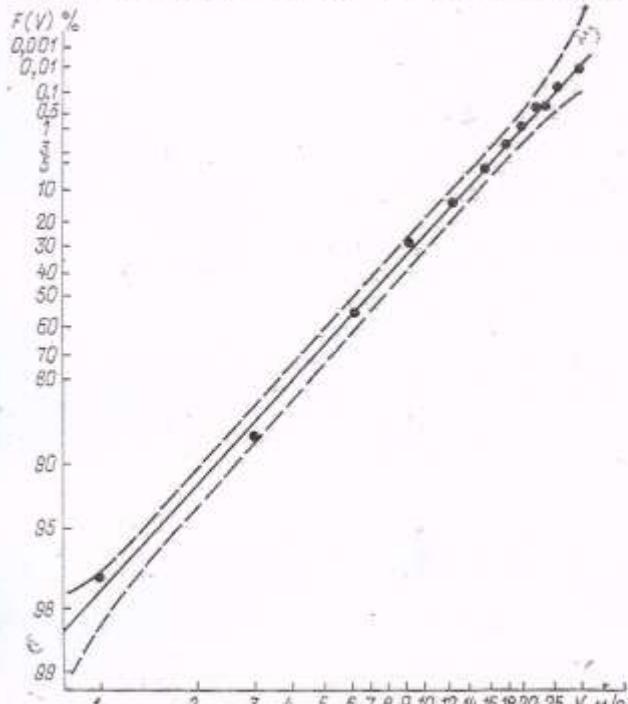


Рис. 13.7. Функция распределения скоростей ветра V по многолетним наблюдениям на СГМС Нефтяные Камни. Пунктирные линии — доверительные интервалы ($P_d = 0.95$).

вых и малой достоверностью определения скорости по малоградиентному полю.

Для исследования многолетнего распределения элементов волн привлечены материалы стационарных наблюдений за волнением на СГМС Нефтяные Камни за 1955—1960 гг. в пункте с глубиной моря 11,6 м и за 1961—1984 гг. в пункте с глубиной 22,5 м. Высоты волн на СГМС Нефтяные Камни определяются по волномерной вехе (рейке), подвешенной к эстакаде. Точность измерений по вехе значительно выше, чем по волномеру-перспектометру. При освещении вехи прожектором можно производить измерения в ночное время.

Сопоставление волнографических наблюдений с синхронными измерениями по волномерной вехе показало [83], что средняя высота из пяти наибольших волн, измеренных по вехе, за 5 мин примерно соответствует квантили распределения 3% [72].

В табл. III.35 приведены функции распределения высот и периодов волн по наблюдениям в пункте 1, где глубина моря 11,6 м, и в пункте 2, где глубина моря 22,5 м. Высоты сгруппированы в интервалы по 0,5 м, а периоды волн — по 1 с.

В пункте 2, имеющем 24-летний ряд наблюдений, высоты волн измерялись регулярно 4 раза в сутки, в том числе и в ночное время. Кроме того, волнение в этом пункте в 99% случаев можно отнести к условиям глубокого моря. На рис. 13.9 показано распределение высот волн на функциональной сетке закона Вейбулла. Исключ-

Таблица 13.12

Повторяемость P (%) и обеспеченность F (%) скорости ветра за многолетний период (1966—1982 гг.) по наблюдениям на СГМС Нефтяные Камни

Скорость ветра, м/с	I		II		III		IV		V		VI	
	P	F										
0	1,9	100	1,8	100	2,5	100	4,7	100	2,9	100	2,1	100
1—5	34	98	36	98	39	98	53	95	56	97	48	98
6—10	44	64	44	63	37	58	32	42	31	41	34	50
11—14	14	20	11	19	12	21	5,5	11	6,3	10	11	15
15—17	3,8	6,1	4,8	7,9	5,4	3,4	3,5	5,1	2,3	4,1	3	4,6
18—20	1,6	2,3	2,2	3,1	2,9	4,0	1,2	1,5	1,4	1,8	1,1	1,4
21—23	3,7	0,77	0,43	0,86	0,49	1,05	0,16	0,36	0,18	0,36	0,17	0,21
23—24	1,2	0,41	0,26	0,43	0,30	0,56	0,19	0,19	0,088	0,18	0,042	0,042
25—26	1,2	0,29	0,043	0,17	0,11	0,26	—	—	0,088	0,088	—	—
27—28	1,2	0,16	0,086	0,13	0,11	0,15	—	—	—	—	—	—
> 28	0,041	0,041	0,043	0,043	0,038	0,038	—	—	—	—	—	—
Скорость ветра, м/с	VII		VIII		IX		X		XI		XII	
	P	F										
0	1,5	100	1,1	100	0,73	100	1,4	100	1,0	100	1,9	100
1—5	40	99	44	99	44	93	45	99	37	99	34	98
6—10	35	59	36	55	37	55	37	53	45	62	45	64
11—14	16	23	12	19	13	18	10	17	11	17	14	20
15—17	5,6	6,2	4,2	7,1	3,9	5,3	2,9	6,5	3,7	5,8	3,4	5,4
18—20	1,6	1,7	2,0	2,9	1,0	1,3	2,3	3,7	1,4	2,1	1,3	2,1
21—23	0,039	0,039	0,36	0,88	0,12	0,32	0,75	1,3	0,44	0,76	0,23	0,76
23—24	—	—	0,20	0,52	0,12	0,20	0,51	0,59	0,28	0,32	0,53	0,53
25—26	—	—	0,16	0,32	0,04	0,08	0,079	0,079	0,04	0,04	0,11	0,30
27—28	—	—	0,16	0,16	0,04	0,04	—	—	—	—	0,19	0,19
> 28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. Значения обеспеченности F приведены с точностью до 2-й значащей цифры, т. е. с точностью, приемлемой для данной скорости.

ним из рассмотрения самую верхнюю часть кривой распределения высот волн ($h_{3\%} > 6$ м), отклонение которой влево от общей кривой связано, по-видимому, с трансформацией высот при выходе

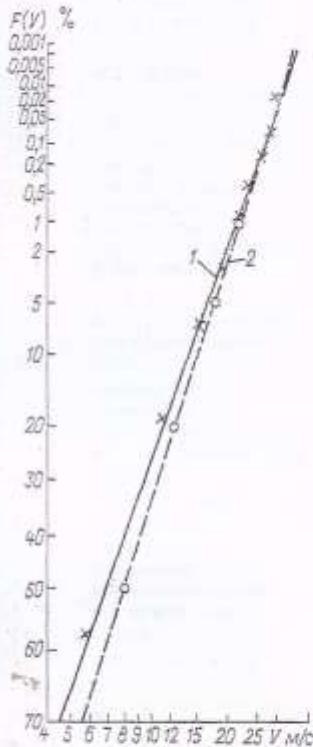


Рис. 13.8. Эмпирическая (1) и рассчитанная по типовым полям ветра (2) функции распределения скоростей ветра V в районе Нефтяных Камней.

волн с больших глубин на мелководье. Тогда основную часть функции распределения можно представить ломаной линией, состоящей из двух прямых участков, которые пересекаются в точке соответствующей обеспеченности $F_h = 0,13\%$.

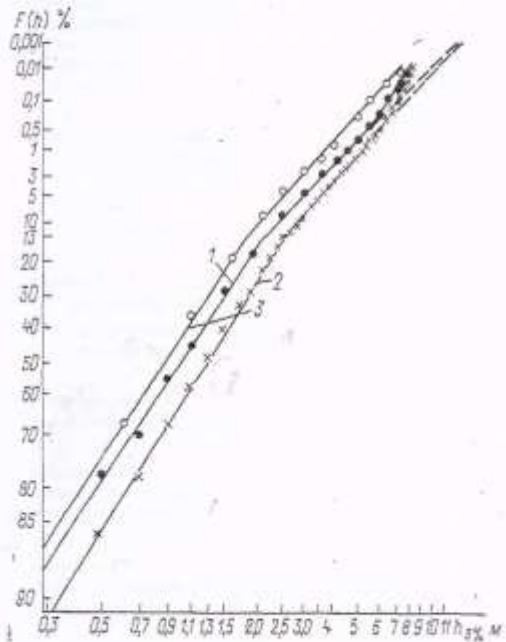


Рис. 13.9. Функция распределения высот волн $h_{3\%}$ всех направлений волнения при глубинах 22,5 (1) и 11,5 м (3), только северного и северо-западного направлений при глубине 22,5 м (2).

Следовательно, многолетнее распределение высот волн можно аппроксимировать «склейкой» двух функций, принадлежащих к закону Вейбулла, отличающихся только параметрами. Справедливость этого предположения подтверждает функция распределения высот за 1961—1982 гг., построенная только для волн северного и северо-западного направлений, которые развиваются на большом разгоне и при выходе к ст. Нефтяные Камни не встречают никаких препятствий. Функция распределения (см. рис. 13.9) высот волн только этого направления аналогична функции, рассчитанной по всем направлениям волнения. Точка перегиба также соответствует обеспеченности $F(h) = 13\%$, причем для кривой, учитывающей все направления волнения этой обеспеченности, соответствует высота 2,1 м, а для северо-западного и северного направлений обеспеченность 13% имеет высоту 2,6 м (табл. ПIII.35).

Очень важно выяснить возможность распространения режимной функции распределения высот волн, построенной по наблюдениям в пункте с глубиной 22,5 м, на условия глубокого моря. Как известно, режимные функции распределения высот волн успешно аппроксимируются распределением Вейбулла [81].

Функцию распределения высот волн для условий глубокого моря на Каспии можно аппроксимировать «склейкой» двух функций, нормированных на высоту волн, соответствующей обеспеченности $F(h) = 0,13\%$. Аналитически эти функции выражаются следующим образом: функция распределения высот волн при учете всех направлений волнения —

$$F(h) = \begin{cases} \exp[-2,04(h/h_{0,13})^{1,06}] & \text{при } h \geq 2,1 \text{ м;} \\ \exp[-2,04(h/h_{0,13})^{1,55}] & \text{при } h < 2,1 \text{ м;} \end{cases} \quad (13.2)$$

а для волнения только северного и северо-западного направлений —

$$F(h) = \begin{cases} \exp[-2,04(h/h_{0,13})^{1,20}] & \text{при } h \geq 2,7 \text{ м;} \\ \exp[-2,04(h/h_{0,13})^{1,55}] & \text{при } h < 2,7 \text{ м.} \end{cases} \quad (13.3)$$

Рассмотрим многолетнее распределение средних периодов волн по наблюдениям на СГМС Нефтяные Камни за тот же интервал времени (табл. ПIII.35). Функция распределения на билогарифмической клетчатке показана на рис. 13.10.

Многолетнее распределение высот и периодов волн по наблюдениям в пункте I (табл. ПIII.35) аналогично распределению этих элементов волн по наблюдениям в пункте 2. Только самая верхняя часть кривой распределения высот отклоняется вправо, что, по-видимому, связано с малой длиной периода наблюдений (6 лет), который к тому же является самым штормовым за все время наблюдений на ст. Нефтяные Камни. Кроме того, в какой-то мере здесь сказывается трансформация волн в прибрежной зоне (рост очень крупных волн перед обрушением). Аналитическое выражение функций распределения (13.2) не противоречит (за исключением верхней части кривой) материалам наблюдений в пункте I. При этом функция

распределения нормируется также на высоту, соответствующую квантили 13 %, которая для данного пункта равна 1,5 м.

Нефтяные Камни, вероятно, представляют «полюс волнения» Каспийского моря. Действительно, при сильных и устойчивых северных ветрах в этом районе развивается очень сильное волнение, параметры которого, по-видимому, являются предельными для Каспия. К востоку и югу от Нефтяных Камней скорости северного ветра постепенно уменьшаются, что приводит к некоторому снижению высот волн.

В настоящее время интенсивно развиваются разведка и добыча нефти с глубоководных стационарных и полупогруженных платформ в районах нефтепромыслов им. 28 Апреля, им. Каверочкина и др. Они находятся на расстоянии примерно 10 км к юго-востоку от ст. Нефтяные Камни, а глубина моря, на которой установлены буровые платформы, превышает 200 м. Наблюдений за волнением здесь очень мало и необходимость в таковых возрастает с каждым днем. Так как ст. Нефтяные Камни расположена в непосредственной близости от нефтепромысла им. 28 Апреля, полученные выше функции распределения скорости ветра, высот и периодов волн по наблюдениям на ней можно, видимо, распространить и на другие близлежащие глубоководные районы моря.

В пределах района 1 для построения режимных функций распределения высот и периодов волн привлечены материалы наблюдений ГМС Изберг за 1951—1971 гг. В эти годы станция располагалась на эстакаде (глубина 10,4 м) на расстоянии 1,5 км от побережья Каспия. После 1971 г. станция была перенесена ближе к берегу, а в настоящее время располагается на берегу моря. Высота волн и период измерялись по волномерной вехе (рейке) 4 раза в сутки, в том числе и в ночное время.

Для определения режимных функций распределения высот и периодов волн на акватории района 5 отобраны наблюдения на станциях Остров Булла и Свиной остров. В районе о. Булла наблюдения за волнением проводились с отдельной буровой платформы (глубина места 17 м). Однако здесь ряд наблюдений имеет малую длину (1968—1972 гг.). После 1972 г. волномерный пост был перенесен на эстакаду вблизи о. Булла, где глубина моря 6 м и наблюдения не репрезентативны. По этой причине для характеристики волнения в районе 5 привлечены также материалы ГМС Свиной острова, которая располагалась ранее на северном берегу острова. Наблюдения на этой станции проводились при помощи волномера-перспектометра, установленного на высоте 10 м над уровнем моря. В связи с тем, что вблизи северной части острова уклоны дна довольно велики, высоты волн измерялись в пункте с глубиной примерно 10—12 м, т. е. далеко за пределами прибойной зоны. Для анализа привлечены материалы наблюдений с 1951 по 1971 г. Когда над всем Каспийским морем устанавливаются сильные северо-западные и северные ветры, волнение в районе о. Булла развивается как в условиях мелкого моря, а вблизи о. Свиного, несмотря на поворот ветра к северо-востоку, — на большом разгоне, превышающем 500 км. Однако наличие в этом районе большого количества островов и банок вносит искажения

в характер волнения, и оно в значительной степени отличается от волнения прилегающих районов открытого моря.

Районы 1, 3 и 5 относятся к западной части Каспийского моря. Для анализа многолетнего распределения волн в восточных районах (2, 4 и 6) удалось привлечь только наблюдения волномерного поста Челекен (море), расположенного в пре-

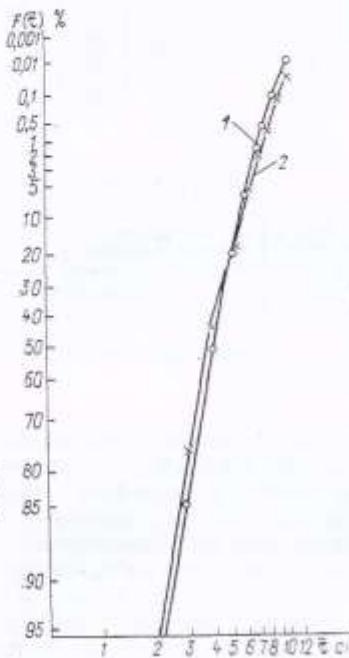


Рис. 13.10. Функция распределения периодов волн T при глубинах 22,5 (1) и 11,6 м (2).

делах района 6 на эстакаде, которая отходит от п-ова Челекен на восток, в сторону моря. Глубина в пункте наблюдения 6,5 м, расстояние до ближайшего берега 2 км. Использованы наблюдения за 21 год (1962—1982). Высоты волн определялись 4 раза, а периоды — 2 раза в сутки. К востоку от волномерного поста располагается обширное мелководье с малыми уклонами дна, поэтому размеры волн меньше, чем можно было ожидать, учитывая открытость района и длину разгона.

Повторяемость и обеспеченность высот и периодов волн по многолетним наблюдениям на станциях Изберг, Остров Булла, Свиной остров и Челекен (море) приведены в табл. ПIII.35.

Межгодовая изменчивость волнения обусловлена различиями в характере атмосферных процессов над Каспийским морем в разные годы. Функции распределения скоростей ветра за разные годы существенно отличаются между собой по повторяемости сильных ветров (см. табл. 13.11). Это обстоятельство в свою очередь создает изменчивость в распределении высот волн.

Для исследования межгодовой изменчивости высот волн вычислены оценки статистической функции распределения за каждый год (1961—1983 гг.) и отклонение $\Delta F(h)$ оценок этой функции по всему ряду наблюдений в целом. Для описания межгодовой изменчивости режимная функция распределения может рассматриваться как асимптотический закон, а ее значения в отдельные годы — как оценка этого закона. Тогда межгодовые коле-

базия режима идентичны оценке эмпирических функций распределения.

В предположении, что распределение оценок $\Delta F(x)$ асимптотически нормально, значение выборочной изменчивости функции распределения высот волн можно рассматривать как доверительный интервал ΔF_d возможных отклонений $F^*(x)$ для доверительной вероятности P_d , который определяется из следующего выражения:

$$\Delta F_d = (a_d / \sqrt{n}) \{F(x)[1 - F(x)]\}^{1/2}, \quad (13.4)$$

где $\Phi(a_d) = P_d$, Φ — интеграл Лапласа; n — число независимых измерений для получения статистической оценки $F(x)$.

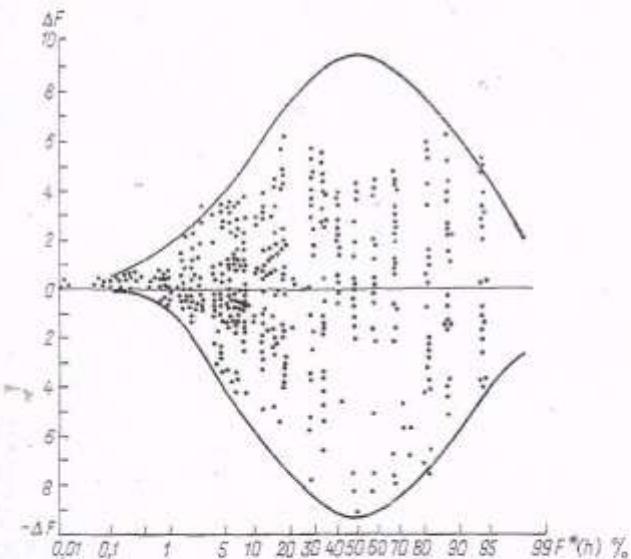


Рис. 13.11. Межгодовые изменения функции распределения высот волн по наблюдениям на СГМС Нефтяные Камни. Сплошная линия рассчитана по формуле (13.6) для доверительной вероятности $P_d = 0.9$.

Изменчивость волнения является следствием большого числа факторов и при значительном количестве наблюдений можно принять, что распределение $\Delta F(x)$ асимптотически нормально. В какой-то мере этот вывод подтверждается симметричностью разброса точек на рис. 13.11, на котором показаны положительные и отрицательные значения статистических оценок функций распределения высот волн, вычисленных по названным выше данным наблюдений.

Выражение (13.4), определяющее значение разности $\Delta F(x)$, предполагает независимость случайных величин, что не применимо к морскому ветровому волнению. Однако оно имеет циклический характер. Один волновой цикл охватывает период развития и затухания волнения в какой-либо одной точке моря или океана и обусловлен особенностями воздействия на водную поверхность ветрового поля, формирующегося внутри определенного или определенных барических образований.

Так как последовательность прохождения или развития барических образований носит сложный характер, следует ожидать, что волны, образовавшиеся внутри одного поля ветра, вызванного определенным циклоном или антициклоном, будут

между собой коррелировать значительно лучше, чем волны, относящиеся к разным барическим циклам. На этом основании параметр n в формуле (13.4) отождествляется со средним числом волновых циклов, наблюдающихся в течение рассматриваемого месяца или сезона. Средняя продолжительность одного цикла принимается равной 111 ч, что довольно близко к продолжительности так называемого естественного синоптического периода.

Подставляя в (13.4) значение n применительно к годовым функциям распределения, получаем

$$\Delta F(h) = 1126 a_d \{F(h)[1 - F(h)]\}^{1/2}. \quad (13.5)$$

Выражение (13.5) должно содержать погрешности, наиболее заметные на краях распределения, причем они в значительной степени зависят от $F^*(h)$. Для исключения подобных погрешностей в формулу (13.5) вводится ряд ограничений, в результате которых она преобразуется к виду

$$\Delta F = \begin{cases} 1 - F(h) & \text{для } F(h) \geq n/(n + ma_d^2); \\ (a_d / \sqrt{n/m}) \{F(h)[1 - F(h)]\}^{1/2} & \text{для } F(h) \leq \\ \leq n/(n + ma_d^2) & (\Delta F > 0) \text{ и} \\ F(h) \geq ma_d^2 / (ma_d^2 + n) & (\Delta F < 0); \\ -F(h) & \text{для } F(h) \leq ma_d^2 / (ma_d^2 + n) \text{ } (\Delta F < 0). \end{cases} \quad (13.6)$$

В выражении (13.6) n — число независимых наблюдений за волнением в течение месяца, сезона или года; m — число наблюдений на протяжении одного волнового цикла. На рис. 13.11 сплошной линией показаны результаты расчета по формуле (13.6), а в табл. 13.13 представлены значения возможных отклонений статистических оценок годовых функций распределения высот волн по наблюдениям на ст. Нефтяные Камни от среднемноголетних.

Для расчета совместной повторяемости скоростей ветра и высот волн, высот и периодов волн

Таблица 13.13

Возможные отклонения статистических оценок годовых функций распределения высот волн от среднемноголетних для различной доверительной вероятности
(СГМС Нефтяные Камни)

h _d , м	F(h), %	$P_d = 0.9$		$P_d = 0.99$	
		$\Delta F(h)$	$\Delta F(h)$	$\Delta F(h)$	$\Delta F(h)$
0,1—0,5	99,9	0,01	0,01	0,01	0,01
0,6—1,0	74	8,1	9,1	12,8	12,8
1,1—1,5	45	9,2	9,2	14,5	14,5
1,6—2,0	24	7,9	7,9	12,5	12,5
2,1—2,5	13	6,3	6,3	9,8	9,8
2,6—3,0	7,4	4,9	4,9	7,7	7,4
3,1—3,5	4,5	3,9	3,9	6,0	4,5
3,6—4,0	2,7	3,0	2,7	4,7	2,7
4,1—4,5	1,6	2,6	1,6	3,7	1,6
4,6—5,0	0,96	1,8	0,96	2,8	0,96
5,1—5,5	0,50	1,3	0,50	2,1	0,5
5,6—6,0	0,30	1,0	0,30	1,6	0,3
6,1—6,5	0,16	0,74	0,16	1,1	0,16
6,6—7,0	0,062	0,46	0,062	0,73	0,062
7,1—7,5	0,031	0,33	0,031	0,52	0,031
7,6—8,0	0,017	0,24	0,017	0,38	0,017
> 8,0	0,0034	0,11	0,0034	0,17	0,0034

Таблица 13.14

Повторяемость (%) скоростей ветра V и высот волн h_3 (Нефтяные Камни, 1961—1984 гг.)

h_3 м	V м/с							
	0	1—5	6—11	12—16	17—20	21—24	25—28	> 28
0—2	1,3	8,6	0,27	—	—	—	—	—
0,3—0,6	0,76	15	3,1	0,0029	—	—	—	—
0,7—1,0	0,53	14	11	0,13	—	—	—	—
1,1—1,4	0,12	4,8	12	0,71	0,0029	—	—	—
1,5—1,8	0,052	1,3	7,5	1,6	0,026	—	—	—
1,9—2,4	0,012	0,50	4,6	3,4	0,12	0,0029	—	—
2,5—3,0	0,0087	0,084	1,2	2,4	0,22	0,0058	—	—
3,1—3,5	—	0,02	0,27	1,2	0,22	0,012	—	—
3,6—4,0	—	0,012	0,098	0,66	0,21	0,014	—	—
4,1—4,5	—	—	0,035	0,35	0,21	0,023	—	—
4,6—5,0	—	—	0,017	0,23	0,22	0,029	—	—
5,1—5,5	—	—	—	0,078	0,18	0,026	—	—
5,6—6,0	—	—	—	0,046	0,084	0,020	0,0058	—
6,1—6,5	—	—	—	0,02	0,064	0,035	0,0058	—
6,6—7,0	—	—	—	0,0058	0,014	0,0058	0,0058	0,0029
7,1—7,5	—	—	—	—	—	0,014	0,0029	—
7,6—8,0	—	—	—	—	0,0029	0,0029	0,0058	0,0029
8,1—8,5	—	—	—	—	0,0029	0,0058	—	—

использованы наблюдения за ветром и волнением на СГМС Нефтяные Камни за 1961—1984 гг. Данные о совместной повторяемости скоростей ветра и высот волн (табл. 13.14) хорошо иллюстрируют влияние на распределение высот волн и скоростей ветра факторов, о которых говорилось выше. Например, при скорости ветра от 17 до 20 м/с наблюдались волны высотой от 1,1 до 8,5 м, но при этом наибольшую повторяемость имеют волны от 2,5 до 5,0 м. Совместная повторяемость высот и периодов волн приведена в табл. 13.15. На характер этого распределения также существенное влияние оказывают волны зыби. После прекращения действия ветра высота волн обычно снижается, а периоды увеличиваются. По этой причине у сравнительно низких волн (1,1—1,4 м) отмечены периоды в интервале 7,1—8,0 с. В то же время, в момент максимального развития шторма наблюдаются очень высокие и крутые волны. Например,

указанные периоды волн измерены также у волн высотой от 8,1 до 8,5 м.

13.6. Верификация методов расчета элементов волн

Для проверки методики расчета элементов волн [347] привлечены материалы волнографных наблюдений в различных районах Каспийского моря: в глубоком море с э/с «Экватор», в районе ст. Нефтяные Камни (глубина 22,5), при ветрах с берега вблизи о. Жилого, о. Булла (глубина 16,5 м), с э/с «Экватор» и в пункте расположения волномерного поста Остров Булла (море) (глубина 10,2 м).

Все эти наблюдения производились в большинстве случаев через час, редко через 2. Средняя высота и средний период волн рассчитывались на

Повторяемость (%) высот h_3 и периодов волн τ (Нефтяные Камни, 1961—1984 гг.)

h_3 м	τ с									
	1,0—2,0	2,1—3,0	3,1—4,0	4,1—5,0	5,1—6,0	6,1—7,0	7,1—8,0	8,1—9,0	9,1—10,0	> 10,0
0—0,2	1,92	3,5	0,86	0,028	—	—	—	—	—	—
0,3—0,6	0,67	5,3	8,2	1,7	0,15	—	—	—	—	—
0,7—1,0	0,085	2,5	12	9,4	0,71	0,042	—	—	—	—
1,1—1,4	—	0,40	6,4	13	1,3	0,13	0,007	—	—	—
1,5—1,8	—	0,028	1,1	7,4	3,4	0,38	0,021	—	—	—
1,9—2,4	—	0,007	0,20	4,0	5,2	0,94	0,056	—	—	—
2,5—3,0	—	—	0,007	0,52	2,4	1,3	0,15	0,007	—	—
3,1—3,5	—	—	—	0,07	0,63	0,60	0,27	0,014	—	—
3,6—4,0	—	—	—	0,007	0,24	0,60	0,17	0,028	—	—
4,1—4,5	—	—	—	—	0,084	0,34	0,27	0,028	0,007	0,007
4,6—5,0	—	—	—	0,007	0,021	0,20	0,20	0,028	0,014	—
5,1—5,5	—	—	—	0,007	0,014	0,084	0,12	0,042	—	0,007
5,6—6,0	—	—	—	0,007	0,021	0,07	0,035	0,028	0,007	—
6,1—6,5	—	—	—	—	—	0,056	0,056	0,035	0,007	0,007
6,6—6,0	—	—	—	—	—	0,007	0,014	0,007	0,007	—
7,1—7,5	—	—	—	—	—	—	0,007	—	—	—
7,6—8,0	—	—	—	—	—	—	0,007	—	—	—
8,1—8,5	—	—	—	—	—	—	0,007	0,007	—	—

Таблица 13.16

Сопоставление рассчитанных \bar{h}_p , $\bar{\tau}_p$ и наблюденных \bar{h}_n , $\bar{\tau}_n$ высот и периодов волн

Дата	Время, ч. мин	V , м/с	\bar{h}_p , м	\bar{h}_n , м	$\Delta \bar{h}$, м	$\Delta \bar{h}/\bar{h}_n$, %	$\bar{\tau}_p$, с	$\bar{\tau}_n$, с	$\Delta \bar{\tau}$, с	$\Delta \bar{\tau}/\bar{\tau}_n$, %
Глубокое море, северный ветер										
17 III 1967	9 25	9,0	0,95	0,70	0,25	35,9	4,4	4,2	0,2	4,7
	10 10	12,5	1,45	1,46	-0,01	0,7	5,6	5,5	0,1	1,8
	12 00	12,0	1,50	1,67	-0,17	-10,1	5,8	5,4	0,5	9,2
	12 50	12,5	1,57	1,70	-0,13	-7,6	6,0	5,6	0,4	7,1
	13 43	12,5	1,58	1,35	0,23	17,0	6,0	5,9	0,1	1,5
	14 32	13,0	1,66	1,56	0,10	6,4	6,1	6,5	-0,4	-6,1
	15 25	13,5	1,70	1,69	0,01	0,5	6,2	6,4	-0,2	-3,1
	17 57	14,0	1,86	1,87	-0,01	-0,5	6,5	6,5	0	0
	18 47	14,0	1,88	1,82	0,06	3,2	6,5	6,6	-0,1	1,5
	19 40	13,0	1,88	1,62	0,26	16,1	6,6	6,3	0,3	4,7
	21 20	13,0	1,88	1,73	0,15	8,6	6,6	6,6	0	0
	22 10	14,0	1,92	1,82	0,10	5,4	6,7	6,7	0	0
	23 03	15,0	1,96	1,62	0,34	11,0	6,7	6,3	0,4	6,3
18 III	1 38	14,0	2,02	1,86	0,16	8,6	7,0	6,8	0,2	2,9
	2 25	12,0	1,70	1,76	-0,06	-3,4	6,4	6,9	-0,5	-7,2
	3 20	11,0	1,72	1,73	-0,01	-0,5	6,6	6,5	0,1	1,5
	5 05	11,0	1,60	1,61	-0,01	-0,6	6,2	6,5	-0,03	-4,6
	5 52	11,5	1,54	1,45	0,09	6,2	6,3	6,6	-0,3	-4,5
	7 36	10,5	1,54	1,40	0,14	1,0	6,2	6,1	0,1	1,6
	8 32	10,0	1,40	1,41	-0,01	-0,7	5,9	6,0	-0,1	-1,6
	9 15	9,0	1,30	1,40	-0,10	-7,1	5,8	6,0	-0,2	-3,3
	10 00	8,0	1,28	1,26	0,02	15,8	5,2	6,0	-0,8	-13,3
Нефтяные Камни, северо-западный ветер										
18 XII 1965	1 00	14,7	1,62	1,60	-0,02	1,2	-	6,2	-	-
	2 00	14,7	1,71	1,65	-0,06	-3,5	6,3	6,9	-0,6	8,7
	3 00	16,6	1,80	1,77	-0,03	-1,7	6,5	6,6	-0,1	1,5
	4 00	17,5	1,98	1,89	-0,09	-4,5	6,8	7,2	-0,4	5,6
	5 01	18,4	2,16	2,08	-0,08	-3,7	7,1	7,6	-0,5	6,6
	5 53	18,4	2,16	2,05	-0,11	-5,1	7,2	7,3	-0,1	1,4
	7 00	22,0	2,43	2,29	-0,14	-5,8	7,5	7,8	-0,3	3,8
	9 00	22,0	-	2,50	-	-	8,0	-	-	-
	10 55	25,8	3,15	2,92	-0,23	-7,3	8,7	8,1	0,6	7,4
	12 00	25,8	-	3,14	-	-	9,0	-	-	-
	13 00	25,8	-	3,16	-	-	9,4	-	-	-
	14 21	20,2	3,15	3,13	-0,03	-1,0	9,4	8,0	1,4	17,5
25 II 1967	14 00	18,4	1,52	1,53	-0,01	-0,6	5,9	5,9	0,0	0,0
	15 00	14,7	1,89	1,57	-0,32	-16,9	6,3	7,7	-1,4	-18,1
	16 00	16,6	2,00	1,73	-0,27	13,5	6,6	7,7	-1,1	-14,2
	17 00	20,2	2,04	1,88	-0,16	-7,8	6,7	7,4	-0,7	-9,5
	18 00	22,1	2,38	2,11	-0,27	-11,3	7,1	7,8	-0,7	-8,9
	19 00	22,1	2,40	2,30	-0,10	-4,1	7,5	7,7	-0,2	-2,5
	20 00	20,2	2,57	2,38	-0,19	-7,3	7,8	8,6	-0,8	-9,3
	21 00	20,2	2,24	2,41	-0,03	-1,2	7,9	8,6	-0,7	-8,1
	23 00	20,2	2,32	2,51	0,19	8,1	8,1	8,8	-0,7	-7,9
26 II	0 00	20,2	2,41	2,51	0,11	4,5	8,2	8,6	-0,4	-4,6
	2 00	20,2	2,01	2,14	0,13	7,4	8,3	8,9	-0,6	-6,7
	3 00	18,4	1,76	1,85	0,09	5,1	7,9	8,7	-0,8	-9,1
	4 00	18,4	1,71	2,16	0,45	26,1	7,9	8,8	-0,9	-10,2
	5 00	18,4	1,70	2,16	0,46	27,0	7,9	8,6	-0,7	-8,1
	5 00	16,6	1,74	2,08	0,34	19,5	7,8	8,8	-1,0	-11,3
	8 00	16,6	1,71	2,08	0,37	21,6	7,8	8,1	-0,3	-3,7
Остров Булла, глубина 10,2 м										
17 VI 1967	17 30	7,0	0,49	0,54	-0,05	-9,2	3,4	3,2	0,2	6,2
	18 30	10,0	0,68	0,74	-0,06	-8,1	3,5	3,4	0,1	2,9
	19 30	14,0	0,81	1,09	-0,28	-25,7	4,1	4,0	0,1	2,5
	20 30	18,0	1,08	1,13	-0,05	-4,5	4,6	4,5	0,1	2,2
	21 30	18,0	1,16	1,16	0,00	0,0	4,7	4,6	0,1	2,2
	22 30	22,0	1,28	1,26	0,02	1,6	4,9	4,8	0,1	2,1
	23 30	22,0	1,40	1,38	0,02	1,4	4,9	4,7	0,2	4,3
18 VI	1 30	18,0	1,28	1,34	-0,06	-4,5	4,9	4,6	0,3	6,4
	2 30	18,0	1,16	1,19	-0,03	-2,5	4,7	4,5	0,1	2,2
	3 30	18,0	1,16	1,25	-0,09	-7,2	4,7	4,3	0,4	9,3
	4 30	18,0	1,16	1,16	0,00	0,0	4,7	4,2	0,5	11,9
	5 30	14,0	1,08	1,07	0,01	0,9	4,5	4,0	0,5	15,0
	6 30	10,0	0,81	0,97	0,16	16,5	4,1	4,2	-0,1	-2,4
	7 30	18,0	0,94	1,09	0,15	13,8	4,3	4,3	0,0	0,0
	8 30	16,0	1,10	1,12	0,02	1,8	4,6	4,4	0,2	4,5
	11 00	16,0	1,08	0,92	0,16	17,4	4,4	4,2	0,2	4,8
	12 00	14,0	0,99	0,96	0,03	3,2	4,4	4,5	-0,1	-2,2

Дата	Время, ч мни	V м/с	\bar{h}_p м	\bar{h}_n м	Δh м	$\Delta h / \bar{h}_n \%$	τ_p с	τ_n с	Δt с	$\Delta \tau / \tau_n \%$
18 VI	13:00	8,0	0,79	0,79	0,00	0,0	4,0	4,0	0,0	0,0
	14:00	12,0	0,68	0,87	-0,19	-21,8	3,8	4,0	-0,2	-5,0
	15:00	8,0	0,68	0,81	-0,13	-16,1	3,8	4,2	-0,4	-9,5
	16:00	10,0	0,61	0,72	-0,11	-15,3	3,6	3,8	-0,2	-5,3
	17:00	10,0	0,68	0,72	-0,03	-4,2	3,8	3,8	0,0	0,0
	19:00	14,0	0,81	0,81	0,00	0,0	4,1	3,7	0,4	10,8
	20:00	14,0	0,94	0,90	-0,04	4,4	4,2	0,1	0,1	2,4
	21:00	14,0	0,94	0,82	0,12	14,6	4,3	0,3	0,3	7,5
	22:00	12,0	0,90	0,80	0,10	12,4	4,2	4,0	0,2	5,0
	23:00	8,0	0,69	0,72	-0,03	4,2	3,8	3,6	0,2	5,6
28 VI	4:00	12,0	0,81	0,86	-0,05	-5,8	4,1	4,2	-0,1	-2,3
	5:00	13,0	0,88	0,87	0,01	1,1	4,2	4,3	-0,1	-2,3
	6:00	13,0	0,88	0,86	0,01	1,1	4,2	4,0	0,2	5,0
	8:00	13,0	0,88	0,87	0,01	1,1	4,2	4,0	0,2	5,0
	10:00	14,4	0,81	0,80	0,01	1,2	4,1	3,9	0,3	7,8
	12:00	15,5	0,96	0,95	0,01	1,0	4,4	4,1	0,3	7,3
	14:00	11,6	0,78	0,84	-0,06	-7,1	4,0	3,8	0,2	5,2
	16:00	13,6	0,89	0,89	0,00	0,0	4,2	4,0	0,2	5,0
	18:00	9,7	0,66	0,72	-0,06	-8,3	3,8	3,9	-0,1	2,5
	20:00	13,6	0,89	0,88	0,01	1,1	4,2	3,9	0,3	7,6
29 VI	22:00	11,6	0,78	0,89	-0,11	-12,3	4,0	3,9	0,1	2,5
	0:00	13,6	0,89	0,89	0	0	4,2	4,2	0	0
	2:00	13,6	0,89	0,84	0,05	5,9	4,2	3,8	0	0
	4:00	7,8	0,55	0,74	-0,19	-25,6	2,7	3,6	-0,9	25,0
Остров Булла, глубина 16,0 м										
27 VI 1967	17:20	8,0	0,52	—	—	—	3,0	—	—	—
	18:00	7,0	0,49	0,49	0,0	0,0	3,0	3,0	0,0	0,0
	19:00	8,0	0,68	0,52	-0,16	-23,5	3,4	3,4	0,0	0,0
	20:00	8,0	0,66	0,53	-0,13	-19,6	3,4	3,6	-0,2	-5,6
	21:00	10,0	0,68	0,70	0,02	2,9	3,9	3,5	0,4	11,4
	22:00	8,5	0,70	0,59	-0,11	-15,7	3,5	3,6	-0,1	-2,8
	23:00	8,5	0,70	0,58	-0,12	-17,1	3,5	3,7	-0,2	-5,4
	24:00	9,5	0,72	0,67	-0,05	-6,9	3,8	3,7	0,1	2,7
28 VI	1:00	10,0	0,77	0,72	-0,05	-6,4	3,9	3,9	0	0
	2:00	11,0	0,82	0,81	-0,01	-1,2	4,1	3,9	0,2	5,2
	3:00	12,0	0,98	0,91	-0,07	-7,1	4,4	4,2	0,2	4,8
	4:00	15,0	1,03	1,12	0,09	8,7	4,8	4,3	0,5	11,6
	5:00	13,0	1,07	1,00	-0,07	-6,5	4,5	4,5	0	0
	6:00	10,0	1,00	0,72	-0,28	28,0	3,9	4,4	-0,5	-11,4
	6:14	13,0	1,11	1,00	-0,11	9,9	4,6	4,2	0,4	9,5
Район о. Песчаного, южный ветер, глубина 12,0 м										
17 X 1968	6:00	5,0	0,42	0,50	-0,08	16,00	3,2	3,6	-0,4	11,1
	7:00	6,0	0,45	0,51	-0,06	11,76	3,2	3,5	-0,3	8,6
	8:00	7,0	0,46	0,58	-0,12	20,67	3,2	3,5	-0,3	8,6
	9:00	7,0	0,49	0,52	-0,03	5,77	3,4	3,5	-0,1	2,8
	10:00	8,0	0,53	0,62	-0,09	14,52	3,4	3,6	-0,2	5,6
	11:00	9,0	0,61	0,57	0,04	7,02	3,6	3,5	0,1	2,8
	12:00	9,0	0,69	0,71	-0,02	2,82	3,9	3,6	0,3	8,3
	13:00	9,0	0,69	0,64	0,05	7,81	3,9	3,6	0,3	8,3
	14:00	9,0	0,69	0,67	0,02	2,99	3,9	3,6	0,3	8,3
	15:00	10,0	0,70	0,71	-0,01	1,41	3,9	3,7	0,2	5,4
	16:00	11,0	0,81	0,81	0,00	0,00	4,2	3,9	0,3	7,7
	17:00	12,0	0,85	0,76	0,09	11,84	4,2	3,7	0,5	13,5
	18:00	10,0	0,75	0,73	0,02	2,74	4,0	3,7	0,3	8,1
	19:00	10,0	0,75	0,73	0,02	2,74	4,0	3,7	0,3	8,1
	20:00	11,0	0,77	0,75	0,02	2,67	4,1	3,7	0,4	10,8
	21:00	10,0	0,68	0,68	0,00	0,00	3,8	3,6	0,2	5,5
	22:00	6,0	0,51	0,62	-0,11	17,76	3,5	3,8	0,3	7,9

каждый момент времени наблюдений. Расчет производился главным образом по ветру, измеренному синхронно с записями волнения. Расстояние, на котором действовал ветер данного направления (длина разгона), уточнялось с помощью синоптических карт. При переменном ветре в расчет вводилась эквивалентная скорость ветра по [347].

Зачастую запись волн начиналась не с момента начала шторма, а с некоторым опозданием, но расчет волн в каждом случае выполнялся с того

момента, когда начинал дуть ветер данного направления. Иногда учет начальных условий осложнялся из-за того, что в течение суток, а часто и больше суток перед началом шторма дул ветер со скоростью 4–6 м/с, который к моменту усиления уже создавал какую-то волну. В таких случаях за начальную принималась высота измеренной волны, а в дальнейшем расчет волн производился по ветру.

В табл. 13.16 представлены результаты сопоставления рассчитанных и наблюденных высот и

периодов волн по волнографическим наблюдениям в глубоком море с э/с «Экватор» 17 марта 1967 г. Ветер северного направления имел разгон 520 км при максимальной скорости 15 м/с. Ветер наблюдался по анемометру М-47 на высоте 10 м над поверхностью моря. Запись волн началась 17 марта в 9 ч 25 мин при скорости ветра в пункте наблюдения 9 м/с. К северу от этого пункта при разгоне 250 км к 6 ч скорость ветра достигла уже 14 м/с. В дальнейшем вдоль всего разгона она осталась примерно в тех же пределах, что и измеренная в пункте наблюдения.

Расчет волн на начальный момент измерения проводился с учетом упомянутых условий. Из табл. 13.16 видно, что рассчитанные по методу [347] элементы волн в целом неплохо согласуются с наблюдениями.

Волнографные наблюдения в районе ст. Нефтяные Камни позволяют проверить указанные методы расчета для глубокого моря в сочетании с методом расчета волнения, трансформированного в условиях прибрежной зоны. Так как запись волн производилась в пункте, где глубина моря 22,5 м, то для проверки выбраны только очень сильные штормы с тем, чтобы развиваемое при этом волнение испытывало значительную трансформацию при выходе с больших глубин на мелководье.

В табл. 13.16 сопоставлены также рассчитанные и наблюденные высоты и периоды волн по волнографическим записям 18 декабря 1965 г. Для расчета трансформации волн принято, что в первом приближении изобаты прямолинейны, а угол подхода к изобатам — 75—90°.

Запись другого очень сильного шторма, привлеченный для проверки методов расчета волн, выполнена на ст. Нефтяные Камни 25—26 февраля 1967 г. Максимальная, приведенная к высоте 10 м, скорость ветра составила 22 м/с. Запись волн началась в 14 ч 10 мин при скорости ветра 18,4 м/с. Для учета начальных условий расчет начинается с 6 ч 25 февраля. Направление ветра во время шторма менялось с северо-западного до северо-северо-западного. В соответствии с этим изменялась также длина разгона и угол подхода волн к изобатам.

Наилучшее совпадение рассчитанных и измеренных высот и периодов волн (см. табл. 13.16) получено для момента максимального развития шторма, а наибольшее расхождение отмечено с момента, когда скорость ветра начала уменьшаться.

Рассмотрим результаты проверки методов расчета волн в районе о. Булла. Условия развития волнения в этом районе при северных и северо-западных ветрах характерны для условий мелкого моря. Остров Булла располагается в юго-западной части моря на расстоянии 30 км от Апшеронского полуострова. Максимальная глубина между островом и Апшеронским полуостровом — около 16 м. Наблюдения за волнением производились с отдельного свайного основания в пункте с глубиной 10,2 м, а также с э/с «Экватор» (глубина места 16,0 м). Для сопоставления рассчитанных и наблюденных элементов волн привлечены волнографные наблюдения с указанного пункта 17—18 июня 1967 г. Расчет средних высот и периодов волн производился по ветру, измеренному в дан-

ном пункте на момент начала каждой записи волн (см. табл. 13.16).

Другой шторм, материалы которого используются для проверки методов расчетов волн, был записан одновременно на волномерном посту с глубиной 10,2 м и с э/с «Экватор» в пункте с глубиной 16,5 м. Наблюдения в обоих пунктах производились с помощью струнных волнографов. Скорость и направление ветра определялись с помощью анемометра М-47. Расчет волн осуществлялся по каждому пункту отдельно и сопоставлялся с натуральными измерениями. Наблюдения в каждом пункте выполнены не совсем одновременно. Запись волн с э/с «Экватор» началась 27 июня в 17 ч 20 мин и была прервана 28 июня в 8 ч 19 мин, так как с усилением ветра до 15 м/с судно не смогло удержаться на якоре.

Запись волн на волномерном посту началась 28 июня в 4 ч и продолжалась до 4 ч 29 июня, т. е. до момента, когда скорость северного ветра уменьшилась до 8 м/с. В табл. 13.16 приведены также результаты сопоставления высот и периодов волн по наблюдениям в пункте, где глубина моря 16,0 м. Сравнительно слабое волнение создает в этом пункте условия, близкие к глубоководным. Для сопоставления с наблюдениями, выполненными на волномерном посту, где глубина моря 10,2 м, расчет волн производился по методу [327]. Результаты сопоставления также можно найти в табл. 13.16.

Помимо проверки методов расчета элементов волн, которые охватывают северное или северо-западное волнение, приведем один случай проверки при ветре и волнении южного направления. Запись волн была осуществлена 17 октября 1968 г. вблизи о. Песчаного в пункте, где глубина 12 м. При данном направлении ветра волны развиваются на максимальном разгоне, превышающем 300 км. Наибольшая скорость ветра вдоль разгона составляла 12 м/с и наибольший средний период — 3,9 с. Относительная глубина моря в пунктах наблюдения $z/\lambda = 0,5$, что почти соответствует условиям волнообразования, характерным для глубокого моря. Расчет волн, начатый с момента, когда скорость ветра была 5 м/с, охватывает период развития шторма до момента, когда ветер стих до 6 м/с.

Средняя относительная погрешность расчета высот волн составила 10 %, а периодов — 8 % (см. табл. 13.16).

В заключение этого раздела приведем результаты сопоставления режимных функций распределения высот и периодов волн, полученных по данным многолетних измерений и путем расчета. Для этой цели привлекаются функции распределения высот и периодов волн, построенные по 20-летнему ряду наблюдений СГМС Нефтяные Камни (глубина моря 22,5 м), и аналогичные функции, рассчитанные для этого пункта по типовым полям ветра согласно Методическим указаниям [327]. По каждому полю ветра для данной точки найдены средняя высота волн \bar{h} (м) и средний период волн T (с), которым приписана повторяемость соответствующего поля ветра. В результате статистической обработки полученных значений на билогарифмической клетчатке вероятностей проведены

соответствующие кривые распределения (рис. 13.12). Расчет волн для пункта, где расположена СГМС Нефтяные Камни, проводился с учетом трансформации волн на глубине 22,5 м.

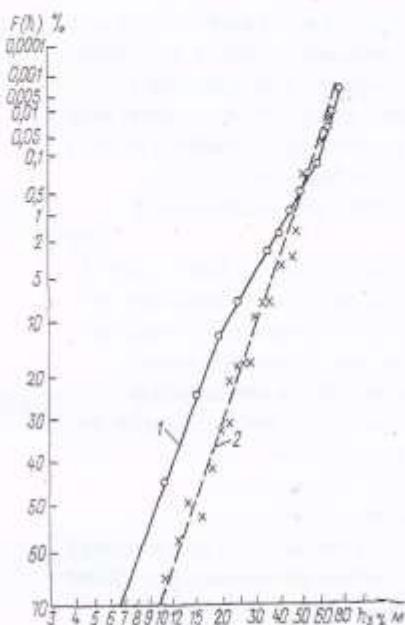


Рис. 13.12. Эмпирическая (1) и рассчитанная по типовым полям ветра (2) режимные функции распределения высот волн $h_{3\%}$ (глубина 22,5 м).

Как можно видеть из рисунка, эмпирические распределения высот волн квантили 3 % (средняя высота из пяти измерений по волномерной вехе) представляет собой ломаную линию, состоящую из двух прямолинейных участков с точкой перегиба при $F(h) = 0,13\%$. Отклонение в верхней части кривой влево связано, по-видимому, с трансформацией крупных волн при выходе с больших глубин на мелководье. Расчетная кривая распределения изображается на указанной клетчатке вероятностей прямой линией во всем диапазоне изменения высот волн.

Эмпирическая и рассчитанная статистические функции распределения высот в области больших значений вероятности существенно различаются между собой, однако в области малых значений вероятности, т. е. для крупных волн, они значительно сближаются для высоты, соответствующей их медианному значению, относительная погрешность достигает 50 %, то для высот волн с обеспеченностью 1 % погрешность уменьшается до 9 %. Высоты волн, возможные один раз в 10 лет, по эмпирической и рассчитанной кривым распределения практически совпадают (табл. 13.17).

Таким образом, сопоставление режимных функций распределения скоростей ветра, высот и периодов показало, что их расчетные значения наилучшим образом согласуются с данными натурных наблюдений в области малых значений вероятности, т. е. в области больших значений скорости ветра, высот и периодов волн, что наиболее важно с точки зрения их практического применения.

13.7. Режим волнения глубоководных акваторий Среднего и Южного Каспия

Статистические характеристики ветрового волнения можно получить двумя способами — путем обобщения многолетних данных стационарных наблюдений и путем расчета. Для глубокого моря из-за отсутствия или малочисленности материалов наблюдений остается только второй путь — расчетный. В данной работе описание режима волнения в глубоком море проведено на основе Справочного пособия [113], в котором получены режимные характеристики волнения. Они уточнены за счет использования современных методов расчета, а также новых, более надежных результатов специализированной типизации ветровых условий над морем.

Расчеты элементов ветровых волн и ветровых полей проведены согласно Методическим указаниям [327] для шести районов, границы которых и расположение расчетных точек показаны на рис. 13.13. Из-за мелкого масштаба на схеме не показаны две расчетные точки в третьем районе (точки 3.5 и 3.6), которые располагаются в преде-

Таблица 13.17

Сопоставление высот $h_{3\%}$, периодов волн \bar{t} , скоростей ветра V , полученных по наблюдениям на СГМС Нефтяные Камни (глубина 22,5 м) и путем расчета по типовым полям ветра

Характеристика	Режимная обеспеченность, %				Значения, возможные 1 раз в заданное число лет			
	50	20	5	1	1	5	10	20
$h_{3\%}$ м	1,0	1,7	3,0	4,4	6,6	7,6	7,8	8,1
h_p м	1,5	2,5	3,7	4,8	6,5	7,5	7,7	8,1
Δh м	-0,5	-0,8	-0,7	-0,4	0,1	0,1	0,1	0,0
$\Delta h/h_p$ %	50,0	47,0	23,0	9,0	1,5	1,3	1,3	0,0
\bar{t}_n с	4,2	5,2	6,4	7,4	8,6	9,4	10,0	10,5
\bar{t}_p с	4,4	5,7	7,0	7,9	8,8	9,5	9,7	10,0
Δt с	-0,2	-0,5	-0,6	-0,5	-0,2	-0,1	0,3	0,5
$\Delta t/\bar{t}_n$ %	4,7	9,6	9,4	6,8	2,3	1,1	3,0	4,8
V_n м/с	6,7	11,0	16,0	21,0	26,0	30,0	31,0	32,0
V_p м/с	8,0	12,0	17,0	21,0	25,0	28,0	30,0	32,0
ΔV м/с	-1,3	-1,0	-1,0	0,0	0,0	2,0	1,0	0,0
$\Delta V/V_n$ %	19,4	9,0	6,2	0,0	0,0	6,6	3,2	0,0

лах нефтепромысла Нефтяные Камни над глубинами 22,5 и 11,6 м соответственно. Расчеты волн для каждой из выбранных точек сделаны по типовым полям ветра, которые обобщают в себе практически все наблюдавшиеся над морем ветровые условия. По каждому полю ветра для каждой точки рассчитаны средняя высота волн \bar{h} (м), средний период τ (с), направление распростране-

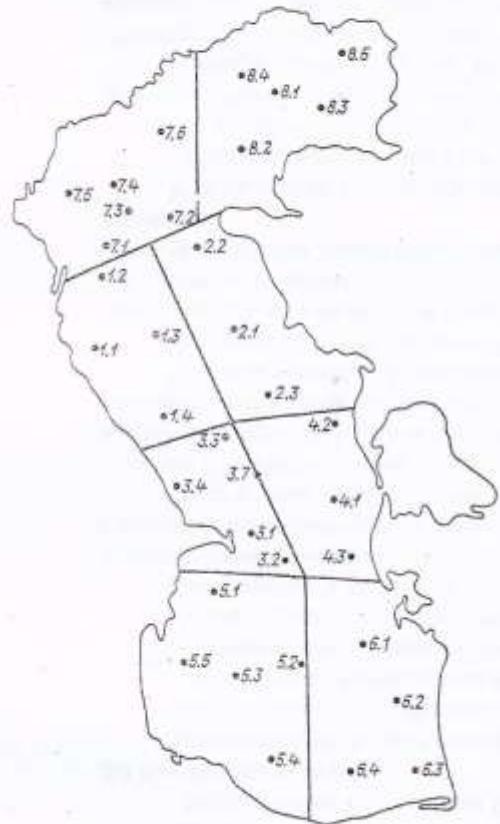


Рис. 13.13. Расположение точек для расчета элементов ветровых волн.
Первая цифра соответствует номеру района.

ния волн и скорость ветра V (м/с), для которых принята повторяемость соответствующего поля ветра.

По рассчитанным значениям \bar{h} , τ и V построены функции распределения, которые спрятываются на билогарифмической клетчатке вероятностей и аппроксимируются распределением Вейбулла. С кривых распределения снимались значения \bar{h} , τ и V , соответствующие опорным месяцам сезона и года в целом, отвечающие обеспеченности 50, 20, 5 и 1 %, и значения этих элементов, возможные 1 раз в 5, 10, 20 и 50 лет. Максимальные значения высот и периодов волн, отвечающие вероятности превышения 0,1 или 1 %, можно получить, умножив их среднее значение на соответствующий модульный коэффициент [327].

На схемах Пл.18—Пл.22 приводятся также высоты волн, рассчитанные согласно рекомендациям, изложенным в Методических указаниях [327], где они названы индивидуальными волнами. До сих пор остается спорным вопрос, высоту волн какой обеспеченности следует считать максимальной.

Метод [327] позволяет вычислить максимальную высоту волн как бы непрерывно проходящих перед наблюдателем за длительный промежуток времени. Поэтому максимальные высоты волн \bar{h}_n будут несколько большими, чем при четырехсроковых наблюдениях.

Выше показано, что по натурным данным многолетнее распределение высот волн в глубоком море можно аппроксимировать «склейкой» двух прямых семейства Вейбулла и что аналогичное распределение, полученное расчетным путем, изображается на сетке Вейбулла в виде одной прямой. В области малой вероятности превышения высот (см. рис. 13.12) рассчитанная и натурная функции распределения сближаются, а высоты волн отличаются не более чем на 1,5 %. Высоты индивидуальных волн \bar{h}_n , вычисленных указанным выше способом (при $n = 50$ лет), вероятно, можно считать близкими к предельным для Каспийского моря. Можно заметить, что различия между максимумами, полученными путем умножения средних высот на коэффициент $K_t = 3,20$, и значениями \bar{h}_n при увеличении n , становятся меньшими, и при $n = 50$ лет эти максимумы почти совпадают. Это происходит, вероятно, по той причине, что дефект четырехсроковых наблюдений (возможны пропуски самых высоких волн) при увеличении числа лет становится все менее заметным.

Условная энергия волн e_a по направлениям a вычислялась по формуле

$$e_a = \left(\sum_{j=1}^{j=k} h_j^2 P_j \right) a, \quad (13.7)$$

где k — число всех случаев, когда в расчетной точке наблюдалось волнение от направления a° ; h_j^2 — условная энергия волн в j -м случае; P_j — повторяемость j -го волнения, выраженная в долях единицы (за единицу принята суммарная повторяемость случаев волнения от направления a). Приведенные характеристики позволяют решить, например, такие вопросы:

— определить наиболее волноопасные направления распространения волн для данной точки, которые характеризуются наибольшими значениями e_a ;

— определить направления распространения волнения, отвечающие наибольшей работе волн, которые характеризуются наибольшими значениями произведения $e_a P_a$;

— определить наиболее штормовые месяцы года, которые характеризуются наибольшими значениями $\sum e_a$;

— определить среднюю высоту «эквивалентного» волнения, которое как бы непрерывно работает в течение P % времени (для отрезков времени — месяц или год). Эта высота $\bar{h} = \sqrt{e_a}$.

В связи с тем что типизация ветровых условий Среднего и Южного Каспия выполнена отдельно для шести районов моря, расчет волн производился по указанной схеме районирования. Однако, чтобы иметь представление о пространственно-временной изменчивости характеристик волнения, по результатам расчета построены карты. На этих картах показано распределение в пространстве средних высот \bar{h} и средних периодов волн τ , воз-

можных на Каспии 1 раз в 5, 10, 20 и 50 лет (рис. П1.13—П1.17), а также распределение индивидуальных высот волн, возможных за указанные периоды повторяемости.

Приведенные на рисунках характеристики волнения относятся к акватории моря с глубиной более 30 м. Эти характеристики могут служить в качестве исходных для расчетов волнения в мелководных зонах моря.

В глубоководных частях моря в течение всего года преобладает волнение северного и северо-западного направлений. Однако каждый район имеет свои особенности.

В районе 1 (см. рис. 13.13) преобладает волнение юго-восточного (30 %) и северо-западного направлений (25,6 %). Наибольшую работу волн также следует ожидать от этих направлений. В летние месяцы заметно преобладают северо-западное и северное направления волнения. В зимнее время повторяемости волнения юго-восточного и северо-западного направлений примерно равны, однако наиболее полноопасным направлением в этом районе является юго-восточное, так как волны в этом случае развиваются при большом разгоне и могут достигать большой высоты. Наиболее штормовые месяцы года — январь и октябрь, они характеризуются наибольшими значениями Σe_a .

В районе 2 преобладает северное и северо-западное волнение, существенно также волнение юго-восточное (150°). Работа волн в зимнее время года примерно одинаково распределена между волнением северо-западного, северного и юго-восточного направлений. В летнее время так же, как и в районе 1, преобладает волнение от северных румбов. Наиболее полноопасное направление в течение всего года — юго-восточное.

Район 3, как отмечалось, самый бурный на Каспии, и размеры волн здесь достигают наибольших значений. В течение всего года преобладает северное и северо-западное волнение (28 и 18 % соответственно). В зимние месяцы несколько возрастает повторяемость волнения юго-восточного (150°) и юго-западного (210°) направлений, однако наиболее полноопасным в течение всего года остается волнение северного направления, которое также характеризуется наибольшей работой волн. Наиболее штормовые месяцы — октябрь, ноябрь и январь, однако и в летние месяцы (июль) Σe_a достигает больших значений. Связано это с тем, что в летнее время существенно уменьшается повторяемость волнения от южных румбов и увеличивается — от северного и северо-западного направлений и в сумме в июле составляет около 62 %.

В районе 4 преобладает волнение северо-западного направления, повторяемость которого в течение года достигает 41 %. Из остальных направлений следует отметить восточное и юго-восточное волнение, повторяемость которого в году составляет 11,5 и 13,7 % соответственно. В зимнее время несколько увеличивается повторяемость юго-восточного, а в летние месяцы (июль) — северо-западного и северного волнения. Наиболее полноопасное направление — северо-западное. Этому же направлению отвечает наибольшая работа волн. Наиболее штормовые месяцы в данном районе

выделить трудно, так как некоторое уменьшение условной удельной энергии воли в летнее время для северо-западного волнения компенсируется увеличением его повторяемости.

В районе 5, в отличие от всех других районов, в течение всего года преобладает северное волнение и редко отмечается северо-западное. Северное направление отвечает также наибольшей работе волн. В зимнее время возрастает повторяемость западного волнения, которое в других районах моря проявляется как юго-западное. Наиболее штормовые в этом районе — осенне-зимние месяцы, наиболее тихие — весенние (апрель).

Повторяемость волнения в районе 6 не имеет характерных особенностей. В течение года преобладает северо-западное волнение и, в отличие от района 5, редко наблюдается северное волнение. Северо-западное направление здесь наиболее полноопасное и отвечает наибольшей работе волн. Так же, как и в других районах, зимой увеличивается повторяемость юго-восточного волнения до 28,1 % (январь) и уменьшается до 2,5 % летом (июль).

Наибольшая высота «эквивалентного» волнения, которое как бы непрерывно работает в течение года, наблюдается в районах 3 и 1 и составляет около 1 м.

Во всей глубоководной части Среднего и Южного Каспия средняя высота волн, отвечающая медиане расчетной режимной функции распределения высот, колеблется от 0,8 м в районах моря 1 и 3 до 0,4 м в районе 6, а средняя высота квантами 1 % изменяется от 2,8 м в районе 3 до 1,6 м в районе 6. Один раз в 5 лет средняя высота волн почти на всей глубоководной акватории моря может достигать 3,5 м, а в районах, прилегающих к Апшеронскому порогу, — 4,0 м. Средний период волн в глубоководной части моря не менее 8,5 с, а в районе Апшеронского порога — 9 с.

На схеме П1.14, которая иллюстрирует распределение средних высот и средних периодов волн, возможных 1 раз в 10 лет, почти вся глубоководная часть моря ограничена изолинией, отвечающей средней высоте 4 м и периоду 9 с, а акватория к северу от Апшеронского порога — средней высоте 4,5 м. Средние высоты и периоды волн с повторяемостью 1 раз в 20 лет примерно такие же. Увеличивается только площадь моря, на которой средняя высота может достигать 4,5 м, а средний период 9,5 с. То же самое относится к высотам и периодам волн, которые можно ожидать 1 раз в 50 лет. Однако к востоку от Апшеронского полуострова в центре района 3 средняя высота волн с таким промежутком повторяемости существенно увеличивается и составляет 5,3 м, а средний период — 10,4 с.

Приведенные схемы распределения высот и периодов волн, а также максимальных высот позволяют выделить области наибольшей штормовой деятельности на Каспий. Одна такая область находится в районе 3, к северо-востоку от оконечности Апшеронского полуострова. Один раз в 5 лет здесь можно ожидать формирования волн со средней высотой 4,0 м и средним периодом 9 с, а максимальная высота может достигать 14 м.

Другая область повышенной штормовой деятельности четко выделяется в холодную половину

года в районе I. Эта область, отмечаемая на зимних картах распределения высот волн, сохраняется до конца апреля, затем исчезает и опять появляется в ноябре. Это связано с действием юго-восточных ветров, которые в зимнее время довольно часты и их скорости довольно значительны. Летом же юго-восточный ветер по всему Каспию наблюдается редко.

Распределение максимальных высот индивидуальных волн повторяет распределение средних высот, однако в любое время года максимальная высота в районе 3 несколько выше, чем в других районах. Наибольшие высоты в районе 3 можно ожидать в осенне-зимний период (октябрь—январь), где 1 раз в 5 лет в январе она может достигать 14 м, в районе 1—13 м, а во всей глубоководной области Среднего и Южного Каспия—около 10 м. Один раз в 50 лет в январе в центре района 3 высота индивидуальных волн может достигать 17 м, в точке расчета 3.1 она составила 17,5 м*. Высота, соответствующая квантили 0,1 %, которую можно получить исходя из наибольшей средней высоты, составляет 5,3·3,2 = 17,0 м, что почти совпадает с приведенной выше максимальной высотой индивидуальных волн. Расчет максимальной высоты волн с учетом коэффициента $F(h) = 0,1\%$ дает значение 1 раз в 50 лет $(h_{0,1\%})_{50} = 16,2$ м, что отличается от высоты индивидуальных волн в точке 3.2 (район ст. Нефтяные Камни) не более чем на 5 %.

Наиболее тихим месяцем года можно считать апрель. Максимальная высота волн, возможная 1 раз в 5 лет, в этом месяце не превышает 12 м в районах 1 и 3 и 10 м в районах 5 и 6. Один раз в 50 лет в апреле можно ожидать в районах 1 и 3 максимальную высоту индивидуальных волн 14 м.

В летние месяцы (июль) высота волн, возможная 1 раз в 5 лет, несколько возрастает по сравнению с высотой волн в апреле, однако при периоде повторяемости 1 раз в 50 лет высоты в апреле и в июле почти совпадают.

Ветровое волнение в самой южной части моря, примыкающей к иранскому побережью, несмотря на некоторое ослабление ветра, достигает существенных значений. Например, средняя высота волн, возможная в южной части моря 1 раз в 5 лет, составляет 3,5 м, средний период—9 с, максимальная высота—13 м. Эти же элементы 1 раз в 50 лет достигают соответственно 4 м, 10 с и 14 м.

13.8. Режим волнения некоторых районов прибрежной зоны Среднего и Южного Каспия

Для описания волнового режима в прибрежной зоне рассматриваемых шести районов средней и южной частей моря используются главным обра-

* Приведенные значения максимальных высот волн получены в результате экстраполяции режимных функций распределения в область малых вероятностей, что соответствует мировой практике. Эти значения не противоречат данным, содержащимся в известных режимных пособиях. Указанная максимальная высота волн (17 м) может реализоваться в шторме при скорости ветра 38 м/с, разгоне около 100 км и продолжительности шторма около 4—5 ч. Такое сочетание условий на море может появиться примерно 1 раз в 100 лет (Прим. ред.).

зом натурные наблюдения. Число репрезентативных пунктов наблюдений в каждом районе различное. В районе I имеется только один пункт с достаточно надежными и достоверными наблюдениями—это ГМС Изберг, которая с 1952 по 1972 г. располагалась на эстакаде в 1,5 км от берега (глубина 10,4 м).

Повторяемость волнения по данным этой станции несколько отличается от полученной расчетным путем. В глубоком море преобладает волнение юго-восточного и северо-западного направлений, а по данным ГМС Изберг—восточного и северного направлений. Столь существенное отличие вызвано рефракцией волн на мелководье, вследствие которой волны, имеющие в глубоком море юго-восточное направление, поворачивают к востоку, а волны северо-западного направления—к северу (табл. 13.18). Необходимо отметить, что повторяемость волнения восточного направления по данным ГМС Изберг значительно превышает повторяемость юго-восточного волнения, полученную по расчету для условий глубокого моря. Дело в том, что расчетные методы плохо учитывают волны зыби, которые даже в условиях замкнутого Каспийского моря оказывают существенное влияние на общую картину распределения волн по направлениям. Помимо перечисленных выше следует выделить также волнение северо-западного и юго-восточного направлений, многолетняя повторяемость которых составляет 11,0 и 9,8 % соответственно.

В районе дагестанского побережья при преобладающих в глубоком море юго-восточных ветрах волны подходят к берегу под углами 75—90°, что в результате рефракции приводит к значительному снижению высот волн. По данным наблюдений на ГМС Изберг за 20-летний период (см. табл. 13.18) наибольшая высота волн 3 %-ной обеспеченности не превышает 4,5 м, в то время как в глубоком море можно ожидать вдвое большее значение.

В этом районе наибольшие высоты имеют волны восточного направления. Значительны по высоте также волны северного, юго-восточного и южного направлений. Максимальные высоты волн, возможные в районе ГМС Изберг за определенное число лет, вычисленные с помощью функций распределения, приведены в табл. 13.19. Один раз

Таблица 13.18

Повторяемость (%) высот волн h_3 по направлениям (ГМС Изберг)

Высота волн, м	Направление волнения							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
0,1—0,2	4,1	2,2	5,6	2,1	0,5	0,6	1,2	0,6
0,3—0,4	4,6	2,3	6,6	1,7	0,2	0,1	0,1	0,6
0,5—0,9	11,0	4,0	12,1	3,3	0,2	0,1	0,1	1,6
1,0—1,4	6,7	1,8	8,6	1,5	0,1	0,1	0,1	1,0
1,5—1,9	2,0	0,3	3,0	0,5	0,1	—	—	0,9
2,0—2,4	0,7	0,2	1,6	0,2	—	0,1	—	0,4
2,5—2,9	0,3	0,1	1,1	0,1	—	—	—	0,1
3,0—3,4	0,1	0,1	0,5	0,1	—	—	—	0,1
3,5—3,9	0,1	—	0,1	0,1	0,1	—	—	—
4,0—4,4	—	—	0,1	—	—	—	—	—
Сумма	29,6	10,8	39,3	9,6	1,2	1,0	1,5	5,3

Таблица 13.19

Высоты $h_{3\%}$, $h_{0.1\%}$ и средний период волн $\bar{\tau}$, рассчитанные для различных пунктов прибрежной зоны Каспийского моря

Характеристика	Обеспеченность $F, \%$				Значения, возможные 1 раз в заданное число лет				
	50	20	5	1	1	5	10	20	50
Изберг									
$h_{3\%} \text{ м}$	0,64	1,2	2,0	2,8	3,4	3,9	4,1	4,3	4,7
$h_{0.1\%} \text{ м}$	1,0	1,8	3,0	3,6	4,4	5,1	5,3	5,6	6,1
$\bar{\tau} \text{ с}$	3,8	5,0	6,2	7,3	7,9	8,7	9,2	9,6	10,2
Остров Булла									
$h_{3\%} \text{ м}$	0,46	1,1	2,3	3,6	5,0	5,6	5,7	5,8	—
$h_{0.1\%} \text{ м}$	0,7	1,7	3,0	4,7	6,5	7,3	7,4	6,6	—
$\bar{\tau} \text{ с}$	3,0	4,0	4,7	5,5	6,2	6,6	6,8	—	—
Свиной остров									
$h_{3\%} \text{ м}$	0,8	1,6	2,6	3,3	3,8	4,0	4,3	4,5	5,0
$h_{0.1\%} \text{ м}$	1,2	2,6	3,9	4,6	4,9	5,2	5,6	5,9	6,5
$\bar{\tau} \text{ с}$	4,6	5,4	6,0	6,5	7,4	7,8	8,1	8,5	8,8
Челекен									
$h_{3\%} \text{ м}$	0,47	1,0	1,7	2,4	3,1	3,7	4,0	4,2	4,6
$h_{0.1\%} \text{ м}$	0,71	1,5	2,3	3,2	4,0	4,8	5,1	5,3	5,8
$\bar{\tau} \text{ с}$	3,1	4,2	5,2	6,0	7,1	8,2	8,7	9,3	10,0

в 50 лет в этом пункте можно ожидать высоты волн $h_{3\%} = 4,7 \text{ м}$ и $h_{0.1\%} = 6,1 \text{ м}$.

Принято считать, что периоды волн, определяемые на гидрометстанциях и судах полуинструментальным способом, примерно соответствуют среднему периоду волн на участке квазистационарности процесса. По данным ГМС Изберг наибольшие средние периоды (до 10,2 с) имеют волны восточного направления. По расчетам в глубоком море наибольший средний период волн, который можно ожидать 1 раз в 50 лет, составляет 9,8 с, а 1 раз в 20 лет — 9,3 с, что почти совпадает с данными натурных измерений (табл. 13.20).

Акватория Апшеронского архипелага относится к району 3. В нем находится несколько станций и постов, наблюдения которых можно считать референтными: Банка Дарвина, Остров Жилой (море) и Нефтяные Камни. К северу от о. Артема расположено несколько подводных банок: Апшеронская, Андриевского, Дарвина и Опасная. Акватория к северу от острова застроена эстакадами и отдельными буровыми платформами. На одной из них, впоследствии соединенной с эстакадой, над глубиной 7 м, располагается ГМС Банка Дарвина. Систематические наблюдения ведутся с 1952 г.

Гидрометстанция Остров Жилой (море) располагалась на буровой платформе в 5 км к востоку от о. Жилого над глубиной 15 м. По этому пункту имеется ряд наблюдений за неполных 6 лет с 1952 по 1957 г. По наблюдениям на СГМС Нефтяные Камни для анализа привлечены данные двух пунктов, расположенных над глубинами моря 11,6 (пункт 1) и 22,5 м (пункт 2).

В районе Апшеронского архипелага и в глубоком море в пределах района 3 преобладает северное волнение; его повторяемость значительно

превосходит повторяемость ветра, формирующего это волнение. Указанное несоответствие вызывается главным образом волнами зыби и рефракцией волн при выходе с больших глубин на мелководье. В районе б-ки Нефтяные Камни в пункте 1 повторяемость северо-западного волнения не превышает 5 %, а в пункте 2 в отдельные месяцы достигает 23 %. Вблизи о. Жилого и в районе б-ки Дарвина рефракция оказывается в меньшей степени (меньше угол подхода волн по отношению к нормали к изобатам) и поэтому повторяемость волн северо-западного направления больше, чем в пункте 1 в районе Нефтяных Камней. В летние месяцы повторяемость волнения северного направления увеличивается и достигает в районе Нефтяных Камней в июле 60 %, а в районе о. Жилого и б-ки Дарвина 55 %.

Несмотря на относительно малую повторяемость северо-восточного ветра, волнение этого направле-

Таблица 13.20
Повторяемость (%) периодов волн по направлениям
(ГМС Изберг)

Период волн, с	Направление волнения							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
<1,0	0,1	0,1	0,1	0,1	—	0,1	0,1	—
1,0—1,9	0,8	0,2	0,9	0,9	0,5	0,6	0,1	0,5
2,0—2,9	3,1	1,1	3,8	2,5	0,3	1,6	0,3	0,2
3,0—3,9	12,3	4,2	11,3	3,6	0,2	0,1	0,1	2,5
4,0—4,9	10,0	3,8	11,3	1,5	0,1	—	0,1	1,4
5,0—5,9	2,0	1,0	6,3	0,4	—	—	0,1	0,4
6,0—6,9	0,2	0,3	3,2	0,1	—	—	—	0,4
7,0—7,9	0,1	0,1	1,1	0,1	—	—	—	—
8,0—8,9	0,1	—	0,3	—	—	—	—	—
9,0—9,9	—	—	0,1	—	—	—	—	—
10,0—10,4	—	—	0,1	—	—	—	—	—

ния наблюдается достаточно часто. Это связано, по-видимому, с приходом в район Апшеронского архипелага волн из восточной части моря. Наибольшая повторяемость северо-восточного волнения отмечена в августе и сентябре (21—24 %).

Повторяемость волнения южных румбов увеличивается зимой и уменьшается летом. В январе и феврале повторяемость волнения юго-восточного, южного и юго-западного направлений достигает 15—17, а в июле и августе — 2—3 %. Исключение составляет только ст. Банка Дарвина, где максимум повторяемости волнения южного и юго-западного направления наблюдается в мае и июне. По-видимому, это связано с местными условиями, в частности, с рефракцией волн на многочисленных банках.

Волнение западного направления наблюдается очень редко и его повторяемость не превышает 3 % (табл. 13.21).

В годовом цикле наибольшие высоты волн в районе Апшеронского архипелага наблюдаются в основном в холодную половину года. С октября по март повторяемость высот волн до 1,5 м в рай-

оне б-ки Нефтяные Камни превышает 20 %, а в районе б-ки Дарвина и о. Жилого — близка к этому значению. Крупные волны, высота которых больше 5,5 м, на акватории Нефтяных Камней над глубиной 22,5 м не наблюдалась только в июне. Обеспеченность таких волн в году составила 0,3 %. За 20-летний период волны высотой 6,5 м не наблюдались только в летние месяцы с июня по сентябрь включительно (табл. 13.22). В приведенных таблицах даны средние высоты волн из пяти наибольших измеренных высот по волномерной вехе h_{av} ; максимальная высота может быть в 1,4—1,6 раза больше этих значений.

Крупные волны в район Апшеронского порога приходят главным образом с севера или северо-запада. При этом на б-ке Нефтяные Камни в пункте 1 такие волны отмечены только с севера. В пункте 2 наиболее крупные волны, превышающие $h_{\text{av}} = 8$ м, наблюдались при северном и северо-западном направлениях волнения (см. табл. 13.22).

В районе о. Жилого и б-ки Дарвина наиболее крупные волны также имели северное и северо-западное направления. Достаточно больших высот в районе Нефтяных Камней достигают волны северо-восточного направления, что является следствием поворота ветра к северо-востоку при окончании шторма.

Наибольшая высота волн с режимной обеспеченностью 3 %, которая была отмечена на Нефтяных Камнях за 20 лет, в пункте 2 с глубиной 22,5 м составила 8,5 м. В пункте 1 на Нефтяных Камнях, где глубина моря 11,6 м, а ряд наблюдений составляет только 7 лет, наибольшая высота волн с режимной обеспеченностью 3 % составила 8,1 м.

Согласно наблюдениям, высота волн с режимной обеспеченностью 50 % в пункте 1 меньше, чем в пункте 2, но наибольшие высоты волн в обоих пунктах почти совпадают. Объяснить это можно двумя причинами. Первая состоит в том, что за период наблюдений в пункте 1 прошло несколько очень сильных штормов, в частности штормы 20—21 ноября 1957 г., 20—21 ноября 1958 г., 26 ноября 1959 г. Шторм 20—21 ноября 1957 г. считается самым сильным за всю историю наблюдений на ст. Нефтяные Камни. Вторая причина заключается в росте самых крупных волн перед обрушением при их выходе с больших глубин на мелководье. В связи с этим, средние высоты волн, возможные 1 раз в 20 и 50 лет, полученные путем расчета по типовым полям ветра для точки 3.6 (Нефтяные Камни, глубина 11,6 м), на 0,2—0,3 м больше, чем высоты, полученные по расчетам в точке 3.5, где глубина 22,5 м. Однако наибольшая высота индивидуальных волн за те же периоды в точке 3.5 на 2 м больше, чем в точке 3.6. Высоты индивидуальных волн для этих двух точек определялись численным методом. Здесь, кстати, можно отметить, что максимальная высота волн, которую удалось измерить в районе Нефтяных Камней в пункте с глубиной 11,6 м, составила 10 м. Она наблюдалась во время шторма 20—21 ноября 1957 г. Максимальная высота индивидуальных волн, полученная по расчету для этого пункта с периодом повторяемости 1 раз в 50 лет, также равна 10 м.

Таблица 13.21

Повторяемость (%) направлений волнения в районе Апшеронского архипелага

Направление волнения	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год	
													С	СВ
Нефтяные Камни, глубина 11,6 м														
C	30	26	43	41	45	57	68	52	41	25	31	31	43	
CB	11	14	12	15	10	13	13	21	24	13	15	15	14	
B	10	8	11	9	9	8	5	11	14	11	15	14	10	
ЮВ	13	10	8	10	10	2	3	6	6	11	14	11	9	
Ю	16	10	12	12	12	5	3	4	6	17	10	10	10	
ЮЗ	12	17	9	7	7	8	4	5	8	9	14	9		
Z	3	1	1	2	2	4	2	1	1	2	4	2	2	
C3	5	4	3	4	5	3	2	1	2	3	2	3	3	
Нефтяные Камни, глубина 22,5 м														
C	34	30	33	36	33	46	62	51	38	32	29	23	36	
CB	10	10	8	10	8	10	11	16	20	14	11	11	12	
B	6	10	8	9	4	3	4	10	15	17	9	8	8	
ЮВ	15	10	10	6	4	2	1	3	9	11	15	14	8	
Ю	13	19	18	14	16	12	5	5	8	13	16	18	13	
ЮЗ	8	6	6	4	7	7	4	2	2	14	10	8	6	
Z	3	0	1	0	4	3	2	1	1	1	1	2	2	
C3	11	15	16	21	24	17	11	12	7	8	9	16	15	
Остров Жилой, глубина 15...17 м														
C	27	29	40	34	31	47	55	44	39	25	34	27	36	
CB	14	9	12	8	11	12	13	23	25	15	19	14	15	
B	5	8	5	8	3	7	4	7	14	16	11	10	7	
ЮВ	15	10	12	15	12	4	5	10	10	18	13	13	12	
Ю	12	17	10	8	12	7	6	5	6,6	19	5	5	9	
ЮЗ	15	9	12	8	5	5	5	4	7	10	18	10		
Z	3	1	1	3	3	4	1	3	0,4	20	2	3	2	
C3	9	11	11	11	20	14	11	3	2	8	6	10	9	
Банка Дарвина, глубина 7,5 м														
C	32	31	36	32	33	40	53	49	38	28	29	26	36	
CB	10	10	12	8	8	7	9	10	15	15	13	15	11	
B	11	12	8	6	7	4	4	7	16	13	20	16	10	
ЮВ	8	7	9	12	10	12	8	13	10	12	9	7	10	
Ю	7	10	19	12	18	8	6	5	7	13	6	10	9	
ЮЗ	13	11	9	7	7	4	3	2	3	5	9	14	7	
Z	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
C3	16	18	15	22	22	22	15	8	10	15	11	15	16	

Таблица 13.22

Повторяемость (%) высот волн h_3 по направлению волнения в районе Апшеронского архипелага

$h_3 \text{ м}$	Направление волнения							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Нефтяные Камни, глубина 11,6 м								
0,1—0,5	10	4,9	3,6	3,2	3,9	3,2	1,3	1,1
0,6—1,0	14	4,3	3,3	3,0	3,9	2,8	0,60	0,85
1,1—1,5	8,3	2,8	1,6	1,7	1,5	1,5	0,26	0,48
1,6—2,0	5,1	1,2	0,5	0,3	0,60	0,73	0,13	0,26
2,1—2,5	3,0	0,4	0,1	0,08	0,07	0,26	0,03	0,07
2,6—3,0	1,7	0,15	0,07	0,01	—	0,05	0,005	0,015
3,1—3,5	0,9	0,04	0,03	—	0,01	0,01	—	0,01
3,6—4,0	0,6	0,03	0,01	0,005	—	0,005	—	0,003
4,1—4,5	0,3	—	—	—	—	—	—	—
4,6—5,0	0,15	—	—	0,01	0,005	—	—	—
5,1—5,5	0,08	—	—	—	—	—	—	—
5,6—6,0	0,03	—	—	—	—	—	—	—
6,1—6,5	0,02	—	—	—	—	—	—	—
6,6—7,0	0,01	—	—	—	—	—	—	—
7,1—7,5	0,005	—	—	—	—	—	—	—
7,6—8,0	0,01	—	—	—	—	—	—	—
Нефтяные Камни, глубина 22,5 м								
0,0—0,5	15	29	30	27	37	39	58	17
0,6—1,0	23	26	34	30	31	27	19	24
1,1—1,5	20	18	21	28	20	21	15	19
1,6—2,0	16	34	11	11	9,4	9	4,4	14
2,1—2,5	9,5	7,8	2,7	3,5	2	3,1	3,1	10
2,6—3,0	6,0	4,6	0,9	0,9	0,6	0,9	0,9	7,3
3,1—3,5	3,6	1,0	—	—	—	—	—	3,4
3,6—4,0	3,0	0,4	—	—	—	—	—	2,3
4,1—4,5	1,5	—	—	—	—	—	—	1,0
4,6—5,0	1,0	0,01	—	—	—	—	—	0,8
5,1—5,5	0,7	0,01	—	—	—	—	—	0,6
5,6—6,0	0,3	—	—	—	1	—	—	0,05
6,1—6,5	0,1	—	—	—	—	—	—	0,2
6,6—7,0	0,06	—	—	—	—	—	—	0,1
7,1—7,5	0,02	—	—	—	—	—	—	—
7,6—8,0	0,02	—	—	—	—	—	—	—
8,1—8,5	—	—	—	—	—	—	—	0,05
8,6—9,0	—	—	—	—	—	—	—	—
Остров Жилой, глубина 15—17 м								
0,0—0,2	4,6	2,7	1,8	3,5	2,0	2,6	1,0	1,7
0,3—0,4	5,1	3,2	1,4	2,2	2,0	1,9	0,4	1,9
0,5—0,9	10	5,1	2,0	3,5	3,1	2,4	0,5	3,0
1,0—1,4	6,2	3,5	1,6	1,5	1,0	1,5	0,1	1,6
1,5—1,9	3,3	1,2	0,5	0,4	0,1	0,6	0	0,7
2,0—2,4	2,5	0,4	0,1	0,1	0,1	0,5	0	0,5
2,5—2,9	1,2	0,1	0,2	—	—	0,2	—	0,1
3,0—3,4	0,8	0,2	—	—	—	—	—	0,2
3,5—3,9	0,6	0,1	—	—	—	—	—	0,2
4,0—4,4	0,2	—	—	—	—	—	—	0,1
4,5—4,9	0,1	—	—	—	—	—	—	—
$> 5,0$	0,1	—	—	—	—	—	—	—
Банка Дарвина, глубина 7,5 м								
0,0—0,4	6,9	3,1	3,2	4,8	3,9	2,5	0,58	4,4
0,5—0,9	8,5	3,7	4,2	3,5	3,8	2,6	0,30	4,0
1,0—1,4	7,7	2,7	2,3	1,1	1,08	1,6	0,07	3,0
1,5—1,9	5,2	1,2	0,45	0,24	0,13	0,53	—	2,1
2,0—2,4	3,4	0,32	0,054	0,006	0,012	0,17	0,006	1,4
2,5—2,9	2,1	0,11	0,036	0,006	—	0,024	0,006	0,55
3,0—3,4	1,2	0,10	0,05	—	—	0,006	—	0,15
3,5—3,9	0,45	0,006	0,006	—	—	—	—	0,038
4,0—4,4	0,20	0,006	—	—	—	—	—	0,018
4,5—4,9	0,25	0,018	—	—	—	—	—	0,03
5,0—5,9	0,14	—	—	—	—	—	—	—
$> 6,0$	0,024	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 13.23

Повторяемость (%) периода волн τ по направлению волнения

τ , с	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Нефтяные Камни								
<1,0	1,3	0,2	0,2	0,4	0,4	0,2	0,1	0,1
1,0—1,9	1,4	0,6	0,4	0,5	0,9	0,5	0,1	0,2
2,0—2,9	7,3	2,7	2,0	1,3	2,6	2,2	0,8	0,7
3,0—3,9	14,0	4,8	3,1	2,1	2,3	3,1	0,8	0,8
4,0—4,9	10,8	4,6	2,5	2,0	1,9	1,8	0,3	0,2
5,0—5,9	7,7	1,2	0,4	0,5	0,5	0,6	0,1	0,2
6,0—6,9	3,6	0,2	—	0,2	0,2	0,1	—	0,1
7,0—7,9	1,2	—	0,1	—	0,1	—	—	—
8,0—8,9	0,4	—	—	—	0,1	—	—	—
9,0—9,9	0,1	—	0,1	—	—	—	—	—
10,0 и более	0,1	—	—	—	—	—	—	—
Острова Жилой								
>1,0	0,1	—	—	—	0,1	—	—	—
1,0—1,9	5,1	1,6	1,3	2,1	7,5	2,0	0,6	1,2
2,0—2,9	14,9	4,9	0,7	3,8	7,4	2,9	0,4	1,3
3,0—3,9	19,8	1,8	0,9	0,2	2,2	3,4	—	2,6
4,0—4,9	5,4	1,4	—	—	0,3	0,3	—	0,4
5,0—5,9	1,5	—	—	—	—	—	—	—
6,0—6,9	0,7	0,6	—	—	—	—	—	—
7,0—7,9	—	—	—	—	—	—	—	—
8,0—8,9	0,6	—	—	—	—	—	—	—
Банка Дарвина								
1,0—1,9	0,9	0,3	0,6	2,1	2,4	0,9	0,2	1,1
2,0—2,9	3,5	1,3	1,5	4,4	4,5	3,0	0,3	3,3
3,0—3,9	8,5	3,0	3,9	1,9	1,5	2,1	0,2	5,1
4,0—4,9	11,2	3,5	4,4	0,6	0,2	0,5	—	4,4
5,0—5,9	7,0	1,2	0,6	0,1	—	—	—	2,9
6,0—6,9	3,4	0,4	—	—	—	—	—	1,7
7,0—7,9	0,9	—	—	—	—	—	—	0,3
8,0—8,9	0,2	—	—	—	—	—	—	—

Вблизи о. Жилого и в районе б-ки Дарвина высоты волн несколько меньше, чем в районе Нефтяных Камней. За 5-летний период наблюдений повторяемость высот волн более 5 м в пункте, где глубина 15—17 м (вблизи о. Жилого), не превышает 0,1 %. В районе б-ки Дарвина максимальная измеренная высота волн составила 6 м (см. табл. 13.22).

Согласно экспериментальным и теоретическим исследованиям, средние периоды волн, а также их функции распределения не испытывают значительных изменений при выходе с больших глубин на мелководье. По этой причине данные наблюдений периодов волн в отдельных пунктах можно распространить на большую акваторию. Повторяемость периодов в зависимости от направления волнения по районам Нефтяных Камней, о. Жилого и б-ки Дарвина приведена в табл. 13.23.

Периоды волн до 9 с наблюдались при северном волнении во всех перечисленных пунктах Апшеронского архипелага. В районе Нефтяных Камней при северном волнении средний период превышает 10 с.

Повторяемость и обеспеченность периодов волн без учета направления волнения по наблюдениям в двух пунктах в районе Нефтяных Камней приводятся в табл. ПИ.35. Согласно этим данным, наибольший средний период в пункте с глубиной 22,5 м не превышал 11 с, а в пункте с глубиной 11,6 м — 12 с. По расчетным данным средний период воли, возможный 1 раз в 50 лет в том и другом пункте

в районе Нефтяных Камней, составляет 10,4 с.

К югу от Бакинской бухты до окончности Куриńskiej косы располагается Бакинский архипелаг, акватория которого изобилует большим количеством подводных банок, отмелей, кос, каменных гряд и островов. Наиболее крупные острова — Булла, Свиной, Обливной и Глиняный. Для описания волнового режима этого района привлечены наблюдения в трех пунктах — Остров Песчаный, Остров Булла и Свиной остров.

Волномерный пост Остров Песчаный был открыт в 1958 г. и вначале находился на буровой платформе, которая располагалась в пункте с глубиной 11,5 м на расстоянии около 2 км к югу от Апшеронского полуострова. В 1962 г. пост был перенесен на эстакаду (площадка № 16), где глубина 7,5 м, и там находится в настоящее время.

Волномерный пост Остров Булла (море), открытый в январе 1964 г., располагался на буровой платформе, но несколько раз менял свое местоположение. Привлечены наблюдения с 1967 по 1971 г., когда пост располагался поочередно на двух близлежащих платформах с глубиной места 17 м.

Гидрометстанция Свиной острова, открытая в 1923 г., работала до 1940 г. Вновь открылась в 1951 г. в северной части острова и находилась там до 1974 г. Использованы наблюдения этой станции с 1953 по 1973 г.

В районах островов Песчаного и Булла преобладает северное волнение (39 и 35,5 % соответ-

Таблица 13.24

Повторяемость (%) волнения по направлениям в районе Бакинского архипелага

Направление волнения	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Остров Песчаный													
С	30	34	38	34	36	46	56	66	42	34	29	32	39
СВ	9	10	9	7	5	7	9	11	11	11	8	11	9
В	6	6	3	5	4	4	4	7	6	6	5	5	6
ЮВ	15	16	17	16	14	10	6	11	17	22	14	14	14
Ю	8	10	18	19	22	18	10	7	13	11	15	6	13
ЮЗ	23	17	8	9	10	8	8	4	6	11	22	23	12
З	2	1	1	2	2	3	2	1	1	1	1	2	2
СЗ	7	6	6	8	7	4	5	4	4	4	5	7	5
Остров Булла													
С	35	39	36	28	33	36	30	46	32	34	33	34	36
СВ	15	16	12	15	15	13	17	19	23	15	13	11	15
В	4	5	4	7	5	4	6	9	10	7	2	4	6
ЮВ	4	10	14	14	15	16	10	10	13	10	7	5	11
Ю	8	11	18	24	19	18	13	9	13	11	10	4	13
ЮЗ	27	17	14	6	7	6	7	3	5	15	27	26	13
З	5	2	1	1	2	3	3	1	1	2	4	6	3
СЗ	3	2	1	4	4	5	5	4	5	7	4	10	4
Свиной остров													
С	8	7	6	8	6	8	13	10	11	9	8	7	8
СВ	46	59	53	41	35	41	49	47	50	48	55	54	48
В	12	12	13	14	13	12	10	14	15	15	13	10	8
ЮВ	2	2	6	12	16	13	11	15	8	7	3	2	8
Ю	3	6	11	13	17	15	10	8	10	7	2	1	9
ЮЗ	7	5	5	5	4	2	2	2	4	4	5	4	4
З	16	6	4	4	3	2	1	2	6	10	14	6	6
СЗ	7	3	2	3	4	4	3	3	2	4	5	7	4

венно), а в районе о. Свиного оно составляет лишь 8 %. Здесь преобладает северо-восточное волнение (48 %). К югу от параллели о. Булла северный ветер меняет направление на северо-восточное и в районе о. Свиного и далее до Курийской косы это направление преобладает в течение всего года. Уже в районе о. Булла повторяемость северо-восточного волнения (15,2 %) значительно больше, чем в районе о. Песчаного (9 %). В обоих районах юго-восточное и восточное волнение в течение года имеет повторяемость 10—14, а вблизи о. Свиного — не более 7 %. Ветровое волнение юго-западного направления в районе островов Булла и Песчаного довольно часто наблюдается в осенне-зимний период; в отдельные месяцы его повторяемость достигает 26—27 %. В районе о. Свиного волнение юго-западного, северо-западного и западного направлений наблюдается редко (табл. 13.24).

Волны высотой до 1 м на акватории Бакинского архипелага имеют в течение года повторяемость в среднем 79 %. Повторяемость волн высотой 1,0—1,5 м составляет 11—12 % для районов островов Песчаного и Свиного и 16,1 % в районе о. Булла. Волны высотой более 4 м наблюдались только вблизи островов Булла и Свиного, причем в районе о. Булла были отмечены волны высотой более 6 м. Максимальная высота волн в районе о. Песчаного составила 3,2 м. Приведенные здесь наибольшие высоты волн в районе островов Песчаного и Булла наблюдались при северо-западном волнении, а в районе о. Свиного — при северо-восточном (табл. 13.25).

Согласно расчетам по режимным функциям распределения (см. табл. 13.19), высота волн квантили 3 %, возможная 1 раз в 20 лет в районе о. Булла, равна 5,8 м, в районе о. Свиного — 4,5 м. Максимальная высота, соответствующая квантили 0,1 %, составила за тот же период для о. Булла 6,6 м и для о. Свиного 5,9 м, а возможная 1 раз в 50 лет в районе о. Свиного — 6,5 м.

По наблюдениям на ГМС Свиной остров за 21 год наибольший средний период приближается к 9 с, а в районе о. Булла он не превышает 7 с. Такое различие можно объяснить тем, что в районе о. Булла при северных ветрах волнение развивается как в условиях мелкого моря, что препятствует развитию в этом районе длиннопериодных волн. Кроме того, влияет разная продолжительность рядов наблюдений (21 и 5 лет для станций Свиной острова и Остров Булла соответственно). По этой причине экстраполяция волн по району о. Булла выполнена только для периодов повторяемости, не превышающих 20 лет.

Для характеристики волнового режима в районе туркменского побережья использованы наблюдения ст. Челекен (море) за 1962—1982 гг. Пост расположен с северо-западной стороны п-ова Челекен на расстоянии от берега 1,5 км при глубине моря 7 м. Наблюдения за волнением представлены для всего восточного побережья Каспийского моря.

Наиболее часто наблюдается северо-западное волнение как в холодное, так и в теплое время года, достигая максимума в июне и июле — 70 %. Его повторяемость значительно превышает повтор-

Таблица 13.25

Повторяемость (%) высот волн h_3 по направлению волнения в районе Бакинского архипелага

h_3 , м	Направление волнения							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Остров Песчаный								
0,1—0,5	15	7	4	8	9	6,1	1,8	2,8
0,6—1,0	15	1,8	0,9	2,4	4	3,4	0,08	1,4
1,1—1,5	8	0,26	0,07	0,9	1,4	1,6	0,02	0,48
1,6—2,0	2,3	0,02	0,16	0,14	0,36	0,60	0,02	0,24
2,1—2,5	0,4	—	0,06	0,04	0,07	0,14	—	0,01
2,6—3,0	0,05	—	—	0,02	—	0,02	—	—
3,1—3,5	0,05	—	—	0,02	—	—	—	—
Сумма	40,8	9,1	5,2	11,5	14,8	11,9	1,9	4,9
Остров Булла								
0,1—0,5	6,4	7,5	4,3	7,5	9,3	6,8	2,2	2,4
0,6—1,0	8,3	4,3	0,9	2,1	2,8	4,4	0,4	0,8
1,1—1,5	7,0	1,6	0,1	0,5	5,2	1,2	—	0,5
1,6—2,0	5,0	0,5	0,1	0,1	0,1	0,2	—	0,3
2,1—2,5	2,9	0,3	—	—	—	0,1	—	0,2
2,6—3,0	2,1	0,2	—	—	—	—	—	0,1
3,1—3,5	1,1	—	—	—	—	—	—	—
3,6—4,0	0,8	—	—	—	—	—	—	—
4,1—4,5	0,3	—	—	—	—	—	—	—
4,6—5,0	0,1	—	—	—	—	—	—	—
5,1—5,5	—	—	—	—	—	—	—	—
5,6—6,0	—	—	—	—	—	—	—	—
6,1—6,5	—	—	—	—	—	—	—	—
6,6—7,0	—	—	—	—	—	—	—	—
Сумма	34,0	14,4	5,4	10,2	16,4	12,7	2,6	4,3
Свиной остров								
0—0,2	1,5	9,5	6,6	7,0	7,4	3,3	3,9	2,7
0,3—0,4	0,5	4,7	2,6	0,2	0,3	0,2	1,3	0,7
0,5—0,9	1,7	13,4	3,5	0,2	—	—	1,2	0,5
1,0—1,4	1,6	9,6	0,8	—	—	—	—	—
1,5—1,9	1,2	5,1	0,2	—	—	—	—	—
2,0—2,4	0,8	3,4	—	—	—	—	—	—
2,5—2,9	0,4	1,8	—	—	—	—	—	—
3,0—3,4	0,4	1,3	—	—	—	—	—	—
3,5—3,9	0,1	0,3	—	—	—	—	—	—
4,0—4,4	—	0,1	—	—	—	—	—	—
$> 4,5$	—	—	—	—	—	—	—	—
Сумма	8,2	49,2	13,7	7,4	7,7	3,5	6,4	3,9

ряемость ветра, формирующего это волнение, что связано с приходом в этот район волн из центральной части моря и рефракцией волн при выходе с больших глубин на мелководье. Среди других направлений волнения, имеющих значительную повторяемость, следует выделить юго-восточное и южное в холодную половину года, а северное также и летом (табл. 13.26).

На характер распределения высот волн вблизи п-ова Челекен большое влияние оказывают рельеф дна и глубина моря. В сторону открытого моря глубина меняется очень медленно, уклоны дна

Таблица 13.26

Повторяемость (%) направления волнения в районе ст. Челекен (море) *

Направление волнения	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
С	11	12	13	12	10	9	10	15	22	21	13	11	13
СВ	4	4	3	3	3	1	1	4	4	4	3	5	3
В	6	6	5	5	3	2	2	4	4	6	7	9	5
ЮВ	28	20	12	7	4	3	4	5	6	12	28	26	13
Ю	11	12	7	5	4	4	3	4	3	10	12	12	7
ЮЗ	6	3	3	4	6	3	3	3	1	3	2	4	3
З	4	6	6	9	10	8	7	5	2	4	4	4	6
СЗ	30	37	51	55	60	70	70	60	58	40	31	29	50

* Повторяемость направлений указана только по волнению без учета случаев штилевой погоды.

Таблица 13.27

Повторяемость (%) высот волн h_3 по направлению волнения в районе
ст. Челекен (море)

h_3 , м	Направление волнения							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
0,1—0,5	6,5	2,6	4,6	11,3	6,5	2,5	3,3	18,1
0,6—1,0	2,7	0,39	3,5	0,94	1,0	0,61	1,8	17,9
1,1—1,5	1,4	1,46	0,04	0,09	0,05	0,078	0,55	7,5
1,6—2,0	1,1	0,10	0,039	—	0,014	0,035	0,25	3,9
2,1—2,5	0,68	0,085	—	—	0,007	0,029	0,064	1,29
2,6—3,0	0,801	0,016	0,039	—	—	0,002	0,031	0,51
3,1—3,5	0,124	0,003	—	—	—	0,002	0,013	0,23
3,6—4,0	0,056	0,003	—	—	—	—	—	0,036

около 0,001. В связи с этим высоты волн здесь ниже, чем можно ожидать, учитывая длину разгона.

Наибольшую повторяемость имеют волны высотой не более 1 м. Для северо-западного направления волнения повторяемость таких высот составляет 38 %. Значительные волны наблюдаются от севера и северо-запада. Хотя юго-восточный ветер, особенно в зимнее время, — господствующий, высоты развивающихся им волн незначительны, что связано с очень коротким разгоном и малыми глубинами. За весь период наблюдений они не превышали 1,5 м. При северных направлениях волнения высоты волн достигали 4,0 м, но наибольшая повторяемость таких волн отмечена при волнении северного направления (табл. 13.27).

Расчеты максимальных высот и периодов волн, возможных на исследуемой акватории моря 1 раз в 10 лет, проведенные с помощью режимной функции распределения, представлены в табл. 13.19. Максимальная высота волн в районе п-ова Челекен с периодом 1 раз в 20 лет может достигать 5,3 м, а 1 раз в 50 лет — 5,8 м. Наибольший период волн по наблюдениям ст. Челекен (море) не превышает 9 с.

13.9. Режим волнения Северного Каспия

Режим волнения Северного Каспия получен по типовым полям ветра, составленным в Астраханской ГМО в 1987 г. по 10-летнему (1957—1976) ряду синоптических карт и натурных наблюдений за ветром на 4 островных гидрометстанциях. Расчеты выполнены согласно Методическим указаниям [327] для двух районов Северного Каспия, границы которых и расположение расчетных точек показаны на рис. 13.13. По каждому полулу ветра рассчитаны средняя высота \bar{h} (м), средний период T (с), направление распространения волн и скорость ветра V (м/с), для которых принята повторяемость соответствующего поля ветра.

По этим данным для каждого пункта построены режимные функции распределения высот и периодов волн и скоростей ветра. Под влиянием мелководья размеры волн в Северном Каспии достигают предельных значений при сравнительно небольших скоростях ветра, поэтому функции распределения высот и периодов имеют вид ломаной линии. Только распределение скоростей ветра

спрямляется на билогарифмической клетчатке, что позволяет экстраполировать их и определить скорости, возможные в различных пунктах Северного Каспия в заданное число лет.

На основе пособия [327] вычислены значения \bar{h} и T , возможные 1 раз в 1, 5, 10, 20 и 50 лет. По средней высоте волн \bar{h} рассчитывались максимальные высоты волн, в качестве которых для Северного Каспия принятые высоты обеспеченности 0,1 %.

Для характеристики пространственного распределения средних \bar{h} и максимальных $h_{0,1\%}$ высот волн построены схемы значений этих параметров, возможных 1 раз в год и в 50 лет. «Состыковать» эти схемы с аналогичными по Среднему и Южному Каспию не удается главным образом из-за того, что в Северном Каспии вследствие малых глубин приходится применять другой масштаб, чем в остальной части моря.

По особенностям режима волнения и условиям развития волн в Северном Каспии можно выделить два района: восточный, представляющий собой мелководный бассейн с наибольшими глубинами 8 м в центральной части (Уральская борозда), и западный, напоминающий залив, открытый со стороны Среднего Каспия. На севере эта акватория переходит в мелководную зону предельного взморья р. Волги.

В Северном Каспии развитие волн хорошо согласуется с ветром и лимитируется глубинами, которые могут меняться за счет гонко-нагонных колебаний уровня. Зимой ледяной покров ограничивает акваторию, на которой могут наблюдаться ветровые волны, и уменьшает развитие волн за счет разгона.

Все характеристики волнения в Северном Каспии рассчитаны по опорным месяцам сезонов — апрель, июль, октябрь и за год. Годовая характеристика дана за период, когда Северный Каспий свободен от льда.

Условная энергия волн e_a пропорциональна квадрату средней высоты и повторяемости волн определенного направления. В связи с тем что в Северном Каспии эта повторяемость меняется в небольших пределах, определяющим фактором для e_a является средняя высота, которая в свою очередь зависит главным образом от глубины моря. По этой причине пространственное распределение энергии волн в Северном Каспии полностью зависит от глубины.

Пространственное распределение средних высот волн, возможных 1 раз в год и в 50 лет, показано на рис. П1.23 а и б. Изолиния $h = 2,0$ м на рис. П1.23 а проходит к северу от условной границы, отделяющей Северный Каспий от Среднего, при глубинах моря порядка 11–12 м. Далее к северу средняя высота волн постепенно уменьшается и изолиния $h = 1,0$ м проходит в западной части Северного Каспия по изобате 6 м, а в восточной части образует замкнутую область в районе Уральской бороздины. Изолиния $h = 0,5$ м образует полузамкнутую область, охватывающую весь Северный Каспий по изобате примерно 3,0 м.

Распределение средних высот волн, возможных в Северном Каспии 1 раз в 50 лет, напоминает распределение средних высот, возможных 1 раз в год, только в самой южной части возникает еще одна изолиния $h = 2,5$ м, а изолинии средних высот 2,0; 1,5 и 1,0 м отодвигаются дальше к северу. В восточной части Северного Каспия площадь моря, очерчиваемая изолинией $h = 1,0$ м, увеличивается.

Пространственное распределение максимальных высот волн с повторяемостью 1 раз в год показано на рис. П1.23 в. Вблизи границы Северного Каспия проходит изолиния, соответствующая $h_{0,1\%} = 6$ м. Далее к северу максимальные высоты волн постепенно уменьшаются и по изобате 4 м проходит изолиния $h_{0,1\%} = 2$ м. В районе Уральской бороздины максимальные высоты волн $h_{0,1\%}$ образуют две замкнутые области — соответствующие $h_{0,1\%} = 3$ м и $h_{0,1\%} = 2$ м. Изолиния, соответствующая $h_{0,1\%} = 1$ м, проходит через весь Северный Каспий по изобате 3 м.

Пространственное распределение максимальных высот волн, возможных 1 раз в 50 лет, почти повторяет предыдущую картину распределения высот. Только на самом юге региона вблизи границы появляется изолиния $h_{0,1\%} = 7$ м, изолинии максимальных высот волн 6, 5, 4, 3 и 2 м отодвигаются к северу, а замкнутые области на востоке района расширяются.

В отдельные месяцы года распределение средних и максимальных высот волн, возможных 1 раз в 1 год и 50 лет, мало отличается от общей картины в целом за год. Например, наибольшая средняя высота волн h , возможная 1 раз в 50 лет, в точке 7.1 с глубиной моря 16 м составила в апреле, июле и октябре 2,6; 2,8 и 2,5 м соответственно. При глубине 10 м это различие такого же порядка, а в точке 7.4, где глубина моря 5 м, средние высоты волн за эти же месяцы полностью совпадают.

13.10. Максимальные высоты волн и обуславливающие их штормы (по материалам натурных наблюдений)

С развитием исследований по ветровому волнению менялись и оценки элементов волн в Каспийском море. Так, например, по данным фактических наблюдений, организованных на специальной сети постов (станций), оценки максимальных высот волн менее чем за 10 лет изменились более чем в 2 раза.

На Каспийском море по данным измерений волны 3 %-ной обеспеченности высотой 6 м наблюдаются ежегодно, а более 10 м — примерно 2 раза в 10 лет. Наибольшим разгоном и скоростями обладают ветры северных и южных направлений.

Анализ большого числа штормов на Каспийском море показывает, что наиболее жестоким явился шторм 20—21 ноября 1957 г., в пик развития которого максимальная высота воли в районе Нефтяных Камней, наблюденная по вехе при глубине места 12 м, достигала 10 м, а на северо-западном участке того же района при глубине 20—30 м высота волн по визуальным данным превосходила это значение. В шторм 1—2 марта 1952 г. продолжительный и очень сильный ветер вызвал исключительно интенсивное волнение, особенно в районе Нефтяных Камней, где при глубине 15—20 м наблюдалась высота волн 11 м. Аналогичная высота была зафиксирована в этот шторм и на ст. Банка Дарвина.

Сравнивая эти два шторма, можно обнаружить ряд особенностей, которые определяют их сходство. Во-первых, в обоих случаях штормом были охвачены все районы Каспийского моря. Во-вторых, оба шторма начались с усиления северо-западного ветра в Северном Каспии с последующим быстрым распространением на Средний и Южный Каспий. Третьей особенностью является непрерывное нарастание силы шторма в направлении перемещения воздушных масс с максимумом интенсивности в Апшеронском районе.

Различие же между обоими штормами заключается в том, что 1—2 марта 1952 г. штормовая деятельность в районе Махачкала—Дербент была в среднем слабее, чем 20—21 ноября 1957 г. Различались и синоптические условия развития штормов. В конце февраля 1952 г. отмечалась очень хорошо выраженная меридиональная трансформация термобарического поля тропосферы над Европой. Установившийся общий северный перенос над центром Западной Европы обусловил прорыв масс холодного воздуха с севера Атлантики через Скандинавию и Балтику на Южную Европу и Балканы. С другой стороны, над южными районами европейской части страны, Кавказом и западными районами Средней Азии в предштормовой период происходит вынос относительно теплых воздушных масс с Восточного Средиземноморья и Месопотамии. В последующем холода стал распространяться на Черное море и Северный Кавказ, а 1 и 2 марта — на районы Каспийского моря. Развитие процессов у поверхности земли характеризовалось активной циклонической деятельностью над Южным Каспием.

В ноябре 1957 г. развитие атмосферных процессов протекало иначе. Холод на юг европейской части страны, Северный Кавказ и Каспийское море вторгся со Скандинавии. Активная циклоническая деятельность в предштормовой период отмечалась сначала над Северным, а затем над Средним Каспием. Развитие антициклонов над югом европейской части страны, перемещавшихся в процессе развития обоих штормов на Каспийское море, происходило также различно. В период шторма 1952 г. антициклон перемещался в основном с запада на восток (через Западную Европу), в случае же шторма 1957 г. антициклон смешался на

Таблица 13.28

Наибольшие высоты волн, измеренные в различных пунктах в районе Нефтяных Камней в 1952—1982 гг.

Дата	Время (московское), ч мин	Глубина моря, м	Направление ветра	Скорость ветра, м/с	Максимальная высота волн, м
13 II 1952	6 00	17	C	24	7,0
	9 00	17	C	28	9,0
	12 10	17	C	28	10,0
	15 00	17	C	28	9,0
2 III	6 10	17	CC3	28	10,0
	9 10	17	CC3	24	11,0
	12 10	17	C3	24	8,5
	15 00	17	C3	13	5,0
25 VIII	6 00	17	CC3	28	8,0
23 II 1955	12 00	11,6	CC3	28	6,2
	15 00	11,6	CC3	34	8,6
1 XII	6 00	11,6	CC3	28	6,5
31 I 1956	0 30	11,6	C	20	6,4
18 III	6 30	11,6	CC3	28	6,4
	12 30	11,6	CC3	24	7,0
21 XI	0 00	11,6	C	34	8,0
	2 00	11,6	C	40	10,0
21 XI 1958	0 30	11,6	C	24	8,2
26 XI 1959	6 30	11,6	C	28	8,5
5 III 1963	21 00	22,5	C3	34	8,4
18 XII 1965	11 00	22,5	C3	28	8,9
	15 00	22,5	C3	24	7,6
20 III 1966	15 00	22,5	CC3	24	8,8
16 X	3 00	22,5	C3	24	8,6
1 III 1967	9 00	22,5	C3	34	8,0
1 XII	15 00	22,5	C	28	7,6
21 XI 1968	3 00	22,5	CC3	24	7,6
14 I 1971	15 00	22,5	CC3	24	7,5
5 III	9 00	22,5	CC3	28	7,5
12 I 1975	21 00	22,5	CC3	20	9,0
17 X 1976	21 00	22,5	CC3	22	9,5
8 V 1978	3 00	22,5	C3	20	7,0
2 XI	3 00	22,5	C	19	7,1
16 V 1980	3 00	22,5	C3	24	8,1

го-восток, к тому же он был значительно обширнее и интенсивнее.

В ноябрьский шторм 1957 г. имели место серьезные повреждения гидротехнических сооружений района Нефтяных Камней. Для района Грязево-пика, примыкающей к б-ке Нефтяные Камни с запада, жестоким, вызвавшим разрушение эстакады, оказался и шторм 17—18 декабря 1965 г., во время которого скорость ветра порывами достигла 34—35 м/с, а максимальная высота волн составляла по волнографным записям 9 м. Максимум шторма, к сожалению, наблюдениями не зафиксирован (по техническим причинам). Разрушения и частичные повреждения гидротехнических сооружений имели место и при менее жестоких штормах (5—7 февраля и 23—24 июля 1951 г., 12—13 февраля 1952 г., 7 мая 1955 г. и др.).

Сильное волнение может развиваться в любое время года, причем летние штормы не уступают

по интенсивности зимним. Так, в районе Нефтяных Камней волны высотой 7,2; 7,4 и 8,0 м наблюдались соответственно в июле и августе 1961 г. и в августе 1952 г.

Со времени начала широкомасштабных исследований волнения в 1960 г. в различных районах Каспийского моря выполнены многочисленные записи волнения главным образом во время жестоких северных штормов. Большинство из этих записей охватывает все стадии шторма: от его развития до затухания. Так как жестокие штормы относятся к стихийным гидрометеорологическим явлениям, подробное их описание приводится в гл. 14. Здесь же помещена таблица, в которой приведены максимальные высоты волн, измеренные на Каспийском море за все годы наблюдений (табл. 13.28).