

14. ОПАСНЫЕ И СТИХИЙНЫЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

Своевременное предупреждение народнохозяйственных организаций и объектов об угрожаемой производству опасности, вызванной неблагоприятными гидрометеорологическими явлениями,— одна из важнейших задач Гидрометслужбы, поскольку опасные и стихийные явления (ОЯ и СГЯ) затрудняют нормальную деятельность или наносят значительный ущерб народному хозяйству, а также представляют огромную угрозу для человеческой жизни и способны уничтожить ценности материальной культуры человека.

К основным отраслям народного хозяйства, связанным в своей деятельности с Каспийским морем, относятся судоходство, рыбный и нефтяной промыслы, морские гидротехнические изыскания, гидротехническое строительство, а также рекреация.

Различают четыре категории ущерба, вызванного гидрометеорологическими явлениями [344]: ущерб, вызванный гибелю или повреждением судов; убытки, вызываемые разрушениями береговых, портовых и морских гидротехнических сооружений; убытки в результате простоеов флота, вызванные непроизводительной потерей времени в портах и на переходах; убытки, вызванные прекращением работ вследствие невозможности эксплуатации морских и портовых объектов.

С точки зрения гидрометеорологического обеспечения общие убытки делятся на три группы: неизбежные, потенциально предотвратимые и фактически предотвращенные.

К неизбежным убыткам относятся те, которые связаны с прекращением работ в результате ухудшения гидрометеорологических условий и невозможностью своевременного перевода работ в другой район или порт. Такие убытки нельзя предотвратить, даже если неблагоприятные гидрометеорологические условия были предсказаны.

Потенциально предотвратимые — это убытки, которые могли быть предотвращены при правильном использовании гидрометеорологической информации, включая прогнозы. К этой группе относятся убытки, обусловленные неоправдавшимися прогнозами, штормовыми предупреждениями, а также убытки в результате аварий судов из-за неблагоприятных гидрометеорологических условий.

К предотвращенным относятся убытки, которые не были допущены благодаря своевременному и правильному использованию гидрометеорологической информации. Предотвращенные убытки характеризуют выигрыш, полученный в результате гидрометеорологического обеспечения. Сюда относится, в частности, выигрыш во времени при проводке судов рекомендованными курсами.

Целью гидрометеорологического обеспечения является недопущение и сокращение ущерба (убытка) народному хозяйству от неблагоприятных гидрометеорологических явлений.

Актуальность исследований стихийных бедствий имеет не только практическую, но и большую научную ценность, поскольку они представляют

собой очень редкие явления и поэтому требуют изучения всего комплекса связанных с ними гидрометеорологических условий.

Различают опасные и стихийные гидрометеорологические явления. К первой группе относятся гидрометеорологические явления, которые затрудняют нормальную деятельность народнохозяйственных организаций или наносят им ущерб.

Ко второй группе относятся гидрометеорологические явления, которые по своей интенсивности, продолжительности и площади распространения могут нанести или нанесли значительный ущерб народному хозяйству и населению.

К опасным и стихийным гидрометеорологическим явлениям на Каспийском море относятся следующие: сильные ветры; ураганы; шквалы; обледенение судов; сильное волнение; сонино-нагонные колебания уровня в прибрежной зоне; ледовые явления в районе производственных операций (аномально раннее появление льда, образование склянки-резуна, сжатие, подвижка льда, взлом припая, навалы льда и особенно мощный вынос льда из районов Северного Каспия в южные районы); загрязнение морской воды промышленными и бытовыми отходами.

Усиление ветра до 15 м/с и более вызывает прекращение всех видов рыбного промысла, сокращение работы судов прибрежного плавания, прекращение купания на пляжах, увеличение продолжительности рейсов, угрозу срыва судов с якорей, полное прекращение погрузочно-разгрузочных работ в портах.

Сильное волнение вызывает повреждение или разрушение береговых сооружений, корпусов судов, палубных надстроек, приводит к задержке заходов судов в порт и выхода из него, потере орудий лова, разрушению берега и пляжей.

Появление льда в порту или на пути движения судов затрудняет или делает невозможным прохождение судов. Сжатия, подвижки, дрейф и торожение льдов приводят к повреждениям судов, портовых сооружений и нефтепромыслов, затрудняют промысел рыбы и морского зверя (тюленя).

Сонино-нагонные явления создают угрозу катастрофических наводнений, повреждения судов, разрушения береговых сооружений, нагона льда в бухты, каналы и заливы, затрудняют вход в порт и выход из порта судов.

Обледенение приводит к потере скорости движения судов, уменьшению их остойчивости, прекращению промысла и погрузочно-разгрузочных работ, может вызвать аварии и катастрофы.

В настоящей главе рассматриваются гидрологические явления. Из метеорологических факторов рассматривается только ветер, так как он является доминирующим фактором, обуславливающим такие ОЯ и СГЯ, как сильное волнение, значительные сноны и нагоны, подвижка льда и его дрейф, и способствует также обледенению судов. Наибольшую угрозу в условиях Каспия представляют штормовой ветер, штормовое волнение, мощный

вынос льда в район Апшеронского полуострова. Поэтому такие явления рассматриваются более подробно.

Часть данной главы, относящаяся к Северному Каспию, выполнена в Астраханской ГМО.

14.1. Критерии уровня опасности гидрометеорологических явлений

Гидрометеорологические явления на Каспийском море считаются стихийными, если по своей интенсивности, продолжительности и району распространения они достигают следующих критериев:

1) ветер скоростью 30 м/с и более. Под максимальной скоростью понимается наибольшая мгновенная скорость ветра, отмеченная прибором М-63М-1, или порывы ветра по флюгеру с тяжелой доской (в сроки и между сроками наблюдений);

2) волнение с высотой волны 8 м и более;

3) колебание уровня моря ниже или выше опасных отметок, при которых прекращается судоходство, гибнет рыба, повреждаются суда, за-

топляются населенные пункты, береговые сооружения и другие народнохозяйственные объекты;

4) появление ледяного покрова или припая в ранние сроки, повторяющиеся не чаще чем 1 раз в 10 лет;

5) напор льдов, интенсивный дрейф льдов, угрожающие морским портовым, нефтепромысловым и береговым сооружениям;

6) установление ледяного покрова, непроходимого судами и ледоколами, в период навигации на судовых трассах и в районе промысла;

7) быстрое и очень быстрое обледенение судов (0,7 см/ч и более).

Гидрометеорологическое обеспечение морских отраслей народного хозяйства производится с учетом специфики влияния гидрометеорологических условий на конкретные производственные объекты и хозяйствственные операции на море. Критерии СГЯ и ОЯ для конкретных производственных операций, береговых сооружений, различных типов судов, участков акваторий морей и береговой зоны определяются обслуживающими организациями совместно с органами Госгидромета. Перечень их указы-

Таблица 14.1

Критерии опасного и стихийного волнения на Каспийском море для различных народнохозяйственных организаций

| Высота волны, м | Гидрометстанция или волномерный пост | Народнохозяйственный объект | Степень опасения |
|-----------------|---|--|------------------|
| ≥ 3 | | | |
| ≥ 4 | Баку Баку | Порт и ГРЭС им. Красина Нефтеналивной порт Апшерон | Опасное |
| | Остров Песчаный | Гидротехнические (нефтепромысловые) сооружения на акватории у острова | » |
| | Остров Булла | Гидротехнические (нефтепромысловые) сооружения на акватории у острова | » |
| | Сумгайт Махачкала | Сумгайтская ТЭЦ Порт и открытый рейд Махачкала | » |
| | Форт-Шевченко Шевченко | Порт Баутин | » |
| | Бекдаш | Порт Актау | » |
| | Кули-Маяк | Порт Бекдаш | » |
| | Красноводск | Порт Кизиль | » |
| | Челекен (эстакада) | Акватория порта и подводного канала | » |
| ≥ 6 | | | |
| | Аладжа | Гидротехнические (нефтепромысловые) сооружения на расстоянии более 1 км от берега | |
| | Бухта Ильича | Порт Аладжа | » |
| | Нефтяные Камни | Морские основания и эстакада | » |
| | Остров Жилой Банка Дарвина | Гидротехнические (нефтепромысловые) сооружения: основания и эстакады Апшеронского архипелага | » |
| | Остров Артема Баку | То же | » |
| | | Гидротехнические сооружения | » |
| | Махачкала | Акватория порта, портовые сооружения порта Апшерон | |
| ≥ 8 | Челекен (эстакада) о. Артема (пост Банка Дарвина) | Открытый рейд | » |
| | Нефтяные Камни | Эстакадные сооружения | » |
| | | Акватория моря с отдельными основаниями и эстакадами | » |
| | | Морские сооружения и эстакады | » |

вается в планах-схемах гидрометобслуживания и утверждается двухсторонне.

Согласно морскому регистру ветры со скоростью ≥ 17 м/с представляют повышенную опасность для мелких судов прибрежного лова; ≥ 25 м/с — опасные для крупнотоннажных судов и особо опасные для всех судов с допустимым удалением от побережья до 100 миль; ≥ 33 м/с (ураган) — стихийные для всех морских и океанских судов любого водоизмещения.

Для различных типов судов существуют различные ограничения. Для судов смешанного типа «река—море», замсварядов, ведущих дноуглубительные работы в морских частях каналов, опасность представляют волны высотой 2,5 м и более. Суда смешанного плавания имеют ограничения по интенсивности волнения и по удалению от пунктов-убежищ.

В табл. 14.1 приведены критерии опасного и стихийного волнения, установленные для прибрежных народнохозяйственных объектов, обслуживаемых Азергидрометом.

Как видно из табл. 14.1, волны высотой ≥ 3 м опасны для Баку (порт и ГРЭС им. Красина); высотой ≥ 4 м — для Баку (нефтеналивной порт Ашера), островов Песчаного и Булла (гидротехнические сооружения на акватории у островов), Челекена (эстакада, гидротехнические сооружения, удаленные более 1 км от берега), территорий портов восточного побережья и др. Волны высотой ≤ 6 м опасны в основном для морских оснований и эстакад нефтепромыслов акваторий у полуостровов Ашера и Челекен, сооружений порта Ашера, открытого рейда порта Махачкалы; высотой ≥ 8 м представляют особую опасность для акваторий моря с отдельными основаниями и эстакадами в районе б-ки Дарвина, Нефтяных Камней и глубоководных платформ.

В «Каталог опасных гидрологических явлений Северного Каспия» включены следующие критерии высоты волн: 2,5 м и более — опасная высота; 4,0 м и более — стихийная.

Критические отметки уровня моря, представляющие особую опасность для различных морских отраслей народного хозяйства, (нуль поста —28,00 м ВС) по районам следующие:

| Район | Максимальный нагон, м | Максимальная сеть, м |
|-----------------------------------|-----------------------|----------------------|
| Махачкала — Дербент | 1,0 | 1,7 |
| Ашеронский | 1,0 | 1,5 |
| Форт-Шевченко — Кендерли | 1,7 | 1,2 |
| Красноводск — зал. Кара-Богаз-Гол | 0,3 | 1,3 |

Следует отметить, что с 1976 по 1982 г. в связи с повышением уровня Каспия трижды возникала необходимость пересмотра и уточнения критериев опасных и стихийных отметок уровней по Северному Каспию.

В настоящее время установлены следующие критерии стихийных отметок уровня по Северному Каспию, принятые в Астраханской ГМО 4 февраля 1982 г.:

| Станция | Максимальный нагон, м | Максимальная сеть, м |
|----------------------|-----------------------|------------------------|
| Искусственный остров | 2,1 | — |
| Каспийск | 1,5 | — |
| Остров Тюлений | 1,0 | 1,8 (3 сут и более) |
| Пешний | 1,1 | — |

Серьезную опасность для многих морских отраслей народного хозяйства представляет появление льда или прилай в ранние сроки: в мелководных районах Северного Каспия — до 25 октября; в Махачкалинской бухте — ранее 28 ноября; у Избербаша — 23 декабря; у Дербента — 8 января; в бухте Форт-Шевченко — 29 ноября; в Красноводском заливе — 27 ноября; у Ашера — 25 января. Повторяемость этих сроков не превышает 1 раза в 10 лет.

Для районов станций Куули-Маяк и Аладжа само образование льда уже представляет опасность. Образование шуги, снежуры, а также смерзание этих форм льда и появление дрейфующего льда сплошностью более 4 баллов опасно для работы Сумгайитской ТЭЦ.

Для акватории порта Махачкалы, акватории моря с отдельными основаниями и эстакадами о. Артема, а также нефтеналивного порта Ашера скопление дрейфующего льда сплошностью 10 баллов является критерием стихийного гидрологического явления. Появление дрейфующего льда сплошностью более 6 баллов является стихийным для эстакад и буровых платформ Нефтяных Камней и Избербаша.

14.2. Анализ опасных и стихийных гидрометеорологических явлений

Для исследования опасных и стихийных гидрометеорологических явлений на Каспийском море использованы данные наблюдений на сети станций за уровнем моря, штормовыми нагонами и сгонами, ледовыми явлениями, температурой воды, штормовыми ветрами и волнением начиная с момента наблюдений по январь 1987 г.

Сильные штормовые нагоны и сгоны, вызывающие резкие кратковременные колебания уровня моря, имеют место в основном в Северном Каспии. Стихийные нагоны в северо-западной части Каспия за последнее столетие наблюдались 8 раз: в 1877 г.; 25—27 ноября 1910 г. (максимальный подъем уровня в обоих случаях составил 3,6 м); 11 ноября 1925 г. (высота нагона составила 2,4 м); 19—20 ноября 1960 г.; 17—18 февраля и 27—30 декабря 1981 г.; 25—28 января 1984 г. (подъем уровня составил 1,3—2,0 м от фонового уровня моря). Чрезвычайно сильный нагон с катастрофическими последствиями имел место в шторм 10—13 ноября 1952 г., когда влияние сибирского антициклона при одновременном оживлении циклонической деятельности над районами Черного моря и Северного Кавказа обусловило развитие устойчивых по направлению штормовых юго-восточных ветров (максимальная скорость в Махачкале достигала 34—40 м/с) большой продолжительности.

10 ноября 1952 г. начался нагон воды в северо-западной части моря. 12 ноября уровень моря повысился настолько, что острова Жесткий, Чистой Банки, Чапуренок оказались под водой. Остров Тюлений также был затоплен, уровень воды здесь повысился на 3 м, у побережий Каспийска и Брянской Косы — на 4,5 м. Общая площадь затопления составила около 17 000 км², было размыто полотно железной дороги. По пути движения воды затоплены населенные пункты и разрушены прибрежные сооружения. Имелись человеческие жертвы. Мощный нагон воды, вызвавший затопление прибрежных районов, нанес значительный ущерб предприятиям рыбной промышленности. По Н. Д. Герштанску [104], вероятность таких нагонов составляет 1 раз в 150—200 лет.

Восточная часть Северного Каспия с ее низменными берегами также часто подвергается затоплению, но интенсивность нагонов здесь намного слабее, чем в его западной части. В шторм 1974 г. высокие волны нагона накрыли Новинские острова, где находились дома чабанов, овцеводческие комары и тысячи тонн корма.

Стихийный нагон, имевший место 25—27 января 1984 г. на Северном Каспии, захватил и часть районов Среднего Каспия. В результате продолжительных юго-восточных и восточных ветров в Махачкале и севернее Аграланского полуострова уровень моря достиг и даже превысил особо опасные отметки, составив на о. Тюленьем — 26,84 м, в Махачкале — 27,54 м.

Погода Северного Каспия в этот период определялась влиянием антициклона, перемещавшегося с южных районов Урала на восток европейской части страны. Антициклон усиливался, одновременно наблюдалось перемещение циклона с западных районов Черного моря на восток, что создавало условия усиленнию восточного и юго-восточного ветров до 24—28 м/с (25—28 января).

Продолжительность стихийного нагона составила около суток, а общая продолжительность явления — 144 ч. Максимальная зона затопления шириной 20—30 км отмечена в районе Кизлярского залива.

В Южном Каспии можно выделить небольшой район моря, примыкающий к Кура-Араксинской низменности. В этом районе имеет место относительно частое затопление берега. Ширина затопляемой зоны достигает нескольких километров.

Сильные сгоны также в основном наблюдаются в Северном Каспии, редко в бухтах и заливах прибрежной полосы Среднего и Южного Каспия. Значительные сгоны в северо-западной части Каспия, достигающие критериев стихийного явления, за 1937—1983 гг. отмечались 9 раз: 9 октября 1957 г. (—29,83 м); 21 января 1960 г. (—29,92 м); 26 ноября 1963 г. (—29,90 м); 29 января 1964 г. (—30,00 м); 26 октября 1965 г. (—29,80 м); 13 сентября (—30,04 м); 22 октября (—30,02 м) и 25 декабря 1977 г. (—29,89 м); 1 октября 1978 г. (—30,14 м).

Исключительно низкий уровень Каспийского моря в 1977 г. в сочетании с часто повторяющимися над экваторией Северного Каспия штурмовыми ветрами западной четверти привели к тому, что в течение четырех месяцев подряд (октябрь 1977—январь 1978 гг.) в северо-западной части

Каспия среднемесячные уровни удерживались ниже критической отметки.

Сгоны подобной частоты и интенсивности не отмечались за весь период наблюдений за уровнем на Северном Каспии.

Падение уровня при сгонах в Северном Каспии может достигать 2,5 м. При значительных сгонах ухудшаются условия для судоходства: глубина на лимитирующих участках канала оказывается недостаточной для прохода судов и они идут с недогрузкой. Сгоны лимитируют проход судов на Мантышлакском пороге. При сгонах обсыхают обширные мелководья вдоль берегов, а также на устьевом баре Волги, в результате чего гибнет рыба в отшнурованных водоемах и лужах, обсыхают орудия лова и прекращается рыбный промысел.

Из имеющихся рядов наблюдений по некоторым другим станциям Северного Каспия минимальные уровни при сгонах наблюдались: на ст. Брянская Коса (1931—1958 гг.) в декабре 1950 г. — на 143 см ниже среднегодового уровня, равного —28,00 м в 1950 г.; на ст. Сарыаш (1948—1958 гг.) 12 ноября 1952 г. — на 113 см ниже среднегодового уровня, равного —27,51 м в 1952 г.; на ст. Пешной (1929—1982 гг.) 19 октября 1976 г. — на 68 см ниже среднегодового уровня, равного —29,16 м в 1976 г.

Сгоно-нагонные колебания уровня отмечаются не только у берегов и островов, но и в открытой части моря. Например, по наблюдениям в октябре 1964 г. с автономного свайного основания в центральном районе Северного Каспия (глубина 4 м) значение сгоно-нагонных колебаний уровня только за 10 дней (6—16 октября) составило 137 см [364].

Опасные нагоны и сгоны на Северном Каспии происходят в осенне-зимний и весенний периоды и могут наблюдаться до 1—2 раз в месяц.

Обледенение судов на Каспийском море наблюдается в очень редких случаях. К обледенению и потере остойчивости может привести заливание судна волнами при сильном ветре северного, северо-западного, северо-восточного и восточного направлений и низких температурах воды и воздуха. Одним из основных факторов, определяющих обледенение судов, является адvection холодного воздуха в тылу циклона при достаточно сильных ветрах преимущественно северо-западного направления. Адvection очень холодного арктического воздуха осуществляется и вдоль передней части мощного антициклона. При взаимодействии такого антициклона, расположенного над восточными районами европейской части страны, с областью пониженного давления, расположенной над южными районами, возникают сильные северо-восточные и восточные холодные ветры, охватывающие значительную часть Каспийского моря. В результате в северных районах моря могут возникнуть зоны опасного обледенения.

В середине ноября 1910 г. на Астраханском 12-футовом рейде стояло 59 барж и судов. Несмотря на полученное штурмовое предупреждение и ожидаемое понижение температуры воздуха, мер по обеспечению безопасности каравана судов принято не было. В ночь на 13 ноября ветер с востоко-северо-востока усилился до штурмового при темпе-

ратуре воздуха -12°C . Во время шторма погибло много судов и барж. Число жертв превысило 300 человек. Две баржи в результате сильного обледенения потеряли остойчивость и опрокинулись. Баржа № 115 перевернулась вверх килем, а № 10 легла на борт (см. Е. Саговский. Наше судоходство. «Русское судоходство», 1911, № 1, с. 135—150).

В ноябре 1976 г. небольшое э/с «Горизонт» Астраханской ГМО попало в обледенение в районе Астраханского морского рейда.

Суда подвергаются обледенению в редких случаях, так как имеют возможность при получении штормового предупреждения своевременно уйти в укрытие.

Особо опасно раннее появление льда на Северном Каспии за весь период наблюдений (45 лет) начиная с зимы 1939-40 г. было отмечено 5 раз: 13 октября 1939 г.; 18 октября 1949 и 1976 гг.; 22 октября 1977 г. и 26 октября 1969 г., т. е. примерно 1 раз в 9 лет.

Зима 1949-50 г. отличалась суровостью, неожиданно ранним и интенсивным ледообразованием, необычайно большим накоплением льда в Северном Каспии толщиной до 80 см, в результате чего молодым льдом «резуном» выведен из строя весь мелкотоннажный рыболовецкий флот. Впервые подвергались разрушению эстакады в районе нефтепромысла Изберг. Полностью сорван план работы «Каспара». Имелись человеческие жертвы.

Суровость зимы объясняется активностью полярных центров действия атмосферы, обусловивших вынос очень холодных арктических масс воздуха на европейскую часть страны, а затем на районы Северного Кавказа, Закавказья и Каспийского моря в течение всей зимы.

Опасное раннее появление льда (до 28 ноября) за период наблюдений было отмечено 20 раз, т. е. 1 раз в 2—3 года.

Подвижка и дрейф льда, вызываемые устойчивыми восточными и юго-восточными ветрами, преобладающими на Северном Каспии при всех типах зим, создают сложную ледовую обстановку в районе Астраханского морского рейда и в морской части Волго-Каспийского канала. Этому способствует и наличие здесь большого числа мелководных банок.

Тяжелые ледовые условия возникают не только в суровые и умеренные, но даже и в мягкие зимы, когда толщина ровного, ненаслоенного льда не превышает 10—15 см. Это объясняется тем, что дрейфующий вдоль границы приляя на запад плавучий морской лед препятствует выносу из канала речного льда. Происходит образование заторных перемычек, причем их мощность может достигать 2—3 м, а в некоторых случаях лед набивается до дна. Образование заторов обнаруживается по резкому повышению уровня на 40—50 см на ст. Искусственный остров, расположенной в средней части Волго-Каспийского канала.

Сильные северо-западные и северные ветры наоборот способствуют разрежению льдов в районе Астраханского морского рейда и выносу плавучего льда из Волго-Каспийского канала в море.

В наиболее суровые зимы Северный Каспий отличается большой ледовитостью. При определенном сочетании ее с гидрометеорологическими фак-

торами (ветер, течение) вдоль западного берега Среднего Каспия выносятся большие массы льда, достигающие даже Апшеронского полуострова.

Дрейфующие льды создают серьезную угрозу для нефтепромыслов Апшеронского полуострова, в том числе о. Песчаного (южное побережье Апшеронского полуострова). Интенсивный дрейф льда вдоль западного побережья Среднего Каспия в южном направлении имел место в суровые зимы 1949-50, 1953-54, 1968-69 и 1971-72 гг.

Наиболее мощный вынос льда наблюдался зимой 1953-54 г., которую называют «зимой века» [219]. Она характеризовалась экстремальной суровостью, большим накоплением льда и максимальной продолжительностью ледового сезона. Отличительной чертой зимы являлся интенсивный вынос плавучего льда из Северного Каспия вдоль западного побережья в южном направлении.

В период, предшествовавший выносу льдов, атмосферные процессы развивались следующим образом. В середине первой декады ноября над районами Скандинавии сформировалось ядро высокого давления в массах арктического воздуха, которое смешилось далее на юг, на центральные районы Европы, а затем — к востоко-юго-востоку через Украину, Черное и Каспийское моря на Казахстан, вызвав 27—28 ноября на Каспийском море развитие штормового северо-западного ветра и понижение температуры воздуха в районе Махачкалы до $-15\dots -16^{\circ}\text{C}$. Первое появление льда в период с 28 по 30 ноября было отмечено вдоль восточного побережья Астраханского полуострова и в районе Махачкалы на 46 дней раньше нормального и на 3 дня ранее самого раннего появления в Махачкале местного льда (1 декабря 1931 г.) [76].

В начале второй декады над северными областями европейской части страны вновь сформировалось ядро высокого давления в массах арктического воздуха, распространявшегося с Карского моря.

В период с 22 по 29 декабря происходило медленное смещение области высокого давления к югу на Каспийское море и далее на восток, что вызвало вновь усиление ветра северного направления и значительное понижение температуры воздуха (до $-7\dots -11^{\circ}\text{C}$ в районе Махачкалы и $-12\dots -18^{\circ}\text{C}$ в Северном Каспии) и воды, сопровождающейся новым ледообразованием.

В середине первой декады января, когда в Северном Каспии уже образовались большие массы льда, в тылу проходящего через Каспийское море черноморского циклона произошло распространение свежей порции арктического воздуха, вновь вызвавшее похолодание в районе Махачкалы и в Северном Каспии до $-8\dots -11^{\circ}\text{C}$ и усиление северного ветра до штормового.

В результате этого плавучий лед полосой до 50—70 км начал дрейфовать вдоль западного берега на юг.

С 27 по 29 января новое ядро высокого давления, образовавшееся над Скандинавией в массах морского арктического воздуха, смешилось на Центральную Европу и затем на Каспийское море, что привело к новому усилению северо-западного ветра и резкому похолоданию, в результате чего возобновился дрейф льда к югу. Такие условия сохра-

нились до конца второй декады февраля.

9—10 февраля плавучий лед полосой до 10 км достиг Апшеронского полуострова.

15—16 февраля вследствие перемещения ядра высокого давления с европейской части страны к востоку Каспийское море оказалось под влиянием западной периферии сибирского антициклона; этот период характеризовался установлением и усилением восточных и юго-восточных ветров со скоростями до 8 м/с, что вызвало в Апшеронском районе некоторое разрежение льда.

Наиболее критический период наступил 19—20 февраля, когда началось сильное сжатие и торожение льда у северной оконечности Апшеронского полуострова под действием вновь усилившегося до 14—16 м/с ветра северного направления, вызванного повторным вторжением арктического воздуха с районов Скандинавии на Центральную Европу, европейскую часть страны и Каспийское море.

Этот наиболее тяжелый период преобладания сплощенных льдов в Апшеронском районе продолжался почти до начала марта.

Дрейф льда в эту зиму вызвал большие разрушения эстакад в районе нефтепромысла Изберг. Подвергались разрушению и нефтяные гидротехнические сооружения в Апшеронском районе. Первой пострадала эстакада на севере о. Артема, затем и отдельные основания открытого моря. Только принятые экстренные меры спасли Нефтяные Камни от полного разрушения и гибели людей. Весь обслуживающий персонал был немедленно эвакуирован, а ледовые поля на подходах к эстакадам Нефтяных Камней бомбардировались с самолетов, благодаря чему удалось их разрушить.

В другие суровые зимы интенсивность дрейфа льда была выражена слабее. Зимой 1949—50 г. в начале февраля в период начала разрушения кромки льда в Северном Каспии осуществлялся интенсивный его дрейф льда западного побережья Среднего Каспия в южном направлении до морского нефтепромысла Изберг.

Зима 1949—50 г. также отличалась значительной активизацией полярного центра действия атмосферы, длительными и глубокими вторжениями арктического воздуха, приведшими к образованию устойчивого холодного антициклона в умеренных широтах. При прохождении серии циклонов по югу Каспийского моря в тылу их происходил заток арктического воздуха, вызывавший резкое понижение температуры воздуха и усиление северо-западного ветра до штормового. Этим ветром и обусловился вынос мощных плавучих льдов к району Избербаша. К Апшеронскому району эти льды подошли уже сильно ослабленные ветром и волнением.

В зиму 1968—69 г. при интенсивном дрейфе льда из Северного Каспия вдоль западного побережья Среднего Каспия и аномальных ветровых условиях в районе порта Махачкала происходило скопление и нагромождение льда, а в дальнейшем и смерзание его, что привело к блокированию порта тяжелыми льдами. Отдельные нагромождения льда достигали высоты 2—4 м. В это же время на продолжительный период покрылись неподвижным льдом все бухты и заливы восточного побе-

режья Среднего и Южного Каспия. На море сложилась тяжелая навигационная обстановка. В ночь с 10 на 11 февраля в районе Избербаша произошли повреждения и разрушения эстакад. Работа морского флота была парализована, в результате чего народному хозяйству был нанесен значительный материальный ущерб.

Синоптические процессы в декабре—феврале 1968—69 г. были характерными для холодных зим. Преобладание меридиональной циркуляции способствовало распространению холодных антициклонов на центральные и южные районы европейской части страны. Распространение холода на Кавказ и Каспий происходило при активизации циклонической деятельности над Турцией, Закавказьем и югом Каспия. Все это привело к необычно холодной погоде на всем Каспийском море. Наиболее мощное вторжение арктических воздушных масс отмечено 11—14 декабря, когда температура воздуха резко понизилась на 8—15 °C. На северном побережье Каспия температура воздуха достигала ночью —20... —25 °C. Неоднократные вторжения холодных масс обусловили в эту зиму большое накопление льда в Северном Каспии.

Аномальные условия погоды зимой 1971—72 г. были вызваны развитием редко повторяющихся атмосферных процессов, обусловивших в период с января по март неоднократные мощные вторжения холода, которые вызывали в свою очередь резкие и продолжительные похолодания.

В середине января холодные арктические массы воздуха неоднократно обрушивались на Кавказ, Черное и Каспийское моря. В начале третьей декады января температура воздуха на севере Каспия понижалась до —40, на Среднем Каспии — до —28... —30 °C. Жестокие морозы быстро сковали толстым слоем льда северную мелководную часть Каспийского моря.

Аномально низкой была в течение всей зимы не только температура воздуха, но и температура воды. Очень быстрому охлаждению воды способствовали обильные снегопады. В январе началось ледообразование в прибрежных районах Среднего Каспия. В середине января в результате повсеместного резкого и устойчивого похолодания и сильного охлаждения водных масс интенсивное ледообразование охватило восточное и западное побережье Среднего, а в последующем и Южного Каспия.

Основной особенностью процессов ледообразования у западного побережья в январе 1972 г. являлась их непрерывность: образовавшийся лед быстро взламывался и дрейфовал по течению в юго-восточном направлении. На его месте вновь появлялся молодой лед при одновременном выносе плавучего льда из Северного Каспия. Вследствие этого в конце второй декады января дрейфующий вдоль западного побережья Среднего Каспия плавучий лед достиг северных районов Апшеронского полуострова, создавая опасность для судов и затрудняя их самостоятельное движение, а главное, угрожая морским нефтяным сооружениям.

В результате в суровую зиму 1971—72 г. при исключительно тяжелых ледовых условиях на Каспийском море народному хозяйству был нанесен большой материальный ущерб. Наибольшие

убытки потерпело Каспийское пароходство вследствие простоев и повреждения судов.

Таким образом, опасные ледовые условия и тяжелая навигационная обстановка на Каспийском море складываются в суровые и очень суровые зимы, когда не только вся акватория Северного Каспия покрывается мощным неподвижным льдом, но на продолжительный период им покрываются бухты и заливы западного и восточного побережья Среднего Каспия.

За 1924—1987 гг. следует выделить 17 суровых и очень суровых зим: 1927-28, 1928-29, 1930-31, 1931-32, 1941-42, 1944-45, 1948-49, 1949-50, 1950-51, 1953-54, 1955-56, 1959-60, 1963-64, 1966-67, 1968-69 и 1971-72 гг.

Согласно «Инструкции гидрометеорологическим станциям по информации об опасных гидрометеорологических явлениях» скорость ветра, равная 15 м/с, признана критерием начала опасного явления.

В тех случаях, когда скорость ветра, равная и больше 15 м/с, имеет локальный характер, опасность представляется не столько волнение, сколько сам ветер. Так, 7 мая 1958 г. над Нефтяными Камнями прошел шквал со скоростью ветра 40 м/с, который вызвал частичные повреждения и разрушения отдельных морских сооружений. Максимальная высота волны при таком ураганном ветре достигала всего 5 м.

Режиму скоростей ветра Каспийского моря посвящено много работ, характеристики ветра из которых могут быть использованы для расчета гидрометеорологических параметров, а также для решения ряда инженерных задач. В то же время с развитием народного хозяйства требования к гидрометеорологическому обеспечению возрастают и практика выдвигает все новые задачи. Особое значение придается пространственно-временным характеристикам ветрового режима в открытом море во время действия над ним устойчивого штормового ветра.

Для ряда отраслей народного хозяйства большое практическое значение имеет исследование скоростей ветра не ниже критического значения. Для этой цели рассматривались штормы, во время которых скорость ветра была не ниже 20 м/с. Для анализа штормовой деятельности составлен календарь штормов на Каспийском море с 1941 по 1980 г. Основой для его составления послужили данные многолетних наблюдений за ветром на береговых станциях и синоптические карты. Из составленного календаря отобраны наиболее жестокие штормы и выполнен анализ синоптических ситуаций, приведших к их возникновению.

По интенсивности проявления штормовой деятельности выделяются три района: Махачкала—Дербент (ГМС Махачкала), Ашеронский (СГМС Нефтяные Камни, ГМС Остров Артема) и Форт-Шевченко—Кандерли (ГМС Форт-Шевченко). Количество штормов в этих районах по десятилетиям приведено в табл. 14.2.

Как видно из таблицы, вероятность установления штормовых ветров в указанных районах оказывается не одинаковой. По десятилетиям наиболее штормовым на Каспии оказался период 1951—1960 гг. Одной из причин этого, вероятно, можно считать уменьшение в последние десятилетия над Каспийским морем активности циклонической деятельности.

Аналогичная картина наблюдалась и на территории Сибири и Урала [294], что объясняется увеличением в 50-е годы циклонической деятельности, спад которой приходится на 40-е и 70-е годы.

Сильные и жестокие штормы со скоростью ветра 20 м/с и более северо-западных и северных румбов в среднем удерживаются не более 6—12 ч, максимальная их продолжительность достигает 36—40 ч (март 1953 и апрель 1954 гг.). Установлению устойчивого северо-западного переноса предшествует формирование области высокого давления над Северным Кавказом и наличие по-

Таблица 14.2

Количество штормов ($V \geq 20$ м/с) на Каспийском море за 1941—1980 гг.

| Период | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Год | % |
|---|----|----|-----|----|----|----|-----|------|----|----|----|-----|-----|-----|
| Район Махачкала—Дербент (ГМС Махачкала) | | | | | | | | | | | | | | |
| 1941—1950 | 8 | 5 | 8 | 8 | 4 | 4 | 3 | 3 | 6 | 8 | 6 | 5 | 68 | 14 |
| 1951—1960 | 21 | 29 | 28 | 23 | 14 | 10 | 3 | 10 | 14 | 18 | 27 | 21 | 218 | 45 |
| 1961—1970 | 10 | 11 | 11 | 10 | 8 | 7 | 3 | 4 | 8 | 10 | 11 | 11 | 104 | 21 |
| 1971—1980 | 10 | 9 | 11 | 11 | 4 | 5 | 7 | 7 | 8 | 12 | 7 | 7 | 98 | 20 |
| 1941—1980 | 49 | 54 | 58 | 52 | 30 | 26 | 16 | 24 | 36 | 48 | 51 | 44 | 488 | 100 |
| Ашеронский район (СГМС Нефтяные Камни, ГМС Остров Артема) | | | | | | | | | | | | | | |
| 1941—1950 | 8 | 2 | 5 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 5 | 6 | 5 | 44 | 21 |
| 1951—1960 | 8 | 5 | 9 | 3 | 4 | 5 | 4 | 4 | 6 | 11 | 7 | 8 | 74 | 36 |
| 1961—1970 | 3 | 4 | 5 | 5 | 1 | 2 | 6 | 5 | 7 | 6 | 6 | 7 | 57 | 27 |
| 1971—1980 | 5 | 4 | 3 | 1 | 2 | 0 | 4 | 2 | 1 | 8 | 0 | 2 | 32 | 16 |
| 1941—1980 | 24 | 15 | 22 | 11 | 8 | 9 | 17 | 13 | 17 | 30 | 19 | 22 | 207 | 100 |
| Район Форт-Шевченко—Кандерли (ГМС Форт-Шевченко) | | | | | | | | | | | | | | |
| 1941—1950 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 4 | 19 | 17 |
| 1951—1960 | 4 | 6 | 6 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 4 | 3 | 5 | 39 | 36 | |
| 1961—1970 | 4 | 5 | 5 | 3 | 2 | 9 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 | 6 | 31 | 27 |
| 1971—1980 | 4 | 3 | 1 | 4 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 4 | 3 | 24 | 21 |
| 1941—1980 | 14 | 15 | 13 | 15 | 9 | 1 | 1 | 3 | 2 | 8 | 14 | 18 | 113 | 100 |

Таблица 14.3

Число штормов ($V \geq 20$ м/с) по данным ГМС Махачкала

| Период | Направление ветра | | |
|-----------|-------------------|-----|----|
| | юв | сз | з |
| 1941—1950 | 38 | 30 | — |
| 1951—1960 | 95 | 109 | 13 |
| 1961—1970 | 45 | 59 | — |
| 1971—1980 | 37 | 60 | 1 |
| 1941—1980 | 216 | 258 | 14 |

режим оказывает влияние сибирский антициклон [230].

В отличие от других районов Каспия, в Форт-Шевченко наибольшую повторяемость имеет юго-восточный штормовой ветер. Наибольшие скорости приходятся также на юго-восточный ветер [230]. За 40 лет наблюдений максимальная скорость юго-восточного ветра в Форт-Шевченко составила 28 м/с, а продолжительность непрерывного действия — 36 ч.

Весной и летом здесь наиболее часты северо-восточные штормы с максимальной скоростью не более 24 м/с. Средняя продолжительность их действия составляет 6 ч, наибольшая — 36 ч. На долю северо-западных штормов ($V \geq 20$ м/с) приходится 18 %, их максимальная скорость равна 34 м/с, а наибольшая продолжительность — 30 ч (ноябрь 1958 г.).

Одним из основных районов морских нефтепромыслов на восточном побережье Каспийского моря является район п-ова Челекен. В этом районе наибольшие скорости (24 м/с) наблюдаются при северном и северо-западном ветрах продолжительностью не более 6 ч. Очень редко скорость северного ветра может достигать 34 м/с (март 1966 г.). Согласно [230], в подавляющем большинстве случаев сильный и штормовой северный ветер в этом районе связан с известным бакинским нордом, достигающим наибольшей силы в районе Алишеронского полуострова.

Таким образом, волнение у восточного побережья вызывается не только местными, но и другими ветрами.

Из южных направлений наибольший интерес представляет юго-восточный ветер, повторяемость которого составляет 11 %. Предельная градация его скорости — 13—16 м/с, а наибольшая продолжительность непрерывного действия (24—30 ч) приходится на холодную половину года. За исследуемый период только один раз (25 ноября 1957 г.) наблюдался юго-восточный ветер со скоростью 28 м/с.

Анализ календаря штормов позволяет сделать вывод, что наиболее часто штормовые ветры, достигающие критериев стихийных явлений, устанавливаются в Среднем Каспии.

На скорость и безопасность судна волнение оказывает гораздо большее влияние, чем ветер. Большинство типов судов при высоте волн 5—7 м теряет до 50 % своей скорости. Обеспечение безопасности плавания судов при сильном ветре и волнении — один из актуальных вопросов судоходства.

ниженного давления над Каспийским морем и западными районами Средней Азии. Чаще всего такие ветры развиваются при распространении на низкие широты европейской части страны отрогов азорского антициклона или при смещении антициклонов по полярной оси [230]. Продолжительность таких штормов обычно длится сутки и более.

Юго-восточные штормы характерны для районов Махачкалы и Форт-Шевченко при усилении циклонической деятельности над югом европейской части страны и Северным Кавказом. Ярко выраженные штормы юго-восточного направления имеют здесь большую продолжительность, чем северо-западные, и делятся 100—140 ч (декабрь 1950 и ноябрь 1952 гг.).

Воздействие азорского максимума на ветровой режим Каспийского моря в основном обуславливает развитие штормового северо-западного ветра с максимумом в Апшеронском районе. Такие штормы имеют наибольшую продолжительность и встречаются в любое время года.

Как следует из табл. 14.2, в Апшеронском районе за тот же 40-летний ряд наблюдений прошло вдвое меньше штормов по сравнению с районом Махачкалы, что можно объяснить следующим образом. В Апшеронском районе наблюдаются преимущественно штормы северо-северо-западного и реже северного и северо-западного направлений. За рассмотренный период (1941—1980 гг.) отмечен всего один случай (0,5 %) штормового ветра северо-северо-восточного направления (август 1956 г.), при этом скорость его не превышала 20 м/с. Штормы южного направления наблюдались редко (3 %), юго-восточного же — не наблюдались совсем, в то время как в районе Махачкалы на долю юго-восточного ветра приходится более 44 %.

В табл. 14.3 приводятся данные о штормовых ветрах различных направлений по ГМС Махачкалы.

В Апшеронском районе интенсивность и продолжительность штормов больше, чем в районе Махачкалы, а количество их меньше. Наиболее штормовым периодом в Апшеронском районе является холодное полугодие (60 %). По сезонам количество штормов распределяются следующим образом: по 30 % осенью и зимой и по 20 % — весной и летом. Наибольшее число штормов приходится на октябрь (30), в декабре, январе и марте их несколько меньше (22, 24 и 22 соответственно).

В районе Нефтяных Камней с 1950 по 1963 г. почти ежегодно в ноябре наблюдались штормовые ветры северо-северо-западного, северо-западного и северного направлений [22]. С 1964 по 1980 г. в ноябре наблюдалось всего 4 шторма, в то время как в октябре за этот же период прошло 12 штормов, т. е. произошло смещение «штормового месяца» с ноября на октябрь.

На восточном побережье Каспия штормовая деятельность отчетливо выражена в районе п-ова Мангышлак (ГМС Форт-Шевченко), где в значительной степени сказывается мысовый эффект. Из табл. 14.2 видно, что в этой части моря наибольшее количество штормов приходится на холодную половину года (79 %), когда на ветровой

В условиях Каспийского моря наибольшую опасность представляют штормы северного направления, но не менее опасны и сильные юго-восточные штормы. При жестоких северных штормах волны могут достигать очень больших размеров (до 10 м) по всей акватории Среднего и в северной части Южного Каспия. Высокие волны (12 м) в самый жестокий шторм 20—21 ноября 1957 г. вызвали серьезные разрушения гидротехнических сооружений, в том числе и буровых платформ, что привело к человеческим жертвам [175].

Штормозые ветры юго-восточного направления наиболее интенсивно проявляются в районе Махачкалы—Дербент. При этом наибольшие высоты волн 5 %-ной обеспеченности могут достигать 7 м, а максимальные — 10 м [22]. Физико-географические условия расположения волномерного пункта в районе Махачкалы не позволили зафиксировать столь высокие волны. В шторм 29—30 сентября 1973 г. при скорости ветра 16—20 м/с судовые наблюдения, проводимые в районе Махачкалы, зафиксировали высоту волн 3,0 м. Последующее усиление ветра и волнения послужило причиной катастрофы в этом районе двух танкеров, имеющих ограничения в плавании при высоте волн 5,0 м и более.

Опыт эксплуатации береговых сооружений показал, что катастрофические последствия могут иметь место и при умеренных штормах, при неблагоприятных сочетаниях гидрометеорологических факторов. С этой точки зрения наибольший интерес представляет шторм 1—2 февраля 1964 г. в районе Махачкалы, когда при высоте волн 1,5 м была размыта оградительная перемычка и затоплен котлован. Столь неблагоприятный эффект вызвало сочетание штормовых волн, распространяющихся в направлении, нормальном к берегу, с повышением уровня моря. Аналогичный случай имел место на севере Апшеронского полуострова в районе Сумгайитского завода синтетического каучука в шторм 23 февраля 1955 г., когда за несколько часов уровень повысился более чем на 60 см, а максимальная высота волны составляла 2,4 м. Ни такая высота волн, ни отметка уровня для данного района не были максимальными. Однако сочетание этих факторов, т. е. повышенного уровня и волнения по нормали к берегу, привело к размыту оградительной перемычки и затоплению котлована [427].

Совместное влияние максимальных значений уровня и высоты волны, что не исключено, может привести к катастрофическим последствиям. Поэтому при проектировании гидротехнических сооружений и берегоукрепительных работах необходимо учитывать возможность такого неблагоприятного сочетания гидрометеорологических параметров.

14.3. Описание жестоких штормов

Зачастую опасные и стихийные гидрологические явления возникают при прохождении над Каспийским морем жестоких штормов. Ниже приводится анализ штормов, выделявшихся по силе ветра, продолжительности непрерывного действия и региональному распространению.

Шторм 26 октября 1948 г. относится к числу непродолжительных, но исключительных по силе и распространению. Шторм был вызван перемещением гребня высокого давления с Черного моря на восток при наличии над Каспием ложбины циклона, что обусловило рост градиентов давления и усиление северо-западного ветра в районе от Махачкалы до Апшеронского полуострова. В Махачкале и на о. Жилом скорость ветра достигала 40 м/с.

По мере распространения гребня высокого давления к юго-востоку на Южный Каспий и смещения ложбины циклона на северо-восток произошло усиление северо-западного ветра в южной части Каспия и на восточном побережье, т. е. практически шторм наблюдался на всем море.

Отличительной чертой данного шторма является развитие сильного волнения на акватории, прилегающей к восточному побережью моря.

Шторм 12—14 февраля 1952 г. относится к числу жестоких по силе, продолжительности действия и большой площади распространения.

В результате выхода циклона из районов Малой Азии на юг Каспийского моря и углубления его над западом Казахстана, а также распространения в тыл циклона гребня антициклона из районов Черного моря над Каспийским морем произошло усиление северо-западного, а затем северного ветра. В восточной части циклона по мере его продвижения над морем наблюдались южные и юго-западные ветры со скоростью 5—10 м/с. 12 февраля скорость ветра в районе Нефтяных Камней достигла 18—20 м/с, а к утру 13 февраля — 24—28 м/с. Скорости северного ветра порядка 25 м/с в Апшеронском морском районе удерживались около 40 ч. Большие скорости ветра наблюдались и к югу от Апшеронского полуострова, т. е. штормом была охвачена вся западная часть Каспийского моря.

С увеличением скорости ветра отмечался непрерывный рост высот волн. Максимальная высота волн в районе Нефтяных Камней достигла 10 м. Вечером 13 февраля скорость ветра стала ослабевать, уменьшилось и волнение. Днем 14 февраля ветер стих совсем. Во время этого шторма было разрушено одно морское основание.

Шторм 1—2 марта 1952 г. во многом сходен по синоптическим условиям со штормом 12—14 февраля 1952 г. В обоих случаях шторм обусловлен взаимодействием углубляющегося циклона, прошедшего над югом Каспийского моря, с антициклоном над Кавказом.

К концу дня 1 марта над Южным и Средним Каспием установился глубокий циклон. В это же время в области высокого давления, ориентированной через Средиземное и Черное моря на Среднюю Волгу, образовалось антициклоническое ядро, которое начало развиваться, перемещаясь в северные районы Каспия. Такое развитие синоптических процессов привело к усилению северо-западного ветра утром 1 марта в районе Махачкалы. К середине дня шторм распространился на Апшеронский район, а к вечеру — на весь Каспий. На СГМС Нефтяные Камни в 0 ч 2 марта зафиксирована скорость северо-северо-западного ветра 34 м/с, а в 3 ч — 40 м/с. В середине дня 2 марта штормовой ветер начал стихать, а утром 3 марта

скорости ветра не превышали 5—10 м/с. Сильный и продолжительный ветер развил сильное волнение, особенно в районе Нефтяных Камней, здесь отдельные волны достигали высоты 11 м.

Во время этого шторма были частично разрушены морские гидротехнические сооружения, на эстакаде большими волнами был сорван настил.

Шторм 10—13 ноября 1952 г. Влияние сибирского антициклона при одновременном оживлении циклонической деятельности над районами Черного моря и Северного Кавказа обусловило развитие устойчивых по направлению сильных и штормовых юго-восточных ветров большой продолжительности. Шторм достиг максимальной силы 12 ноября в северо-западной части Каспийского моря, где скорости ветра составляли 28—34 м/с. В других районах Каспийского моря наибольшие скорости ветра наблюдались в 13 ч 12 ноября и составили 20—28 м/с. Шторм стих в ночь на 14 ноября.

В шторм 10—13 ноября 1952 г. на Северном Каспии и в районе Махачкала—Дербент имело место катастрофическое наводнение. Затоплены острова Жесткий, Чистой Банки, Тюлений, Чалупренок, а также прибрежные районы моря. Размыто полотно железной дороги. По пути движения воды затоплены населенные пункты и разрушены прибрежные сооружения. Имелись человеческие жертвы.

Шторм 20—21 ноября 1957 г. относится к числу самых жестоких за всю историю наблюдений на Каспийском море. Максимальная высота волн по наблюдениям на СГМС Нефтяные Камни (глубина места 12 м) составила 10 м, а при глубине 20—30 м — 12 м. Очень сильное волнение, развивавшееся во время этого шторма, привело к значительным разрушениям нефтепромысловых сооружений и человеческим жертвам.

Шторму предшествовала следующая синоптическая ситуация.

На высоте 500 гПа за 3 ч 20 ноября высотная ложбина была ультраполярно ориентирована от районов п-ова Таймыр на районы Северного Кавказа и Каспийского моря. Кон trasts температур в области высотной фронтальной зоны составляли 17°C. Над Азербайджаном установился юго-западный перенос. В течение суток холод продолжал поступать северо-восточными потоками на районы Поволжья, север Каспия, а над югом Каспийского моря происходил вынос теплых воздушных масс.

У земной поверхности 20 ноября 1957 г. центральную часть Каспийского моря с запада на восток пересек обширный глубокий циклон. 21 ноября он вышел на Аральское море, где и стационарировал. В ночь на 21 ноября на западной периферии циклона, в центральной части Среднего Каспия, возник небольшой и менее глубокий циклон, который в 1 ч ночи достиг своего наибольшего развития. За 2—3 ч этот циклон пересек Средний Каспий с северо-запада на юго-восток со скоростью более 100 км/ч. Выдя на восточное побережье Каспийского моря несколько севернее Красноводска, циклон около 3 ч ночи 21 ноября вероятно разрушился. Одновременно наблюдался гребень с давлением 1045 гПа, ориентированный с районов Скандинавии через Прибалтику и Украину на Северный Кавказ.

В результате увеличения градиентов давления на 8—10 гПа произошло усиление северо-западного ветра сначала в северо-западных и западных районах моря, а затем и по всему Каспию в целом. В районе Нефтяных Камней скорость ветра превышала 40 м/с.

Шторм 17—18 декабря 1965 г. относится к числу очень сильных, которые наблюдались в районе Нефтяных Камней и прилегающих районах моря.

16 декабря районы Закавказья и южная половина Каспия были заняты областью высокого давления. В связи с выносом теплого воздуха со Средиземного моря и Малой Азии, смещающегося по юго-восточной периферии высотной ложбины, область высокого давления над Закавказьем начала быстро разрушаться и на ее место переместился циклон, ранее располагавшийся над районами Малой Азии. При этом давление в центре циклона за сутки упало на 12 гПа.

По мере перемещения циклона над Азербайджаном и югом Каспия приземное давление над этими районами продолжало падать. В это же время над югом Украины и Северным Кавказом в результате адвекции холода наблюдался рост давления на 4—5 гПа. Такое изменение приземного давления между Азербайджаном и Северным Кавказом привело к созданию значительного барического градиента, что обусловило развитие штормовых северных и северо-западных ветров на Каспии. Усиление северного ветра началось в Махачкале и за короткий промежуток времени шторм распространился на весь Каспий. Максимальная скорость ветра, измеренная по анеморумбометру М-47, составила 28 м/с; скорость ветра в порывах — 34—35 м/с.

В дальнейшем по мере перемещения высотного гребня на восточное побережье Каспия приземный циклон, несколько углубляясь, начал смещаться на эти районы. Сохранение циклона над востоком Каспия и обусловило развитие штормовых ветров на продолжительное время — с 19 ч 17 до 9 ч 19 декабря 1965 г. В момент пика ветра на СГМС Нефтяные Камни по волнографу была зарегистрирована высота волн 8,9 м.

Штормом разрушен участок эстакады длиной 110 м. При этом были сброшены в море 10 пролетов эстакады.

Шторм 13—14 января 1975 г. был вызван взаимодействием отходящей к востоку ложбины циклона с Атлантикой и распространяющимся в ее тылу гребнем высокого давления, расположенного над Кавказом, обусловившим рост барических градиентов и резкое усиление ветров северного и северо-западного направлений сначала в Махачкале, а затем на акватории Среднего и Южного Каспия. 13 января в 6 ч усиление северо-западного ветра отметили станции Северного Каспия, в том числе и Форт-Шевченко (18 м/с). К 9—12 ч штормом было охвачено все западное побережье Каспия, а к вечеру — восточное. Максимальная скорость северо-западного ветра — 34 м/с (М-47) — отмечена на о. Артема с 18 ч 13 января до 3 ч 14 января.

Максимальная высота волн на СГМС Нефтяные Камни по волнографическим наблюдениям наблю-

далась в 21 ч 13 января (глубина места 22 м) и составила 9,0 м.

Основной ущерб шторм причинил эстакадам на Нефтяных Камнях и Грязевой сопке: произошли пограничные и разрушения отдельных участков эстакад длиной от 60 до 200 м, выбросы нефти в море.

Шторм 17—18 октября 1976 г. был связан с образованием в ложбине циклона, проходящего через юг Каспия, частного циклона при одновременном распространении гребня антициклона с юга европейской части страны через Северный Кавказ, что привело к возникновению значительных градиентов давления, обусловивших усиление северного и северо-западного ветров на Каспийском море до 28—30 м/с с порывами до 36 м/с. Продолжительность штормовых ветров составила 30 ч. Максимальная высота волн по волнографным записям в пункте с глубиной 22 м составила 9,5 м 17 октября в 21 ч, 8,2 м 18 октября в 3 ч и 8,9 м 18 октября в 9 ч.

В результате шторма были отмечены повреждения опор эстакады в пункте с глубиной 25 м. Проложенные по эстакаде коммуникации повисли над водой. На ряде объектов имели место сильные поперечные колебания эстакады, в результате чего произошел разрыв в стыке нефтепровода. На площадках в районе Грязевой сопки сорваны крепления стволов действующих скважин.

Шторм 21—22 февраля 1978 г. развивался следующим образом. 20 февраля у земной поверхности над севером Апшеронского полуострова и над Балканским полуостровом располагалось два небольших циклона, которые со скоростью 70 км/ч, углубляясь, смешались к востоку. Ядро антициклона с давлением в центре 1025 гПа располагалось над западом Украины и Центральной Европой, гребень его получил развитие на Балканский полуостров, где заток холода обусловил рост давления на 2—3 гПа. Через сутки оба циклона объединились и уже в 3 ч 21 февраля обширный циклон с давлением в центре 1005 гПа располагался над районами Черного моря, Турции и Северного Кавказа.

В дальнейшем, углубляясь, он перемещался со скоростью 80 км/ч в восточном, а затем юго-восточном направлении на районы Каспийского моря. Давление над районами Каспия 21 февраля в середине дня упало на 12—15 гПа, а в 3 ч 22 февраля циклон находился над восточным побережьем Каспия.

Прохождение циклона через Каспий вначале обусловило усиление южного ветра до 25—30 м/с и повышение температуры воздуха, а затем распространение холодного фронта вызвало понижение температуры воздуха по Азербайджану на 7—10 °C. Кроме того, прохождение фронта через Апшеронский полуостров и выход циклона с районов Ирана на Закавказье вызвали выпадение осадков в виде снега. На Апшеронском полуострове температура за сутки понизилась на 6—10 °C.

Воздействие гребня высокого давления на отходящий циклон привело к увеличению барических градиентов и усилиению северо-западного ветра сначала в районе Махачкала—Дербент до 24—25 м/с (порывы 30—35 м/с), а затем в Апшеронском районе до 25—29 м/с. Максимальная высота

волны в районе Нефтяных Камней в пункте с глубиной 22 м составила 8,3 м.

Усиление северо-западного ветра по районам Каспия и Апшеронскому полуострову было предусмотрено суточным прогнозом и штормовыми предупреждениями с заблаговременностью более 6 ч. Работниками нефтяной промышленности, морского и рыболовного флота были приняты необходимые меры и проведены подготовительные работы по борьбе со штормом. В результате принятых мер возможный материальный ущерб был предотвращен.

Шторм 15—16 мая 1980 г. В ночь с 14 на 15 мая в Апшеронском районе произошло усиление северного ветра до 20 м/с, порывы достигали 25 м/с. Одновременно наблюдалось резкое понижение температуры воздуха.

Сильный северный ветер с понижением температуры воздуха представлял собой опасное явление для организаций морского флота, рыбной и нефтяной промышленности и др.

Шторм был вызван распространением гребня антициклона с Черного моря на Северный Кавказ при одновременном выходе циклона с Ирака на районы Среднего Каспия и образованием в его ложбине второго циклона. 15 мая в 13 ч 15 мин ветер достиг значения СГЯ — скорость его составила 25 м/с, порывы — до 30 м/с, высота волн — 6,5 м. В 15 ч 50 мин ветер ослаб до 18 м/с, а через 2 ч, в 17 ч 50 мин, вновь усилился до 28 м/с порывы — до 32 м/с, высота волн достигла значения СГЯ — 8,0 м. 16 мая в 2 ч 20 мин наблюдалась максимальная высота волн — 8,1 м. Стихийное явление окончилось 16 мая в 7 ч 45 мин.

В результате своевременного прогноза и штормового предупреждения народнохозяйственными организациями были приняты необходимые меры для предотвращения материального ущерба.

Шторм 4—5 ноября 1981 г. отличался усилением северо-западного и северного ветра по всей акватории Каспийского моря до 20—34 м/с (порывы до 40 м/с), понижением температуры воздуха на 5—8 °C и выпадением значительных осадков, особенно в Ленкорано-Астаринском районе.

Синоптическая ситуация была следующая. На карте поверхности 500 гПа за 3 ч 4 ноября глубокая ложбина была ориентирована через центральные районы европейской части страны, восток Черного моря на районы Турции. В ней над Украиной располагался глубокий циклон (526 гл. дам). Максимальное падение геопотенциала отмечалось над районами Черного моря и Турции (до 21 гл. дам). Высотная фронтальная зона (ВФЗ) со Скандинавии была направлена на Западную Украину, Турцию, затем через Закавказье, Северный Кавказ на Урал. Конкавы температур в области ВФЗ составили на 1000 км расстояния 16—18 °C. Над районами Закавказья скорость западного потока составляла 100 км/ч.

4 ноября у земной поверхности антициклон с давлением в центре 1030 гПа находился над Западной и Восточной Европой, а гребень его был направлен на Кольский полуостров, второй слабо выраженный гребень был ориентирован на Турцию, Грузию. Район Азербайджана находился под влиянием циклонической деятельности с давлением в центре циклона 994 гПа. С этой депрес-

сней были связаны фронтальные системы. За сутки гребень антициклона распространился на Северный Кавказ и далее на Закавказье. В течение суток давление на севере Каспия возросло на 10–15 гПа.

Усиление северного ветра, резкое понижение температуры воздуха, выпадение значительных осадков были предусмотрены суточным прогнозом и штормовым предупреждением, в результате чего предотвращен возможный материальный ущерб.

Шторм 11 января 1982 г. был вызван образованием в ложбине циклона, направленного с юга европейской части страны, вторичного циклона над Средним Каспием. Над районами Средиземного и Черного морей в это же время установилась область высокого давления. Градиент давления над морем составил 10–12 гПа. Прохождение холодного фронта через район Нефтяных Камней вызвало понижение температуры воздуха на Апшеронском полуострове.

Штормовой северо-западный ветер начался в районе Махачкалы. В 15 ч скорость ветра здесь достигала 25 м/с. На СГМС Нефтяные Камни в это время зафиксирована скорость ветра северо-западного направления, равная 12 м/с. К 18 ч произошло усиление ветра до 18 м/с, а с 19 ч 50 мин — до 20–24 м/с. Максимальная высота волн в момент развития ветра достигла значения СГЯ — 8,3 м. Ослабление волнения началось утром 12 января, но по высоте волн, равной 6,8 м, оно относилось к опасным явлениям. К 9 ч 12 января направление ветра изменилось на северо-восточное, затем юго-восточное, максимальная высота волн составила 1,6 м.

Ущерба от стихийного явления на Нефтяных Камнях не было.

Шторму 25–28 января 1984 г. предшествовала следующая синоптическая ситуация. 24 января над восточным побережьем Адриатического моря установился циклон с давлением в центре 983 гПа. Углубляющаяся ложбина этого циклона была ориентирована на Балканы и Черное море. Максимальное падение давления у земли в районе Закавказья достигло 3 гПа за последние 3 ч при одновременном его росте в ночные часы порядка 1–2 гПа в гребне над территорией Южного Урала и Западным Казахстаном. Таким образом, создалась обстановка для усиления юго-восточного ветра до 16–20 м/с. В 6 ч утра 24 января скорость юго-восточного ветра в Махачкале достигла 16 м/с. В дальнейшем произошло значительное сближение барических систем. Барические градиенты 26 и 27 января по Среднему Каспию еще более возросли, в результате чего произошло усиление штормового юго-восточного ветра по Среднему Каспию до 25–30 м/с. По данным ГМС Махачкала 26 января скорости ветра составляли 20–25 м/с, 27 января — 25–28 м/с.

Такое усиление юго-восточного ветра вызвало повышение уровня моря. 26 января уровень моря в Махачкале повысился на 35–40 см, 27 января — на 35–45 см. На о. Тюленьем 26 и 27 января подъем уровня соответственно составил 90–100 и 100–113 см. Повышение уровня до опасных отметок сохранилось всю ночь 28 января, а утром началось постепенное его понижение. Максимальная отметка — 27,54 м в Махачкале наблюдалась

27 января в 17 ч. Максимальная наблюденная высота волны в прибрежной зоне Махачкалы составила 27 января 2,5 м.

Высокий уровень моря в сочетании с сильным волнением нанесли значительный ущерб некоторым отраслям народного хозяйства. В результате заглавовременного предупреждения об опасном повышении уровня были приняты меры по спасению людей, имущества и скота.

Шторм 31 января 1987 г. С 9 ч 31 января до 0 ч 1 февраля на Апшеронском полуострове наблюдался сильный северный ветер. Максимальной скорости он достиг 31 января в 9–18 ч. Наибольшие скорости ветра на гидрометеорологических станциях Среднего Каспия составляли 25–29 м/с (порывы 30–34 м/с).

Атмосферные процессы, обусловившие усиление северного ветра до критериев СГЯ на Апшеронском полуострове, были следующими. В 3 ч 29 января на поверхности 500 гПа высотная ложбина была ультраполярно направлена с районов Белого моря. Высотная фронтальная зона широтно ориентирована с районов Западной Европы через Украину и Поволжье на юг Урала. Контраст температуры в ВФЗ над районами Северного Кавказа составлял 16 °C на 1000 км, скорость юго-западного потока — 40–45 м/с. За сутки высотный циклон, не изменив своего местоположения, углубился на 2 гПа, ВФЗ переместилась на южные районы. Контраст температуры в ВФЗ над районами Северного Кавказа увеличился до 25 °C, а скорость юго-западного потока возросла до 50–60 м/с. Над Закавказьем наблюдался северо-западный перенос со скоростью 20–30 м/с. Гребень тепла на АТ₅₀₀ был ориентирован через восток Закавказья, Дагестан на Каспий, что указывало на выход циклонов в эти районы.

В 3 ч 31 января на уровне 500 гПа высотный циклон с северных районов европейской части СССР сместился и углубился в центре на 5 гПа, ВФЗ стала ориентирована с районов Западной Европы на Черное море, Северный Кавказ, север Каспия и юг Урала. Температурный контраст во фронтальной зоне над Северным Кавказом увеличился до 34 °C, скорость западного переноса над Закавказьем составляла 25–30 м/с. За сутки над районами Дагестана и Апшеронского полуострова похолодало на 10 °C, над Южным Каспием — до 6 °C. У поверхности земли ночью 29 января погоду над районами Среднего Каспия определяла ложбина циклона, расположенного южнее Москвы с давлением в центре 980 гПа. Вторая глубокая ложбина, связанная с этим же циклоном, была ориентирована через районы Украины на южные районы Западной Европы. В обеих ложбинах наблюдалось падение давления, наибольшее в районе Махачкалы (5 гПа за 3 ч).

Гребень с давлением в центре 1020 гПа был ориентирован с районов Ближнего Востока на Закавказье. Другой антициклон сместился со скоростью 50–60 км/ч с районов Великобритании на районы Западной Европы и усилился на 10 гПа. Оба гребня, объединившиеся в один, стали ориентированы на районы Украины. К 3 ч 31 января давление над районами Украины и Поволжья возросло на 13–18 гПа, над районами Турции, Северным Кавказом и Дагестаном — на 6–11 гПа,

Причины экстремальных штормов по наблюдениям на Каспийском море

| Дата | p_{Ae} рНа | ρ_{Za} рНа | $\frac{\partial \rho_{Za}}{\partial T_{\text{ш}}}$ | $T^* \text{°C}$ | $T_{\text{ш}} \text{°C}$ | $T_w(z) \text{°C}$ | $T_b \text{°C}$ | $r \%$ | $T_{\tau} \text{°C}$ | $V_{*} \text{ м/с}$ | $V_{\text{ш}} \text{ м/с}$ | V_{max} V_{500} | V_{max} V_{25-30} | $U_{\text{ш}}$ | $U_{\text{ш}}$ | t ч |
|----------------|-----------------|--------------------|--|-----------------|--------------------------|--------------------|-----------------|------------|----------------------|---------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------------|----------------|----------------|----------|
| 1—2 XI 1952 | 1016 | 1005 | 0,8 | 3,1—2,4 | 5,3 | 2,1—2,9 | 5,3 | 4,2—0,1 | 60—100 | 1,8—0,3 | CC3, 28 | 40 | — | 10,5 | 11 | — |
| 11—14 XI 1952 | 1035 | 1010 | 2,5 | 14,4—10,8 | 16,8—18,0 | 2,4—6,9 | 16,6 | 16,2 | 44—74 | 16,4—6,2 | IOB, 28 | 34 | IO, 34 | 8,8 | 7,0 | — |
| 20—21 XI 1957 | 1045 | < 1015 | 0,5—1,0 | 10,9—2,4 | 13,3 | 2,4—10,9 | 13,3 | 10,4 | 40—95 | —2,2...—3,6 | C, 30 | 40 | C, 25 | 12,4 | 12,0 | 100 |
| 17—18 XII 1966 | 1033 | 1010 | 0,5—0,6 | 8,2—5,2 | 10,6—9,2 | 2,6—4,0 | 9,2 | 9,0 | 50—64 | 0...—2 | C3, 28 | 34 | C3, 35 | 8,2 | 8,9 | 70 |
| 13—14 I 1976 | 1032 | < 1015 | 0,7—1,0 | 7,8—1,8 | 8,1—7,5 | 4,7—5,7 | 8,1—7,9 | 4,0...—2,0 | 56—93 | 4...—4 | C3, 24 | 28 | C3, 28 | 6,9 | 9,0 | 60—70 |
| 17—18 X 1976 | 1030 | 1005 | 0,8 | 16,3—6,6 | 18,4—16,6 | 2,1—10,0 | 18,8 | 14,1 | 72—99 | 9,8—9,6 | CC3, 24 | 30 | C3, 28 | 7,3 | 9,5 | 70—80 |
| 21—22 XI 1978 | 1025 | 1005 | 0,6—1,0 | 4,8—1,9 | 6,7—6,0 | 1,9—4,4 | 6,7 | 5,0 | 72—90 | 4,0—0,3 | C3, 25 | 30 | — | 8,2 | 8,3 | 80 |
| 15—16 V 1980 | 1040 | 1005 | 0,5 | 14,4—10,1 | 13,3—10,0 | —1,1—1,0 | 12,0 | 22,0—11,0 | 87—90 | 14—8,0 | CC3, 28 | 32 | — | 8,1 | 8,8 | 70 |
| 4—6 XI | 1030 | 995 | 0,6 | 14,1—10,4 | 16,5—15,7 | 2,4—6,6 | 16,9 | 11,0 | 67—94 | 10,5—7,6 | C3, 34 | 40 | 3, 28 | 8,5 | 6,1 | 20 |
| 11 XI 1982 | 1030 | 1012 | 0,6 | 7,1—4,2 | 9,1—8,9 | 2,0—4,7 | 9,1 | 4,0 | 54—74 | 1,9—2,1 | CC3, 20 | 24 | — | 5,1 | 8,3 | 60—70 |
| 25—28 I 1984 | 1040 | 983 | 1,0 | 4,2—2,8 | 5,1—4,9 | 2,1 | 5,0 | 3,0 | 85—93 | 3,2...—0,2 | IOB, 27 | 28 | — | 5,5 | 2,5 | — |
| 31 I 1987 | 1020 | 980 | 1,7 | 3,0—2,0 | 5,4—5,2 | 2,4—3,2 | 5,2 | 4,9—2,0 | 95—98 | 3,6...—3,8 | C, 29 | 30—34 | 3, C3, 25—30 | 7,0 | 7,6 | 40—50 |

П р и м е ч а н и е. p_{Ae} и p_{Za} — атмосферное давление в центре антициклона в гидролите; Δp_{Za} — изменение давления в гидролите; T , T_w и T_b — температура воздуха, воды и почвы соответственно; $T_w(z)$ — температура воды на глубине z ; r — относительная влажность воздуха; T_{τ} — температура точки росы; $V_{\text{ш}}$ и V_{500} — скорость ветра у поверхности земли и на изobarической поверхности 500 гПа; V_{max} — максимальная высота и период полн соответственвно; $U_{\text{ш}}$ — скорость перемещения циклона; t — продолжительность СЧЯ.

над Апшеронским полуостровом и юго-востоком Каспия — на 2—4 гПа, а над Закавказьем упало на 2 гПа. Создавшиеся барические градиенты вызвали усиление северного ветра до критериев СГЯ.

Максимальная высота волн на СГМС Нефтяные Камни зарегистрирована в 15 ч и составила 7,5 м.

В результате своевременного штормового предупреждения и принятых мер материального ущерба от СГЯ не было.

14.4. Определение гидрометеорологических условий, вызывающих стихийные бедствия

В работе приведена таблица признаков (по наблюдениям) жестоких штормов, вызвавших волн-

которых штормовые ветры становятся стихийным бедствием.

Анализ показал, что наиболее информативными факторами стихийных ветровых условий служат синоптическая ситуация над морем и прилегающей к нему территорией и термические условия, характеризующиеся разностью температур вода—воздух.

Анализ синоптических условий для всех случаев прохождения над Каспийским морем жестоких штормов показал, что в основном они обусловлены взаимодействием гребня антициклона, распространявшегося с Черного моря на Северный Кавказ при одновременном выходе «южных» циклонов из районов Малой Азии и Ирана и прохождении через Апшеронский полуостров холодного фронта. Не менее важным в образовании опасной синоптической ситуации оказывается термический фактор: в предшествующий шторму период контраст температур вода—воздух, как правило, превышал 2°C.

Как отмечалось, шторм 20—21 ноября 1957 г. был самым жестоким за все время наблюдений на Каспийском море, по катастрофическим разрушениям он сравним с последствиями от прохождения тропических циклонов. Синоптическая ситуация этого шторма также сходна с синоптическими условиями образования тропических циклонов. Возникновению шторма 20—21 ноября 1957 г. способствовала определенная высотная и приземная барическая система, характеризующаяся наличием центрального глубокого циклона над Средним Каспием и формированием на западной его периферии вторичного циклона, который за 2—3 ч сместился на юго-восток. На рис. 14.1 рассмотрен ход атмосферного давления и разности температур вода—воздух по срочным наблюдениям СГМС Нефтяные Камни за весь ноябрь 1957 г. Как следует из рисунка, пику шторма (21 ноября, 3 ч) предшествовали значительные барические градиенты. Температура воздуха в ночь с 20 на 21 ноября сильно понизилась, соответственно резко возросла разность температур вода—воздух (от 2,4 до 10,4°C).

14.5. «Распознавание образа» особо опасного шторма и возможности его прогнозирования

Для обнаружения и прогноза на Каспийском море штормов с катастрофическими последствиями в работе используется метод «распознавания образа» [144, 303].

Для поиска «образа» исследуемого особо опасного шторма определяется набор признаков. Основные признаки выбираются таким образом, чтобы их можно было проще и раньше измерить, чем может наступить предсказываемое явление. Кроме того, набор признаков задается таким, что каждый из них, будучи доступным для измерения, несет в себе полезные сведения. По выбранному набору признаков составляется таблица, в которой параметры, указывающие на наличие опасного явления, обычно обозначаются символом 1 («да»), на отсутствие — символом —1 («нет»). Числовые значения признаков, указанных в таблице, служат координатами для графика, по которому определяется наличие (или отсутствие) стихийного явления.

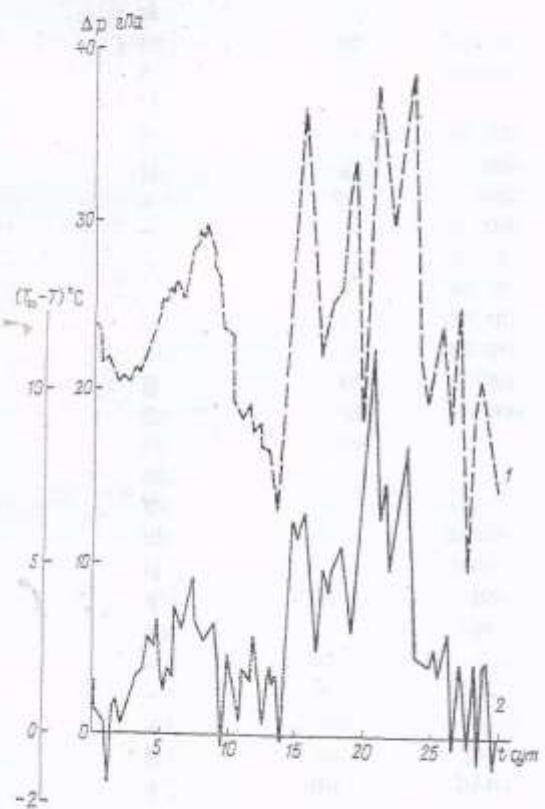


Рис. 14.1. Изменение атмосферного давления Δp (1) и разности температур вода — воздух $T_w - T$ (2) в ноябре 1957 г. на СГМС Нефтяные Камни.

нение, достигающее критериев СГЯ. Для каждого шторма включены данные об основных барических образованиях (экстремумы давления в них и скорость перемещения циклонов), скорости ветра у поверхности земли и на изобарической поверхности 500 гПа, температуре воздуха, почвы, температуре воды на поверхности и на глубинах, влажности воздуха, элементах волн и др. (табл. 14.4).

Такой подход к анализу жестоких штормов позволил выявить наиболее информативные предикторы, обуславливающие их возникновение, а также установить сочетание условий, выраженных числовыми критериями (пороговыми значениями), при

В табл. 14.5 каждому признаку особо опасных штормов, прошедших над Каспийским морем с 1952 по 1987 гг., отведено две строки. В первой строке приводятся наблюдаемые (или прогнозируемые) числовые значения выбранных признаков, а во второй — отвечающие им символы 1 или —1. Если значение признака равно или больше его порогового значения, ставится 1, если меньше, то —1. Такая схема заполнения одинакова для всех столбцов таблицы за исключением параметров, указанных в графах 2 и 8, являющихся основными определяющими факторами развития в море особо опасного шторма.

В столбце 1 таблицы указывается дата шторма: число, месяц, год, а во второй строке этого столбца ставится 1, если явление произошло в осенне-зимний период, и —1, если оно имело место весной или летом.

В графе 2 оценивается синоптическая ситуация в целом над регионом в условных числовых значениях (баллах). Наличие четырех центров атмосферного давления: двухцентровой депрессии с центральным циклоном и вторичным центром в его ложбине над морем и двух антициклонов — одного холодного — слева от центрального циклона и другого — справа от вторичного вихря, оценивается в 5 баллов. Синоптическая ситуация такая же, как и в предшествующем случае, но при слабо развитом или отсутствующем теплом антициклоне оценивается баллом 4. У подстилающей поверхности к моменту развития шторма может быть разрушен центральный циклон. Такая синоптическая ситуация оценивается в 3 балла. Балл 2 характеризует наличие двух центров атмосферного

давления: антициклона над сушей и циклона над морем, 1 — небольшую депрессию над морем и безградиентное поле над сушей, 0 — безградиентное поле над регионом в целом. Баллы, характеризующие синоптическую ситуацию в целом над регионом, могут быть приняты за основные параметры (координаты) при построении графика. Можно этот признак оценивать и символами: 1 — первые три, а следующие три (2, 1 и 0) полагать —1.

Следующие три графы таблицы (3, 4 и 5) характеризуют развитие антициклона r_{A2} , глубину циклона r_{Zn} и изменение давления в циклоне во времени Δr_{Zn} . Если давление в центре антициклона больше, а в циклоне меньше их пороговых значений, то во второй строке данных граф соответственно ставится 1 и в противоположном случае —1. При изменении давления над морем $\geq 0,5 \text{ гПа/ч}$ во второй строке графы 5 ставится 1, а если это изменение $< 0,5 \text{ гПа/ч}$, то ставится —1.

Графы 6, 7, 8, 9 и 10 характеризуют термические условия процесса над морем и окружающей его сушей. В графике 6 дается температура воздуха. Если она за время действия шторма снижается, приближаясь к температуре точки росы, то в строке символов ставится 1, а если температура воздуха существенно выше температуры точки росы или, иными словами, затока холода не было (не предвидится по прогнозу), то ставится —1. В графике 7 указывается температура воды, а в соответствующей ей строке символов приписывается 1, если она сохранялась выше нормы в течение одного-двух синоптических периодов, предшествующих шторму, и превышала температуру воздуха более чем на 2°C , и ставится —1, если темпера-

Признаки стихийных явл

| Дата | Синоптическая ситуация, балл | r_{A2} гПа | r_{Zn} гПа | Δr_{Zn} гПа/ч | T $^{\circ}\text{C}$ | T_w $^{\circ}\text{C}$ | $(T_w - T)$ $^{\circ}\text{C}$ |
|----------------|------------------------------|--------------|--------------|-----------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| 1—2 III 1952 | 4 (1) | 1016 —1 | 1006 1 | 0,8 1 | 3,1—2,4 1 | 5,3 —1 | 2,1—2,9 (1) |
| 10—13 XI 1952 | 4 (1) | 1035 1 | 1010 1 | 2,5 1 | 14,4—10,8 1 | 16,8—18,0 1 | 2,4—6,9 (1) |
| 20—21 XI 1957 | 5 (1) | 1045 1 | < 1015 1 | 0,5—1,0 1 | 10,9—2,4 1 | 13,3 1 | 2,4—10,9 1 |
| 17—19 XII 1965 | 3 (1) | 1033 1 | 1010 1 | 0,5—0,6 1 | 8,2—5,2 1 | 10,6—9,2 1 | 2,6—4,0 (1) |
| 13—14 I 1975 | 3 (1) | 1032 1 | < 1015 1 | 0,7—1,0 1 | 7,8—1,8 1 | 8,1—7,5 1 | 4,7—5,7 (1) |
| 17—18 X 1976 | 4 (1) | 1030 1 | 1005 1 | 0,8 1 | 16,3—6,6 1 | 18,4—16,6 —1 | 2,1—10,0 (1) |
| 21—22 III 1978 | 4 (1) | 1025 —1 | 1005 1 | 0,6—1,0 1 | 4,8—1,9 1 | 6,7—6,0 1 | 1,9—4,4 (1) |
| 15—18 V 1980 | 4 (1) | 1040 1 | 1005 1 | 0,5 1 | 14,4—10,1 1 | 13,3—10,0 —1 | -1,1...1,0 (—1) |
| 4—6 XI 1981 | 4 (1) | 1030 1 | 995 1 | 0,6 1 | 14,1—10,4 1 | 16,5—15,7 1 | 2,4—5,6 (1) |
| 11 III 1982 | 4 (1) | 1030 1 | 1012 1 | 0,6 1 | 7,1—4,2 1 | 9,1—8,9 1 | 2,0—4,7 (1) |
| 25—28 I 1984 | 5 (1) | 1040 1 | 983 1 | 1,0 1 | 4,2—2,8 1 | 5,1—4,9 —1 | 2,1 (1) |
| 31 III 1987 | 4 (1) | 1020 —1 | 980 1 | 1,7 1 | 3,0—2,0 1 | 5,4—5,2 —1 | 2,4—3,2 (1) |

тура воды ниже нормы и не превышала температуру воздуха (или превышала менее чем на 2°C). Графа 8 содержит разность температуры воды и воздуха. Это обязательный признак, он оценивается числовыми значениями без символов, хотя, если есть необходимость, то при разности температур воды и воздуха, $\geq 2^{\circ}\text{C}$ этот параметр следует оценивать 1, а в противном случае ставить -1. В графе 9 приводится температура воды $T_{w(0)}$ на горизонте 50 м или у дна. Если ее значения равны (или больше) температуры воды на поверхности, то в строке символов ставят 1, а если ниже более чем на 2°C , то ставится -1. В графе 10 дается разность температур воды и почвы или просто температура почвы на ближайшей к морскому побережью гидрометстанции. Если температура воды выше температуры почвы, то в строке символов этот параметр обозначается 1, в обратном случае ставят -1. Следующие две графы (11 и 12) характеризуют относительную влажность воздуха и температуру точки росы. Если влажность воздуха увеличивается и достигает 100 %, а температура точки росы приближается к температуре воздуха, то в соответствующих графах ставится 1, а в противоположном случае, т. е. когда влажность воздуха невысокая, а значения температуры точки росы существенно ниже температуры воздуха, ставится -1.

Графы 13 и 14 содержат данные о скорости и направлении ветра у подстилающей поверхности и на высоте изобарической поверхности 500 гПа. Если скорость ветра у поверхности земли больше 25 м/с, приземный ветер незначительно отличается по скорости и направлению от ветра в зоне ведущего потока (на изобарической поверхности 500 гПа), то в строке символов соответствующих граф ставится 1, а в случае, когда скорости ветра у земли меньше 25 м/с и существенно отличаются по скорости и направлению от ветра в зоне ведущего потока (500 гПа) ставится -1.

Графа 15 указывается скорость смещения циклона U_{Zn} в метрах в секунду или километрах в час. Если она больше 10 м/с (36 км/ч), то строкой ниже записывается 1, а если $U_{Zn} < 10 \text{ м/с}$, то ставится -1.

Графа 16 заполняется только в символьной строке. В ней дается суммарное значение символов 1 и -1 (наличие или отсутствие явления) $\sum x$, деленное на число заполненных граф таблички без учета граф 2 и 8. Полученное в графе 16 значение может служить третьей числовой координатой на графике «распознавания образа», либо при принятии окончательного решения. Если в сумме набор признаков с 1 превышает сумму набора признаков с -1 и существуют соответствующие условия, указанные в графах 2 и 8, особо опасный шторм наиболее вероятен. В этом случае появление такого шторма со всеми вытекающими последствиями оценивается не двумя, а тремя параметрами, причем последний параметр определен по всему ансамблю признаков.

Задачи «распознавания образов» по своему математическому смыслу — задачи приближения функции. Решение каждой из них, хотя использует общие идеи поиска, но требует и специфических приемов, которые удается разработать, только разбравшись в особенностях каждой задачи, т. е. в физическом смысле явления или процесса.

Таблица 14.5

ений на Каспийском море

| $T_w(z)$ °C | T_n °C | r % | T_d °C | V_1 м/с | V_{500} м/с | U_{Zn} км/ч | $\sum x/n$ |
|--------------|-----------------|-------------|------------------|---------------|-------------------|---------------|--------------|
| 5,3 1 | 4,2—0,1 1 | 60—100 1 | 1,8...—0,3 1 | ССЗ, 40 1 | — — | — — | 0,64 (7/11) |
| 16,5 1 | 16,2 1 | 44—74 1 | 15,4—6,2 1 | ЮВ, 34 1 | Ю, 34 1 | — — | 1 (12/12) |
| 13,3 1 | 10,4 1 | 40—85 1 | 2,2...—3,6 1 | С, 40 1 | С, 45 1 | 100 1 | 1 (13/13) |
| 9,2 1 | 9,0 1 | 50—84 1 | 0,0...—2,0 —1 | С3, 34 1 | С3, 35 1 | 70 1 | 0,85 (11/13) |
| 8,1—7,9 1 | 4,0...—2,0 1 | 56—93 1 | 4,0...—4,0 1 | С3, 28 1 | С3, 28 1 | 60—70 1 | 1 (13/13) |
| 18,8 1 | 14,1 1 | 72—99 1 | 9,8—9,6 1 | ССЗ, 30 1 | С3, 28 1 | 70—80 1 | 0,85 (11/13) |
| 6,7 1 | 5,0 1 | 72—90 1 | 4,0—0,3 1 | С3, 30 1 | 3, 26 1 | 80 1 | 0,85 (11/13) |
| 12,0 —1 | 22—11 —1 | 87—90 1 | 14,0—8,0 1 | ССЗ, 32 1 | СВ, 25 1 | 70 1 | 0,30 (4/13) |
| 16,9 1 | 11 1 | 67—94 1 | 10,5—7,6 1 | С3, 34 1 | 3, 29 1 | 20 —1 | 0,85 (11/13) |
| 9,1 1 | 4,0 1 | 54—74 1 | 1,9—2,1 —1 | ССЗ, 26 1 | 3, 30 1 | 60—70 1 | 0,85 (11/13) |
| 5,0 1 | 3,0 1 | 85—93 1 | 3,2...—0,2 1 | ЮВ, 28 1 | ЮВ, 28 1 | — — | 0,83 (10/12) |
| 5,2 1 | 4,9—2,0 1 | 95—98 1 | 3,6...—3,8 1 | С, 30—34 1 | 3, С3, 25—30 1 | 40—50 1 | 0,69 (9/13) |

Действительно, считать, что рассмотрение набора признаков позволит дать заключение о том, будет ураган с катастрофическими последствиями (СГЯ) или шторм (ОЯ), это означает предполагать, что решение есть функция от значений этих признаков. Количество признаков определяет размерность задачи. В табл. 14.5 приведены 15 признаков. Значит, заключение есть функция от 15 аргументов $f(x_1, x_2, \dots, x_{15})$. Эта функция своеобразна лишь тем, что может принимать только два значения: 1 и -1. Каждая строка таблицы, каж-

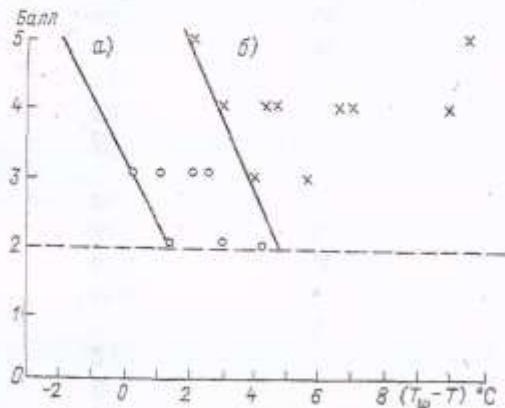


Рис. 14.2. Номограмма для оценки возможности возникновения на Каспийском море шторма (ОЯ) (а) и урагана (СГЯ) (б) в связи с синоптической ситуацией над регионом и разностью температур вода — воздух $T_w - T$.

дое приведенное в ней СГЯ имеют совершенно тот же смысл, что и результат определения функции в определенной точке. Если строк 14, то и расположенных точек определения тоже 14. Наша задача — выбрать такую функцию $\tilde{f}(x_1, x_2, \dots, x_{15})$, чтобы вычисленные по ней в указанных 14 точках значения были возможно ближе к известным результатам наблюдений. Главная задача — не только обобщить имеющийся материал «исторических» штормов (СГЯ), но и дать правило, позволяющее специалисту при попадании точки, соответствующей наличию или отсутствию СГЯ, в пространство признаков, сделать правильное заключение, т. е. установить истинное значение функции \tilde{f} .

Однако поскольку известны значения функции \tilde{f} в ограниченном числе точек, то ее значения во всех других можно только предсказывать, т. е. экстраполировать, что предполагает знание свойств функции \tilde{f} . Поэтому сначала находят функцию, которая бы хорошо описывала уже известные результаты, а потом предполагают, что она будет достаточно хорошо описывать истинную функцию в точках, о которых пока нет сведений.

Проблема заключается в выборе вида приближающей функции \tilde{f} . Она должна быть не слишком сложной, чтобы применять ее для прогноза без особых затруднений.

Можно искать приближающую функцию в виде комбинации известных функций $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_m$ с неизвестными, подбираемыми из условия наилучшего приближения, постоянными коэффициентами c :

$$\tilde{f} = c_1 \varphi_1(x_1, \dots, x_n) + c_2 \varphi_2(x_1, \dots, x_n) + \dots + c_m \varphi_m(x_1, \dots, x_n), \quad (14.1)$$

где n — число координат; m — число постоянных.

Как правило, многомерные задачи чаще всего сводят к двумерным (реже — трехмерным) и затем находят приближающую функцию.

На рис. 14.2 изображены условные точки, соответствующие жестоким штормам (СГЯ) и штормам (ОЯ), координатами которых являются числовые значения двух признаков (синоптические и термические условия). Так как повторяемость штормов, определяемых по критериям опасных явлений, не реже двух раз в год, на рис. 14.2 кружками показано только шесть штормов с 1955 по 1987 г. Две группы точек, как видно из рисунка, можно отделить друг от друга гладкой границей, например, прямой линией. В этом случае приближающую функцию представляют в виде

$$\tilde{f}(x_1, x_2) = \begin{cases} 1, & \text{если } c_1 x_1 + c_2 x_2 - c_0 > 0; \\ -1, & \text{если } c_1 x_1 + c_2 x_2 - c_0 < 0. \end{cases} \quad (14.2)$$

а постоянные c_0, c_1 и c_2 подбирают таким образом, что асимптотическая функция \tilde{f} во всех точках совпадала бы с функцией f . Приближающая функция меняет знак только при условии

$$c_1 x_1 + c_2 x_2 - c_0 = 0. \quad (14.3)$$

Координаты точек, лежащих на прямой, в данном случае будут связаны зависимостью

$$x_2 = c_0/c_2 - (c_1/c_2)x_1. \quad (14.4)$$

Если признаки выбраны правильно и их достаточное количество, то совпадение истинной и приближающей функции будет вполне удовлетворительным, хотя возможно и не полным. Как правило, задача сводится к поиску наилучших значений постоянных c_0, c_1 и c_2 , входящих в приближающую функцию. Если они входят линейно, то граница ищется в виде прямой, и для ее поиска применим метод наименьших квадратов, сводящийся к решению системы линейных уравнений. Функция цели (оценка близости истинной и приближающей функции) ищется в виде

$$F(c_0, c_1, c_2) = [f^{(1)} - \tilde{f}(x_1^{(1)}, x_2^{(1)})]^2 + \dots + [f^{(N)} - \tilde{f}(x_1^{(N)}, x_2^{(N)})]^2. \quad (14.5)$$

Функция F равна сумме квадратов отклонений во всех точках при произвольном выборе c_0, c_1 и c_2 .

По мере накопления материалов наблюдений положение аппроксимирующей прямой (границы) постепенно уточняется.

Границчная линия на графике (см. рис. 14.2) проведена по крайним левым точкам («крестики») так, что все точки лежат справа от нее.

Итеративная процедура применима и тогда, когда граница строится не в виде отдельной прямой (точнее, плоскости), а в виде последовательности кусков плоскостей, наращиваемых по мере того, как принимаются во внимание все более и более сложные для прогноза случаи.