



С.Ф. ДОЦЕНКО, В.А. ИВАНОВ

ПРИРОДНЫЕ КАТАСТРОФЫ

АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

С.Ф. Доценко, В.А. Иванов

**ПРИРОДНЫЕ КАТАСТРОФЫ
АЗОВО- ЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА**

**СЕВАСТОПОЛЬ
2010**

УДК 504.4

Природные катастрофы Азово-Черноморского региона / Доценко С.Ф., Иванов В.А.; НАН Украины, Морской гидрофизический институт. – Севастополь, 2010. – С. 174, ил. 73, табл. 23, библи. 152.

ISBN 978-966-02-5756-6

Книга посвящена описанию природных явлений в Черном и Азовском морях, которые представляют реальную или потенциальную опасность для жизни людей и экономики региона.

Дана общая характеристика таких явлений, включая типы природных катастроф и шкалы для измерения различных природных явлений, критерии катастрофичности событий, приведены данные о природных катастрофах в мире и тенденциях их изменения. Далее обсуждаются наиболее значимые для региона виды природных катастроф, их статистические характеристики и географические районы проявления. Рассмотрены сгонно-нагонные колебания уровня Черного и Азовского морей, цунами, сейши, тягун в портах, штормовые ветры, ветровые волны и волны-убийцы, аномальные ледовые режимы, потенциальная опасность сероводородного заражения региона, природные пожары, оползни, наконец, новое направление исследований, связанное с падением небесных тел на Землю, известное как астероидно-кометная опасность. Заключительная часть книги посвящена математическому моделированию ряда опасных динамических морских явлений.

Монография предназначена для управленческих и природоохранных организаций, научно-исследовательских институтов, факультетов естественных наук университетов.

Природні катастрофи Азово-Чорноморського регіону / Доценко С.П., Иванов В.О.; НАН України, Морський гідрофізичний інститут. – Севастополь, 2010. – С. 174, іл. 73, табл. 23, біблі. 152.

Книга присвячена опису природних явищ в Чорному і Азовському морях, які представляють реальну або потенційну небезпеку для життя людей і економіки регіону.

Дана загальна характеристика таких явищ, включаючи типи природних катастроф і шкали для вимірювання різних природних явищ, критерії катастрофічності подій, наведені дані про природні катастрофи у світі та тенденції їх зміни. Далі обговорюються найбільш значущі для регіону види природних катастроф, їх статистичні характеристики і географічні райони прояви. Розглянуто згінно-нагінні коливання рівня Чорного і Азовського морів, цунамі, сейші, тягун в портах, штормові вітри, вітрові хвилі і хвилі-вбивці, аномальні льодові режими, потенційна небезпека сірководневого зараження регіону, природні пожежі, зсуви, нарешті, новий напрям досліджень, зв'язане з падінням небесних тіл на Землю, відоме як астероїдно-кометна небезпека. Заключна частина книги присвячена математичному моделюванню ряду небезпечних динамічних морських явищ.

Монографія призначена для управлінських і природоохоронних організацій, науково-дослідних інститутів, факультетів природничих наук університетів.

Рецензенти:

С.А. Добролюбов, зам. декана географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, профессор;

С.Н. Степаненко, ректор Одесского государственного экологического университета, доктор физико-математических наук, профессор.

Печатается по решению Ученого совета МГИ НАН Украины.

ISBN 978-966-02-5756-6

© Морской гидрофизический институт
НАН Украины

© С.Ф. Доценко, В.А. Иванов

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	5
Глава 1. Проблема природных катастроф.....	8
1.1 Природные катастрофы.....	10
1.2 Типы природных катастроф.....	11
1.3 Измерение природных катастроф.....	14
1.4 Критерии катастрофичности явлений.....	30
1.5 Мировая статистика природных катастроф.....	34
1.6 Статистика чрезвычайных ситуаций в Украине.....	40
Литература к главе 1.....	44
Глава 2. Общая характеристика природных катастроф Азово-Черноморского региона.....	46
2.1 Физико-географическая характеристика Азово- Черноморского региона.....	47
2.2 Основные виды природных катастроф в регионе.....	51
2.3 Статистика гидрометеорологических катастроф.....	53
2.4 География природных катастроф в регионе.....	54
Литература к главе 2.....	65
Глава 3. Опасные природные явления в Азово-Черноморском регионе.....	67
3.1 Сгонно-нагонные колебания уровня Черного и Азовского морей.....	67
3.2 Цунами.....	78
3.3 Сейши.....	88
3.4 Тягун в портах Черного и Азовского морей.....	96
3.5 Штормовые ветры.....	98
3.6 Ветровые волны.....	108
3.7 Волны-убийцы.....	113
3.8 Аномальные ледовые режимы.....	119
3.9 Потенциальная опасность сероводородного заражения региона.....	121
3.10 Природные пожары.....	124
3.11 Оползни.....	129
3.12 Астероидная опасность.....	131
Литература к главе 3.....	138

Глава 4. Математическое моделирование некоторых опасных морских природных явлений в регионе	145
4.1 Сейши	145
4.2 Цунами	149
4.3 Сгонно-нагонные колебания уровня	158
4.4 Ветровые волны.....	163
Литература к главе 4	170
Заключение	173

ПРЕДИСЛОВИЕ

В земной коре, в океанах и морях, в атмосфере Земли постоянно протекает множество физических, химических и биологических процессов различных интенсивностей и пространственно-временных масштабов. Их энергетическими источниками являются процессы реорганизации вещества внутри Земли, взаимодействие твердой, жидкой и воздушной оболочек планеты, воздействие на оболочку Земли других небесных тел, в первую очередь Солнца и Луны. Эти процессы – следствие естественной эволюции природы. Возрастает доля негативных процессов антропогенного происхождения, связанных с добычей, транспортировкой и использованием минеральных ресурсов, нерачительным отношением к экологии. Процессы и явления естественного и антропогенного происхождения могут принимать экстремальные, катастрофические формы в виде таких опасных природных явлений, как тропические циклоны, ураганы, землетрясения, извержения вулканов, цунами, оползни, пожары, засухи, наводнения, аномальные ледовые режимы, нашествия насекомых, эпидемии, голод и многие др.

Различные стихийные бедствия на Земле неоднократно происходили в прошлом, происходят в настоящее время и будут происходить в будущем и это не зависит от уровня развития человеческой цивилизации, достижений науки и технического прогресса. Однако, если нельзя предотвратить землетрясения, цунами, засухи или тропические циклоны, то наука должна дать способы предсказания и оценки их реальной опасности, дать способы определения наиболее уязвимых для их воздействия регионов и предложить научно обоснованные рекомендации по снижению негативных последствий природных катастрофических явлений для населения, хозяйственных объектов на суше и море, экологии региона.

Проблема прогноза, мониторинга и снижения негативных последствий природных катастроф важна для всех стран мира, что привело к принятию 22 декабря 1989 г. на 44-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН Резолюции (№ 44/236), в которой период с 1990 по 2000 г. провозглашен Международным десятилетием по уменьшению опасности стихийных бедствий.

Такое решение было вызвано значительным ростом числа природных катастроф в мире и вызванных ими людских и экономических потерь. Результаты анализа 5200 значимых природных катаст-

роф в 92 странах мира за 30 лет, с 1962 по 1992 г., были представлены в мае 1994 г. в Иокагаме (Япония) на Всемирной конференции по уменьшению опасности стихийных бедствий. Наводнения, тропические ураганы, засухи и землетрясения преобладают по числу событий и негативным последствиям. Выявлен устойчивый рост числа значимых природных катастроф на Земле, выделяемых по причиненному экономическому ущербу, числу пострадавших и числу погибших людей.

В Европе и странах бывшего СССР наблюдается тенденция, аналогичная глобальной: отчетливо выражен рост общего числа произошедших природных и техногенных катастроф на суше, в атмосфере и в море. Необходимо, однако, учитывать тот факт, что перечень доминирующих по своим негативным последствиям опасных природных явлений изменяется от одного региона Земли к другому.

Не свободны от природных и антропогенных катастроф Черное и Азовское моря. Здесь неоднократно наблюдались наводнения, ураганные ветры, штормовые волны, туманы, аномальные температурные режимы, обледенение судов, обширные нефтяные загрязнения, оползни и др., сопровождавшиеся ощутимыми потерями для черноморских государств.

Проблема природных катастроф является междисциплинарной, что делает ее одновременно как привлекательной, так и весьма сложной для изучения. Она приобрела в последнее десятилетие особую актуальность для Азово-Черноморского региона, благодаря росту экономической активности стран региона, расширению рекреационной деятельности, росту инфраструктуры и строительству новых гидротехнических сооружений различного назначения вдоль морского побережья, усилению существующих и планированию новых транспортных потоков и коммуникационных линий через акваторию Черного моря.

Данная книга посвящена описанию природных катастроф в Азово-Черноморском регионе. В ней представлен фактический материал о природных явлениях, представляющих реальную или потенциальную опасность для жизни людей и экономики региона.

В первой главе дана общая характеристика природных катастроф, включая типы и шкалы для измерения различных природных явлений, критерии катастрофичности событий, наконец, приведены статистические данные природных катастроф в мире и в Украине.

Вторая глава содержит физико-географическую характеристику Черного и Азовского морей и весьма краткое описание основных видов природных катастроф в регионе. Здесь же приведены статистические данные об опасных гидрометеорологических явлениях в Азово-Черноморском бассейне и указаны районы наиболее частого проявления различных типов опасных природных явлений.

В третьей главе дано детальное обсуждение наиболее существенных для Азово-Черноморского региона природных явлений, а именно, сгонно-нагонных колебаний уровня морей, цунами, сейш, тягуна в портах Черного и Азовского морей, штормовых ветров, ветровых волн и ветровых волн-убийц, аномальных ледовых режимов, потенциальной опасности сероводородного заражения региона, природных пожаров, оползней, наконец, нового направления исследований, связанного с падением небесных тел на Землю и известного как астероидно-кометная опасность.

В четвертой главе кратко описаны математические модели, используемые в настоящее время для исследований и прогноза сейш, цунами, сгонно-нагонных колебаний уровня моря и ветровых волн. Приведены примеры результатов численного моделирования динамических процессов в Азово-Черноморском регионе.

Авторы не претендуют на полноту изложения всех аспектов такой сложной и многогранной проблемы как природные катастрофы в Азово-Черноморском регионе. К сожалению, эта проблема содержит много белых пятен: отсутствуют статистические оценки по длинным временным рядам для различных опасных природных явлений на территории Украины; не изучены в полной мере причинно-следственные связи природных катастроф в регионе; существуют только исследовательские версии компьютерных систем прогноза некоторых опасных природных явлений. Одна из целей монографии – привлечь внимание к данной проблеме и дать представление о разнообразии и реальной опасности природных катастроф в Черном и Азовском морях.

Глава 1

ПРОБЛЕМА ПРИРОДНЫХ КАТАСТРОФ

В твердой оболочке Земли, в Мировом океане и в расположенной над ними атмосфере протекает много разнообразных физических, химических и биологических процессов различных пространственно-временных масштабов. Они сопровождаются обменом массы, импульса и энергии, переходом вещества из одного агрегатного состояния в другое, разнообразными химическими и биологическими преобразованиями. Источниками энергии таких трансформаций являются процессы реорганизации вещества внутри Земли, взаимодействие ее твердой, жидкой и воздушной оболочек, воздействие Луны, Солнца и других небесных тел. Эти процессы лежат в основе естественной эволюции Земли и природной обстановки на ней. Они могут принимать экстремальные формы, вызывая развитие таких опасных природных явлений, как тропические циклоны, ураганы, землетрясения, извержения вулканов, засухи, наводнения, нашествия насекомых, эпидемии, цунами, оползни, пожары и др.

Стихийные бедствия, различные природные катаклизмы неоднократно происходили в прошлом, происходят в настоящее время, будут происходить и в будущем вне зависимости от уровня развития человеческой цивилизации, достижений мировой науки и технического прогресса. Но если нельзя предотвратить землетрясения, цунами, засухи или тропические циклоны, то наука должна дать способы предсказания и оценки их реальной опасности, определить наиболее уязвимые для их воздействия регионы и предложить научно обоснованные рекомендации по снижению возможных негативных последствий природных катастрофических явлений для населения, объектов хозяйственной деятельности и экологии.

Нет стран в мире, для которых не была бы важна проблема прогноза, мониторинга и снижения негативных последствий природных катастроф. Это привело к принятию 22 декабря 1989 г. на 44-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН Резолюции № 44/236, в которой период с 1990 по 2000 г. был провозглашен Международным десятилетием по уменьшению опасности стихийных бедствий [1]. Такое решение было вызвано ростом числа природных катастроф и вызванного ими ущерба: за последние 40 лет количество толь-

ко крупных природных катастроф с ущербом более 1 млрд. долларов США каждая возросло в 4,5 раза.

Результаты анализа 5200 значимых природных катастроф, произошедших в 92 странах мира за тридцатилетний период с 1962 по 1992 гг., были представлены в мае 1994 г. в Иокагаме (Япония) на Всемирной конференции по уменьшению опасности стихийных бедствий [1, 2]. Наводнения, тропические ураганы, засухи и землетрясения преобладают в мире по числу событий и негативным последствиям. Выявлен устойчивый рост числа значимых природных катастроф на Земле, оцениваемых по трем критериям: вызванному катастрофой экономическому ущербу, числу пострадавших и числу погибших людей.

В [3] представлены данные, показывающие, что в последнее десятилетие в России также наблюдается тренд, аналогичный глобальному: при колебаниях общего числа опасных природных явлений от 350 до 500 событий в год отчетливо выражен рост общего числа произошедших природных явлений, представляющих реальную опасность для населения и объектов хозяйственной деятельности на суше, в атмосфере и в море. Лидируют катастрофы гидрометеорологической природы. Эта тенденция прослеживается и для других стран и регионов. Однако, что важно и необходимо учитывать, перечень доминирующих по своим негативным последствиям опасных природных явлений может изменяться от одного региона Земли к другому.

Не свободен от природных катастроф и Азово-Черноморский регион [4]. Здесь неоднократно наблюдались природные явления (наводнения, ураганные ветры, штормовые волны, туманы, аномальные температурные режимы, обледенение судов и др.), сопровождавшиеся ощутимыми потерями для всех шести черноморских государств. Проблема изучения природных катастроф в этой части Мирового океана приобрела в последнее десятилетие особую актуальность, благодаря росту экономической активности стран региона, расширению рекреационной деятельности и строительству гидротехнических сооружений различного назначения вдоль морского побережья и на шельфе, усилению существующих и планированию введения в строй новых транспортных линий через акваторию Черного моря. Наконец, регион обладает уникальными природными условиями и возникает необходимость поддержания устойчивого состояния морской экосистемы и береговой зоны.

По данным Международного комитета Красного Креста, чрезвычайные ситуации природного характера унесли в XX веке свыше 11 млн. жизней и нанесли огромный материальный ущерб.

Для решения проблемы безопасности и устойчивого развития страны или региона необходимо располагать перечнем наиболее опасных для этого района земного шара природных явлений, шкалами измерения их интенсивности, критериями возникновения чрезвычайных ситуаций, пороговыми значениями магнитуд явлений, необходимыми для придания событию статуса природной катастрофы. Этот комплекс вопросов применительно к природным катастрофам различного генезиса в мире обсуждается в настоящей главе.

1.1 Природные катастрофы

Под природными катастрофами, приводящими к возникновению чрезвычайных ситуаций, понимаются опасные для людей, объектов хозяйственной деятельности и экологии крупномасштабные геолого-геофизические, метеорологические и гидрологические явления и процессы, деградация грунтов и земных недр, природные пожары, изменение состояния воздушной среды, эпидемиологические заболевания людей и животных, массовое заражение сельскохозяйственных растений болезнями и вредителями, изменение состояния водных ресурсов и др.

Всемирная конференция по природным катастрофам в Йокогаме, которая уже упоминалась выше, приняла декларацию, где отмечено, что борьба за уменьшение ущербов от природных катастроф должна быть важным элементом государственной стратегии всех стран для достижения устойчивого развития [1, 2]. Конференция призвала все страны перейти на новую стратегию борьбы с природными катастрофами, суть которой состоит в следующем.

В прошлом усилия многих стран по уменьшению опасности стихийных бедствий были направлены на ликвидацию последствий природных катастроф, оказание помощи пострадавшим, организацию спасательных работ, предоставление материальных, технических и медицинских услуг, поставку продуктов питания и т.п. Рост со временем числа природных катастроф и связанных с ними потерь делает эти усилия все менее эффективными и выдвигает в качестве приоритетной в XXI веке новую задачу: прогнозирование и предупреждение природных катастроф. В основу новой концепции необ-

ходимо взять "глобальную культуру предупреждения", основанную на научном прогнозировании катастроф. "Лучше предупредить стихийное бедствие, чем устранять его последствия", так записано в итоговом документе Иокогамской конференции. Международный опыт показывает, что затраты на прогнозирование и обеспечение готовности к природным катастрофам значительно меньше (до 15 раз) затрат на предотвращение или ослабление ущерба.

При прогнозировании необходимо исходить из существования двух основных путей развития опасных природных явлений: исторического (эволюционного) и антропогенного. В основе первой предпосылки лежат эволюционные процессы развития Земли, приводящие к непрерывной реорганизации материи в твердой, жидкой и газообразной оболочках Земли с выделением и поглощением энергии, изменению напряженно-деформированного состояния земной коры и взаимодействия физических полей различной природы. Происходящие процессы лежат в основе глобальной геодинамики Земли и развития эндогенных и экзогенных процессов в системе твердая оболочка Земли – Мировой океан – атмосфера.

Наряду с этим в последние десятилетия существенно возросли антропогенные нагрузки на окружающую среду, что неизбежно приводит к активизации опасных природных процессов, в частности, выработка недр и создание искусственных водоемов могут служить спусковым механизмом для таких разрушительных явлений как землетрясения [5]. Проявившаяся тенденция будет усиливаться в ближайшие десятилетия и, таким образом, должна стать неотъемлемым компонентом всех прогностических моделей. Поэтому необходима разработка методов прогнозирования опасных природных явлений, базирующаяся на учете влияния на них антропогенных факторов. Пренебрежение этим обстоятельством и выполнение прогнозирования, основанного только на эволюционном или антропогенном компонентах, может привести к серьезным ошибкам в оценке интенсивности ожидаемого события и в прогнозе возможных сценариев его развития. В настоящее время по пути создания подобных системных моделей и подходов сделаны только первые шаги.

1.2 Типы природных катастроф

Природные катастрофические явления с учетом их относительной кратковременности можно разделить по своему происхож-

дению на следующие категории (в литературе можно найти и несколько иные подразделения явлений по категориям):

- геофизические катастрофы;
- геологические катастрофы;
- метеорологические катастрофы;
- гидрологические катастрофы;
- природные пожары;
- биологические катастрофы;
- катастрофы космической природы.

Природные катастрофические явления в целом подчиняются некоторым общим закономерностям:

- для каждой категории природных катастроф характерна определенная пространственная приуроченность, обусловленная специфическими объективными причинами, определяющими их преимущественное возникновение в тех или иных районах Земли. Так, землетрясения и извержения вулканов, оползни, обвалы, лавины и сели связаны с районами активной динамики литосферных плит. Зоны подводных землетрясений и сильных цунами часто приурочены к зонам субдукции (район, где океаническая плита погружается в мантию). Пологие участки морского побережья, устья рек, заливы и бухты наиболее опасны с точки зрения воздействия волн цунами и интенсивных ветровых сгонно-нагонных колебаний уровня моря;

- чем больше интенсивность опасного природного явления, тем реже оно происходит с той же интенсивностью. Для измерения интенсивности многих природных явлений используется величина, называемая магнитудой;

- Природные катастрофические явления могут инициировать друг друга, усиливая разрушительную силу события. Так, например, землетрясения могут сопровождаться оползнями, селевыми потоками, цунами и обвалами скал;

- возникновению природной катастрофы предшествуют, как правило, некоторые специфические процессы и явления в неживой и живой природе, которые можно рассматривать как предвестники опасного события.

К геофизическим природным катастрофам относятся землетрясения на суше и под дном Мирового океана; извержения вулканов; оползни на суше и вдоль подводных склонах бассейнов, инициированные землетрясениями; обвалы скал в водные бассейны, и некоторые другие.

Геологические природные катастрофы – оползни на суше; сели; обвалы и осыпи; лавины; склоновый смыв.

Метеорологические природные катастрофы связаны с процессами в воздушной оболочке Земли. Чрезвычайные ситуации метеорологического характера могут быть вызваны такими природными явлениями в атмосфере, если их интенсивность превышает определенные пороговые значения, определенные на основе уже произошедших событий. В число таких явлений входят: тайфуны; сильные ветры, в том числе шквалы и смерчи; обильные дожди; крупный град; сильные снегопады или сильные метели; туманы; пыльные бури; сильные морозы или сильная жара.

К категории гидрологических природных катастроф относятся: наводнения или аномальные понижения уровня; штормовое волнение; цунами; селевые потоки; снежные лавины; раннее льдообразование и появление льда на трассах судов или интенсивный дрейф ледовых полей; тягун в портах; аномальные гидрологические режимы в прибрежной зоне и проливах; вход соленых вод в устья рек и некоторые другие.

Категория «природные пожары» охватывает лесные пожары, пожары степных массивов, торфяные и подземные пожары горючих ископаемых. Наиболее распространены лесные пожары. Они характеризуются неконтролируемым горением растительности, стихийно распространяющимся по лесной территории. Ущерб от них огромен.

К биологическим чрезвычайным ситуациям относятся эпидемии, эпизоотии и эпифитотии. Эпидемия – это быстрое и широкое распространение острозаразных болезней среди людей, эпизоотия – среди животных, а эпифитотия – распространение болезней среди растений. Эпидемии и эпизоотии могут иметь характер настоящих стихийных бедствий. Такой же характер могут приобрести эпифитотии и массовое распространение различных вредителей, например, саранчи или колорадского жука.

Наконец, катастрофы космической природы (астероидно-кометная опасность) связаны с потенциальной возможностью падения космических тел на поверхность Земли. Интерес к изучению возможности и последствий таких событий значительно возрос в последние годы. Астероиды достаточно близко (по космическим меркам) подходят к Земле и это настораживает астрономов. 14 мая 1996 г. астрономы Т. Спар и К. Гергенротер (Аризонский университет, США), работающие по программе поиска потенциально опас-

ных для Земли астероидов, обнаружили на расстоянии 900 тыс. км от Земли астероид, получивший обозначение 1996 JA1. Его диаметр – 300-500 м. 19 мая 1996 г. этот астероид прошел на расстоянии 450 тыс. км от Земли, т.е. на расстоянии чуть большем расстояния от Земли до Луны. Падение астероидов таких размеров способно привести к катастрофическим разрушениям на поверхности Земли, инициировать сильные землетрясения, оползни и обвалы, наводнения, приводить к массовому вымиранию флоры и фауны, а при падении в океан генерировать разрушительные волны цунами.

В настоящее время более 10^5 астероидов движутся в космосе вокруг Земли. Астероид под названием Апофис 99942 – первый претендент на столкновение с нашей планетой в 2029 г. По последним данным Апофис приблизится к Земле на расстояние 28,9 тыс. км. Его параметры оцениваются так: масса 50 млн. тонн, диаметр 320 м, скорость при подходе к Земле $12,5 \text{ км}\cdot\text{с}^{-1}$. По уточненным в 2009 г. оценкам NASA вероятность столкновения астероида с Землей значительно ниже, чем предполагалось, $4\cdot 10^{-6}$. Вопрос об астероидной опасности для Земли более детально будет рассмотрен в главе 3.

1.3 Измерение природных катастроф

Целесообразно для описания воздействия природного катастрофического явления на население, хозяйственные объекты и экологию региона использовать трехзвенную модель, описанную в работе [6]. Генетический подход к описанию катастроф предполагает в качестве первого звена рассматривать природный процесс, порождающий катастрофу, в качестве второго звена – механизм воздействия этого процесса на объекты и среду, в качестве третьего звена – вызванное явлением стихийное бедствие. Анализ только последнего звена (произведенного ущерба) явно недостаточен. Необходимо также изучение причин и условий возникновения катастроф.

Для количественной оценки интенсивности природных катастроф и их последствий необходимо располагать соответствующими шкалами измерения. Для трехзвенной модели явления фактически необходимо располагать тремя шкалами (градациями) интенсивности события. По аналогии с землетрясениями, для количественной оценки силы явления, порождающего стихийное бедствие, целесообразно использовать термин магнитуда, для характеристики воздействия на среду – балльность. Шкала категорий природной ката-

строфы опирается на объем причиненного ущерба, то есть на людские и экономические потери.

В настоящее время существует большое число шкал для оценки магнитуд и балльности природных явлений. Некоторые из них весьма субъективны и опираются во многом на описательную информацию о воздействии явления на окружающую среду. Останемся на шкалах измерения магнитуд и балльности только некоторых природных явлений гидрометеорологической и геофизической природы, которые могут достигать катастрофического уровня.

Шкала Бофорта – это условная шкала в баллах для визуальной оценки скорости ветра на высоте 10 м над открытой ровной поверхностью в баллах по его действию на наземные предметы или по состоянию морской поверхности. Эта 12-балльная шкала приведена в табл. 1.1 и широко используется в морской навигации.

Таблица 1.1

Шкала Бофорта для визуальной оценки скорости ветра в баллах по его действию на наземные предметы или по волнению на море

Баллы Бофорта	Название режима	Скорость, м·с ⁻¹	Действие ветра на суше	Действие ветра на море	Высота волн, м
1	2	3	4	5	6
0	Штиль	0 – 0,2	Штиль. Дым поднимается вертикально	Зеркально-гладкое море	0
1	Тихий	0,3 – 1,5	Направление ветра определяется по сносу дыма, а не по флюгеру	Рябь, пены на гребнях нет	≤ 0,25
2	Легкий	1,6 – 3,3	Ветер ощущается лицом, шелестят листья, флюгер движется	Короткие волны, гребни не опрокидываются и кажутся стекловидными	0,25 – 0,75
3	Слабый	3,4 – 5,4	Листья и тонкие ветви деревьев всё время колышутся, ветер развеивает верхние флаги	Короткие, четко выраженные волны. Гребни, опрокидываясь, образуют стекловидную пену, изредка видны маленькие барашки	0,75 – 1,25
4	Умеренный	5,5 – 7,9	Ветер поднимает пыль и клочки бумаги, колышутся тонкие ветви деревьев	Волны удлиненные, белые барашки видны во многих местах	1,25 – 2

Продолжение табл. 1.1

1	2	3	4	5	6
5	Свежий	8,0 – 10,7	Качаются тонкие стволы деревьев	На воде появляются не очень крупные волны с гребнями, хорошо развитыми в длину, повсюду видны белые барашки, иногда образуются брызги	1,25 – 2,1
6	Сильный	10,8 – 13,8	Качаются толстые сучья деревьев, гудят телеграфные провода	Начинают образовываться крупные волны. Белые пенистые гребни занимают значительные площади, вероятны брызги	2 – 3,5
7	Крепкий	13,9 – 17,1	Качаются стволы деревьев, трудно идти против ветра	Гребни волн срываются ветром, пена ложится полосами по ветру	3,5–6
8	Очень крепкий	17,2 – 20,7	Ветер ломает сучья деревьев, идти против ветра очень трудно	Умеренно высокие длинные волны. По краям гребней начинают взлетать брызги. Полосы пены ложатся рядами по направлению ветра	6 – 8,5
9	Шторм	20,8 – 24,4	Небольшие разрушения зданий. Деревья изгибаются и ломаются ветки, ветер срывает дымовые колпаки и черепицу	Высокие волны. Пена широкими плотными полосами ложится по ветру. Гребни волн начинают опрокидываться и рассыпаться в брызги, которые ухудшают видимость	8,5 – 11,0
10	Сильный шторм	24,5 – 28,4	Наблюдаются разрушения строений, отдельные деревья могут быть сломааны. На суше бывает редко	Очень высокие волны с длинными загибающимися вниз гребнями. Образующаяся пена выдувается ветром большими хлопьями в виде густых белых полос. Поверхность моря белая от пены. Сильный грохот волн подобен ударам. Видимость плохая	8,5 – 11

Продолжение табл. 1.1

1	2	3	4	5	6
11	Жесткий шторм	28,5 – 32,6	Большие разрушения на значительном пространстве. На суше наблюдается очень редко	Исключительно высокие волны. Суда небольшого и среднего размера временами скрываются из вида. Море покрыто длинными белыми хлопьями пены, располагающимися по ветру. Края волн сдуваются в пену. Видимость плохая	≥ 11
12	Ураган	$\geq 32,7$	Катастрофические разрушения. Деревья вырываются с корнем	Море покрыто полосоми пены. Очень плохая видимость	≥ 11

Шкала силы ветра была предложена английским адмиралом сэром Фрэнсисом Бофортом в 1806 г. В 1838 г. шкала Бофорта была принята на британском флоте, а потом моряками всего мира. В 1874 г. Постоянный комитет Первого метеорологического конгресса принял эту шкалу для использования в международной практике. В последующем шкала изменялась и уточнялась. В 1955 г., чтобы различать ураганные ветры разной силы, Бюро погоды США расширило шкалу до 17 баллов. В настоящее время она принята Всемирной метеорологической организацией в качестве основной в морской навигации для приближенной оценки скорости ветра и соответствующей высоты волн (под высотой волны понимается возвышение гребня волны над соседней подошвой волны).

Пятиуровневая шкала для определения потенциальной мощности и ущерба ураганов разработана в конце 60-х гг. XX века Гербертом Саффиром совместно с директором Национального центра прогнозирования ураганов США Робертом Симпсоном. Впоследствии разработка получила название «шкала Саффира – Симпсона». В настоящее время шкала Саффира – Симпсона, которая основывается на скорости ветра и включает оценку штормовых волн в каждой из пяти категорий, является главным критерием разрушительности любого урагана (табл. 1.2).

Шкала Саффир – Симпсона описывает ураганы от тропической депрессии до ураганов 5-й категории. С момента ведения истории

ураганов в США лишь трем из них была присвоена пятая категория: урагану Дня Труда (1935 г.), урагану Камилла (1969 г.) и урагану Эндрю (1992 г.).

Таблица 1.2
Шкала ураганов – шкала Саффира – Симпсона, дополненная двумя категориями сравнительно слабых событий

Категория урагана	Скорость ветра, км·ч ⁻¹	Штормовые волны, м	Действие на наземные предметы	Действие на прибрежную зону
Тропическая депрессия	< 63	< 1,2	Незначительное	Обильные дожди, туман
Тропический шторм	63 – 118	< 1,2	Малый ущерб	Обильные дожди, малый ущерб
1 Минимальный	119 – 153	1,2 – 1,5	Повреждены деревья и кустарники	Небольшие повреждения пирсов, некоторые небольшие суда на стоянке сорваны с якорей
2 Умеренный	154 – 176	1,8 – 2,3	Значительные повреждения деревьев и кустарников; некоторые деревья повалены, сильно повреждены сборные домики	Значительные повреждения пирсов и пристаней для яхт, небольшие суда на стоянке сорваны с якорей
3 Значительный	179 – 209	2,7 – 3,6	Повалены большие деревья, сборные домики разрушены, у отдельных небольших зданий повреждены окна, двери и крыши	Сильные наводнения вдоль береговой линии; небольшие здания на берегу разрушены
4 Огромный	210 – 249	3,9 – 5,5	Деревья, кустарники и рекламные щиты повалены, сборные домики разрушены до основания, сильно повреждены окна, двери и крыши	Затоплены участки на высоте до 3 м над уровнем моря; наводнения распространяются на 10 км вглубь суши; ущерб от волн и переносимых ими обломков
5 Катастрофа	Более 250	> 5,5	Все деревья, кустарники и рекламные щиты повалены, многие здания серьезно повреждены; некоторые здания разрушены полностью; сборные домики снесены	Сильный ущерб причинен нижним этажам зданий на высоте до 4,6 м над уровнем моря в зоне, простирающейся на 457 м вглубь суши; необходимы массовые эвакуации населения из прибрежных районов

Шкала Саффир – Симсона используется для тропических циклонов Атлантического океана и восточной части Тихого океана (до

140 градусов западной долготы). Национальный центр по слежению за ураганами США (НЧС) также классифицирует ураганы третьей категории и выше как сверхураганы.

Торнадо представляет собой смерч гигантской разрушительной силы. Этот термин обычно употребляется в США и происходит от искажённого испанского слова "тронада", то есть гроза.

Торнадо обычно возникают в теплом секторе циклона, когда вследствие сильного бокового ветра происходит столкновение теплых и холодных воздушных потоков. Начинается такой смерч как обычная гроза с дождем и градом. Затем в течение нескольких минут температура воздуха резко понижается, а из грозового облака вырывается атмосферный вихрь в виде рукава или хобота, имеющего воронкообразные расширения в верхней и нижней частях, после чего этот вихрь стремительно опускается по направлению к земной поверхности. Воздушные массы торнадо вращаются против часовой стрелки со скоростью $450 \text{ км}\cdot\text{ч}^{-1}$, втягивая внутрь воду, пыль и предметы, перенося их на значительные расстояния.

Наиболее сильные торнадо наблюдаются на территории США, где ежегодно регистрируется до 1000 смерчей. Сильные разрушительные торнадо составляют 2% от общего числа, сильные – 29%, слабые смерчи – 69%. Пик числа таких смерчей приходится на март – май в южных и на май – сентябрь в северных штатах.

Шкала Фудзита – Пирсона или F-шкала разработана Теодором Фудзита в 1971 г. для классификации торнадо. Она основывается на скорости ветра и степени нанесенного ущерба (табл. 1.3). Шкала включает 13 категорий: от F0 до F12. Интервал между F0 и F1 соответствует 11 и 12 баллам по шкале Бофорта. Категории F6 – F12 встречаются скорее в теоретических работах, чем на практике.

Таблица 1.3

Шкала Фудзита – Пирсона классификации торнадо по скорости ветра и степени нанесенного ущерба

Категория	Скорость ветра, $\text{км}\cdot\text{ч}^{-1}$	Ущерб от торнадо
1	2	3
F0	64 – 116	Разрушает трубы, повреждает кроны деревьев
F1	117 – 180	Срывает сборные домики с фундамента или переворачивает
F2	181 – 253	Значительные разрушения; сборные домики разрушены, деревья вырваны с корнем

Продолжение табл. 1.3

1	2	3
F3	254 – 332	Разрушает крыши и стены, разбрасывает легковые автомобили, переворачивает грузовики
F4	333 – 418	Разрушает укрепленные стены
F5	419 – 512	Поднимает дома и переносит их на значительные расстояния
F6 – F12	> 512	На практике причиненный ущерб не установлен

Одно из опасных метеорологических явлений – сильный туман. Различают туманы охлаждения, которые образуются из-за конденсации водяного пара при охлаждении воздуха ниже точки росы, и туманы испарения, образующиеся при испарении воды с более тёплой испаряющей поверхности в холодный воздух над водоёмами и влажными участками суши. Туман ухудшает видимость, а в результате приводит к нарушению или полной приостановке перемещения населения и грузов на суше и море. Простейшая градация туманов приведена в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Градация туманов, опирающаяся на видимость

Вид тумана	Видимость, м	Действие
Туман	≤ 1000	Падение самолетов
Густой туман	50 – 200	Опасность при движении на дорогах
Плотный туман	≤ 50	Крушение любого вида транспорта

Более детальная международная шкала видимости, учитывающая не только образование тумана, но и возможные осадки в виде снега и дождя, представлена в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Международная шкала видимости, учитывающая не только образование тумана, но и возможные осадки [7]

Характеристика видимости	Баллы	Интервалы видимости	Условия видимости
1	2	3	4
Очень плохая	0	0 – 50 м	Очень сильный туман, сильный туман или очень густой снег
	1	50 – 200 м	Очень сильный туман, сильный туман или очень густой снег
	2	200 – 500 м	Умеренный туман или сильный снег

Продолжение табл.1.5

1	2	3	4
Плохая	3	500 – 1000 м	Слабый туман, умеренный снег или сильная мгла
	4	1 – 2 км	Умеренный снег, умеренная дымка или мгла, очень сильный дождь
Средняя	5	2 – 4 км	Слабый снег, сильный дождь, слабая дымка или мгла
	6	4 – 10 км	Умеренный дождь или очень слабый снег, слабая дымка или мгла
Хорошая	7	10 – 20 км	Слабый дождь
Очень хорошая	8	20 – 50 км	Без осадков
Исключительная	9	> 50 км	Чистый воздух

Количественная оценка ветрового волнения важна для всех видов морехозяйственной деятельности, включая судоходство, рыбный промысел, добычу углеводородов и других полезных ископаемых в море, функционирование объектов рекреации. Высота волны связана с интенсивностью волнения в целом посредством специальной шкалы балльности (табл. 1.6), разработанной Всемирной Метеорологической организацией.

Таблица 1.6
Шкала оценки волнения моря, разработанная Всемирной метеорологической организацией

Балл	Описание	Высота, м
0	Спокойная, зеркальная поверхность	0
1	Маленькие волны, рябь	0 – 0,3
2	Волнистая поверхность; иногда заметны "барашки"	0,3 – 0,6
3	Неровная поверхность; волны с частыми "барашками"	0,6 – 1,2
4	Очень неровная поверхность с частыми "барашками"	1,2 – 2,4
5	Довольно большие волны, брызги	2,4 – 4
6	Большие волны с пеной	4 – 6
7	Очень большие перекатывающиеся волны	6 – 9
8	Огромные волны, много пены	9 – 14
9	Необычайно огромные волны; море совершенно белое; много пены и брызг	> 14

Интенсивность ветрового волнения зависит от протяженности водного пространства (разгона волн), глубины бассейна, скорости и

длительности действия ветра в одном направлении. Слабый ветер, дующий длительное время над большой акваторией, может вызвать более значительное волнение, чем сильный, но кратковременный ветер над бассейном малой протяженности.

Эта градация волнения не применима для количественной оценки волн цунами, которые вызываются в большинстве случаев подводными землетрясениями, взрывами вулканов, подводными оползнями и другими источниками. Для количественного оценивания интенсивности цунами у берега в настоящее время наиболее широкое распространение на практике получили две шкалы: шкала магнитуд цунами m Иمامура – Иида [8] и шкала интенсивности цунами i С.Л. Соловьева [9, 10], предложенная в 1972 г. Первая из них используется в зарубежных исследованиях по проблеме цунами, связанных с анализом реальных событий, вторая применяется в отечественных работах и использована при подготовке описательных каталогов тихоокеанских цунами.

В соответствии со шкалой Иمامура – Иида цунами оценивается по максимальной высоте волн (подъемам уровня воды) на протяженном участке побережья и негативным последствиям на суше и море, вызванным волной в зоне береговой черты. Описание шкалы магнитуд цунами представлено в табл.1.7. Магнитуда цунами вычисляется по формуле

$$m = \log_2 h_{\max} ,$$

где h_{\max} – максимальная высота подъема воды на ближайшем к очагу цунами участку побережья, выраженная в метрах. Увеличение магнитуды на единицу означает увеличение высоты волны в два раза.

Таблица 1.7
Классификация цунами по шкале магнитуд Иمامура – Иида [8]

m	Описание цунами
1	2
4	Катастрофическое цунами с максимальной высотой волн у берега более 30 м. Зона повреждений вдоль побережья имеет протяженность не менее 500 км
3	Высота волны 10-20 м. Вдольбереговая зона повреждений имеет протяженность около 400 км

Продолжение табл.1.7

1	2
2	Высота волны 4-6 м. Наблюдаются разрушения некоторых зданий и незначительные человеческие жертвы
1	Высота волны около 2 м. Повреждение домов вдоль побережья, суда прибываются к берегу
0	Высота волны около 1 м. Повреждения отсутствуют
-1	Незначительное цунами, отмечаемое только мареографами. Высота волны не превышает 0,5 м. Повреждения отсутствуют

В отличие от магнитуды, интенсивность цунами i определяется по формуле

$$i = \log_2(\sqrt{2\bar{h}}),$$

где в которой \bar{h} – средняя высота заплеска волны в метрах вдоль участка побережья. Разница между максимальным и средним подъемами уровня моря может быть значительной, особенно для сильных цунами, что связано, с существенной нерегулярностью рельефа дна, береговой линии и топографии местности вдоль побережья. Как правило, чем длиннее побережье, обращенное к очагу подводного землетрясения, тем более вероятно наличие особенностей прибрежного рельефа, локально усиливающего у берега волну цунами. Шкала интенсивности цунами i Соловьева, предложенная в 1972 г. [9], приведена в табл. 1.8. Интенсивность до сих пор остается основной характеристикой, используемой в каталогах и базах данных об исторических цунами.

Перейдем теперь к количественной оценке землетрясений. Для характеристики землетрясений используется магнитуда M , для описания проявлений землетрясений – интенсивность. Магнитуда характеризует землетрясение как цельное, глобальное событие и не является показателем проявлений землетрясения, ощущаемых в конкретной точке земной поверхности (первое звено трехзвенной модели природной катастрофы). Она может быть рассчитана по различным формулам, использующим показания стандартного сейсмографа или амплитуды объемных и поверхностных упругих волн.

Интенсивность землетрясения, измеряемая в баллах, характеризует третье звено трехзвенной модели природной катастрофы.

Она сильно зависит от расстояния до очага, глубины сейсмического источника и типа горных пород. В результате сила землетрясений с одинаковой магнитудой может различаться на 2-3 балла.

Таблица 1.8
Классификация цунами по шкале интенсивности Соловьева [9, 10]

<i>i</i>	1^{mar}	$2^{\text{mar}}, 1^{\text{vis}}$	2^{vis}	Описание цунами
4	8	11,3	16	<i>Катастрофическое цунами.</i> Частичное или полное разрушение строений на некотором удалении от береговой черты. Частичное повреждение больших судов. Деревья вырываются с корнями или ломаются. Много жертв
3	4	5,7	8	<i>Очень сильное цунами.</i> Затопление берега. Повреждение причалов, молов и других тяжелых конструкций у берега. Полное разрушение легких строений. Сильный размыв культивированных земель, захламление побережья предметами и морскими животными. Суда, кроме больших пароходов, уносятся в открытое море или выносятся на берег. Большой подъем уровня в устьях рек. Портовые сооружения повреждаются. Тонут люди. Цунами сопровождается сильным гулом
2	2	2,8	4	<i>Сильное цунами.</i> Затопление берега на некоторую глубину. Слабый размыв культивированных земель. Повреждения легких строения вблизи береговой черты. Незначительное разрушение прочных береговых сооружений. Большие парусные суда и малые пароходы уносятся в море или увлекаются на берег. Побережье завалено обломками
1	1	1,4	2	<i>Умеренное цунами.</i> Обычно фиксируется наблюдателям. Затопление пологих берегов. Легкие суда выбрасываются на берег. Незначительные повреждения легких построек вблизи побережья. В устьях рек наблюдается обратное течение
0	0,5	0,7	1	<i>Слабое цунами.</i> Волны могут быть замечены населением, проживающим на побережья и хорошо знакомым с традиционным для района режимом моря. Обычно цунами заметно на равнинных берегах
-1	0,25	0,35	0,5	<i>Очень слабое цунами.</i> Волны регистрируются только мареографами

Примечание: 1^{mar} – средняя высота волны (м) на участке побережья по мареографическим данным; 2^{mar} – максимальная высота волны (м) у берега по мареографическим данным; величины в столбцах 1^{vis} , 2^{vis} аналогичны 1^{mar} и 2^{mar} , но определены визуально.

Сейсмические движения хотя и сложны, но поддаются классификации. Существует большое число сейсмических шкал, которые можно свести к трем основным группам. В странах бывшего СССР применяется широко используемая в мире 12-балльная шкала MSK-64 (Медведева – Шпонхойера – Карника), восходящая к шкале Меркали – Канкани (1902). В странах Латинской Америки принята 10-балльная шкала Росси – Фореля (1883), в Японии – 7-балльная шкала.

Оценка интенсивности, опирающаяся на бытовые последствия землетрясения легко различаемые наблюдателем, в сейсмических шкалах разных стран различна: в Австралии одну из степеней сотрясения сравнивают с тем "как лошадь трется о столб веранды", в Европе такой же сейсмический эффект описывается как "начинают звонить колокола", в Японии фигурирует "опрокинутый каменный фонарик". В наиболее простом и удобном виде ощущения и наблюдения представлены в схематизированной и легко применяемой краткой описательной шкале типа MSK, приведенной в табл. 1.9.

Таблица 1.9

Сейсмическая шкала для оценки проявления интенсивности землетрясений (в баллах) на поверхности Земли (схематизирована)

Балл	Название землетрясения	Краткая характеристика
1	2	3
1	Незаметное	Отмечается только сейсмическими приборами
2	Очень слабое	Ощущается отдельными людьми, находящимися в состоянии полного покоя
3	Слабое	Ощущается лишь небольшой частью населения
4	Умеренное	Распознаётся по лёгкому дребезжанию и колебанию предметов, посуды и оконных стёкол, скрипу дверей и стен
5	Довольно сильное	Общее сотрясение зданий, колебание мебели. Трещины в оконных стёклах и штукатурке. Пробуждение спящих
6	Сильное	Ощущается всеми. Картины падают со стен. Откалываются куски штукатурки, лёгкое повреждение зданий
7	Очень сильное	Трещины в стенах каменных домов. Антисейсмические, а также деревянные постройки остаются невредимыми
8	Разрушительное	Трещины на крутых склонах и на сырой почве. Меняется уровень воды в колодцах. Памятники сдвигаются с места или опрокидываются. Падают дымовые трубы. Сильно повреждаются капитальные здания
9	Опустошительное	Сильные повреждения и разрушения каменных домов

1	2	3
10	Уничтожающее	Крупные трещины в почве. Оползни и обвалы. Разрушение каменных построек. Искривление железнодорожных рельсов
11	Катастрофа	Широкие трещины в земле. Многочисленные оползни и обвалы. Каменные дома совершенно разрушаются
12	Сильная катастрофа	Изменения в почве достигают огромных размеров. Многочисленные трещины, обвалы, оползни. Возникновение водопадов, подпруд на озёрах, отклонение течения рек. Ни одно сооружение не выдерживает. На земной поверхности видны волны

За один год на Земле происходит приблизительно:

- 1 землетрясение с магнитудой $\geq 8,0$;
- 10 – с магнитудой 7,0 – 7,9;
- 100 – с магнитудой 6,0 – 6,9;
- 1000 – с магнитудой 5,0 – 5,9.

Сильнейшее зарегистрированное землетрясение произошло в Чили в 1960 г. и имело магнитуду 9,5. Считается, что землетрясения на Земле не могут иметь магнитуду существенно выше 9,5, поскольку горные породы не могут накопить больше энергии без разрушения. Сейсмические события с большей энергией могут быть инициированы при падении на поверхность Земли небесных тел.

Вопрос о количественной оценке астероидно-космической опасности разрабатывается сравнительно давно, но реальное решение было принято совсем недавно. В Турине (Италия) в июне 1999 г. состоялась конференция Международного астрономического союза. На ней было объявлено о решении использовать для оценки уровня космической угрозы специальную шкалу, аналогичную известной шкале Рихтера в сейсмологии. Идея шкалы астероидной опасности, получившей название Туринской, принадлежит профессору Массачусетского технологического института Ричарду Бинзелу (США). Эта шкала приведена в табл. 1.10. Цвета (белый, зеленый, желтый, оранжевый, красный) официально характеризуют уровень астероидной опасности в порядке возрастания.

Путь к введению этой шкалы берет свое начало в 1993 г., когда велось обсуждение возможного столкновения в будущем с Землей кометы Свифта – Туттля с периодом обращения 135 лет. Более тщательные расчеты показали, что комета не представляет опасно-

сти для Земли. Во избежание дальнейших кривотолков и необоснованных сенсаций Бинзел создал приведенную в табл. 1.10 шкалу астероидной опасности, которая и была принята в 1999 г. на конференции в Турине.

Таблица 1.10

Туринская шкала астероидной опасности, показывающая степень опасности, исходящую от определённого небесного объекта

Оценка опасности	Балл	Описание
1	2	3
Безопасен	0	Вероятность столкновения равна нулю или ниже вероятности столкновения Земли с неизвестным небесным телом того же размера в течение нескольких десятилетий. Эту же оценку получают небольшие небесные тела, которые даже в случае столкновения не смогут достичь поверхности вследствие разрушения в атмосфере Земли
Заслуживает внимания	1	Вероятность столкновения чрезвычайно низка или равна вероятности столкновения Земли с неизвестным небесным телом того же размера
Вызывает беспокойство	2	Небесное тело совершит сближение с Землей, однако столкновение при этом маловероятно
	3	Тесное сближение с Землей с вероятностью столкновения $\geq 1\%$. В случае столкновения возможны локальные разрушения
	4	Тесное сближение с Землей с вероятностью столкновения $\geq 1\%$. В случае столкновения возможны региональные разрушения
Явно угрожает	5	Тесное сближение с Землей с серьезной вероятностью столкновения, которое может вызвать региональные разрушения
	6	Тесное сближение с Землей с серьезной вероятностью столкновения, которое может вызвать глобальную катастрофу
	7	Тесное сближение с Землей с очень высокой вероятностью столкновения, которое может вызвать глобальную катастрофу
Столкновение неизбежно	8	Столкновение, способное вызвать местные разрушения (событие происходит раз в 50 – 1000 лет)
	9	Столкновение, способное вызвать глобальные разрушения (событие происходит раз в 1000 – 100000 лет)
	10	Столкновение, способное вызвать глобальную катастрофу (событие происходит не менее одного раза в 100000 лет)

При обсуждении природных катастроф нельзя не остановиться и на оценке опасности, связанной с вулканической деятельностью. Извержения вулканов на суше вызывают сильные разрушения за счет распространения потоков лавы и осадения пепла. Гибель людей от извержений вулканов связана с лавовыми, грязевыми и пирокластическими потоками, лавинами, выпадением пепла, болезнями, голодом и других факторами. Масштаб бедствия в зоне извержения вулкана зависит от инфраструктуры и заселенности территории, прилегающей к вулкану. Например, за период с 1900 по 1986 гг.

во время катастрофических извержений на планете 85,8% (65,2 тыс. чел.) из числа жертв (76 тыс. чел.) погибло от пирокластических потоков и лавин, грязевых потоков и паводков. Самым высоким вулканом на Земле является вулкан Мауна-Лоа на Гавайях. Самый большой кратер действующего вулкана диаметром почти 9 км находится на Аляске.

Для измерения вулканической активности используется шкала, приведенная в табл. 1.11. Она опирается на высоту выброса и объем выброшенного при извержении вулканического пепла.

Таблица 1.11
Шкала вулканической активности

Уровень	Описание извержения	Высота выброса пепла	Количество пепла
0	Невзрывное	Ниже 100 м	Тысячи м ³
1	Легкое	100 – 1000 м	Десятки тысяч м ³
2	Взрывное	1 – 5 км	Миллионы м ³
3	Сильное	3 – 15 км	Десятки миллионов м ³
4	Катастрофическое	10 – 25 км	Сотни миллионов м ³
5	Пароксизмальное	Выше 25 км	Один км ³
6	Колоссальное	Выше 25 км	Десятки км ³
7	Сверхколоссальное	Выше 25 км	Сотни км ³
8	Мегаколоссальное	Выше 25 км	Тысячи км ³

Экономический ущерб от извержений вулканов, длительность действия которых фактически не поддается оценке, велик. 14 апреля 2010 г. в Исландии началось извержение вулкана Эйяфьятлайокудль, который молчал 200 лет. В результате извержения было выброшено в атмосфере на высоту до 8 км огромное количество вулканического пепла, из-за которого не функционировала большая часть аэропортов Европы, что вызвало отмену около 60 тыс. авиарейсов по всей Европе. Общие потери европейской экономики в результате кризиса авиаперевозок, вызванного извержением исландского вулкана, приблизились в апреле 2010 г. к 4 млрд. евро. Ежедневно из-за сбоев в авиасообщении страдали 1,2 млн. человек. Извержение этого вулкана можно классифицировать как сильное.

В заключение остановимся на оползнях – опасном природном явлении, имеющем непосредственное отношение к воде, поскольку

поступление воды является наиболее частой причиной начала его движения. Наиболее часто оползни возникают на склонах, сложенных чередующимися водоупорными и водоносными породами.

Оползень представляет собой перемещение на более низкий уровень части горных пород, слагающих склон, в виде скользящего движения вниз в основном без потерь контакта между движущимися и неподвижными породами [11]. Движение оползня начинается вследствие нарушения равновесия склона и продолжается до достижения нового состояния равновесия.

Перемещение значительной массы породы, вызванные оползнями, могут приводить к катастрофическим последствиям и приобретать характер природной катастрофы. Оползни могут разрушать отдельные объекты и подвергать опасности целые населенные пункты, губить сельскохозяйственные угодья, создавать опасность при эксплуатации карьеров, повреждать коммуникации, туннели, трубопроводы, телефонные и электрические сети, угрожать водохозяйственным (плотинам) и рекреационным (пляжам) объектам.

Развитию оползней способствуют наклон слоев земли в сторону уклона, трещины в породах, направленные также в сторону уклона. В сильно увлажненных глинистых породах оползни приобретают форму потока. Оползни довольно распространенное явление в Крыму и вдоль кавказского побережья Черного моря. В зоне Севастополя их более сотни. Большую часть потенциальных оползней можно предотвратить, если своевременно принять меры на начальной стадии их развития. Для борьбы с оползнями применяются берегоукрепительные и дренажные сооружения, закрепления склонов сваями и насаждениями растительности.

Оползням подвержены все государства Азово-Черноморского региона. В августе 2010 г., по сообщению турецких властей, в результате оползней на севере страны погибло по меньшей мере 12 человек. Причиной оползней стали проливные дожди, обрушившиеся на турецкую провинцию Ризе. Десятки людей в городе Гюндодгу были эвакуированы спасателями из собственных жилищ после того, как оползневые потоки отрезали им все пути к спасению. Некоторые дома и автомобили были погребены под слоем грязи, ряд дорог на черноморском побережье Турции был закрыт для движения.

Существует большое количество различных классификаций оползней, которые можно разделить на три группы – общие, частные и региональные. Общие классификации учитывают особенности

оползнего процесса по комплексу признаков. Частные классификации основаны на выделении более существенных факторов, способствующих сползанию масс земли. Общие и частные классификации используются для определения применимости различных методов расчета устойчивости склонов и выбора противооползневых мероприятий. Региональные классификации составляются для конкретных районов, где широко развиты оползневые процессы.

1.4 Критерии катастрофичности явлений

Большое разнообразие природных и антропогенных катастроф, сложный характер их взаимосвязи с порождающими процессами и многофакторное воздействие на сферу хозяйственной деятельности привели к относительной неразвитости области знаний, касающейся критериев катастрофичности явлений. Более того, принципы оценки последствий для экологии не разработаны по многим типам явлений.

В настоящее время катастрофичность природных явлений оценивается по объему экономического ущерба, числу пострадавших и числу погибших людей. В мировой практике, в европейских агентствах, занимающихся сбором и анализом данных о природных катастрофах, в Украине и России приняты несколько отличающиеся критерии оценки катастрофичности природных явлений.

При статистическом анализе природных катастроф на мировом уровне используются критерии А, Б и В, разъяснение которых дано в табл. 1.12 [1, 2]. При выполнении хотя бы одного из этих критериев событие считается значимым и учитывается при статистическом анализе катастроф. Выбор таких критериев продиктован тем обстоятельством, что как уровень негативного воздействия катастрофы на экономику государства, так и возможность ликвидации вызванного событием ущерба зависят как от экономического потенциала, так и численности населения страны.

Таблица 1.12

Категории и соответствующие им критерии, используемые ООН для выделения значимых природных катастроф

Категория	Критерий
А. Значительные масштабы ущерба	$\geq 1\%$ от годового валового продукта страны
Б. Число пострадавших людей	$\geq 1\%$ от численности населения страны
В. Число погибших людей	≥ 100 человек

В России опасные явления вызывают чрезвычайную ситуацию при выполнении одного из трех условий [12]: число жертв – 4 и более человек; число пострадавших – 10-20 и более человек; экономический ущерб – не менее 0,5 млн. руб. (в ценах 1992 г.).

В работе [6] для количественного описания третьего звена (последствий) природной катастрофы предлагается выделять шесть категорий стихийных бедствий, определяемых по числу жертв и суммарному материальному ущербу (табл.1.13). Для каждой категории определен административный уровень принятия решений.

Таблица 1.13
Категории стихийных бедствий в рамках российской программы «Безопасность» [6] (упрощенный вариант)

Категория	Название	Число жертв	Ущерб, доллары США
I	Всемирное бедствие	31 млн. – 3 млрд.	151 млрд. – 15 трил.
II	Континентальное	301 тыс. – 30 млн.	1,51 млрд. – 150 млрд.
III	Национальное	3001 – 300 тыс.	15,1 млн. – 1,5 млрд.
IV	Региональное	31 – 3000	151 тыс. – 15 млн.
V	Районное	1 – 30	1,6 – 150 тыс.
VI	Местное	Нет	< 1,5 тыс.

В Украине для определения уровня чрезвычайной ситуации предложено использовать три группы факторов [13]: площадь территории, подвергшейся действию природной катастрофы; масштаб материальных и людских потерь; классификационные признаки, учитывающие интенсивность природной катастрофы.

Для территориального фактора в условиях возникновения или ожидания природных катастроф выделено три уровня принятия решений: объектовый; местный; региональный; государственный. Автономная Республика Крым и Севастополь отнесены к региональному и общегосударственному (при нехватке региональных ресурсов) уровням.

В Украине градации природных катастроф введены для различных сфер и объектов хозяйственной деятельности: сельского хозяйства; лесного хозяйства; зон рекреации, заповедных территорий и объектов природоохранного значения; водоемов; хозяйственных объектов, транспорта и жилищно-коммунального хозяйства; населения региона. В табл. 1.14 приведены выдержки из [13], относящиеся

к поверхностным и подземным природным водным объектам, а также к населению региона.

Критерии уровней катастрофичности природных явлений опираются на оценки экономического ущерба и людских потерь, а поэтому в наибольшей степени относятся к произошедшим природным катастрофам. Для прогноза риска природных катастроф необходимы изучение физических закономерностей самих явлений и разработка методов прогнозирования природных катастроф.

Таблица 1.14

Критерии чрезвычайных ситуаций регионального и общегосударственного масштабов в Украине для водоемов (1) и населения (2)

Критерий		Единица измерения потерь	Пороговое значение потерь, необходимое для возникновения чрезвычайной ситуации
1	А. Площадь акватории или объем водоема, подвергшиеся ПК	Доля, %	10-15% (региональный уровень); > 15% (общегосударственный)
	Б. Экономический ущерб	Доля годового бюджета региона, %	< 1% (региональный уровень); ≥ 1% (общегосударственный)
2, а	А. Число людей, потерявших временно или постоянно трудоспособность	Человек	50-300 (региональный уровень); > 300 (общегосударственный)
	Б. Число погибших	Человек	3-5 (региональный уровень); > 5 (общегосударственный)
	В. Число людей, оставшихся без крова	Человек	300-3000 (региональный уровень); > 3000 (общегосударственный)
2, б	А. Размер компенсационных выплат	Доля годового бюджета региона, %	< 1% (региональный уровень); ≥ 1% (общегосударственный)

Критерии особой опасности некоторых гидрометеорологических явлений на Черном и Азовском морях и в морских устьях рек, означающие фактически пороговые значения характеристик явления, приведены в табл. 1.15. Они используются в работе гидрометеопостов [14].

В ряде европейских агентств, занимающихся сбором и статистическим анализом природных катастроф, используется несколько иная система критериев катастрофичности явлений, при выполнении хотя бы одного из которых событие считается значимым: число погибших людей составляет не менее 10 человек; число пострадавших людей составляет не менее 100 человек; был дан запрос о международной помощи; в регионе было объявлено чрезвычайное положение.

Таблица 1.15

Критерии особо опасных гидрологических и метеорологических явлений

Явление	Критерий особой опасности явления	Возможные негативные последствия события
Ветер	Средняя скорость или порывы ветра, превышающие $25 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$	Сильное волнение в море, рост ветровых нагрузок на суда и береговые сооружения
Смерч	Размеры в поперечнике до 50 м, высота 100-150 м	Усиление ветра в смерче до $50-70 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, разрушение сооружений и надстроек небольших плавсредств
Туман	Видимость $\leq 100 \text{ м}$, длительность $\geq 12 \text{ ч}$	Столкновения судов, невозможность эксплуатации портовых сооружений, вертолетного обслуживания буровых платформ
Обледенение	Скорость $\geq 0,7 \text{ см}\cdot\text{ч}^{-1}$	Уменьшение остойчивости судов, их опрокидывание
Дождь, снег	Сумма осадков $\geq 30 \text{ мм}$ за 12 ч	Уменьшение видимости, зимой обледенение судов и платформ; высокие паводки на побережье, затопление населенных пунктов
Уровень моря	Колебания уровня выше или ниже критических отметок	Подтопление населенных пунктов или береговых сооружений, осушка береговой полосы, обмеление подходов каналов, прекращение судоходства
Волнение моря	Высота волн на Азовском море – $\geq 3,5 \text{ м}$, на Черном море – $\geq 6,0 \text{ м}$	Разрушение береговых сооружений, опрокидывание малых судов
Напор морских льдов	Наличие разрушений на берегу	Разрушение береговых сооружений
Береговой припай	Толщина не менее 80 см	На южных морях прекращается судоходство, все виды работ на побережье
Течения	Прибрежные – скорость $> 1 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, в проливах $> 2 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$	Снос судов, зимой – сильный дрейф льда
Тягун	Факт наличия	Повреждения судов у причалов.
Температура воды	Повышение или снижение на $3-5^\circ$ и более за 6 ч	Нарушение рекреационного режима
Галоклин в устьях рек	Распространение к водозаборам воды с соленостью $> 3 \text{ ‰}$	Прекращение водоснабжения населенных пунктов и орошения полей
Осолонение устьевых водоемов	Повышение солености на $5-7 \text{ ‰}$ в течение 15-20 сут	Гибель живых организмов и растительности

Следует отметить, что реализация того или иного критерия катастрофичности явления и категории социально-экономических потерь от природных катастроф существенно зависят от готовности населения противостоять стихийному бедствию и от степени защи-

ценности хозяйственных объектов, территорий и водных бассейнов от воздействия опасного природного явления (уязвимость региона).

По современным представлениям оценка риска природной катастрофы в заданном регионе за заданный период определяется следующей достаточно условной математической формулой [15]

$$\text{Risk} = \text{Frequency} \times \text{Population} \times \text{Vulnerability},$$

где Risk – величина ожидаемых людских потерь, отнесенная ко всему населению, подвергшемуся природной катастрофе (числу потерпевших), и к выбранному временному интервалу (например, году); Frequency – повторяемость, то есть ожидаемое (или среднее) число событий для данного природного явления за выбранный временной интервал; Population – число потерпевших, отнесенное к населению региона; Vulnerability – уязвимость населения, то есть ожидаемая доля потерь населения, обусловленная социально-политико-экономическими обстоятельствами региона. Получение оценок риска тех или иных природных катастроф представляет собой весьма сложную задачу в силу недостаточного объема необходимых для их расчета данных.

1.5 Мировая статистика природных катастроф

Развитие мировой экономики сопровождается устойчивой тенденцией роста количества разрушительных для хозяйственных систем природных катастроф и наносимого ими экономического ущерба. Более того, темпы роста такого ущерба выше темпов роста мирового производства валового продукта. Имеются примеры [1], когда экономические потери от природных катастроф в отдельных странах превышают величину валового национального продукта, в результате чего экономика этих стран оказывается в критическом состоянии. Так, например, прямой ущерб от землетрясения в Манагуа (1972) составил 209% стоимости годового валового продукта Никарагуа. В США ущерб только от четырех крупнейших природных катастроф в 1989 – 1994 гг. (землетрясения в Ломо-Приета и Нортридже, тропический ураган Эндрю и наводнение на Среднем Западе) составило 88 млрд. долл. США, что оказало заметное влияние на экономику наиболее развитой страны мира.

Частота возникновения катастрофы зависит от генезиса вызвавшего его природного явления. На гидрометеорологические явления приходится около 75% от общего числа стихийных бедствий (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Разделение природных катастроф в мире по их генезису на основе данных за 1994 – 2003 гг.

Из приведенных в табл. 1.16 данных за последние 40 лет XX века количество природных катастроф с ущербом свыше 1 млрд. долл. США каждая возросло в 3,4 раза.

Таблица 1.16

Динамика экономического ущерба от наиболее крупных природных катастроф в мире (Munich Re Group, E&F/Geo, February 2000)

Показатели	1950 – 1959 гг.	1960 – 1969 гг.	1970 – 1979 гг.	1980 – 1989 гг.	1990 – 1999 гг.	Отношение показателей 1990-е / 1960-е
Количество	20	27	47	63	91	3,4
Экономический ущерб, млрд. долларов	42,1	75,5	138,4	213,9	659,9	8,7
Застрахованный ущерб, млрд. долларов	–	6,8	11,7	24,7	124,0	20,4

Примечание: учтены катастрофы, вызвавшие чрезвычайные ситуации, с которыми страна (регион) экономически не могли справиться самостоятельно и вынуждены воспользоваться международной помощью. Ущерб указан в ценах 2002 г.

По другим данным, число природных катастроф с ущербом для каждого события более 1% валового национального продукта пострадавшей страны возросло более чем вчетверо (с 16 до 66) всего за 25 лет (с 1965 по 1990 гг.). За тот же период в 3,5 раза увеличилось число чрезвычайных ситуаций природного характера с числом пострадавших более 1% населения страны. Экономический ущерб от природных катастроф в мире возрос почти в 9 раз.

Рост общего числа природных катастроф в мире за более широкий промежуток времени (1900 – 2002 гг.) демонстрирует рис. 1.2 [16]. Событие включалось в международную базу данных, если выполнялось одно из условий: не менее 10 человек погибло; не менее 100 человек пострадало; был запрос о международной помощи; объявлялось чрезвычайное положение.

Экономические потери от природных катастроф огромны и стремительно растут из года в год (рис. 1.3). За 35 последних лет XX века потери от природных катастроф в мире увеличились в 74 раза (без учета инфляции доллара США за это время) [1]: за 60-е гг. они составили чуть более 1 млрд. долларов США в год, за 70-е – 4,7, а за 80-е – 16,6. Потери в 1991 – 1994 гг. превысили 59 млрд., в 1995 – 1999 гг. они достигли около 76 млрд. долларов США в год. Суммарные экономические потери за 35 лет составили 895 млрд., в том числе за 90-е гг. – 676 млрд. долларов США.

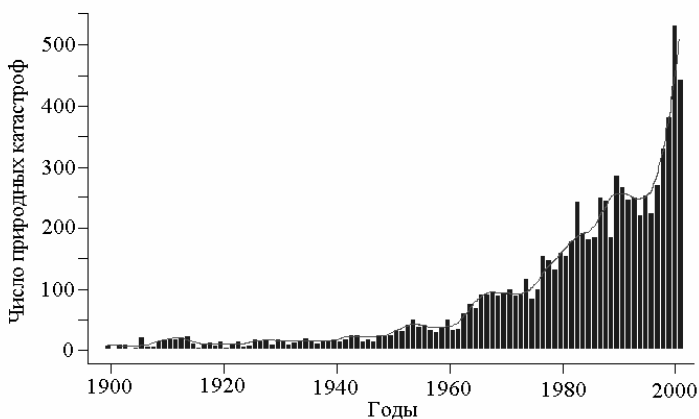


Рис. 1.2. Изменение по годам общего числа природных катастроф в мире в 1900 – 2002 гг. по данным The OFDA/CRED International disaster database (<http://www.cred.be>) [16]

Многие страны, например, Япония, вынуждены тратить на борьбу с природными бедствиями до 5% своего годового бюджета, что составляет 23-25 млрд. долл. США в год [1]. В некоторые годы эти затраты достигали 8% годового бюджета. В Китае ежегодный ущерб от природных катастроф составляет в среднем 3-6% валового национального продукта. В последнее десятилетие XX века они возросли с 6,3 млрд. (1989 г.) до 36 млрд. долл. США (1998 г.).

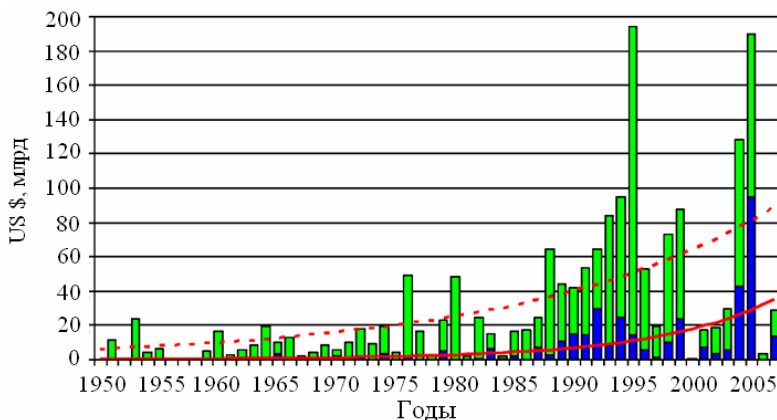


Рис. 1.3. Экономические (■) и застрахованные (■) потери (в ценах 2007 г.) от природных катастрофических явлений в 1950 – 2000 гг. по данным WMO и тренды этих величин [17, 18]

Следует отметить, что указанные цифры достаточно приближенные и относятся только к семи доминирующим природным катастрофическим явлениям: землетрясениям, наводнениям, тайфунам и штормам, засухам, извержениям вулканов, экстремальным температурным режимам (заморозкам, гололедам, суховеям), оползням. При учете остальных природных опасностей величина экономического ущерба существенно возрастет. Как показывает рис. 1.3, застрахованные экономические потери в два и более раз меньше общих ежегодных потерь.

Основная часть природных катастроф произошла в странах Азии (39%) и в меньшей степени в Южной и Северной Америке (26%) [1]. На европейские страны и Африку приходится по 13% от общего числа крупных природных катастроф, на Океанию – 9% (рис. 1.4). Неблагоприятная ситуация в мире, связанная с устойчивым ростом числа природных катастроф и их социально-

экономических последствий, в наибольшей степени касается развивающихся стран.



Рис. 1.4. Распределение крупных природных катастроф в мире по регионам на основе базы данных за 1965 – 1999 гг. Данные CRED [1]

Среди наиболее разрушительных природных катастроф в мире доминируют наводнения и тропические циклоны. На них приходится до 60% от общего числа событий. Среди оставшихся трети катастроф доминируют засухи, эпидемии и землетрясения (рис. 1.5).



Рис. 1.5. Доминирующие виды природных катастроф в мире по данным за 1963 – 1992 гг. [19]

Возникновение наводнений, засух, оползней и ряда других природных катастроф непосредственно связано с водой. Более чем 2200 крупных и малых природных катастроф этого типа произошло в 1990 – 2001 гг. Наибольшее негативное воздействие они оказали на страны Азии и Африки. Доминирующая природная катастрофа (50%) – наводнения. Типы и географическое распределение этих стихийных бедствий иллюстрирует рис. 1.6.

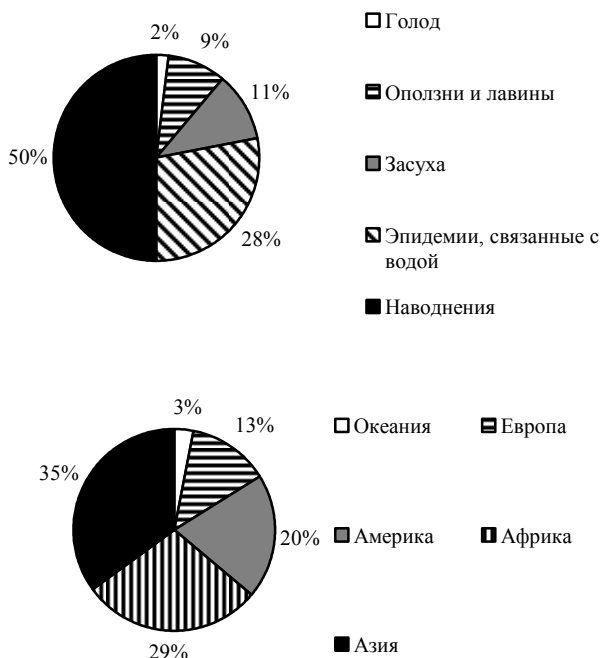


Рис. 1.6. Типы и географическое распределение природных катастроф, связанных с водой, за период с 1990 по 2001 г. (CRED, 2002)

Уже в течение нескольких лет ежегодный объем убытков от таких событий превышает объем международной помощи, направляемой на ликвидацию последствий от природных катастроф. В последние годы число людей, пострадавших от стихийных бедствий, увеличивается приблизительно на 6% в год, что в три раза превышает ежегодные темпы прироста населения на Земле.

Подобная ситуация потребовала от мирового сообщества постановки новой стратегической задачи: лучше предупредить стихийное бедствие, чем устранять его последствия. Тем самым, основными задачами международного уровня в области уменьшения негативных последствий природных катастроф становятся сбор и анализ данных о катастрофических явлениях, разработка эффективных методов прогноза кризисных природных ситуаций, районирование территорий по степени риска, анализ возможных сценариев развития событий в регионах, совершенствование средств мониторинга состояния окружающей среды и создание эффективных систем предупреждения населения о грозящей опасности, наконец, повышение образовательного уровня населения по вопросам, касающимся доминирующих природных катастроф в регионе и защиты от них.

1.6 Статистика чрезвычайных ситуаций в Украине

Территория Украины постоянно подвержена воздействию природных катастроф. Здесь существует определенная опасность возникновения геофизических природных катастрофы. На территории Украины нет действующих вулканов традиционного типа, хотя в Карпатах и в Крыму отмечены следы древнего вулканизма. На Керченском полуострове есть немало небольших грязевых вулканов, но в силу их невысокой активности и небольших масштабов их нельзя считать опасными (см. § 2.4). Наиболее высока угроза землетрясений на Южном берегу Крыма, в зоне Карпат и в прилегающих к Румынии территориях. В целом, большая часть населения Украины находится вне зоны возможных разрушительных землетрясений.

Как и во всем мире, наиболее часты на территории Украины гидрометеорологические катастрофы, приводящие к чрезвычайным ситуациям. Штормовые ветры и штормовые волны в Черном и Азовском морях – достаточно частые явления. Сильные цунами на Черном море могут возникать раз в сто и более лет. Опасные снежные лавины бывают в Карпатах и горах Крыма, хотя в целом они не достигают уровня лавиноопасности альпийских гор.

В результате чрезвычайно сильных ливней в Карпатах могут образовываться сели, несущие песок и камни, что придает им разрушительный характер. Достаточно частыми для некоторых районов Украины стали наводнения. Периодически затапливается почти все Полесье. Это происходит либо весной вследствие быстрого таяния

снега, или во второй половине лета после сильных дождей, вызванных прохождением атлантических циклонов. Особенно большой ущерб наводнения наносят сельскому хозяйству. Опасны наводнения в Карпатах и в прилегающих к ним регионах, а также затопление побережья Азовского моря, вызванное сгонно-нагонными колебаниями уровня во время штормов.

Зимы в Украине в последние годы умеренные, но изредка температура воздуха может достигать -30°C (и ниже). В таких случаях вымерзают озимые и сады. Гололед периодически повреждает ветви деревьев и линии связи. Снежные метели имеют большую интенсивность в Крыму, где они не раз повреждали здания, коммуникационные линии и нарушали транспортные сообщения.

Серьезный ущерб сельскохозяйственным угодьям несколько раз наносили зимние пыльные бури (§ 2.4). Буря в конце зимы 1961 г. частично снесла с полей плодородный слой чернозема. Солнце едва просвечивало сквозь пыль даже в Киеве, за сотни километров от степей. Катастрофические засухи бывают редко, но практически каждый год в тех или иных областях Украины происходят потери урожая, вызванные нехваткой осадков. В последний раз это произошло летом 2010 г.

Интенсивные ливни, которые размывают склоны и углубляют овраги – обычное явление для большей части территории Украины. Они вызывают оползни, принимающие опасные формы для людей и строений. Град, хотя и редко захватывает большую территорию, ежегодно приводит к ощутимым потерям урожая, повреждает оконные стекла, черепицу или шифер.

Помимо опасных природных явлений, чрезвычайные ситуации могут вызываться антропогенными факторам и социально-политическими причинами. На территории Украины общее число природных, техногенных и социально-политических чрезвычайных ситуаций в последние годы снижается, что следует из диаграммы, представленной на рис. 1.7. Так, число чрезвычайных ситуаций в Украине снизилось на 26-53% в 1999-2001 гг., на 51-60% в 2003-2006 гг., на 68% в 2004-2006 гг., а в 2007-2009 гг. колебалось в пределах 23-41 случаев.

По данным национального отчета [20] в результате чрезвычайных ситуаций в Украине в 2009 г. погибло 356 человек и пострадало 1511. Наибольшее число событий в 1997 г. зарегистрировано в Донецкой (31), Николаевской (18), Харьковской (16), Луганской

(16), Львовской (16) областях и в АР Крым (16). Среди чрезвычайных ситуаций природного и техногенного генезиса доминировали события медико-биологической природы, пожары, аварии на транспорте и в системах жизнеобеспечения

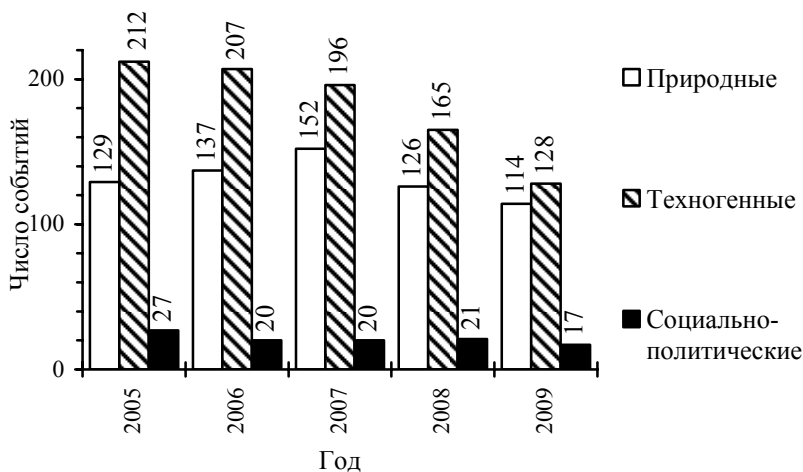


Рис. 1.7. Изменение в 2005 – 2009 гг. числа природных, техногенных и социально-политических чрезвычайных ситуаций в Украине [20]

В 2005-2009 гг. преобладали техногенные чрезвычайные ситуации. В последние три года видна тенденция к уменьшению числа экстремальных событий.

Что касается динамики числа чрезвычайных ситуаций гидрометеорологического характера, то за последние 13 лет она и линия тренда показана на рис. 1.8. В период 1997-2002 гг. число таких чрезвычайных ситуаций уменьшилось более чем в два раза, а в последние 6 лет изменялось от 23 до 41 событий.

В 2009 г. в Украине зарегистрировано 117 чрезвычайных ситуаций природного происхождения, что на 7,1% меньше по сравнению с 2008 г. Наибольшее число событий приходится на июнь и июль. Это фактически самый низкий уровень событий за последние 13 лет. По своему генезису чрезвычайные ситуации 2009 г. распределяются следующим образом: отравление людей – 38; метеорологические – 28; пожары в природных экосистемах – 20; инфекционные заболевания людей – 19; геологические – 7; гидрологические –

4; инфекционные заболевания сельскохозяйственных животных – 1.

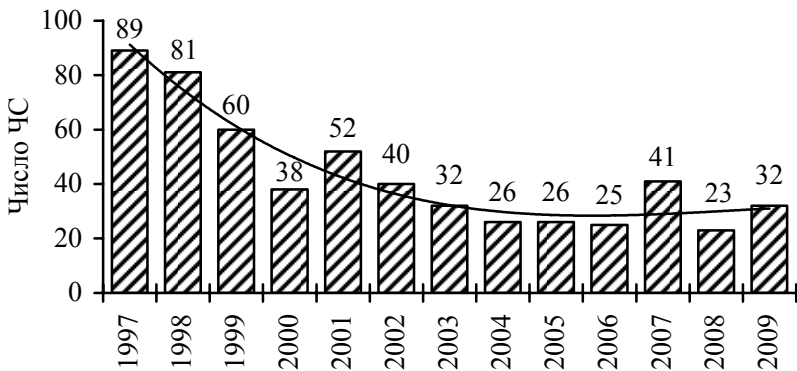


Рис. 1.8. Число чрезвычайных ситуаций (ЧС) гидрометеорологического характера в Украине в 1997 – 2009 гг. и линия тренда [20]

Ущерб от чрезвычайных ситуаций, вызванных природными и техногенными катастрофами в Украине, огромен. Его динамику в 2005-2009 гг. демонстрирует рис. 1.9. По объему ущерба доминируют чрезвычайные ситуации природного характера. Необычно большой ущерб в 2008 г. (почти 5 млрд. гривень) связан расходами на снижение и ликвидацию последствий от июльских паводков в западных районах Украины. В последующий год ущерб от чрезвычайных ситуаций в целом был значительно ниже.



Рис. 1.9. Динамика ущерба в 2005-2009 гг. в Украине, вызванного природными и техногенными чрезвычайными ситуациями [20]

Литература к главе 1

1. *Осипов В.И.* Природные катастрофы на рубеже XXI века // Вестник Российской академии наук. – 2001. – 71, № 4. – С. 291 – 302.
2. *Шокин Ю.И., Чубаров Л.Б.* Всемирная конференция по уменьшению опасности стихийных бедствий (Йокогама, 22 – 28 мая 1994 года). Отчет участников. – Новосибирск: ИВТ СО РАН, 1994. – 79 с.
3. *Трухин В.И., Показеев К.В., Куницын В.Е., Шрейдер А.А.* Основы экологической геофизики. – М.: Физический факультет МГУ, 2000. – 292 с.
4. *Шнюков Е.Ф., Митин Л.И., Цемко В.П.* Катастрофы в Черном море. – Киев: Манускрипт, 1994. – 296 с.
5. *Рикитаке Т.* Предсказание землетрясений. – М.: Мир, 1979. – 388 с.
6. *Родкин М.В., Шебалин Н.Б.* Проблема измерения катастроф // Известия Российской АН. Сер. географическая. – 1993. – № 5. – С. 105 – 115.
7. Справочник необходимых знаний. – М.: "РИПОЛ КЛАССИК", 2001. – 768 с.
8. *Мурти Т.С.* Сейсмические морские волны цунами. – Л.: Гидрометеоиздат, 1981. – 447 с.
9. *Соловьев С.Л.* Повторяемость землетрясений и цунами в Тихом океане // Труды СахКНИИ ДВНЦ АН СССР. – 1972. – Вып. 29. – С. 7 – 47.
10. *Soloviev S.L.* Tsunamis // Assessment and mitigation of earthquake risk. – Paris: UNESCO, 1978. – P. 118 – 139.
11. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидации последствий. Книга 1. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 1995. – 319 с.
12. *Григорьев Ал.А., Кондратьев К.Я.* Природные и антропогенные экологические катастрофы: проблема риска // Известия Русского географического об-ва. – 1998. – 130, вып. 4. – С. 1 – 9.
13. Про порядок кваліфікації надзвичайних ситуацій // Постанова Кабінету Міністрів України від 15 липня 1998 р. – № 1099. – 21 с.
14. Положение о порядке составления и передачи предложений о возникновении стихийных (особо опасных) гидрометеорологических и гелиографических явлений и экстремально высоком загрязнении природной среды. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 30 с.

15. *Peduzzi P.* Insight on common/key indicators for global vulnerability mapping // Expert meeting on vulnerability and risk analysis and indexing. Geneva, 11 – 12 September, 2000. – UNEP: Geneva, 2001. – 12 p.
16. The role of science in physical natural hazard assessment // Report to the UK Government by the Natural Hazard Working Group. – 2005. – 42 p.
17. [http://pulse.webservis.ru/Science/MunichRe/1950 – 2007/](http://pulse.webservis.ru/Science/MunichRe/1950–2007/).
18. Water and disasters. – Geneva: WMO, 2004. – № 971. – 32 p.
19. *Obasi G.O.P.* Mitigation of natural disasters: WMO's contributions to societal needs in the new millennium // Lecture at the 80th Annual Meeting of the American Meteorological Society. – Long Beach, USA, 10 January 2000. – 32 p.
20. *Аніщенко В.Л., Волошин С.М., Колесніченко Ю.Ю., Кронотов П.П. та інші.* Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2009 році. – МНС України, 2009 ([http:// www.mns.gov.ua/content/annual_report_2009.html](http://www.mns.gov.ua/content/annual_report_2009.html)).

Глава 2

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНЫХ КАТАСТРОФ АЗОВО–ЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА

В § 1.2 были перечислены наиболее значимые по негативным последствиям виды стихийных бедствий. Мировая статистика (§ 1.5) в качестве доминирующих природных явлений по нанесенному экономическому ущербу, числу погибших и числу пострадавших людей выделяет тропические штормы, наводнения, землетрясения и засухи. Вполне понятно, что такой перечень наиболее значимых в мире природных катастрофических явлений не позволяет правильно оценить истинное положение дел во всех районах Земли, где доминирующими могут быть совсем другие природные явления.

Рассмотрим, например, ситуацию в России. По данным работы [1] наиболее частыми здесь являются природные катастрофы, связанные с процессами в атмосфере, – бури, ураганы, смерчи, шквалы (28% от общего количества чрезвычайных природных ситуаций) (рис. 2.1). Далее идут землетрясения, которые составляют 24% от общего числа событий. На чрезвычайные ситуации, обусловленные наводнениями, приходится 19% всех событий. Опасные геологические процессы, такие как оползни, обвалы, карстовые провалы, составляют 4%. Другие природные бедствия, среди которых наибольшую частоту возникновения имеют крупные лесные пожары, в сумме дают 25%.



Рис. 2.1. Изменение количества крупных природных катастроф в России в 1990 – 1999 гг., послуживших причиной чрезвычайных ситуаций (по данным МЧС России) [1]

В настоящей главе дана общая характеристика природных катастроф в Азово-Черноморском регионе, в то время как отдельные типы опасных природных явлений более детально будут рассмотрены в следующей главе. Основное внимание уделено событиям, генетически связанным с морской средой и атмосферой.

2.1 Физико-географическая характеристика Азово-Черноморского региона

Азово-Черноморский регион включает Черное и Азовское моря. Выход к Черному морю имеют Болгария, Грузия, Россия, частично признанная Абхазия, Румыния, Украина и Турция (рис. 2.2). Эти моря, соединенные Керченским проливом, – важный район судовых перевозок грузов. Черное море является одной из крупнейших рекреационных зон Евразии.



Рис. 2.2. Черное и Азовское моря [2]

Черное море с запада на восток простирается на 1150 км, с севера на юг его длина составляет 580 км, а в самом узком месте – 265 км. Площадь моря равна 422 тыс. км², объём воды – 547 тыс.

км³. Максимальная глубина моря – 2210 м, средняя – 1240 м, длина береговой линии – 3400 км. В Черное море впадают реки Дунай, Днестр, Южный Буг, Днепр, Риони, Кызыл–Ирмак и др. Площадь водосбора превышает 2 млн. км². На юго–востоке Черное море соединено проливом Босфор с Мраморным морем и далее через пролив Дарданеллы – с Эгейским и Средиземным морями. На северо – востоке Черное море Керченским проливом соединяется с Азовским морем.

Берега Черного моря изрезаны незначительно, а единственным крупным полуостровом является Крымский. Самый крупный остров в Чёрном море – о. Джарылгач, площадью 62 км² (рис. 2.3).

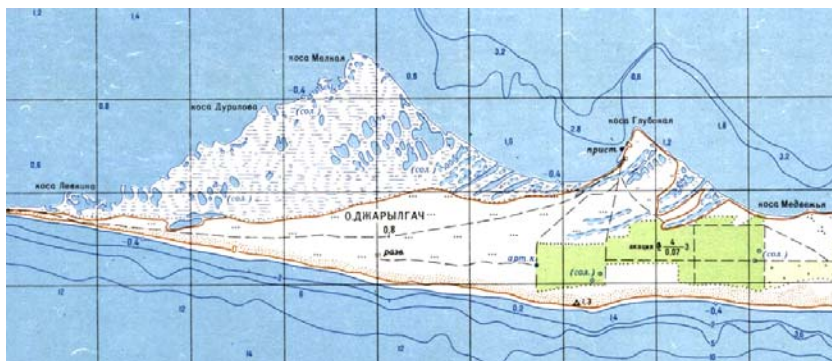


Рис. 2.3. Остров Джарылгач в северо-западной части Черного моря (www.countries.turistua.com)

Остров административно относится к Скадовскому району Херсонской области (Украина) и расположен в 8 км от Скадовска. Невзирая на размеры острова (длина 42 км), он не имеет весомого экономического или стратегического значения. Крупнейшие из остальных островов – о. Березань (при входе в Днепровский лиман) и о. Змеиный (35 км на восток от дельты Дуная), которые имеют площадь менее 1 км² каждый.

В строении рельефа дна Черного моря можно выделить шельф, материковый склон и глубоководную котловину (рис. 2.4). Шельфовая зона глубиной 110 – 160 м имеет наибольшую ширину, превышающую 200 км, в северо-западной части моря. В остальных районах глубина шельфа обычно меньше 110 м, а ширина изменяется от 10 – 15 км до 2,5 км у турецкого побережья.

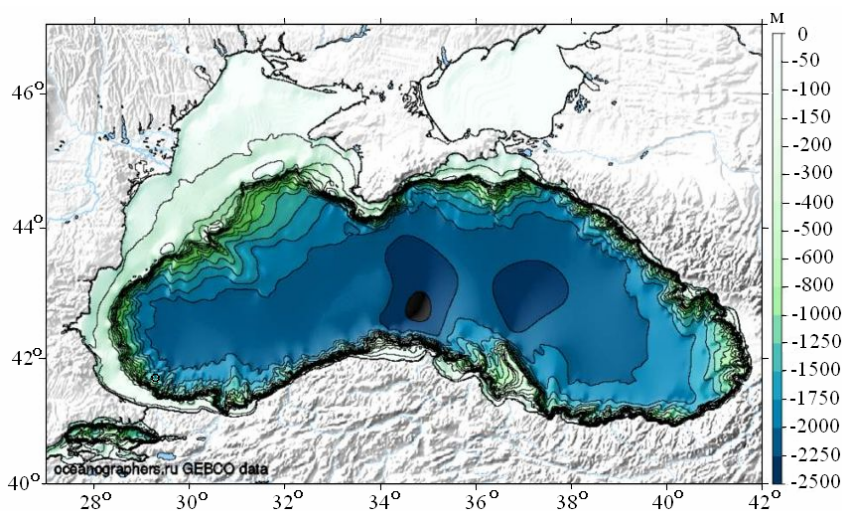


Рис. 2.4. Рельеф дна Черного моря

Льды в Черном море образуются только в очень холодные зимы. Это относится в первую очередь к заливам в северо-западной части моря. Они, как правило, замерзают, ветры неоднократно взламывают лед, образуя торосы высотой до 3 м. В отдельные годы в районе Одессы возникает необходимость в применении ледоколов для вывода судов в открытое море.

Азовское море – самое мелкое море в мире, его глубина не превышает 14 м (рис. 2.5). Оно самое маленькое по площади в СНГ.

Длина моря составляет 343 км, максимальная ширина – 231 км. Протяженность береговой линии Азовского моря достигает 1472 км, а площадь морской поверхности – 37605 км², исключая острова и косы, занимающие около 107,9 км². Объем воды составляет 320 км³.

Строение рельефа дна Азовского моря весьма простое. При удалении от берега глубина моря медленно и плавно нарастает, достигая в центральной части котловины 13,5 м. Основная площадь дна приходится на глубины 5 – 13 м. Область наибольших глубин находится в центре моря. Расположение изобат, близкое к осесимметричному, нарушается небольшой их вытянутостью на северо-востоке в сторону Таганрогского залива. В этом заливе глубины увеличиваются от устья Дона (2 – 3 м) по направлению к открытой части моря, достигая на границе залива с морем 8 – 9 м.

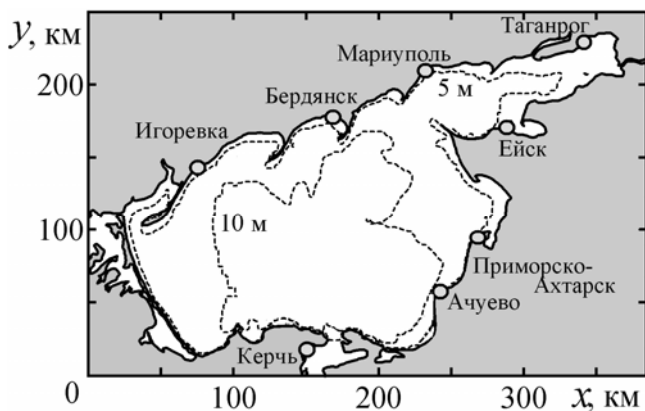


Рис. 2.5. Азовское море

Особенность береговой черты Азовского моря – наличие большого количества кос, то есть песчаных отмелей, выдающихся на десятки километров в открытое море. Крупнейшие косы расположены на северном берегу Азовского моря – это Федотова коса (длина 45 км), Обиточная коса (30 км), Бердянская коса (23 км), Белосарайская (14 км), Кривая (10 км) и Беглицкая косы (3 км). Окончания всех кос, исключая Беглицкую, развернуты на юг и длины кос по мере продвижения на запад значительно увеличиваются. Кроме того, все косы, опять же кроме Беглицкой косы, находятся в устьях рек и являются как бы продолжением их правых берегов.

В Азовское море впадает около 20 рек, включая реки Малый Утлюк, Молочная, Корсак, Лозоватка, Мокрый Еланчик, Миус, Самбек, Дон, Протока, Кубань и др. Площадь водосбора бассейна Азовского моря составляет 586000 км².

Дон – это одна из крупнейших рек европейской части СНГ. Длина реки около 1870 км, а водосборная площадь – 422000 км². Дон ежегодно выносит в море в среднем 28,6 км³ воды. Значительные массы речной воды сильно опресняют Таганрогский залив, а выносимые рекой наносы обмеляют его и ведут к росту дельты реки, которая занимает около 340 км². Скорость роста дельты оценивается в 1 км в 100 лет. Дельта Дона в наши дни начинается в 6 км ниже Ростова-на-Дону, там, где от реки вправо отделяется несудоходный рукав Мертвый Донец.

Зимой, когда вода охлаждается ниже нуля, Азовское море покрывается льдами. Ледостав в иные годы продолжается 4 – 4,5 месяца, с декабря по март. Толщина льда достигает 80 – 90 см. Раньше всего лед появляется в Таганрогском заливе, затем в Утлюкском, Ейском, Бейсугском и Ахтарском лиманах. В зимний период возможно частичное или полное замерзание Азовского моря, при этом лед выносится в Чёрное море через Керченский пролив. Льдообразование характерно для января, но в холодные годы может наступать на месяц раньше.

Волнение в мелководном Азовском море имеет некоторые особенности: высота волн достигает максимума 1,2 – 1,5 м при ветре 6 – 7 баллов и продолжительности около 6 ч, причем волны приобретают заостренную форму и напоминают прибойные. Они опаснее для кораблей, чем более высокие волны на глубокой воде.

2.2 Основные виды природных катастроф в регионе

Перечень морских и атмосферных природных явлений Азово-Черноморского бассейна, которые сопровождались ощутимыми негативными последствиями для экономики и экологии региона, здоровья людей и рекреации, весьма обширен [3, 4]. Он, как и в России, кардинально отличается от приведенного в главе 1 списка наиболее значимых природных катастрофических явлений в мире. К наиболее важным с точки зрения экономической и экологической безопасности Азово-Черноморского региона можно отнести следующие гидрометеорологические явления:

- аномальные подъемы и опускания уровня моря метеорологического происхождения (сгонно-нагонные ветровые и анемобарические колебания уровня моря у берега);

- штормовые ветры, вызванные, в частности, прохождением средиземноморских циклонов;

- штормовые волны;

- цунами, вызванные землетрясениями и/или оползнями;

- тягун в портах;

- сверхдальнее распространение соленых вод в устья рек;

- аномальные ледовые условия и раннее образование припая;

- апвеллинг в летний период года;

- аномальные температуры воздуха и связанные с ними явления (новороссийская бора, крымская бора);

- смерчи на суше и в море, пылевые бури;

- обильные дожди;

- туман над акваторией моря.

В тех случаях, когда магнитуда, площадь воздействия и продолжительность события такова, что оно привело или может привести к человеческим жертвам, существенному экономическому ущербу и/или ощутимым негативным последствиям для экологии региона, явление классифицируется как особо опасное, создающее чрезвычайную ситуацию. Повторяемость явления высокой интенсивности характеризует степень риска для данного района подвергнуться действию этого природного явления.

Нельзя также не упомянуть о достаточно высокой сейсмической активности региона, которая создает потенциальную опасность сильных землетрясений на суше и под дном Черного моря [5].

Кроме этого, морская вода в Черном море глубже 150 – 200 м «заражена» сероводородом, концентрация которого у дна достигает 11– 14 мл·л⁻¹. Поэтому основная толща моря не содержит живых организмов, за исключением ряда анаэробных серных бактерий. Считается, что сероводород в Черном море образуется, главным образом, в результате жизнедеятельности сульфатредуцирующих бактерий, резко выраженной вертикальной стратификации воды и слабого вертикального обмена. Может ли произойти выход сероводорода из моря в атмосферу и привести к заражению региона? Вопрос о том, насколько реальна такая природная катастрофа в зоне Черного моря, обсуждается в следующей главе.

2.3 Статистика гидрометеорологических катастроф

Для определения статистических характеристик природных катастроф гидрометеорологической природы необходимо располагать соответствующей базой данных о произошедших за определенный период (желательно большой) опасных явлениях в море и атмосфере. В настоящее время она отсутствует по многим типам природных катастроф.

В конце 90-х годов Морским отделением УкрНИГМИ (Севастополь) была собрана база данных о числе различных особо опасных гидрометеорологических явлений в Азово-Черноморском бассейне (включая устья рек) за период с 1990 по 1996 гг. Она включает 111 гидрометеорологических событий.

Обобщенные данные о числе особо опасных гидрометеорологических явлений в Азово-Черноморском бассейне (включая устья рек) за шестилетний период наблюдений приведены на рис. 2.6.

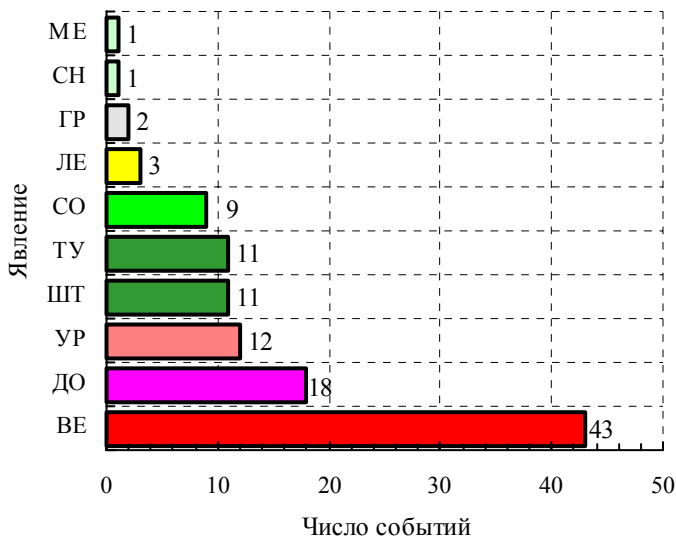


Рис. 2.6. Число особо опасных гидрометеорологических явлений, зарегистрированных в 1990 – 1996 гг. подразделениями Госкомгидромет Украины в Азово-Черноморском регионе:

ВЕ – ветер; ДО – дождь; УР – подъем или опускание уровня моря; ШТ – шторм; ТУ – туман; СО – вхождение соленых вод в устья рек; ЛЕ – раннее образование льда; ГР – град; СН – снег; МЕ – метель

Лидерами опасных природных явлений в этот период были: сильные ветры (39%), обильные дожди (16%), подъемы и/или опускания уровня моря выше и ниже критических отметок (11%), штормовые волны (10%) и туманы (10%). При отборе событий использовались критерии особо опасных гидрологических и метеорологических явлений, приведенные в табл. 1.15. Ясно, что этот перечень доминирующих явлений существенно отличается от приведенного в главе 1 по всемирным данным.

2.4 География природных катастроф в регионе

Все районы Азово–Черноморского региона подвергались в различные периоды времени воздействию тех или иных опасных природных явлений [3]. Ограничимся только краткой характеристикой географического распространения некоторых типов таких явлений. Их более полная характеристика будет дана в следующей главе.

Аномальные колебания уровня Черного и Азовского морей. По данным срочных наблюдений в 1923 – 1995 гг. наиболее высокие и самые низкие положения уровня наблюдаются в районе северо-западного шельфа Черного моря [6]. Здесь размах колебаний уровня моря достигает 2,75 м. Особенно велик он в районе Одессы, что в сочетании с процессом тектонического оседания суши приводит к затруднениям хозяйственной деятельности.

Обычно самые низкие и самые высокие положения уровня связаны со сгонно-нагонными процессами, вызванными штормовыми ветрами. В районе Одессы под влиянием северо-восточных штормовых ветров возникают устойчивые течения, направленные на запад. Они создают нагон в устьях Дуная и Днестра. Ветер противоположного направления вызывает сгон.

Разность абсолютных экстремумов уровня составляет около 3 м и уменьшается в восточном направлении. У берегов Крыма она менее 1 м, у берегов Кавказа возрастает до 1,5 – 2 м. Наиболее значительные сгонно-нагонные колебания уровня наблюдаются в осенне-зимний период в западном и северо-западном районах Черного моря.

Опасные сгонно-нагонные колебания уровня Азовского моря довольно частое явление [7]. Они приводят к нарушениям судоходства, разрушению судов и строений, затоплению прибрежных территорий [3]. Событие в конце октября 1969 г. в юго-восточной части

моря относится к одному из наиболее значительных: в районе Темрюка суша была затоплена на 17 км вглубь территории, а подъем уровня превысил 5 м.

Штормовые ветры и сопутствующие им *штормовые волны* входят в первую четверку доминирующих в регионе опасных природных явлений (см. рис. 2.6). Северо-восточная часть Черного моря характеризуется наиболее интенсивной штормовой деятельностью. По данным работы [8] большие скорости ветра отмечаются практически на всех участках побережья Черного моря и во все сезоны года. Тем не менее, выделяются зоны повышенной ветровой активности, где среднегодовое значение скорости ветра превышает $5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ (Мысовое, Тамань, Анапа). Однако самые сильные ветры наблюдаются над открытой частью моря, а также в районе Новороссийска ("новороссийская бора") и в Керченском проливе [9].

Азовское море относится к числу "беспокойных" внутренних морей, где в среднем в год число дней со штормовыми ветрами достигает 40 – 60 на западе моря и 80 – 100 на востоке [7].

Шторм 11 ноября 2007 г. стал причиной беспрецедентной серии кораблекрушений и других чрезвычайных событий в Азовском и Черном морях: за один день затонули пять судов, включая три сухогруза с серой и танкер с мазутом; еще четыре судна сели на мель. Скорость ветра в Керченском проливе достигала $32 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, а волнение моря – 6 – 7 баллов (волны высотой 4 – 9 м, см. табл. 1.14). В Бердянске подтоплено более 80 домов. На рис. 2.7 приведена фотография штормовых волн в Севастопольской бухте.



Рис. 2.7. Шторм 11 ноября 2007 г. в Севастополе (фото В. Кокорина)

По данным работы [10] волны высотой 5 м и более наблюдаются в Черном море достаточно редко и составляют всего 10% от общего числа штормов. Ещё реже высота волн достигает 6 м и более (критерий опасного природного явления, см. табл. 1.15). За 1954 – 2008 гг. в Азово-Черноморском бассейне наблюдалось только 8 случаев волнения, достигших этого уровня. Шесть из них зафиксированы на Херсонеском маяке, а два случая – на гидрометеорологической станции Ялта. На юго-западе Крымского побережья наибольшая высота волн 7,3 м отмечена 10 ноября 1981 г. и несколько меньше (7,0 м) – 21 ноября 1960 г. На Южном берегу Крыма высота волн 6 м наблюдалась (Ялта) 6 января 1969 г. и 10 марта 1970 г.

Вхождение соленых вод в устья рек. Явление неоднократно наблюдалось в устьях рек юга Украины, впадающих в Черное море, а также в реке Кубань, впадающей в Азовское море. Оно сопровождается нарушениями водоснабжения населенных пунктов и орошаемых сельскохозяйственных угодий, гибелью некоторых видов речных организмов, негативными последствиями для экологии региона.

Исключительно дальнейшее проникновение соленой воды в устье Южного Буга наблюдалось 4 сентября 1986 г. Анализ распределения солености в Днепро-Бугском лимане (выполнен Морским отделением УкрНИГМИ в Севастополе) показал, что вода с соленостью 8‰, а это в 2,7 раза больше порогового значения 3‰, достигла Николаева. Соленость воды в поверхностном слое колебалась в пределах 0,65 – 6,62‰. Наиболее соленая вода располагалась в центральной части лимана. В придонной области халоклин распространился в устьевой участок реки на 7,6 км. В целом, соленая вода поднялась по Южному Бугу на 23 км и это вызвало прекращение водоснабжения населенных пунктов и орошения сельскохозяйственных угодий.

Второй случай (7 – 9 сентября 1994 г.) – типичен для региона. В этот период проявилось влияние на распределение солености в Днепро-Бугской устьевой области пониженного стока Днепра. При слабых ветрах ($2 - 7 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$) переменных направлений (С, Ю, ЮВ) попуски Каховской ГЭС колебались от 508 до $561 \text{ м}^3\cdot\text{с}^{-1}$, что ниже среднемноголетнего за сентябрь в 1,4 раза. Соленость в устьевой области в поверхностном слое изменялась в пределах 0,31 – 1,1‰. В это же время у дна соленость резко возрастает, достигая 8,33‰ на мористом участке дельты Днепра. В придонном слое вода с соленостью более 1‰ распространилась в устье Днепра на 18 км. В целом в придонном слое халоклин проник вверх по реке на 27,7 км.

Аномальные ледовые условия – нередкое явление для северо-западной части Черного моря и акватории Азовского моря [3, 9] (рис. 2.8). Отмечены случаи проникновения льдов в пролив Босфор и полного нарушения судоходства в Азовском море. По оценке Морского отделения УкрНИГМИ, основанном на анализе данных за период с 1926 по 1995 гг., аномальные ледовые сезоны с угрозой для безопасности мореплавания случаются в северо-западной части Черного моря не реже одного раза в 10 лет. Наиболее суровыми были зимы 1929, 1954 и 1985 гг.



Рис. 2.8. Аномальные ледовые условия в районе Одессы в январе 2010 г.

Сейсмичность Черноморской впадины по данным за 1900-1986 гг. описана в работах [5, 11]. Наиболее разрушительными землетрясениями XX века в Крыму остаются Ялтинские события 26 июня и 11 сентября 1927 г. с магнитудами $M=6,3$ и $6,9$ соответственно и эпицентрами в Крымской сейсмоактивной зоне. Землетрясения привели к разрушениям вдоль всего Южного берега Крыма, особенно в районе Ялты.

Информация о Ялтинских землетрясениях содержится в работе [12]. В последующие годы два наиболее сильных подводных землетрясения с магнитудой $M = 6,0$ произошли в 1945 и 1951 гг. в западной части моря [5].

Черноморские цунами возбуждались сейсмическими источниками в море и на суше. Это явление за последние два тысячелетия наблюдалось вдоль побережья Черном море около двух десятков раз. Для четырех землетрясений XX века цунами с высотами до 1 м зарегистрированы мареографами на Крымском и Кавказском участках побережья Черного моря. Некоторые цунами древних времен по описательной информации имели высоты до 3 – 5 м и были разрушительными. Общая характеристика черноморских цунами дана в работах [13 – 15] и будет обсуждаться в деталях в следующей главе.

Измитское землетрясение магнитудой 7,6 в Турции 17 августа 1999 г. и сопутствующее ему цунами были наиболее сильными событиями последних десятилетий в районах, непосредственно прилегающих к Черному морю. Оно было самым разрушительным для Турции за последние 100 лет [16]. В результате землетрясения погибло 17217 человек, 43959 было ранено, около 500000 человек остались без крова.

Этот район Турции с 1976 г. считается потенциально опасным с точки зрения возможных землетрясений. На берегах Измитского залива сильное землетрясение произошло также в 1719 г. и его энергия была, по оценкам указанной выше работы, в 10 – 15 раз больше, чем у Измитского события. Оба события связаны с проскальзыванием тектонических блоков вдоль Северо-Анатолийского разлома (рис. 2.9).

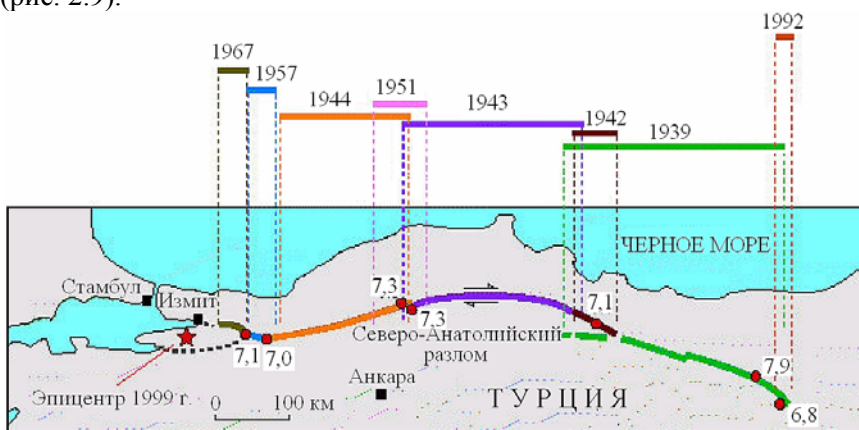


Рис. 2.9. Схема миграции очагов сильнейших землетрясений XX в. и сопровождающих их разрывов вдоль Северо-Анатолийского разлома (<http://earthquake.usgs.gov/research/geology/turkey>)

Измитское землетрясение только очередное и не последнее разрушительное сейсмическое событие в цепи землетрясений вдоль этого разлома, указанных на рис. 2.9. Следующее сильное землетрясение можно ожидать в районе Стамбула в течение 25 – 50 лет [16].

Измитское землетрясение сопровождалось цунами: по оценкам международной экспертной группы, обследовавшей место события (<http://www.usc.edu/dept/tsunamis/turkey/>), максимальные заплески волн цунами составили 2,5 м вдоль северного побережья залива и 1 – 2 м вдоль его южного берега. Конечно, на фоне катастрофических разрушений это явление не было ярко выраженным.

Грязевой вулканизм. Грязевые вулканы широко распространены во многих регионах Земли, но преимущественно в нефтегазоносных районах [17]. На земном шаре известно более 700 грязевых вулканов, что сопоставимо с числом (около 800) ныне действующих магматических вулканов. Грязевые вулканы зафиксированы в пределах Альпийского, Гималайского и Тихоокеанского подвижных поясов. Они широко развиты в Азербайджане, Ставропольском и Краснодарском краях, Туркмении, Дагестане, Грузии, в Крыму (рис. 2.10), в Черном и Азовском морях.



Рис. 2.10. Грязевой вулкан в Крыму
(Булганакские грязевые вулканы, <http://warg – lair.ya.ru/>)

Керченско-Таманская область относится к классическим областям развития современного грязевого вулканизма и по масштабам проявления занимает после Азербайджана второе место в мире. На Керченском полуострове более 50 действующих вулканов. Сопки действуют постоянно, не прекращая испускают грязь, таким образом

страхуя себя от бурных извержений. Только изредка грязь бьет фонтаном, но высота его не превышает 10 м.

Джау-Тепе – самая большая в этом районе грязевая сопка высотой 60 м. Это вулкан периодического действия. Его название на крымско-татарском языке означает "вражья гора". В XVII веке Джау-Тепе уничтожил целый поселок. Сильное извержение было в 1914 г.: грязь фонтанировала до высоты 40 – 60 м, а затем спускалась по склону потоком шириной 120 м и толщиной 2 м. Последний раз Джау-Тепе извергался в 1942 г.

Восходовский вулкан после извержения в 1930 г. молчал 52 года. А в марте 1982 г. снова началось его извержение. Кроме извержения было еще и легкое землетрясение. Во время извержения вулкан выбросил столько грязи и камней, что нарушилось железнодорожное сообщение.

Грязевые вулканы существуют в зоне Черного моря, прилегающей к Керченско-Таманской области с юга. Не очень давно грязевая вулканическая активность обнаружена в глубоководной части Черного моря к югу и юго-западу от Крымского п-ва [18, 19].

Тягун в портах проявляется в сильных колебаниях уровня моря в бухтах. Он приводит к горизонтальным перемещениям судов у причалов и представляет опасность для них. Явление может наблюдаться в даже хорошо защищенных от внешних волн портах в периоды высокой атмосферной активности. В Черном море это явление отмечено в 12 портах: Туапсе, Сочи, Поти, Батуми, Самсун, Гиресун, Бургас, Варна, Констанца, Ильичевск, Ялта, Феодосия и в некоторых Севастопольских бухтах [20, 21]. Наиболее часто тягун наблюдается в зимний период.

Сероводородное заражение Черного моря. Воды Черного моря обладают весьма редкой особенностью: ниже горизонта 60–150 м практически по всей акватории моря располагается зона сероводородного заражения [22]. Ближе всего к поверхности моря ее верхняя граница располагается в центральных районах восточной и западной частей моря. Критерий катастрофичности для этого явления (критическая глубина залегания верхней границы сероводородной зоны, при которой возможна угроза химического заражения региона при выходе сероводорода в атмосферу) не определен.

Бора – холодная масса воздуха с резким фронтом, свергающаяся мощным потоком с гор. Явление наблюдается на Кавказском побережье между Анапой и Туапсе и известно как новороссийская

бора [3] (рис. 2.11). Такие события нарушают судоходство и функционирование хозяйственных объектов, что приводит к значительным экономическим потерям.

В Новороссийской бухте бора наблюдается в среднем 46 дней в году с максимумом событий в ноябре. Из этих дней половина характеризуется ветром со скоростью не менее $20 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Максимальная скорость северо-восточного ветра при боре в Новороссийске составляет $40 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, на Мархотском перевале (высота около 400 м), со стороны которого бора обрушивается на город, $60 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ и более. Продолжительность боры – 1 – 3 сут., но иногда достигает 7 – 10 сут.



Рис. 2.11. Приближение новороссийской боры (фото И. Торгачкина)

Аналогичное, но более слабое явление, регулярно возникает к югу от Крымских гор. Этот вывод получен специалистами Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова на основе данных многолетних измерений (с 1936 г.) в районе Южного берега Крыма.

Смерчи наиболее часто наблюдаются вдоль Кавказского побережья Черного моря. Смерч – это атмосферный вихрь, в котором происходит постоянное вращение воздуха против часовой стрелки с подъемом воздуха вверх. Обычно смерчи появляются при грозе.

Часть тучи начинает вытягиваться вниз воронкой, которая все время вращается вокруг своей оси. Навстречу ей снизу поднимается столб водяных брызг, произведенных сильным круговым движением воздуха. Наконец, обе части смерча смыкаются и он, продолжая вращаться, движется вперед. Иногда смерчи выходят на сушу или даже возникают на ней. Внутри такого вихря давление понижено.

Смерч причиняет катастрофические разрушения вследствие весьма значительной силы ветрового напора и большой разности давления в нем и окружающем пространстве. Сильный смерч в 1991 г. в районе Туапсе привел к разрушению ряда поселков [3]. Смерчи зафиксированы в различных частях Черноморского региона, включая район Севастополя (рис. 2.12).



Рис. 2.12. Смерчи в районе Судака 18.05.2009 г. (верхний ряд, слева), в Сакском районе Крыма 1.10.2009 г. (верхний ряд, справа), на входе в Севастопольскую бухту 7.08.2002 г. (нижний ряд, слева), в районе Сочи 1.10.2009 г. (нижний ряд, справа)

Пылевые бури отмечены в зоне Азовского моря и на юге Украины [3]. Они сопровождаются гибелью сельскохозяйственных культур и ухудшением плодородия земель. Выпадение осадков в Азовское море, связанное с черными бурями, по оценкам составляет около $4 \text{ мм} \cdot \text{год}^{-1}$.

Одна из пылевых бурь произошла весной 2007 г. на юге Украины. Буря и ураганный ветер начались 23 марта и продолжались около 2 дней. В результате этого стихийного события, пострадали производители озимых зерновых культур, а также фермеры, занимающиеся выращиванием ранней плодоовощной продукции в Херсонской и Николаевской областях, в АР Крым. Ветер выдул недавно посеянные семена и занес посевы толстым слоем песка. Убытки от пылевых бурь в хозяйствах южных регионов Украины оцениваются в 20 млн. грн. Больше всего от пылевых бурь пострадала Херсонская область, убытки в которой оцениваются в 14 млн. грн.

Туманы. В Крыму наиболее часто туманы бывают зимой и весной, реже осенью и очень редко – летом [23]. На территории полуострова туманы распределяются крайне неравномерно. В среднем за год на Южном берегу бывает 10 – 20, в степных районах – 25 – 35, в предгорье – 50 – 80 туманных дней. В горах в связи с охлаждением воздуха при его подъеме по наветренным склонам, а также за счет облаков, стелющихся у поверхности вершин, число дней с туманами возрастает до 180 – 200 в год.

В отдельные годы число дней с туманами превышает многолетнюю среднюю норму на 200 – 300%, в другие – составляет только 20 – 30% нормы. Продолжительность тумана зависит от его типа. Адвективные туманы, приходящие в Крым с Атлантического океана, Средиземного и Черного морей, в 20% случаев сохраняются более 12 ч, в 9% случаев – более суток. Иногда в равнинной части Крыма и в горах они продолжаются 80 – 85, на Южном берегу – 30 – 40 ч. Такие продолжительные туманы наблюдаются обычно зимой.

Наиболее часто туманы над Черным морем возникают в апреле-мае и в конце осени. В весенние месяцы температура поверхностного слоя воды ниже температуры воздуха над ним, наблюдается сравнительно высокая относительная влажность и небольшие скорости ветра.

Северо-западный район характеризуется наибольшим на Черном море числом дней с туманом (38 – 60 сут). Средняя суммарная продолжительность туманов за год по данным станций северо – за-

падного района равна: в Очакове – 358 ч, на станции Тендровский маяк – 272 ч, в Одессе – 242 ч. На остальных станциях этого района средняя суммарная за год продолжительность туманов обычно не превышает 200 ч.

Чаще всего туман – явление неблагоприятное. Он нарушает авиaperевозки, поскольку для безопасного взлета видимость на полосе должна быть не менее 500 м. Опасен туман и для автомобильного транспорта. В дни с туманами число аварий в среднем в 2,5 раза больше, чем в обычные дни. В дни с туманами при видимости 200 м скорость автотранспорта не должна превышать $40 - 50 \text{ км}\cdot\text{ч}^{-1}$, и $20 - 30 \text{ км}\cdot\text{ч}^{-1}$ при видимости 100 м.

Пример сильного тумана – туман 16 – 17 марта 1993 г. Явление наблюдалось в северо-западной части Черного моря. Наибольшей интенсивности туман достиг в районе Белгорода-Днестровского, где он продолжался с 17 ч 20 мин 16 марта до 12 ч 20 мин 17 марта. Видимость уменьшилась до 50 м. Работы в порту были прекращены, остановилось судоходство. Такие туманы здесь образуются чаще всего при малоградиентном барическом поле, обладающем в это время года.

Второй пример – сильный туман 27 января 2009 г. в Одессе (рис. 2.13). В международном аэропорту «Одесса» отменены рейсы, а в морском порту приостановлены швартовые работы, выход судов из порта прекращен до улучшения погодных условий. Увеличилось число дорожно-транспортных происшествий.



Рис. 2.13. Туман в Одесском порту в конце января 2009 г.

Литература к главе 2

1. *Осипов В.И.* Природные катастрофы на рубеже XXI века // Вестник Российской АН. – 2001. – 71, № 4. С. – 291 – 302.
2. http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/52/Black_Sea_map.png/786px-Black_Sea_map.png
3. *Шнюков Е.Ф., Митин Л.И., Цемко В.П.* Катастрофы в Черном море. – Киев: Манускрипт, 1994. – 296 с.
4. *Доценко С.Ф., Иванов В.А.* Возможные источники и механизмы формирования повышенной гидродинамической активности на шельфе Черного моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ – Гидрофизика», 2005. – Вып. 13. – С. 73 – 94.
5. *Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е.* Сейсмичность Черноморской впадины // Геофизический журнал. – 1991. – № 3. – С. 14 – 19.
6. *Горячкин Ю.Н., Иванов В.А.* Уровень Черного моря: прошлое, настоящее и будущее. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2006. – 210 с.
7. *Шереметевская О.И.* Сгонно-нагонные колебания уровня Азовского моря, методы их расчетов и прогнозов. – Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1977. – 39 с.
8. *Репетин Л.Н., Белокопытов В.Н.* Режим ветра над побережьем и шельфом северо-восточной части Черного моря // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2008. – Вип. 257. – С. 84 – 105.
9. Проект "Моря СССР". Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. IV. Черное море. Вып. 1. Гидрометеорологические исследования. – С.-Петербург: Гидрометеоиздат, 1991. – 429 с.
10. *Воскресенская Е.Н., Наумова В.А., Евстигнеев М.П., Евстигнеев В.П.* классификация синоптических процессов штормов в Азово-Черноморском бассейне // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2008. – Вип. 257. – С. 84 – 105.
11. *Чекунов А.В.* Сейсмическая эмиссия и разноэтажная тектоника в Черноморском регионе // Доклады АН УССР. Сер. Б. – 1990. – № 11. – С. 27 – 31.
12. *Скляр А.М., Князева В.С., Королев В.А.* Макросейсмический эффект землетрясений 26 июня и 11 сентября 1927 года в Крыму //

- Сейсмологический бюллетень Украины за 1998 год. Симферополь: ИГФ НАН Украины, 2000. С. 90 – 119.
13. Соловьева О. Н., Доценко С. Ф., Кузин И. П., Левин Б. В. Цунами в Черном море: исторические события, сейсмические источники и закономерности распространения // Океанология. – 2004. – 44, № 5. – С. 679 – 685.
 14. Yalçiner A., Pelinovsky E., Talipova T. et al. Tsunami in the Black Sea: comparison of the historical, instrumental and numerical data // J. Geophys. Res. – 2004. – 109, № C12023. – 13 p.
 15. Доценко С.Ф., Ингеров А.В. Характеристики черноморских цунами по данным измерений // Морской гидрофизический журнал. – 2007. – № 1. – С. 21 – 31.
 16. Никонов А.А. Сейсмическая катастрофа в Турции // Природа. – 1999. – № 11. – С. 3 – 9.
 17. Шнюков Е.Ф., Гнатенко Г.И., Нестеровский В.А., Гнатенко О.И. Грязевой вулканизм Керченско–Таманского региона. – Киев: Наукова думка, 1992. – 200 с.
 18. Иванов М.К., Конюхов А.И., Кульницкий Л.М., Мусатов А.А. Грязевые вулканы в глубоководной части Черного моря // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. – 1989. – № 3. – С. 48 – 54.
 19. Геология Черного моря (По результатам геологических и геофизических исследований 5-го рейса НИС “Киев”). – Киев: ОМГОР ННПМ НАН Украины, 1997. – 189 с.
 20. Рабинович А.Б. Длинные гравитационные волны в океане: захват, резонанс, излучение. – С.-Петербург: Гидрометеиздат, 1993. – 325 с.
 21. Манилюк Л.С., Балинец Н.А. Тягун в портах Черного моря // Метеорология и гидрология. – 2005. – № 9. – С. 120 – 123.
 22. Eretneev V.N., Suvorov A.M., Godin E.A., Khaliulin A.Kh., et al. Hydrochemistry and dynamics of H₂S zone in the Black Sea. – UNESCO: Paris, 1996. – 150 p.
 23. Вахов В.И. Целебный климат. – Симферополь: Таврия, 1979. – 80 с.

Глава 3

ОПАСНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В АЗОВО- ЧЕРНОМОРСКОМ РЕГИОНЕ

В настоящей главе рассматриваются наиболее важные для Азово-Черноморского региона природные явления, представляющие потенциальную опасность для населения, хозяйственных объектов и экологии. Основное внимание уделено опасным явлениям в морской среде и атмосфере. Частично затронуты проблемы пожаров и оползней Крымского региона. Краткая характеристика некоторых из этих явлений была изложена в предыдущей главе.

3.1 Сгонно-нагонные колебания уровня Черного и Азовского морей

Колебания уровня Черного и Азовского море охватывают периоды от нескольких минут до тысячи и более лет [1].

Долгопериодные колебания уровня морей с характерными периодами геологического масштаба (тысячи и миллионы лет), обусловлены как изменениями массы воды в Мировом океане, так и медленными движениями литосферы Земли. Размах таких колебаний достигает десятков метров.

Межгодовые колебания уровня отражают изменчивость полей в атмосфере на таких же временных масштабах. Они проявляются в изменениях суммарного стока рек. Размах таких колебаний достигает 30 см.

Сезонные (внутригодовые) колебания уровня моря вызваны изменением водной массы бассейна, плотности воды и сезонными колебаниями атмосферного давления. Наиболее высокое положение уровня обычно приходится на лето, когда эти факторы ведут к повышению уровня моря: меньшее атмосферное давление, высокие температуры морской воды, весеннее половодье рек. Зимой эти же факторы способствуют понижению уровня. Сезонные колебания уровня моря оцениваются в 20-30 см.

Атмосферные процессы вызывают синоптические колебания уровня, которые проявляются в сгонно-нагонных процессах. Размах таких колебаний в Черном море может достигать 1 м и более. Сгонно-нагонные колебания уровня связаны с перемещением масс морской воды, при этом средний уровень моря не изменяется. То же са-

мое касается и мезомасштабных колебаний, к которым можно отнести сейши, приливы и инерционные колебания. Размах сейш может достигать первых десятков сантиметров. Экстремальные сгоны и нагоны отмечены в Таганрогском заливе.

Приливные колебания уровня в замкнутом Черном море в основном не превышают 10 см. Инерционные колебания уровня моря, как правило, невелики: они оцениваются в несколько сантиметров.

Наиболее характерными причинами, приводящими к образованию сгонно-нагонных колебаний уровня в Черном и Азовском морях, являются проходящие над регионом циклоны, бризы и сезонные изменения поля ветра. Сезонные сгонно-нагонные колебания уровня определяются годовым ходом ветров разных направлений и, в зависимости от географического положения района, приобретают довольно устойчивый, однако повсеместно различный характер. Бризовые сгонно-нагонные колебания обычно имеют небольшой (до 3 см) размах и отмечаются в августе – сентябре (месяца наибольшего развития бризов). Амплитуда сезонных сгонно-нагонных колебаний превышает амплитуду бризовых колебаний.

Максимальные сгонно-нагонные поднятия и понижения уровня на побережье Черного моря вызывают проходящие над морем циклоны. Для Черноморского региона выделены следующие наиболее характерные типы циклонов:

- ныряющие циклоны, приходящие из северной Европы и движущиеся над морем в юго-восточном направлении;
- северные циклоны, зарождающиеся над северо-западным побережьем России и смещающиеся затем в южном направлении;
- южные циклоны, проходящие над морем в северо-восточном или в северном направлениях.

Для указанных циклонов характерны следующие диапазоны изменения их параметров: радиус 300-600 км, скорость перемещения $5-15 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, перепад давления между центром и периферией 5-20 гПа.

С точки зрения возможных природных катастроф наибольший интерес представляют экстремальные характеристики сгонно-нагонных колебаний уровня Черного [1] и Азовского [2] морей.

Экстремальные характеристики сгонно-нагонных колебаний уровня Черного моря. Для определения экстремальных характеристик уровня в качестве исходных использованы срочные данные наблюдений за период 1923 – 1995 гг. на постах, перечисленных в табл. 3.1. Данные получены в пунктах, расположенных не только на

побережье, но и в устьях рек, поскольку такие данные имеют практическое значение.

Представление об абсолютных экстремумах уровня, когда-либо наблюдавшихся в Черном море, и их пространственном распределении дает рис. 3.1, на котором представлены данные срочных наблюдений на гидрометеорологических постах, перечисленных в табл. 3.1.

Таблица 3.1
Список постов, данные которых использованы для получения экстремальных срочных значений уровня Черного моря

№	Гидрометеорологический пост	№	Гидрометеорологический пост	№	Гидрометеорологический пост
1	Вилково	12	Николаев	23	Судак
2	Прорва	13	Станислав	24	Феодосия
3	Приморское	14	Касперовка	25	Анапа
4	Цареградское гирло	15	Прогнойск	26	Новороссийск
5	Белгород-Днестровск	16	Хорлы	27	Геленджик
6	Ильичевск	17	Черноморское	28	Туапсе
7	Одесса-порт	18	Евпатория	29	Сухуми
8	Лиманы	19	Севастополь	30	Поти
9	Очаков	20	Балаклава	31	Батуми
10	Аджигол	21	Ялта		
11	Парутино	22	Алушта		

Судя по данным, представленным на рис. 3.1, выделяется район северо-западного шельфа, где отмечаются как наиболее высокие, так и наиболее низкие положения уровня, что дает размах колебаний до 2,75 м. Особенно велик размах колебаний в районе Одессы, что в сочетании с процессом тектонического оседания суши затрудняет хозяйственную деятельность в этой зоне.

Разница экстремальных значений уменьшается в восточном направлении. У берегов Крыма она составляет 1 м и менее, у кавказского побережья она возрастает до 1,5-2 м. Как правило, процесс сгон-нагон – кратковременный, что делает его опасным для хозяйственной деятельности в зоне береговой черты.

Так, в Одессе 26 ноября 1964 г. уровень моря в течение 7 ч упал на 1,75 м. Такие случаи бывают нечасто, но подъемы или опускания уровня моря на 1 м – обычные события для северо-западной части Черного моря. Наиболее значительные сгонно-нагонные колебания уровня Черного моря отмечаются осенью и зимой на западном и северо-западном участках морского побережья.

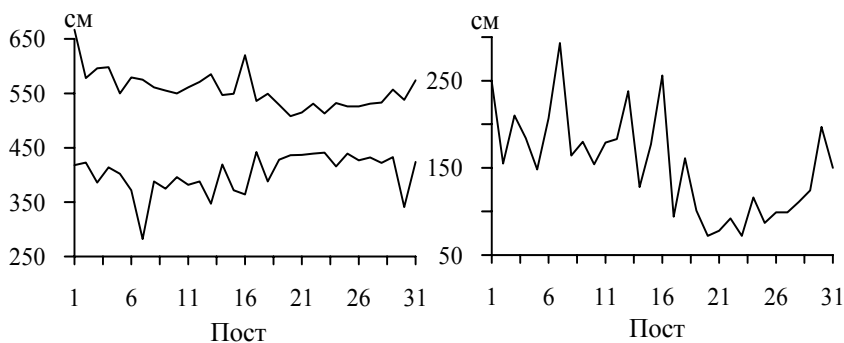


Рис. 3.1. Максимальные и минимальные значения уровня Черного моря (слева) и их разность (справа) для различных гидрометеорологических постов по данным срочных наблюдений [1]

Распределение максимальных и минимальных срочных значений уровня обнаруживает следующие закономерности. Для максимальных срочных значений наибольшие величины характерны для первой половины года в районе Вилково – Белгород-Днестровский, при этом особенно большие величины отмечаются в ноябре-декабре в районе Одессы. В этот же период сгущение изолиний выделяется в районе Поти. Зимой повышенные значения смещений уровня характерны для района Хорлы. Наименьшие минимальные значения уровня типичны для районов Одесса – Очаков, Станислав – Хорлы и Поти в зимний период.

По характеру распределения разницы между экстремумами срочных значений уровня северное побережье моря довольно четко разделяется на две части (рис. 3.2). Максимальные значения уровня в течение всего года наблюдаются в западной части черноморского бассейна (Вилково – Черноморское), минимальные – в центральной и восточной частях (Евпатория – Поти). При этом, с октября по апрель в западной части моря разница значений уровня составляет 120 – 160 см. Она сравнительно мало изменяется по пространству, а с мая по сентябрь равна 80-120 см. В восточной и центральной частях бассейна изменения уровня как по пространству, так и со временем относительно невелики и составляют 60-80 см. Более высокие значения уровня характерны для Поти.

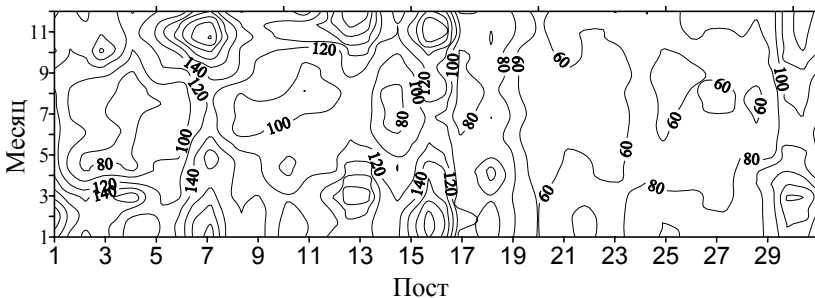


Рис. 3.2. Разница (см) между максимальными и минимальными срочными значениями уровня в различных пунктах побережья Черного моря [1]

Сгонно-нагонные колебания могут сопровождаться подъемом глубинных холодных вод моря. В рекреационных зонах Черноморского побережья подобные события имеют крайне негативные экономические последствия. Яркий пример – это сгонно-нагонные колебания уровня Черного моря в конце августа – начале сентября 1947 г., охватившие побережье от Одессы до Батуми [3]. Температура воды в Одессе понизилась за это время с 19,5 до 10,9°, в Кацевели – с 22,3 до 8,8° С, в Ялте – с 22,3 до 9,4° С, в Феодосии – с 18,3 до 11,4° С, в Сочи – с 26,3 до 19,7° С, в Батуми – с 27,5 до 22,1° С.

Средние и экстремальные характеристики сгонно-нагонных колебаний уровня Азовского моря. Средний уровень Азовского моря, как правило, выше на несколько сантиметров уровня Черного моря, что вызвано различиями в плотности воды и непрерывным притоком речных вод. На концах Керченского пролива разница уровней составляет $\approx 2 - 3$ см. Чем ближе к Таганрогскому заливу, тем больше становится разница, особенно весной и летом, когда наиболее значительны речной сток и осадки.

Кроме этого, средний уровень Азовского моря могут изменять ветры. Так, при сильных южных ветрах в это море поступает значительное количество черноморской воды, поскольку уровень Черного моря у Керченского пролива повышается, а уровень Азовского понижается. Кроме этого, из – за ветра происходит значительное поднятие уровня моря в Таганрогском заливе, что связано с его сужения в направлении устья Дона. Размах сгонно-нагонных колебаний

уровня в северо-восточной части залива может достигать 4,5 м и более.

Сезонные изменения уровня в Азовском море характеризуются обычно максимумом в июне и минимумом в октябре. Это соответствует времени наиболее интенсивного поступления в море речных вод, осадков и испарением самого Азовского моря, а отчасти и с изменением уровня Черного моря. Средний размах колебаний уровня в южной части Азовского моря около 32 см. Колебания уровня в течение года близки к изменениям уровня Черного моря. В последние годы отмечена тенденция к понижению уровня Азовского моря вследствие роста солености и падения речного стока.

Сгонно-нагонные колебания уровня Азовского моря настолько сильно выражены, что даже на средних многолетних масштабах проявляются в наклоне плоскости поверхности моря вдоль осей симметрии Таганрогского залива и собственно моря. Перепад уровня Азовского моря от вершины Таганрогского залива до Керчи составляет в среднем 16 см. Этот квазистационарный наклон уровня вызван, в основном, преобладающими над Азовским морем северо-восточными и восточными ветрами, суммарная повторяемость которых за год составляет 35-45%, а зимой и осенью – 35-52%.

Сгонно-нагонные колебания уровня подвержены быстрой изменчивости во времени и по акватории моря. Между тем число гидрометеорологических постов вдоль морского побережья (рис. 3.3), в которых проводятся наблюдения за уровнем, не столь велико и не на всех из них установлены мареографы, обеспечивающие удовлетворительную дискретность измерений по времени. Срочные наблюдения во всех пунктах выполняются 4 раза в сутки.

В таких условиях возрастает вероятность того, что будут пропущены при измерениях такие важнейшие характеристики уровня моря, как его экстремальные значения, а зависимости, полученные на основе срочных наблюдений за ходом уровня, будут не в полной мере отражать истинное положение дел. Тем не менее, данные наблюдений позволяют дать количественные оценки максимальных нагонов и минимальных сгонов, измеренных относительно среднего многолетнего уровня Азовского моря, в 20 пунктах побережья для различных направлений ветра и различных значений его скорости. Эти оценки приведены в табл. 3.2 [3]. Сгонные и нагонные смещения уровня моря наиболее значительны в Таганрогском заливе и, что естественно, возрастают по модулю с ростом ветра.



Рис. 3.3. Расположение гидрометеорологических постов (1 – 20) вдоль побережья Азовского моря, использованных для расчета сгонно-нагонных колебаний уровня

Перечень случаев катастрофических сгонно-нагонных колебаний уровня в Азовском море за последние два с половиной века приведен в [4]. Практический интерес представляют оценки экстремальных смещений уровня моря при нагонах и сгонах, которые могут наблюдаться один раз в заданное число лет. Они рассчитываются по наиболее вероятной максимальной скорости ветра строго нагонного или строго сгонного для данного поста направления, возможной 1 раз в то же самое число лет. Такие значения для 20 пунктов побережья приведены в табл. 3.3 [5]. Экстремальные сгоны и нагоны отмечены в Таганрогском заливе.

Таблица 3.2

Максимальные и минимальные смещения уровня (см) относительно среднего многолетнего положения вдоль побережья Азовского моря при различных скоростях и направлениях ветра. Числители дробей соответствуют скорости ветра $10-15 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, знаменатели – скорости $15-20 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$

№ поста	Направление ветра							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	$\frac{56}{78}$	$\frac{15}{30}$	$\frac{-30}{-75}$	$\frac{-75}{-105}$	$\frac{-30}{-70}$	$\frac{-20}{-25}$	$\frac{50}{75}$	$\frac{70}{100}$
	2	$\frac{35}{50}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{-50}{-90}$	$\frac{-75}{-100}$	$\frac{-25}{-50}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{60}{75}$

Продолжение табл. 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	10	-35	-75	-70	-10	35	70	50
	15	-75	-115	-100	-25	55	90	75
4	-20	-55	-75	-30	10	55	60	30
	-35	-100	-100	-60	20	75	90	50
5	-60	-125	-90	-25	50	90	75	25
	-100	-175	-175	-30	70	150	150	50
6	-75	-150	-105	-25	70	105	100	30
	-135	-215	-215	-30	100	175	170	60
7	-110	-175	-120	-30	90	120	110	40
	-165	-225	-235	-35	125	200	190	70
8	-100	-140	-90	-15	80	75	75	30
	-155	-190	-175	-25	120	150	150	40
9	-75	-90	-60	0	70	70	55	0
	-125	-135	-90	15	100	120	90	0
10	-70	-50	-35	25	60	60	30	-25
	-115	-90	-50	30	90	90	70	-50
11	-60	-30	-30	50	50	50	15	-50
	-100	-75	-25	60	75	60	25	-60
12	-55	-25	0	50	40	35	0	-50
	-90	-60	0	60	60	50	0	-60
13	-35	-10	30	50	30	15	-25	-50
	-60	-30	25	55	40	25	-25	-60
14	-30	20	50	50	20	-20	-55	-55
	-50	30	90	80	25	-25	-85	-75
15	-10	50	90	50	10	-50	-90	-70
	-25	75	135	90	0	-75	-130	-90
16	-15	75	75	25	-10	-75	-75	-25
	30	125	110	50	-25	-125	-115	-70
17	30	75	50	-15	-30	-90	-60	10
	55	120	90	0	-50	-125	-90	0
18	35	70	30	-25	-30	-75	-40	20
	60	90	70	-25	-50	-90	-70	20
19	45	45	10	-30	-30	-60	-25	30
	70	75	50	-50	-50	-75	-50	40
20	50	25	-10	-50	-30	-35	0	50
	70	50	-15	-75	-50	-45	10	75

На локальные характеристики сгонно-нагонных колебаний в различных районах моря влияет ориентация береговой линии относительно господствующих ветров. По сравнению с долгопериодными колебаниями, сгонно-нагонные колебания уровня Азовского моря могут достигать очень больших значений и в зависимости от района могут изменяться от 2,0 м в Бердянске до 6,0 м в Таганроге. На юго-восточном побережье в Темрюке при северо-западном шторме в

конце октября 1969 г. максимальная высота нагона приближалась к 3,0 м, а по некоторым оценкам, была еще выше.

Таблица 3.3

Экстремальные смещения (относительно среднего многолетнего) уровня Азовского моря (см) с повторяемостью 1 раз в 100, 50, 25, 10, 5 лет и 1 год. Числители дробей – нагоны, знаменатели – сгоны

Пост	Повторяемость, число лет					
	100	50	25	10	5	1
1	2	3	4	5	6	7
1	312	284	242	202	174	128
	-136	-126	-114	104	-92	-57
2	272	248	220	184	160	108
	-184	-172	-154	-138	-122	-68
3	220	208	192	164	148	86
	-224	-212	-196	-172	-154	-90
4	224	212	188	168	152	90
	-136	-218	-201	-180	-162	-92
5	236	216	198	170	156	84
	-292	-268	-246	-217	-195	-108
6	302	280	256	228	196	108
	-384	-352	-317	-278	-250	-135
7	366	334	308	275	242	128
	-472	-430	-398	-342	-306	-162
8	357	328	304	268	235	120
	-466	-424	-390	-336	-298	-154
9	230	210	178	160	144	82
	-306	-284	-260	-227	-204	-116
10	198	182	160	142	126	70
	-248	-226	-204	-176	-158	-94
11	164	152	140	124	108	52
	-190	-174	-157	-138	-126	-75
12	156	143	128	114	102	60
	-154	-136	-120	-104	-94	-58
13	148	132	118	106	96	58
	-120	-112	-99	-87	-78	-48
14	202	184	166	148	132	64
	-174	-158	-142	-128	-116	-64
15	258	236	218	186	167	88
	-240	-218	-202	-184	-162	-88
16	240	218	196	167	148	76
	-220	-196	-178	-162	-144	-76
17	212	190	168	138	112	64
	-202	-184	-166	-154	-132	-68
18	188	170	156	132	110	60
	-170	-154	-136	-124	-112	-58

Продолжение табл. 3.3

1	2	3	4	5	6	7
19	180	164	150	127	115	56
	-132	-120	-113	-100	-90	-52
20	208	190	172	148	122	86
	-130	-118	-110	-96	-86	-48

Горизонтальная структура сгонно-нагонных смещений уровня относительно среднего многолетнего положения поверхности Азовского моря имеют вид одноузловой баротропной сейши [6], ориентация узловой линии которой зависит от направления ветра [7] (рис. 3.4). В центральной части моря сгонно-нагонные колебания уровня невелики при любых направлениях скорости ветра и ее величины.

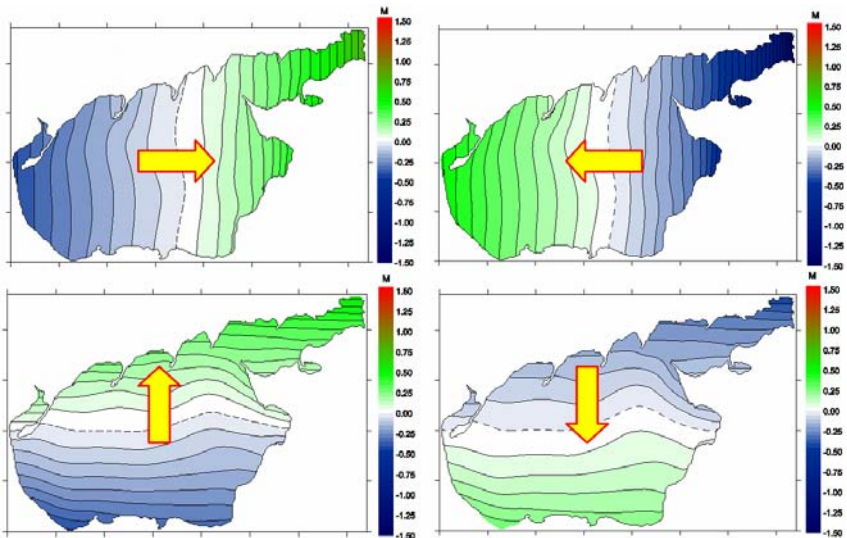


Рис. 3.4. Результаты моделирования смещений уровня Азовского моря, имеющих вид одноузловой сейши, для различных показанных стрелками направлений равномерного по пространству ветра [7]

В работе [4] описан случай нагона 28 октября 1969 г. в юго-восточной части Азовского моря, вызванного сильным ветром, когда максимальный подъем уровня вдоль побережья достиг 5,0-8,5 м, при этом воды Азовского моря проникли в глубь суши на 8-10 км, а восточнее Темрюка – даже на 17 км при фронте трансгрессии 150 км. Последствия наводнения привели к ощутимым негативным послед-

ствиям для экономики, транспортных коммуникаций и экологического режима района.

Азов – город в вершине Таганрогского залива на берегу р. Дон в 15 км водного пути от Таганрогского залива. Этот район подвержен наводнениям, которые происходят, в основном, по двум причинам: благодаря паводкам и в результате ветровых нагонов. При достижении уровнем воды отметки 610 см над нулем поста Азова, происходит подтопление поймы и прибрежных строений. При отметке 700 см почти вся территория дельты Дона от истока Мертвого Донца до устьевого взморья оказывается под водой.

За весь период наблюдений в г. Азове было отмечено пять наиболее сильных нагонов, при которых уровень воды поднимался намного выше опасной отметки: 29, 30 апреля 1917 г., 31 октября 1970 г., 16 ноября 1992 г., 12 апреля 1997 г. и 28 февраля 2005 г.

Самый высокий подъём уровня воды в р. Дон отмечен с 11 по 13 апреля 1997 г. Он был вызван сильным и продолжительным юго-западным ветром силой 15-43 м·с⁻¹. Максимальная скорость подъема уровня воды составила 17 см·ч⁻¹. Были затоплены территории порта, судоверфи и других объектов на берегах р. Дон и Таганрогского залива. Проводилась массовая эвакуация населения из затопленных районов. Величина подъема уровня воды достигла своего максимального значения 12 апреля и составила 758 см, что почти на 3 м выше среднегололетнего положения уровня воды.

Восточные ветры, дующие вниз по течению Дона, оказывают на уровень обратное действие. Происходит сгон вод, причем иногда настолько сильный, что мелеют не только рукава реки, но и Таганрогский залив, что нарушает нормальное судоходство.

Еще один катастрофический нагон произошел в ночь с 28 февраля на 1 марта 2005 г., когда уровень воды достиг 728 см над нулем поста Азов. Подъем был вызван продолжительным действием (около 8 ч) западного и юго-западного ветров (8-16 м·с⁻¹). Максимальная скорость подъема воды составила 33 см·ч⁻¹. На Дону еще оставался лед. Его несло на подтопленные дома и постройки. В Азовском районе льдом были сбиты 20 опор ЛЭП. В результате наводнения подтоплены 18 поселков Азовского района, хутор Задонье и пригороды г. Азова. Особенно пострадали поселки на побережье залива у Чумбур-косы и Очаковской косы.

Ветром были оборваны электропровода, нарушена телефонная связь, были разрушены километры береговых укреплений, размыты

дамбы, повреждены дороги, разрушены деревянные причалы и мосты. Ущерб понесли прудовые хозяйства. Погиб скот.

По данным Южного регионального центра МЧС сильный нагон наблюдался 29 и 30 августа 2006 г. на пляжах косы Долгой у станицы Должанская Ейского района на входе в Таганрогский залив (рис. 3.5). Произошло затопление косы. В море смыто 6 человек. Водой были залиты машины отдыхающих, которые затем извлекались из песка с помощью мощной техники.

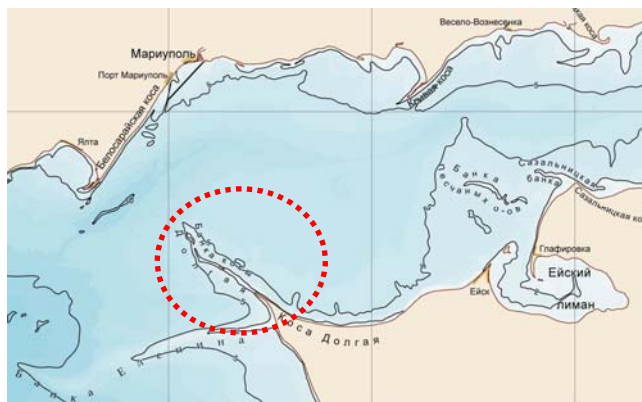


Рис. 3.5. Район чрезвычайного происшествия (сильного нагона), произошедшего 29-30 августа 2006 г.

Сильные нагоны с отметками выше 700 см здесь повторяются в среднем один раз в 10 лет.

Сгонно-нагонные колебания уровня в Керченском проливе, через который осуществляется водообмен между Черным и Азовским морями, связаны с изменениями уровня в этих бассейнах [8]. В частности, кривая годового хода уровня в Керчи располагается между кривыми уровней Азовского и Черного морей. Однако эта связь не является четко выраженной. Проходящая через пролив нагонная волна подвергается значительным искажениям, связанным с генерацией сейшевых колебаний в зоне пролива.

3.2 Цунами

Цунами – опасное природное явление, представляющее собой систему длинных гравитационных волн на поверхности океанов и

морей, вызванных сравнительно кратковременными внешними возмущениями естественного и техногенного происхождения. В качестве естественных источников подобных волн выступают подводные землетрясения, землетрясения на суше, взрывы вулканов, обвалы скал и подводные оползни. Подводные атомные взрывы дают пример техногенной генерации цунами [9].

Наиболее подвержены сильным цунами прибрежные и островные районы Тихого и Индийского океанов, Средиземного моря, Восточной Атлантики, Карибского бассейна и ряда других районов Мирового океана [9]. Цунамиопасность Мраморного, Черного, Азовского и Каспийского морей средиземноморского пояса значительно ниже [10 – 13]. Хотя в перечисленных морях наблюдались цунами и родственные им волновые явления, повторяемость сильных цунами здесь невелика (десятки и сотни лет), а имеющийся объем измерений колебаний уровня во время цунами очень мал. В то же время уровень сейсмоактивности указанных морских бассейнов не позволяет исключить генерацию здесь сильных цунами при подводных землетрясениях.

Мареографические записи цунами в Мраморном, Азовском и Каспийском морях практически отсутствуют. Что касается Черного моря, то для него существуют инструментальные данные о колебаниях уровня моря в различных пунктах украинского, российского и грузинского участков побережья Черного моря, вызванные землетрясениями в регионе. Обобщенные характеристики этих цунами приведены в работах [14 – 17]. Ниже изложение материала следует работе [18], где проведена ревизия всех доступных натуральных данных о цунами в Черном море.

Информационная база о цунами в Черном море. Все известные в настоящее время черноморские цунами можно условно разделить на две группы. Первая из них включает те события, которые в силу исторической давности, удаленности зон проявления от гидрометеопостов или иных причин не были зарегистрированы инструментально, но описаны очевидцами, отмечены как разрушительные или значимые события для населения прибрежных районов в летописях и легендах. Во вторую группу входят события, при которых аномальные колебания уровня моря во время цунами были зафиксированы стандартными мареографами.

Пункты и даты проявления черноморских цунами, отнесенных к первой группе событий, показаны на рис. 3.6. Карта включает 20

цунами за последние две тысячи лет [11, 19 – 23]. События характеризуются различной степенью достоверности, а именно, от возможных событий, относящихся в первую очередь к древним временам, до исторических событий не вызывающих сомнения. Вопрос достоверности информации о черноморских цунами первой группы с использованием шкалы надежности данных, предложенной в [10], обсуждался в статье [11].

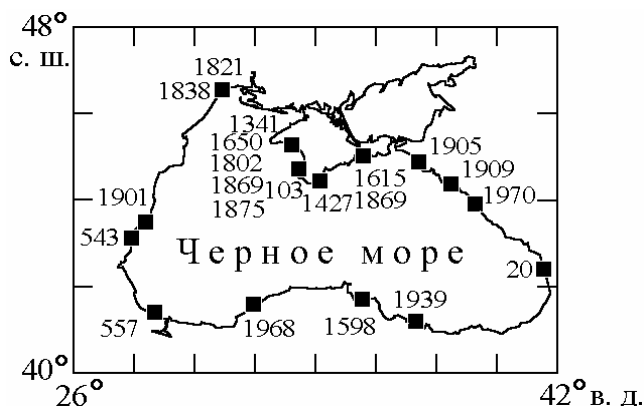


Рис. 3.6. Пункты (■) и годы наблюдений цунами вдоль побережья Черного моря, когда явление не было зарегистрировано инструментально

Цунами наблюдались вдоль всего побережья Черного моря. Подавляющая часть из них была вызвана землетрясениями с эпицентрами в море, некоторые генерировались землетрясениями на суше. Исторические свидетельства позволяют с определенной уверенностью говорить о том, что цунами в районах Сухуми (20 г.), Севастополя (103 г.), Варны (543 г.), Босфора (557 г.), Евпатории (1341 г.), Фороса (1427 г.), у восточного побережья Черного моря (1909 г.) и на севере Турции (1598 г.) носили катастрофический характер с высотами волн до 2-3 м. Значительные колебания уровня моря у берега при этих событиях приводили к затоплению обширных территорий и сопровождалась ощутимым экономическим ущербом.

Наибольший интерес для количественной оценки параметров черноморских цунами у побережья представляет вторая группа исторических событий, когда волны были зарегистрированы инструментально. Известно четыре таких события и одно из них (1939 г.)

уже было включено в первую группу исторических цунами. Явление сопровождало подводным землетрясениям 26 июня 1927 г. и 11 – 12 сентября 1927 г. к юго-западу и югу от Южного берега Крыма с магнитудами $M = 5,5$ и $6,5$ соответственно, разрушительному Эрзинджанскому землетрясению 26 декабря 1939 г. ($M = 7,9-8,0$) с эпицентром на суше в 150 км от северо-восточного побережья Турции и подводному землетрясению 12 июня 1966 г. ($M = 5,8$) в районе Анапы у восточного побережья Черного моря. Эпицентры этих землетрясений отмечены на рис. 3.7.

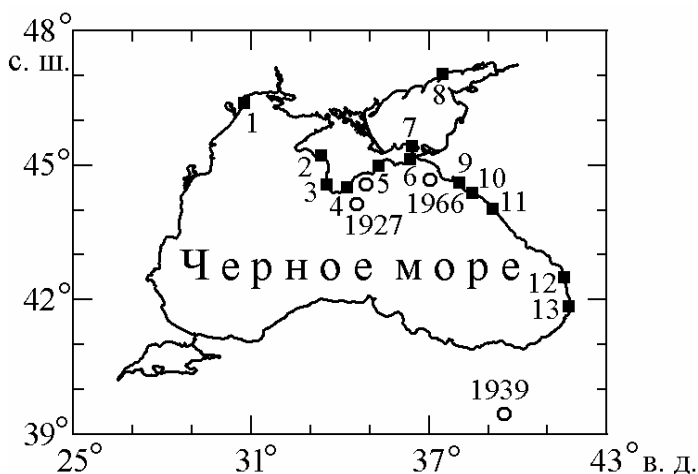


Рис. 3.7. Эпицентры цунамигенных землетрясений (○) и пункты регистрации цунами (■): 1 – Одесса; 2 – Евпатория; 3 – Севастополь; 4 – Ялта; 5 – Феодосия; 6 – Керчь; 7 – Опасное; 8 – Мариуполь; 9 – Новороссийск; 10 – Геленджик; 11 – Туапсе; 12 – Поти; 13 – Батуми

В работах [17, 24 – 27] приведены мареограммы и даны количественные характеристики этих цунами. Все события зарегистрированы несколькими мареографами вдоль крымского и кавказского участков побережья Черного моря и поэтому сомневаться в возникновении этих цунами нет оснований. Пункты регистрации цунами на побережье моря указаны на рис. 3.7. Записи колебаний уровня Черного моря для этих событий представлены на рис. 3.8 – 3.11.

Приведенные мареограммы позволяют сделать ряд общих выводов относительно свойств черноморских цунами, отражающих

специфику Черного моря как ограниченного бассейна сравнительно малой горизонтальной протяженности.

Явление цунами наблюдалось вдоль всего побережья Черного моря. Волны возбуждались как подводными землетрясениями, так и землетрясениями на суше. Во многих случаях колебания уровня носили нерегулярный характер, представляли собой наложение волн с различными характерными частотами. В ряде случаев они были модулированы по амплитуде. Весьма вероятно предположить многократное отражение волн цунами от берегов Черного моря, что косвенно подтверждается усилением колебаний уровня после периодов относительного затишья и наоборот.

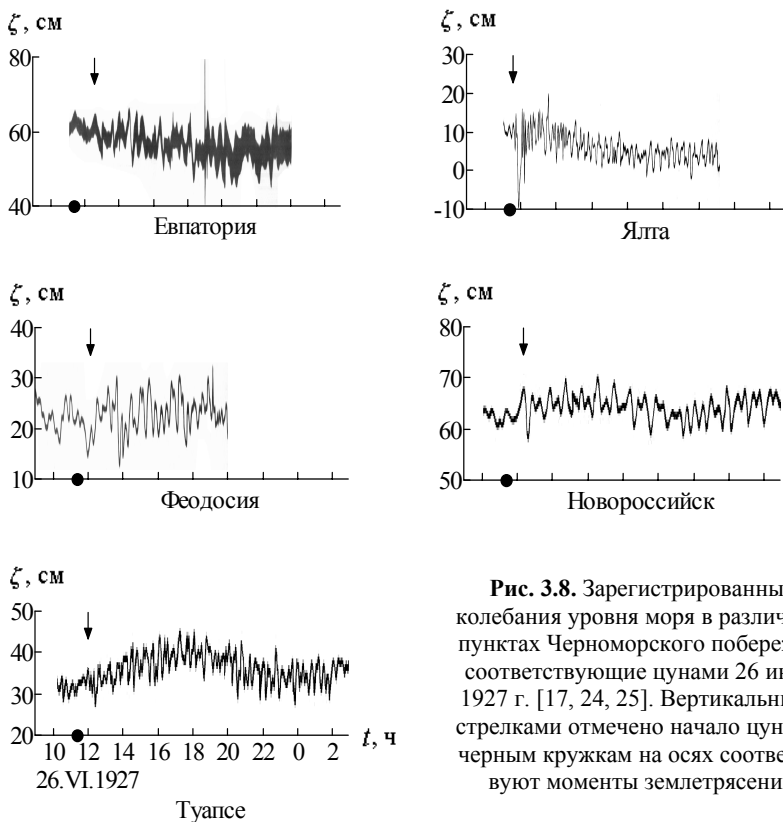


Рис. 3.8. Зарегистрированные колебания уровня моря в различных пунктах Черноморского побережья, соответствующие цунами 26 июня 1927 г. [17, 24, 25]. Вертикальными стрелками отмечено начало цунами, черным кружкам на осях соответствуют моменты землетрясений

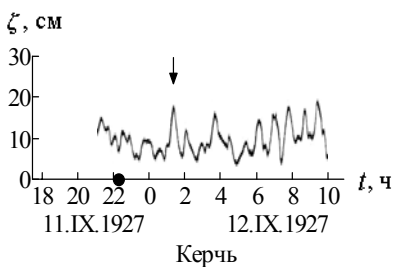
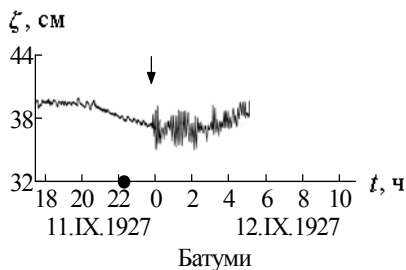
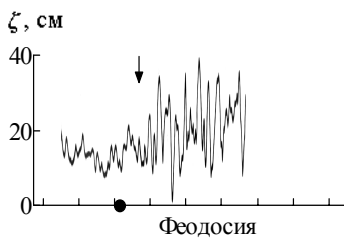
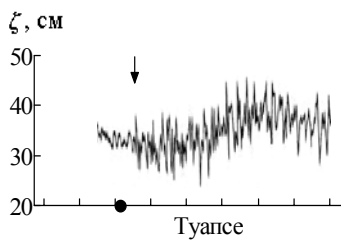
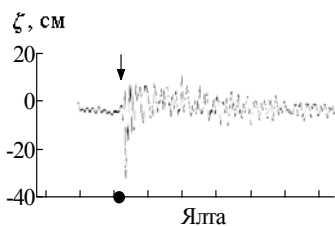
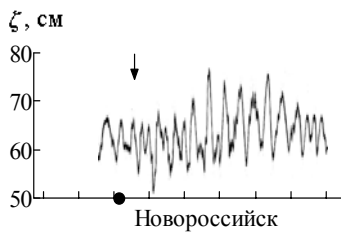
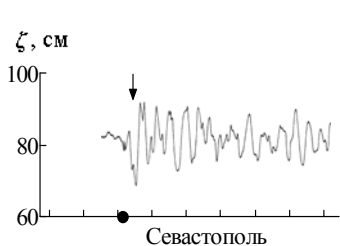


Рис. 3.9. Зарегистрированные колебания уровня Черного моря в различных точках побережья при цунами 11 – 12 сентября 1927 г. [17, 24, 25]

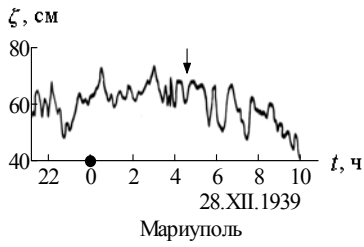
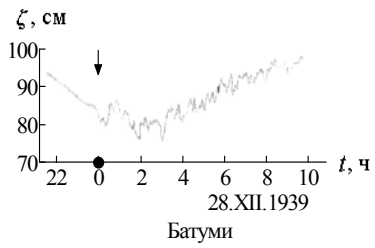
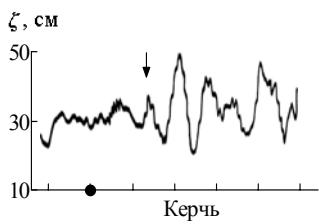
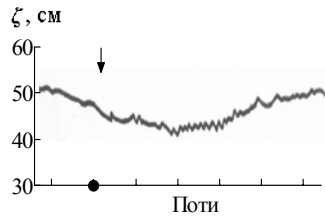
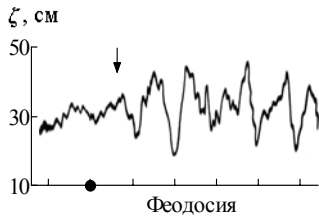
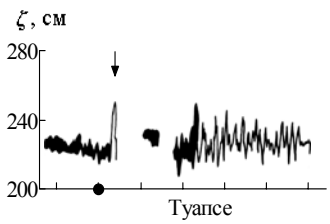
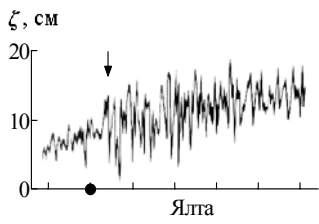
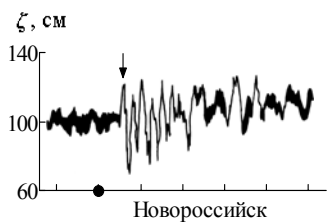
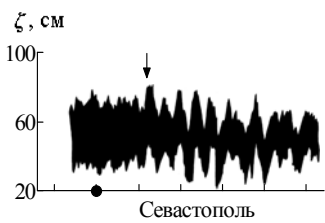


Рис. 3.10. Зарегистрированные колебания уровня моря в пунктах Черноморского побережья при цунами 28 декабря 1939 г. [27]

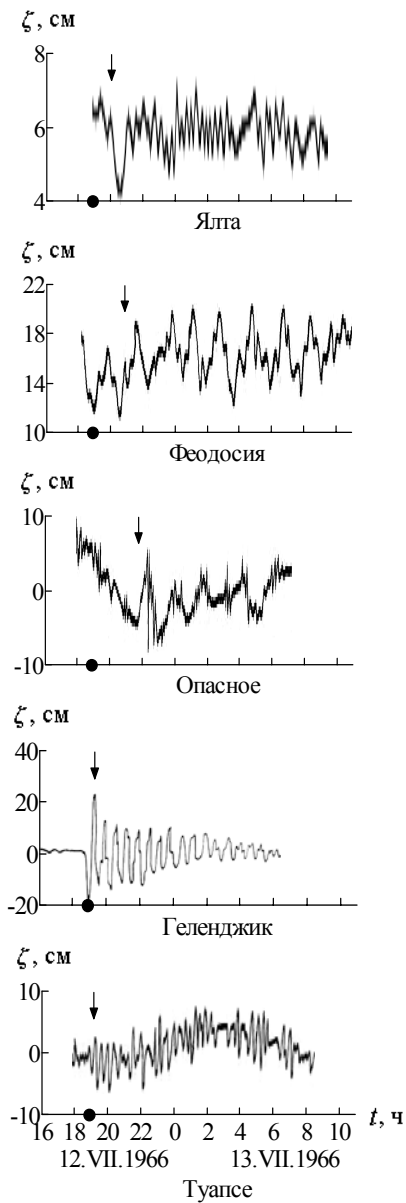


Рис. 3.11. Зарегистрированные колебания уровня в различных пунктах Черноморского побережья при цунами 12 – 13 июля 1966 г. [26]

Отмечено прохождение цунами 11 – 12 сентября 1927 г., 28 декабря 1939 г. и 12 июля 1966 г. из Черного в Азовское море через сравнительно узкий Керченский пролив: слабые отголоски этих цунами зарегистрированы в пунктах Опасное и Мариуполь в Азовском море [17]. Хотя надо отметить, что на мареограммах эти события слабо выражены.

Крымский полуостров частично экранирует волны зонального направления. Так, в Одессе отмечены только слабые отголоски одного из зарегистрированных цунами [17]. Это свойство черноморских цунами подтверждено вычислительными экспериментами по распространению длинных волн из различных очагов цунами в бассейне Черного моря [28, 29]. Наконец, приход цунами к берегу приводил к возбуждению и усилению сейш в бухтах Черного моря, в частности, в Балаклавской бухте.

Параметры цунами по мареографическим данным. Мареограммы, приведенные на рис. 3.8 – 3.11, позволяют определить различные количественные характеристики волн цунами в Черном море. К таким параметрам явления для различных пунктов побережья можно отнести высоту первой из пришедших волн цунами, максимальную высоту волн цунами, характерный период волн, знак вступления первой волны, время распространения волн из зон генерации до береговых пунктов регистрации и др. До опубликования работы [18], часть из них приведена в работах [14 – 17]. Ниже под высотой волны понимается разность вертикальных координат гребня и предшествующей ему подошвы волны [30].

Уточненные характеристики четырех черноморских цунами, полученные по данным измерений, приведены в табл. 3.4. Для их нахождения использован специальный компьютерный анализ оцифрованных мареограмм, приведенных на рис. 3.8 – 3.11 [18].

Распределение высот черноморских цунами вдоль побережья моря очень неравномерно. Высота первой волны в пунктах наблюдения изменялась в диапазоне 0,015-0,52 м, а высота волн цунами в целом – от 0,03 до 0,52 м. Для большинства пунктов побережья видна заметная тенденция к увеличению высот волн с ростом магнитуды землетрясения, что вполне понятно из физических соображений. Как правило, цунами характеризуются первоначальным подъемом уровня моря, а первая волна не являлась наибольшей по высоте.

Таблица 3.4

Параметры черноморских цунами по данным инструментальных наблюдений [18]

Время (по Гринвичу)	Пункт	h_1 , см	h_{max} , см	$\Delta\zeta$, см	s_1	s_{max}	t_p , мин	T , мин
26.06.1927 11:21	Евпатория	6	15	15	+	+	74	27
	Ялта	2	14	14	+	-	11	22
	Феодосия	4	7	10	+	+	48	119
	Керчь	*	6	*	+	*	159	*
	Новороссийск	6	7	9	+	+	59	28
	Туапсе	3	8	8	+	+	39	24
11.09.1927 22:16	Одесса	*	5	*	+	*	189	*
	Евпатория	52	52	53	+	+	127	28
	Севастополь	23	23	23	-	-	35	52
	Ялта	3	37	37	+	-	9	28
	Феодосия	4	16	16	+	+	64	32
	Керчь	11	11	11	+	+	184	52
	Мариуполь	12	15	15	+	+	*	31
	Новороссийск	7	21	21	-	+	54	51
	Туапсе	7	15	15	+	-	48	24
	Батуми	0.6	2	2	+	*	92	8
27.12.1939 23:57	Севастополь	46	51	51	+	+	147	47
	Ялта	7	12	13	+	+	53	23
	Феодосия	9	25	25	+	-	80	103
	Керчь	9	23	26	+	+	162	91
	Мариуполь	13	17	19	+	*	*	107
	Новороссийск	25	47	53	+	-	73	28
	Туапсе	32	35	35	+	+	50	*
		Поти	*	*	*	*	*	23
	Батуми	6	8	8	-	-	0?	91
12.07.1966 18:53	Ялта	1.5	3	3	+	+	69	141
	Феодосия	7	7	7	+	+	119	110
	Керчь	*	8	*	*	*	147	*
	Опасное	6	8	8	-	*	172	110
	Геленджик	41	41	41	+	+	27	39
	Туапсе	4	7	7	+	+	19	23

Примечание: h_1 – высота первой волны цунами; h_{max} – высота максимальной волны; $\Delta\zeta$ – максимальный перепад уровня для конкретной мареограммы; s_1 – знак первой волны цунами; s_{max} – знак максимальной волны цунами; t_p – время распространения волн до данного пункта; T – характерный период энергетически доминирующих колебаний

Максимальные высоты зарегистрированных цунами в точках регистрации не превысили 0,52 м, а максимальный перепад уровня для приведенных на рис. 3.8 – 3.11 временных рядов составил 0,53

м. Однако, в некоторых пунктах побережья смещения уровня моря составили по визуальным оценкам 1 – 2 м [11]. Максимальные перепады уровня моря в пакетах волн цунами соответствовали как понижениям, так и повышению уровня моря.

Время распространения цунами до ближайших к зоне сейсмической генерации пунктов регистрации составило 9 мин, а до ближайших участков побережья волна распространяется за 5 мин и менее. Время распространения волн до удаленных точек моря значительно больше: волны цунами 1927 г. распространялись из зоны генерации до Одессы приблизительно 189 мин. Сопоставление времен добега волн t_p , представленных в ранее опубликованных работах, выявило их несоответствие для некоторых пунктов побережья Черного моря. В таблицу включены скорректированные значения t_p , учитывающие физико-географические условия таких пунктов и результаты численного моделирования волн в рамках лучевой модели распространения длинных волн в Черноморском бассейне [15].

3.3 Сейши

Сейши – свободные стоячие гравитационные колебания жидкости в замкнутых или полужамкнутых бассейнах. Термин введен в 1890 г. швейцарским естествоиспытателем Франсуа Альфонсом Форелем, осуществившим первое научное наблюдение этого природного явления в Женевском озере, где амплитуда сейш с периодом более 1 ч достигает 2 м.

В отличие от прогрессивных волн, в сейшах отсутствует видимое поступательное движение гребней волн. Период сейш зависит от геометрической формы и размеров бассейна, географической широты места. Возникновение сейш связано с тем, что вода в бассейне, выведенная из состояния равновесия какой-либо внешней силой (изменениями барического поля, ветром, паводковым стоком рек, землетрясениями и др.), стремится вернуться в положение равновесия, совершая свободные затухающие колебания.

Периоды сейш изменяются от нескольких минут до нескольких десятков часов, амплитуды, как правило, не превышают одного метра, но могут достигать 2-3 м. Бывают одноузловые (одна линия нулевой амплитуды) и многоузловые (две и более линий нулевой амплитуды) сейши. Сейшеобразные колебания уровня наблюдаются во всех озерах (например, в Женевском, которое упоминалось ниже,

в Байкале, Балхаше, Эри), в замкнутых морях (Японском, Балтийском, Азовском, Черном, Каспийском), бухтах, фиордах и морских заливах (заливы Св. Лаврентия и Сан-Франциско, Алжирская бухта, Севастопольская бухта и др.), в водохранилищах, например, в Каховском.

Опасность сейшевых колебаний состоит в том, что они могут значительно усилить ветровые сгонно-нагонные колебания жидкости в бассейне, создавая повышенную степень опасности подъемов и понижений уровня для береговой инфраструктуры, судов, транспортных коммуникаций, объектов рекреации. В бухтах и гаванях сейши могут генерировать интенсивные периодические течения, представляющие опасность для судов. Наконец, сейсмическая генерация цунами в озерах может сопровождаться возбуждением сейш, которые будут представлять реальную опасность для населения и хозяйственных объектов вдоль побережья [31].

Сейши Черного моря. Предыстория исследований сейш в Черном море изложена в [1]. Первые работы по этой проблеме относятся к 20 – 30-м годам прошлого века [32 – 36]. В [33] по мареографическим данным выделены колебания с периодом 24,5 ч. Сделано предположение об их приливной природе. По формуле Мериана рассчитан период продольной одноузловой сейши, оказавшийся равным 4,5 ч, и определена ее амплитуда для Констанцы (7,7 см). Эти оценки согласуются с результатами работы [37], где по данным наблюдений в Констанце выделены сейши с периодами 45 мин и 4,5 ч со средними амплитудами 2-3 и 4 см, соответственно. В [35] по результатам анализа мареограмм для различных пунктов побережья Черного моря и после исключения приливов выделены сейшевые колебания с периодами 7,4; 6,4 и 5,54 ч.

В [38] рассчитаны характеристики колебаний уровня в Черном море, возникающих в результате нагонов под действием восточного и южного ветров. Базовая модель – уравнения длинных волн, учитывающие донное трение, горизонтальный турбулентный обмен, вращение Земли, действие ветровых напряжений и барического поля. Спектральный анализ расчетных мареограмм позволил определить амплитуды, фазы и периоды свободных колебаний в различных точках побережья и в открытой части Черного моря.

При восточном ветре наибольший подъем уровня происходит, что естественно, у северо-западного побережья (от Одессы до Констанцы), причем узловая линия делит всю западную половину моря

приблизительно пополам со значительным изгибом в центральной части в сторону западного берега. Возникающие при этом свободные колебания обладают периодами 10,16; 5,93; 5,08; 4,35; 2,77; 2,4 и 1,94 ч. Первая мода (10,16 ч) представляет собой одноузловую сейшу с линией нулевой амплитуды, отделяющей северо-западную часть от остальной части бассейна. Моды 2 и 3 (периоды 5,93 и 5,08 ч, соответственно) также одноузловые, причем узловые линии проходят приблизительно в меридиональном направлении в наиболее узкой части моря. Мода 4 – двухузловая.

При южном ветре максимальный нагон также происходит в северо-западной части моря. Нулевая линия расположена приблизительно в широтном направлении и отделяет северо-западную часть моря и небольшой район вблизи Керченского пролива от остальной части морского бассейна. Результаты численного моделирования поверхностных и внутренних сейш в Черном море приводятся в [39]. Они неплохо согласуются с натурными характеристиками, полученными для южного берега Крыма [40].

В работе [41] методом конечных элементов выполнен расчет 10 низших баротропных сейш в Черном море. Их периоды оказались равными 10,9; 7,5; 6,3; 5,5; 4,6; 4,4; 3,7; 3,3; 3,1 и 2,9 ч. Для сейш характерно увеличение амплитуд в северо-западной части моря.

Происхождение сейш меньших периодов, как правило, связано с резкими колебаниями атмосферного давления и изменениями направления и скорости ветра, что происходит при прохождении циклонов. Сильный устойчивый ветер создает повышение (или понижение) уровня у одного берега бассейна и понижение (повышение) у другого. При прекращении действия ветра или перемене его направления жидкость начинает совершать колебания с частотой, характерной для физико-географических условий данного бассейна.

Численный анализ сейш, результаты которого приведены в работе [42], показал, что в Черном море могут наблюдаться одноузловые сейши с периодами 9,7 и 6,9 ч, двухузловые сейши с периодами 5,6 и 4,6 ч и многоузловые (до пяти узлов) с периодами 2,7 и 2,4 ч.

Узловая линия продольной одноузловой сейши (период 9,7 ч) проходит вдоль кромки северо-западного шельфа; колебания в глубоководной и мелководной частях моря развиваются в противофазе. Одноузловая сейша с периодом 6,9 ч характерна для мелководной северо-западной части моря. Ее узловая линия проходит

в меридиональном направлении и разделяет этот район моря на две равные части. Максимальные амплитуды отмечаются в Каркинитском заливе и на побережье в районе Днестровского лимана. У двухузловой сейши (5,6 ч) одна линия нулевых значений амплитуды проходит в меридиональном направлении от Крымского п-ва до берегов Турции, вторая, простираясь в зональном направлении, отделяет небольшой северный участок акватории северо-западного шельфа от всей западной части моря. Колебания уровня моря с периодом 5,6 ч на Кавказском побережье и у северо-западных берегов развиваются синфазно, а на западном побережье в противофазе. У берегов Румынии и вблизи Одессы амплитуды этих колебаний в 3-4 раза больше, чем у Кавказского побережья.

Двухузловая сейша с периодом 4,6 ч имеет аналогичную горизонтальную структуру. Ее узловые линии приурочены к центральной части моря (Крымский п-ов – Анатолийское побережье) и северо-западному мелководью. Различие же состоит в том, что вторая узловая линия, располагающаяся в северо-западной части моря, имеет меридиональное, а не широтное простираение, поэтому колебания на восточном побережье и в западной части мелководного района развиваются синфазно.

Амплитудно-фазовые характеристики стоячих волн с периодом 2,7 и 2,4 ч имеют более сложную структуру. Количество узловых линий в значительной степени зависит от изрезанности береговой линии и характера рельефа дна. Сейша с периодом 2,7 ч имеет пять узловых линий, причем три из них характерны для северо-западного шельфа. Максимальные амплитуды сейш отмечаются на западном побережье моря в зоне Варна – Бургас.

Несмотря на такое же количество узловых линий, распределение фаз и амплитуд в сейшах с периодом 2,4 ч несколько отличается от аналогичных характеристик сейши с периодом 2,7 ч. В глубоководной части моря выделяются три узловые линии меридиональной протяженности; максимальные амплитуды сейш наблюдаются на западном побережье и в районе Керченского пролива.

В табл. 3.5 приведены рассчитанные в рамках линейной модели длинных волн амплитуды низших сейш Черного моря [41]. Амплитуды нормированы таким образом, что максимальное значение каждой моды равно 1 м.

Как видно из этой таблицы, наибольшую интенсивность сейши имеют в северо-западной наиболее мелководной части моря, где

максимальные амплитуды сейш более чем на порядок превосходят соответствующие максимумы в других районах моря. В пунктах Одесса, Вилково и Южное достаточно высока интенсивность практически всех из первых восьми представленных в табл. 3.5 сейш.

Таблица 3.5
Нормированные амплитуды (в %) 1-8 сейш Черного моря в различных пунктах побережья

Пункт	Номер моды							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Варна	3,5	0,5	12	19	10	5	2,5	13,5
Констанца	3,5	0,5	13	21	11	5,5	2,5	18
Вилково	25,5	14,5	78	62	90	2,5	74,5	2,5
Одесса	80	26,5	26	16,5	9,5	45,5	87,4	2
Евпатория	4	3	7	8	9,5	6	4,5	23,5
Севастополь	2,5	2,5	3,5	6	5	0	0,5	20
Новороссийск	5,5	0,5	10	7	2	0,5	0	1
Сочи	6	0,5	13,5	11	4	1	0,5	1
Сухуми	6,5	0,5	16	11	6	1	1	2,5
Батуми	6,2	0,5	15	12,5	5	1	0,5	2
Трабзон	6,5	0,5	15,5	13,5	6	1	1	2,5
Зонгулдак	3,5	0	9,5	15	7,5	3,5	2	6

Побережье Крыма мало подвержено воздействию сейш, особенно его восточная часть, где максимальная амплитуда волн на два порядка меньше максимального смещения уровня для данной моды. На западном берегу Крымского п-ва амплитуды сейш составляют 3 – 9% от максимального смещения уровня. Лишь восьмая мода сейшевых колебаний (3,3 ч) имеет достаточно высокую интенсивность на всей протяженности этого участка побережья. В Евпатории ее амплитуда достигает 23,5% от максимального смещения уровня по всей акватории моря, в Севастополе – 20%.

Кавказское побережье также мало подвержено влиянию сейш и их максимальные амплитуды здесь в 10-100 раз меньше максимальных смещений уровня в северо-западной части моря. С наибольшей силой на побережье Кавказа проявляются 3 и 4 моды сейшевых колебаний. При этом в Сухуми максимум амплитуды 3 моды составляет 16%, в Батуми – 15%, в Новороссийске – 10%.

На побережье Турции проявляются лишь третья и четвертая моды сейшевых колебаний. На побережье Болгарии и Румынии наиболее выражены третья, четвертая и пятая моды. Особенно значи-

тельно колебания, соответствующие четвертой моде, амплитуда которой составляет 21% в Констанце и 19% в Варне.

Таким образом, можно сделать вывод, что области наибольшей интенсивности сейшевых колебаний в Черном море сосредоточены в его северо-западной части. Особенно сильно проявляются сейши в Вилково, Одессе, Южном и Каркинитском заливе. В остальных районах моря баротропные сейши проявляются значительно слабее.

В бухтах и заливах Черного моря сейши изучены явно недостаточно. Однако, в них амплитуды сейш могут превышать амплитуды сезонных колебаний и быть сопоставимыми с амплитудами сгонно-нагонных колебаний уровня моря в Одессе, Южном и Каркинитском заливе.

В работе [43] представлены результаты анализа сейшевых колебаний уровня моря в Севастопольской бухте, основанные на данных наблюдений с дискретностью 5 мин в апреле 2001 г. – сентябре 2002 г. и численном моделировании в рамках линейной модели длинных волн. В бухте выделяются сейши с периодами 2,5 ч; 1,25 ч и 50 мин, причем две последние сейши доминируют по энергии.

Сейши с периодом 50 мин и амплитудой 3-4 см наблюдаются практически постоянно. В отдельные моменты времени возможна их интенсификация, связанная с кратковременными быстрыми изменениями давления или достаточно продолжительными ветрами. Горизонтальная структура этой баротропной сейши, найденная численно в рамках модели длинных волн, показана на рис. 3.12. На открытой границе бухты смещения уровня моря задавались равными нулю и эту сейшу можно классифицировать как нулевую. Для нее характерно увеличение амплитуды колебаний уровня по мере удаления от жидкой границы к вершине Севастопольской бухты, где амплитуда колебаний уровня максимальна.

Максимальный размах сгонно-нагонных колебаний уровня моря в период измерений в бухте составил 18-34 см, сейшевых колебаний – 10-24 см. Внутригодовой ход максимальных значений сгонно-нагонных колебаний уровня и внутригодовой ход сейшевых колебаний уровня качественно аналогичны. Размахи сейшевых колебаний сопоставимы с размахами сгонно-нагонных колебаний уровня и составили в период наблюдений 45-95% от последних.

В работе [44] выполнен анализ периодов и пространственной структуры сейш и в других бухтах севастопольского региона. Ре-

зультаты численного моделирования сейш в Карантинной бухте показали, что наибольший период баротропной сейши (нулевая мода) в бухте равен 9,25 мин. Наибольший период сейш в Южной бухте равен 3,5 мин.

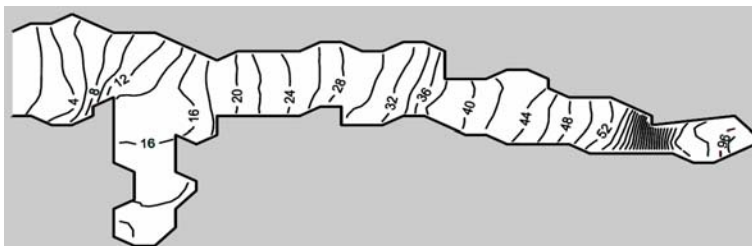


Рис. 3.12. Пространственная структура нулевой баротропной сейши в Севастопольской бухте. Цифры – относительные амплитуды колебаний уровня (в %)

Сейши Азовского моря. В Азовском море сейшевые колебания уровня происходят постоянно и здесь они ярко выражены. Причиной их образования являются изменения ветра или атмосферного давления, а также штормовые сгонно-нагонные колебания уровня в прикерченской зоне Черного моря. Несмотря на существенную роль сейш в формировании экстремальных колебаний уровня и течений, сейши в Азовском море изучены явно недостаточно.

По данным наблюдений [45], наибольший размах колебаний уровня Азовского моря отмечается в следующих пунктах побережья: Темрюк, Бердянск – 20-30 см, Ейск, Геническ, Приморско-Ахтарск – 40-50 см, Таганрог – 60-70 см.

Течения, сопутствующие сейшевым колебаниям, приводят в движение всю массу воды в море и влияют на его гидрологические и гидрохимические характеристики. В окрестностях узловых линий и в устьях бассейна сейшевые колебания сопровождаются интенсивными течениями со скоростями до $1,5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Такие течения способны размывать песчаные косы и разрушать защитные прибрежные сооружения.

Особенность Азовского моря состоит в том, что оно имеет своеобразное пространственное распределение амплитуд сейшевых колебаний. Если сейшевые колебания происходят на фоне штормового нагона или повышенного стока рек, то пониженная часть берега оказывается затопленной. На разных берегах пяти кос вдоль север-

ного побережья моря сейши формируют сильный перепад уровня воды, достигающий 20-80 см. Например, гребню сейшевой волны на восточном берегу косы может соответствовать понижение уровня на западном берегу. Поэтому затопление этих кос в Азовском море иногда приводит к их прорывам. Подобные наводнения могут происходить на косах Обиточная, Бердянская и Федотова украинского сектора моря и на косах Должанская и Ейская в России.

Основные характеристики сейш, как пространственных колебаний жидкости в бассейне переменной глубины, получены численно. В работе [45] методом конечных элементов выполнены расчеты первых 11 мод сейшевых колебаний Азовского моря. Их периоды: 27,8; 16,3; 12,5; 10,9; 8,7; 8,2; 7,4; 6,5; 6,1; 5,9; 5,5 ч. На рис. 3.13 показаны изолинии отклонений (в условных единицах) для двух мод наибольшего периода колебаний. Первая мода колебаний имеет период, близкий к суточному, и представляет собой продольную одноузловую сейшу (рис. 2.13, а). Ее узловая линия проходит от Бердянска, изгибаясь в юго-восточном направлении, и заканчивается в районе Приморско-Ахтарска. Наибольшие колебания уровня моря наблюдаются в Таганрогском заливе. При продвижении внутрь залива амплитуда сейши быстро возрастает. В Таганроге она в 2,5 раза больше, чем в Мариуполе.

Существование одноузловой сейши в Азовском море подтверждают результаты работы [46], в которой на основе анализа данных наблюдений показано, что колебания уровня с периодом около 24 ч прослеживаются во всех пунктах побережья.



Рис. 3.13. Одноузловая (а) и двухузловая (б) сейши Азовского моря

Вторая мода собственных колебаний (16,3 ч) представляет собой двухузловую сейшу (рис. 3.13, б). Первая узловая линия распо-

ложена в основной акватории моря и проходит от косы Обиточной к мысу Зюк, вторая находится в Таганрогском заливе и проходит от косы Кривой к Ейску. Наибольшие амплитуды этих колебаний приходятся на Утлюкский лиман и Таганрогский залив и превосходят почти в 2 раза амплитуду колебаний уровня в центральной части Азовского моря. В частотных спектрах, рассчитанных по измеренным смещениям уровня моря, вторая сейша проявляется в виде локального максимума функции спектральной плотности энергии колебаний. Спектральные пики, соответствующие периоду колебаний 15 ч, прослеживаются в частотных спектрах для пунктов Геническ, Приморско-Ахтарск, Темрюк и Мысовое [46].

Следует заметить, что найденные численно различными авторами периоды сейш и их пространственная структура несколько отличаются. Это можно объяснить различием в пространственном разрешении моделей, в точности аппроксимации береговой черты, в применяемых вычислительных алгоритмах.

3.4 Тягун в портах Черного и Азовского морей

Тягун проявляется в сильных колебаниях уровня моря в замкнутых и полузамкнутых бухтах, приводит к опасным горизонтальным перемещениям судов у причалов. Тягун может возникать в даже хорошо защищенных от волн открытого моря портах (например, Туапсе) в периоды высокой атмосферной активности.

Тягун вызывает удары судов о причалы и другие суда, что приводит к повреждению плавсредств и причалов, обрыву швартовых, нарушению погрузочных и разгрузочных работ. Чтобы избежать возможных аварий судов, их выводят на внешний рейд. Для исключения тягуна необходимо учитывать возможность его возникновения при проектировании портов. В существующих портах следует оптимально располагать причалы.

По интенсивности и степени опасности тягун может быть подразделен на несколько типов, перечисленных в табл. 3.5 [47].

Явление тягуна причиняет значительный ущерб морскому флоту. Так, в Батуми в 1951 – 1970 гг. из-за тягуна произошло 6308 ч простоя порта, 619 судов были выведены на внешний рейд (в среднем 314 ч и 31 судно в год) [47]. Бывали случаи, когда тягун уничтожал портовые сооружения. В январе 1968 г. в результате сильного тягуна в порту Туапсе были опрокинуты два огромных бетонных

участка мола, в результате чего образовался пролом в волноломе. Одновременно с этими событиями были разрушены три причала.

Таблица 3.5
Визуальная оценка в баллах интенсивности тягуна по условиям стоянки судов у причала

Балл	Степень развития тягуна	Признаки тягуна
0	Тягуна нет	Суда у причалов стоят сравнительно спокойно. Периодические вертикальные и горизонтальные движения не наблюдаются. Швартовые концы имеют постоянное натяжение или рывки, обусловленные волнением в порту.
1	Очень слабый тягун (первые признаки)	Наблюдается слабое ритмическое натяжение и ослабление швартовых концов, едва заметны периодические движения судов, скольжение трапа, слышен скрип привальных брусьев.
2	Слабый	Периодическое натяжение и ослабление швартовых концов усиливается. На судах увеличивается число швартовых концов, но у причалов суда стоят, не нанося и не получая повреждений. Выполнение погрузо-разгрузочных работ возможно, но значительно усложняется.
3	Умеренный	Натяжение швартовых концов настолько сильное, что происходит их обрыв. Стоянка у причалов становится опасной. Погрузо-разгрузочные работы прекращаются, суда отводят от причалов.
4	Сильный	Погрузо-разгрузочные работы невозможны. Швартовые концы непрерывно рвутся. Суда немедленно отводят от причалов и выводят из порта на внешний рейд.
5	Очень сильный	Горизонтальные перемещения настолько велики, что суда терпят аварию.

Полной ясности относительно механизмов возникновения тягуна нет. Эмпирически установлено, во-первых, что возникновение тягуна связано с ветровым волнением (зыбью) и, во-вторых, что тягун генетически связан с сейшмами в бухтах. Существует ряд гипотез о его возникновении. Одна из них состоит в том, что тягун представляет собой результат двойного резонанса: резонанса входящих в порт длинных волн и колебаний воды в порту, а затем резонанса этих колебаний и колебаний пришвартованных судов. Другая гипотеза состоит в том, что тягун возникает, когда период огибающей группы короткопериодных волн совпадает или кратен периоду собственных колебаний пришвартованного судна. Только окончательно выяснив определяющие механизмы образования тягуна, можно будет разработать систему волноломов и причалов определенной кон-

фигурации, при которой это явление возникать не будет или действие тягуна будет существенно ослаблено.

В Черном море тягун наблюдается в 12 портах, расположенных практически вдоль всего побережья: Туапсе, Сочи, Поти, Батуми, Самсун, Гиресун, Бургас, Варна, Констанца, Ильичевск, Ялта, Феодосия, Севастополь [48]. Период колебаний во время тягуна лежит в диапазоне от 30 с до 4 мин, а горизонтальные перемещения достигают 2-4 м, но иногда бывают и больше. Тягун может возникать в любое время года, но наиболее часто явление наблюдается в зимний период, когда изменчивость метеоусловий наибольшая. Повторяемость явления крайне неравномерна по годам.

Проведенные расчеты баротропных сейш для бухт североазиатского региона Карантинная, Казачья, Камышовая, Круглая (Омега), Южная и Корабельная показали, что только в бухтах Карантинной, Южной и Корабельной существуют условия для образования тягуна. В Карантинной бухте явление тягуна наблюдалось, например, 3 марта 1988 г., когда при полном штиле в бухте подъемы уровня составили 1,5 м с периодом 40-60 с, и 27, 28 февраля 2005 г., когда были зафиксированы периодические подъемы воды до 1 м с периодом колебаний 60 с [44].

Возможность возникновения тягуна в портах мелководного Азовского моря (Бердянский морской порт, Геническ, Ейский морской порт, порт Кавказ, Керчь, Мариуполь, Таганрог) в условиях сильных сгонно-нагонных колебаний уровня моря ветрового происхождения исследована недостаточно. Тем не менее, в таком порту как Мариуполь, наблюдается генерация проходящими судами динамического тягуна и этот факт рекомендовано учитывать при стоянках судов у причалов и молвов этого порта.

3.5 Штормовые ветры

Сильные ветры лидируют по числу событий в перечне опасных природных явлений Азово-Черноморского региона (см. рис. 2.5). Ветры со скоростью $15 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ и более наблюдаются здесь ежегодно и во все сезоны. Особенно часто они бывают с ноября по март в северных районах, повторяемость их в этот период достигает 10%.

Черное море. На большей части побережья Черного моря за год отмечается 13-45 дней со скоростью ветра не менее $15 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Исключениями являются Новороссийск, где это число увеличивается

до 55 дней, Белгород-Днестровский и Адлер, где оно уменьшается до 7 и 2 дней соответственно. Такие ветры наблюдаются на побережье с октября – ноября по апрель, в среднем 2-7 дней в месяц, а на мысе Калиакра до 13 дней (рис. 3.13). Непрерывная продолжительность сильного ветра достигает 4-6 сут на севере и 2 сут на Кавказском побережье Черного моря.



Рис. 3.14. Мыс Калиакра на болгарском побережье Черного моря

Штормовые ветры в районе Черного моря приходят чаще всего с северо-западного, северного и северо-восточного, а также с южного и юго-западного направлений. Зимние штормы при ветрах северо-восточного направления обычно сопровождаются сильным понижением температуры воздуха и парением моря. В бухте Самсун в Турции подобные штормы продолжаются по нескольку дней, сопровождаясь дождем или градом.

У западного берега Черного моря сильный ветер северо-восточного или восточного направлений иногда достигает силы жестокого шторма (см. табл. 1.1) и носит местное название "абаза". Зимой ему сопутствуют метели и сильные морозы.

В районе Очакова и Николаева отмечаются "очаковские шквалы" – внезапные порывы восточного ветра, иногда достигающие силы урагана. После прохождения шквала ветер меняет свое направление на южное, а затем на западное или северное.

Штормовые северо-западные ветры чаще всего наблюдаются весной и сопровождаются пасмурной неустойчивой погодой.

На восточном побережье моря, преимущественно от порта Анапа до порта Туапсе, и на южном побережье Крымского полуострова наблюдается сильный порывистый ветер с гор – бора [4]. Вероятно, название явления происходит от имени Борея, бога ветра у древних греков.

В районе Новороссийска существует классический комплекс благоприятных для развития боры условий, описанных, например, в работе [49]. Город расположен между горным хребтом Варада, направленным с северо-запада на юго-восток, и морем. В центральной части хребта, как раз над Новороссийском, находится Мархотский перевал, высота которого составляет 430 м над уровнем моря. Склоны хребта здесь совершенно лишены растительности и круто, под углом 60° к горизонту, обрываются до уровня 200-300 м, а далее более плавно опускаются к морю.

Когда над юго-востоком Европейской территории России устанавливается антициклон, а над Черным морем формируется область низкого давления, то создается большой горизонтальный градиент давления, направленный с суши на море. Если с северо-востока к прибрежному хребту подходит холодный фронт, то холодный воздух, переваливая через хребет, с большой скоростью устремляется через узкий перевал и падает по крутому склону, приобретая под действием силы тяжести еще большую скорость (рис.

3.15). В Новороссийске скорость ветра при боре часто достигает $40 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, а в отдельных случаях даже $60 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Температура при боре может опуститься до -20°C . Холодный воздух, врываясь в бухту, разбрызгивает воду, которая, оседая на судах и береговых сооружениях, замерзает и покрывает их льдом. Возможно опрокидывание судов (рис. 3.16).



Рис. 3.15. Схема распространения новороссийской бори на восточном побережье Черного моря



Рис. 3.16. Обледенение судов в порту, вызванное резким понижением температуры воздуха во время новороссийской бори

На набережной Новороссийска слой льда иногда достигает толщины 2-4 м. Бора наносит большой ущерб городу и порту: срывает крыши, разрушает линии связи и линии электропередачи, опрокидывает автомобили и железнодорожные вагоны и даже выбрасывает на берег крупные суда.

При новороссийской боре облачная зона приобретает вид гигантского веера, распространяющегося в море полосами по ветру в виде трапеции иногда на расстояние 300-400 км от берега. Площадь, охваченная новороссийской борой на воде, достигает 90 тыс. км². За счет расходимости воздушного потока скорость ветра по мере удаления от берега уменьшается и на расстоянии 300 км она вдвое или втрое меньше, чем на побережье Черного моря.

Бора может продолжаться 2-7 сут. Ежегодно в Новороссийске бывает около 50 дней с борой, особенно часто она наблюдается в ноябре и марте. Новороссийская бора иногда охватывает все побережье, от Анапы до Туапсе, включая Джубгу.

Говоря о штормовых ситуациях в Азово-Черноморском регионе, нельзя не вспомнить экстремальный шторм 11 ноября 2007 г.

Ночью 10 – 11 ноября с Балканского региона на акваторию Чёрного моря вышел южный циклон и со скоростью 70 км·ч⁻¹ устремился в сторону Крыма. Практически над всей акваторией моря, кроме его южной части, резко усилился южный ветер. Сила ветра к утру 11 ноября достигала: в Керчи – 27-32 м·с⁻¹, в Анапе – 25-30 м·с⁻¹, в Геленджике – 30-35 м·с⁻¹. По данным МЧС, на Азовском море в районе порта Кавказ высота волны в это время составляла 4 м. 12 – 13 ноября центр циклона сместился с Крымского п-ва на север, а над акваторией моря сохранилась ложбина с дождями и низкой облачностью. Ветер ночью 12 ноября ещё оставался южным, а 13 ноября сменился на северо-западный с силой, не превышающей 7-12 м·с⁻¹.

За последние 50 лет волны максимальной высоты 2 м в северной части Керченского пролива наблюдались всего девять раз (шесть раз в апреле, два раза в июне и один раз в июле) и только при северных ветрах. Повторяемость южных ветров в северо-восточной части моря составляет 12%, но по своей силе они никогда не превышали 15-17 м·с⁻¹. За всю историю инструментальных наблюдений (с 1936 г.) при таких ветрах не были зарегистрированы двухметровые и тем более четырёхметровые волны. В течение всего года, за исключением марта, в проливе преобладает волнение высотой 0,7-1 м и менее.

Утром 11 ноября в районе порта Кавказ было 59 судов, из которых около 20 – нефтеналивные суда типа река – море. Примерно такое же количество располагалось на якорной стоянке на входе в Керченский пролив со стороны Черного моря. Всего на акватории пролива и в его азовской и черноморской прикерченских зонах находилось в период шторма 167 судов.

По сводке МЧС России на 6 ч московского времени 12 ноября 2007 г. в результате штормового ветра (до $32 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$) и сильного волнения моря (6-7 баллов, высота волн 5 м) в Керченском проливе затонули 4 судна (сухогрузы «Вольногорск», «Нахичевань», «Ковель», «Хачь Измаил» – Грузия), сорваны с якорей и сели на мель 6 судов (сухогрузы «Вера Волошинская» (Украина), «Зияя Кос» (Турция), «Капитан Измаил» (Турция), баржи «Дика», «Диметра», плавкран «Севастополец»), получили повреждения 2 танкера («Волгонефть – 139», «Волгонефть – 123») и находилась в дрейфе баржа БТ – 3754.

Нефтеналивное судно «Волгонефть – 139», перевозившее 4777 т мазута, рано утром 11 ноября разломилось в районе якорной стоянки с южной стороны острова Коса Тузла. Заякоренная носовая часть танкера после аварии осталась на месте, а корму ветром и течениями выбросило на мель. В результате этого произошёл разлив около 1300-1600 т нефтепродуктов.

Таковы печальные последствия экстремального ноябрьского шторма 2007 г. в районе Керченского пролива. Шторм захватил также другие районы Черного и Азовского морей, привел к нарушению работ в портах, повреждению судов, разрушению причалов, набережных, строений вблизи береговой черты, затоплению населенных пунктов, нарушению экологии и др. (рис. 3.17).

Северо-восточная часть Черного моря – район активного судоходства, рыбного промысла и рекреационной деятельности. Анализ штормовых ситуаций для этого района представляет особый интерес для Украины и России.

В работе [50] приведена современная оценка параметров режима ветра северо-восточной части Черного моря по данным 9 береговых станций (Ялта, Алушта, Феодосия, Заветное, Опасное, Мысовое, Тамань, Анапа, Новороссийск) на основе срочных натуральных наблюдений (1945 – 2005 гг.), средних годовых и месячных величин (1892 – 2005 гг.), а также для морской акватории по данным полей давления и ветра (1960 – 1998 гг.). В целом, наблюдения на станциях охватывают от 50 до 112 лет.

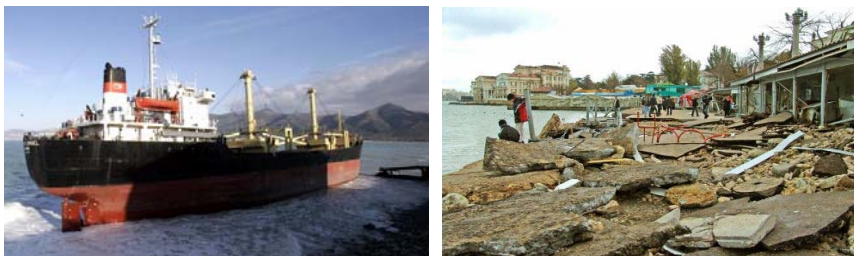


Рис. 3.17. Последствия шторма 11 ноября 2007 г.:
левая фотография – Керченский пролив,
правая – набережная Артиллерийской бухты в Севастополе

Северо-восточная часть Черного моря является одной из энергонесущих зон Азово-Черноморского бассейна и по отношению к другим районам Черного моря характеризуется наиболее интенсивной штормовой деятельностью. Большие скорости ветра отмечаются практически во всех частях побережья и во все сезоны года.

Результаты анализа пространственных особенностей и временных изменений параметров ветрового режима северо-восточного побережья и шельфа Черного моря подтверждают факт уменьшения скорости ветра во второй половине XX века. Результаты анализа межгодовых трендов скорости ветра для Ялты и Феодосии приведены на рис. 3.18 из работы [50]. Общее уменьшение величин среднегодовой скорости за 90-летний период изменялось в северо-восточной части от $-0,6$ (Ялта) до $-2,1 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ (Феодосия). По отношению к соответствующим среднемноголетним нормам скорости ветра это составило 22% и 53%. Понижение средней скорости ветра отмечается во все сезоны года, причем на большей части станций наиболее интенсивно оно происходит в зимний сезон.

Несмотря на общее уменьшение скорости ветра, во время редких, но сильных штормов скорость ветра над северо-восточной частью Черного моря ежегодно может превышать $20\text{-}25 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Один раз в 10, 25 и 50 лет возможны ураганы со скоростью ветра 31, 34 и $36 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, а раз в 100 лет скорость ветра может достигать $43 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$.

Азовское море. Азовское море расположено в южной части умеренной климатической зоны, для которой характерны мягкая зима и очень теплое и относительно сухое лето, причем в отдельные годы наблюдается засуха. Зимой погодный режим в районе Азовско-

го моря обусловлен влиянием Азиатского, летом – Азорского максимумов.

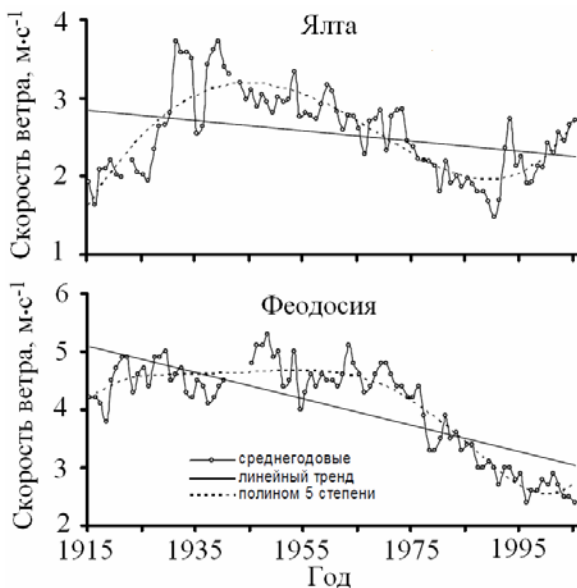


Рис. 3.18. Межгодовые изменения среднегодовых величин скорости ветра на двух южного побережья Крыма с построением линейного тренда и тренда в форме полинома 5-й степени [50]

Общая метеорологическая характеристика района Азовского моря дана в «Люции Азовского моря» [51]. В зимние месяцы отмечаются штормовые холодные северо-восточные ветры большой продолжительности, которые часто сопровождаются морозами и метелями. Прохождение циклонов над Азовским морем в это время вызывает неустойчивую и сравнительно теплую погоду.

Весной возрастает повторяемость средиземноморских циклонов, сопровождающихся юго-западными и западными ветрами. В этот период большей частью стоит ясная погода.

Летом погода обычно тихая, ясная и очень теплая. Иногда отмечаются штормы шквалистого характера, сопровождающиеся грозами и ливнями. В жаркие дни при развитии мощных кучевых облаков, особенно в южной и юго-восточной частях моря, образуются непродолжительные, но сильные смерчи. В первой половине осени

стоит теплая и ясная погода, во второй – характер погоды меняется на зимний.

В целом для района Азовского моря характерны следующие типы погодных условий.

Антициклонический тип погоды характеризуется ветрами со скоростями более $8 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, ясным небом или небольшой кучевой облачностью. Этот тип погоды возникает в теплый период года (апрель – октябрь), когда Азовское море оказывается в тыловой части антициклона, смещающегося с запада на восток. В это время отмечается высокая температура воздуха и ясное небо; днем над побережьем образуются кучевые облака, но к вечеру они исчезают.

В холодный период (ноябрь – март) этот тип погоды наблюдается лишь в тех случаях, когда над Черным морем располагается центр циклона. В это время преобладают восточные и северо-восточные ветры, часто бывают туманы.

Слабый циклонический тип погоды возникает при прохождении над Азовским морем слабых атмосферных фронтов или периферий отдельных циклонов. Средняя повторяемость его 12% в холодный период и 22% в теплый. Этот тип погоды характеризуется слабыми и умеренными ветрами переменных направлений, облаками среднего и нижнего ярусов; иногда выпадают слабые осадки. В холодный период обычно наблюдаются туманы и слоистые облака, а в теплый период над побережьем Азовского моря развиваются мощные кучевые облака и нередко бывают грозы.

Циклонический тип погоды возникает при прохождении над Черным и Азовским морями средиземноморских циклонов или циклонов, развивающихся на хорошо выраженных атмосферных фронтах севернее параллели 50° с.ш. Повторяемость его зимой и летом не превышает 15%. Для этого типа погоды характерны ветры со скоростью $6\text{--}14 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ сначала восточных, а затем южных и западных направлений. Западные ветры обычно бывают порывистыми и шквалистыми. Зимой отмечаются значительная облачность и обложные осадки. Летом, в начале развития этого типа погоды, наблюдается переменная облачность, часто лишь среднего яруса, или сплошная облачность из слоистых облаков. Прохождение холодных фронтов сопровождается шквалами и грозами. При переходе к западным ветрам температура воздуха заметно понижается, выпадают ливневые осадки.

Редкий циклонический тип погоды наблюдается преимущественно в холодный период и его повторяемость составляет около 4%. Для этого типа погоды характерны западные ветры со скоростью 14-24 м·с⁻¹, которые сопровождаются, как правило, шквалами.

Восточный тип погоды наблюдается при наличии устойчивого антициклона на юго-востоке европейской территории России и при циклонической деятельности над Черным морем. Этот тип погоды характеризуется восточными ветрами со скоростью 6-14 м·с⁻¹. В зависимости от стадии развития и траектории движения циклона над Черным морем в холодный период года различают два подтипа погоды:

- восточный подтип с антициклоническим характером погоды, наблюдающийся при продвижении средиземноморского циклона в юго-восточную часть Черного моря;

- восточный подтип с циклоническим характером погоды, наблюдающийся при продвижении средиземноморского циклона на Северный Кавказ или непосредственно на Азовское море, а также при глубоком циклоне, смещающемся в юго-восточную часть Черного моря.

Повторяемость этих подтипов погоды равна соответственно 11 и 6% в теплый период, 11 и 23% – в холодный.

При восточном подтипе с антициклоническим характером погоды небо обычно ясное и малооблачное. При восточном подтипе с циклоническим характером наблюдаются значительная облачность и осадки, а иногда (в холодный период) – гололед. При разности температур воды и воздуха 8-10°С отмечается парение моря.

Восточный штормовой тип погоды возникает при больших градиентах давления над Азовским морем, которые создаются при наличии антициклона на юго-востоке европейской территории России и циклона над Черным морем. Этот тип погоды характеризуется ветрами восточных направлений со скоростями 14-24 м·с⁻¹. Ветры обычно устойчивые, иногда шквалистые.

В течение почти всего года над Азовским морем преобладают ветры с северо-востока и востока. Ветры этих направлений более ярко выражены с сентября по апрель, когда общая повторяемость их составляет 30-60%. Кроме этих ветров, с мая — июня по август увеличивается повторяемость ветров с юго-запада и запада (суммарная повторяемость их достигает 50%).

Средняя месячная скорость ветра в течение года 3-7 м·с⁻¹, причем в холодный период года она больше, чем в теплый.

Штили редки, повторяемость их обычно не превышает 7%, и только в отдельных пунктах она увеличивается до 14%.

Годовое число дней со скоростью ветра 17 м·с⁻¹ и более на побережье колеблется от 21 до 38. Ветры с такой скоростью наблюдаются чаще с октября по март, когда среднее число дней с ними 2-4 за месяц, в остальное время среднее месячное число дней с таким ветром не превышает 1-2.

Зимой ветры со скоростью 17 м·с⁻¹ и более наблюдаются преимущественно с северо-востока и востока. Это – «штормы Азовского моря», опасные для судов. Они наблюдаются 20-30 раз в год, отличаются большой продолжительностью, обычно охватывают все море и часто сопровождаются морозами и метелями. Наибольшая продолжительность подобных штормов 9 сут. Эти ветры вызывают сильное волнение в вершине Таганрогского залива, а вдоль Арабатской стрелки волны взламывают лед и нагромождают торосы.

Летом ветры с такой скоростью отмечаются при прохождении холодных фронтов. Чаще всего они носят шквалистый характер и, как правило, сопровождаются грозами и ливнями. Перед шквалами обычно наблюдается высокая температура воздуха.

3.6 Ветровые волны

Ветровые волны – это вынужденные волны на поверхности воды, образующиеся под действием поля ветра. Развитие ветровых волн начинается с образования капиллярной ряби. Возрастая, капиллярные волны превращаются в гравитационные, которые постепенно увеличиваются по длине и высоте. Взволнованная ветром поверхность воды имеет весьма сложный рельеф, непрерывно изменяющийся во времени. На поверхности моря всегда существуют ветровые волны с длинами до нескольких первых сотен метров и высотами до 25-30 м.

В глубоком море параметры волн и характер волнения определяются скоростью ветра, структурой ветрового поля, продолжительностью действия ветра, т.е. «разгоном волн» (расстоянием от подветренного берега в направлении ветра до точки наблюдения). На мелководье дополнительным фактором, влияющим на процесс образования волн, является глубина моря и рельеф дна. Если ветер,

вызывающий волнение, стихает, то ветровые волны постепенно преобразуются в свободные волны, называемые зыбью. Они имеют более правильную форму, чем ветровые волны, и большую длину гребней. В реальных условиях наиболее часто встречается смешанное волнение, которое формируется из зыби и ветровых волн.

Изучение ветрового волнения представляет большой практический интерес для судоходства, морского гидротехнического строительства, защиты морских берегов, рекреации, экологии прибрежной зоны и др. Оно требует комплексного исследования с использованием методов математического моделирования, анализа данных наблюдений, лабораторного моделирования.

В настоящее время существуют прогностические системы, характеризующие состояние Мирового океана. Включают они и модули прогноза поля ветра, ветрового волнения, зыби, суммарного волнового поля и их параметров. На рис. 3.19 показан интерфейс модуля Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО), относящийся к ветровому волнению и зыби [52].

Остановимся на характеристике ветрового волнения в Черном и Азовском морях. Основной интерес с точки зрения природных катастроф представляют экстремальные волновые режимы.

Черное море. Частая повторяемость сильных ветров, значительная протяженность бассейна, большие глубины, слабая изрезанность береговой линии способствуют развитию ветрового волнения. Наибольшая высота волн в Черном море – 14 м. Длина таких волн достигает 200 м. Однако, в работе [53] по данным измерений в северо-западной части Черного моря в декабре 2000 г. была выделена штормовая волн с размахом колебаний 17 м. Для оценки интенсивности волнения используется специальная шкала балльности, приведенная в табл. 1.16 главы 1.

Статистические характеристики штормовых ситуаций в Черном море приведены в работе [54] и частично описаны ниже. Предлагается шторм рассматривать как пространственно-временной импульс с высотой волны выше некоторого значения (уровня z) и характеризовать его набором следующих величин:

- наибольшая высота ветровых волн h^+ в шторме (за все время существования шторма);

- наибольшая площадь шторма S (за все время существования шторма) и эквивалентный радиус $R = \sqrt{S/\pi}$;

- длина траектории шторма L ;
- время жизни шторма D ;
- средняя скорость движения шторма $V = L/D$.

ЕДИНАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ИНФОРМАЦИИ
ОБ ОБСТАНОВКЕ в МИРОВОМ ОКЕАНЕ



ОПЕРАТИВНЫЙ МОДУЛЬ ЕСИМО

Прогноз параметров ветрового волнения для Черного моря от 00 час 24.06.2010

Прогностическое поле	Заблаговременность прогноза											
	+06 час.	+12 час.	+18 час.	+24 час.	+30 час.	+36 час.	+42 час.	+48 час.	+54 час.	+60 час.	+66 час.	+72 час.
Скорость ветра (прогноз НСЕР/NOAA)												
Суммарная высота волн (ветровые волны и зыбь)												
Высота и направление распространения ветровых волн												
Период ветровых волн												
Высота и направление распространения волн зыби												
Период волн зыби												

Прогноз рассчитывается ежесуточно по данным наблюдений, приведенным к 00 час ВСВ.
Время обновления прогностических полей — около 07 час ВСВ.
ВСВ — всемирное координированное время (совпадающее с временем по Гринвичу).

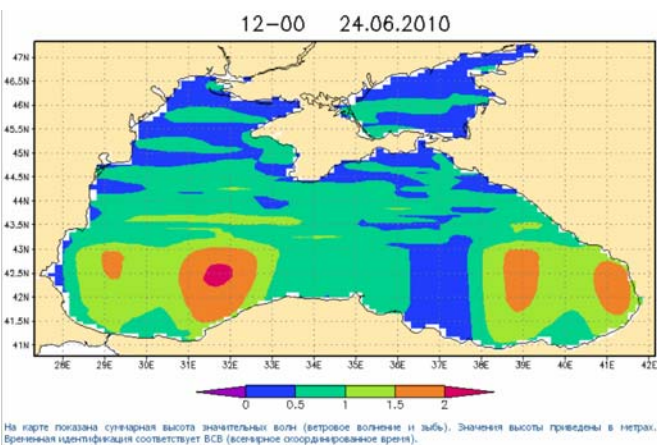


Рис. 3.19. Интерфейс модуля ЕСИМО ветрового волнения и пример прогноза на 12 ч поля суммарной высоты значительных волн (ветровых волн и зыби)

В табл. 3.6 приведены статистические характеристики штормов Черного моря для различных уровней z , полученные по резуль-

татам расчетам за 30-летний период по прогностической модели ветрового волнения SWAN.

Таблица 3.6
Статистические характеристики штормов Черного моря за 30-летний период по результатам прогностических расчетов по модели SWAN

Статистические характеристики шторма	Уровень z , м				
	2,5	4,0	5,5	6,5	7,5
Количество штормов	2289	766	260	118	46
Распределение (%) числа одновременно существующих штормов:					
0	73,6	91,8	97,9	99,7	99,8
1	23,2	8,0	2,1	0,3	0,2
2	3,1	0,2	–	–	–
≥ 3	0,1	–	–	–	–
Высота волны h^+ , м	3,6	5,4	6,7	7,4	8,2
Время жизни шторма D , ч	25	21	16	13	14
Радиус шторма R , км	87	86	117	104	106
Длина траектории шторма L , км	164	149	154	121	112
Средняя скорость шторма V , км·ч ⁻¹	5	6	9	8	7

Из этой таблицы следует, что:

- с увеличением уровня z общее число штормов уменьшается (с 2289 до 46);
- при низких уровнях на акватории одновременно в разных частях моря могут существовать несколько независимых штормов, при высоких (начиная с 7 м) – только один;
- среднее и максимальное время жизни шторма уменьшаются с увеличением уровня (с 25 до 13 ч);
- эквивалентный радиус шторма сначала увеличивается с ростом уровня, а затем несколько убывает, что связано с ограниченностью зеркала моря;
- длина траектории шторма уменьшается с увеличением уровня (по максимуму – от 1395 км до 422 км), как и время жизни шторма. Величина 1395 км для уровня $z \geq 2,5$ м относится к последовательности разных штормов, которые наложились друг на друга;
- средняя скорость перемещения шторма 5-9 км·ч⁻¹. Максимальная скорость может достигать 31 км·ч⁻¹, что имело место при движении шторма в ноябре 2007 г. и характерно для океанических акваторий.

Результаты расчетов для аномального шторма 10 – 12 ноября 2007 г. дали следующие характеристики этого события (от уровня $h_{3\%} = 9,0$ м):

- максимальная значительная высота волн – 6,8 м;
- время жизни – 18 ч;
- общая площадь шторма – 174,5 тыс. км²;
- эквивалентный радиус – 236 км;
- длина траектории шторма – 147 км;
- скорость движения – 8,2 км·ч⁻¹.

По оценкам работы [54] период повторяемости такого шторма в регионе составляет около 30 лет.

Азовское море. Режим ветрового волнения Азовского моря определяется небольшой площадью акватории, малыми глубинами и значительной изрезанностью берегов. Он описан в [51]. Здесь преобладают волны с высотами до 1 м (их повторяемость составляет 75%). Повторяемость высот волн 1-2 м равна 20-45%, а 2-3 м – не более 13%. В центральной, самой глубоководной части моря высоты волн не превышают 3,5 м, и только в очень редких случаях они достигают 4 м. В наиболее штормовые месяцы (декабрь – март) развитие волнения здесь ограничивается наличием льда.

В течение года в Азовском море преобладает волнение с северо-востока и востока, несколько реже – с северо-запада и запада. Ветры с северо-востока, востока и северо-запада обычно самые сильные, поэтому и вызванное ими волнение наиболее интенсивное. Ветровое волнение в Азовском море развивается быстро. Уже через 4-6 ч после усиления ветра оно достигает наибольшего развития, зависящего от скорости ветра. Ветровые волны имеют малую длину и значительную крутизну; они могут быть опасными для малотоннажных судов. Повторяемость высот волн дана в табл. 3.7.

Таблица 3.7
Повторяемость высот ветровых волн в Азовском море (в %)

Высота волны, м	Декабрь – февраль	Март – май	Июнь – август	Сентябрь – ноябрь
< 1	36	45	75	47
1 – 2	46	41	21	39
2 – 3	13	11	3	10
≥ 3	5	3	1	4

В Азовском море ветровые волны имеют длину, в основном, 15-25 м и только иногда достигают 80 м. Периоды волн обычно не превышают менее 5 с, крайне редко встречаются волны с периодами 7-8 с.

Зыбь в открытом море почти не наблюдается. Из-за отражения волн от берегов часто отмечается толчея.

3.7 Волны-убийцы

Волны-убийцы – это одиночные волны или группы морских волн, которые заметно выше окружающего их ветрового волнения. В англоязычной литературе их называют *freak waves*, *rouge waves*, *killer waves*, *anomalous waves* или *giant waves*. Гравитационная волна на поверхности жидкости классифицируется как волна-убийца, если выполняется условие

$$\frac{h_{\max}}{h_{1/3}} \geq 2,2, \quad (3.1)$$

где h_{\max} – высота волны-убийцы (размах колебания), то есть возвышение гребня над следующей за ней подошвой волны; $h_{1/3}$ – значительная высота волн (средняя высота 1/3 наиболее высоких волн в реализации). Критерий (3.1) будет использоваться ниже для идентификации волн-убийц по данным наблюдений.

О волнах-убийцах известно давно. Их прямые измерения до недавнего времени отсутствовали, а вся информация о них носила в основном описательный характер. Считалось, что волны в океане высотой 28-30 м – крайне редкое событие, которое наблюдается один раз в десятки лет.

Интерес к проблеме резко возрос в последнее десятилетие. Одна из причин – большое число аварий крупнотоннажных судов, вызванных не только погодными условиями, но и ударами быстро возникающих и быстро исчезающих морских волн аномальной крутизны, высоты гребня или глубины ложбины. Вызванные ими повреждения судов были значительными. По современным оценкам силовые воздействия волн-убийц на корабли могут существенно превосходить нормативные значения, принятые в судостроении.

В последние годы волны-убийцы удалось инструментально зарегистрировать с плавучих платформ, специализированных буев и космических носителей во многих районах Мирового океана. По-

этому, в действительности, волны-убийцы не столь редкое природное явление, как считалось ранее. Детальное обсуждение современного состояния теоретико-экспериментальных исследований волн-убийц содержится в работах [55 – 57].

Волны-убийцы могут существовать и в таких сравнительно небольших бассейнах как Черное море. Здесь одиночная волна-убийца впервые зарегистрирована 22 ноября 2001 г. с волнографического буйа в районе Геленджика [58] (рис. 3.20). Высота волны-убийцы составила 10,32 м, значительная высота волн – 2,6 м, а отношение $h_{\max}/h_{1/3} = 3,9$ оказалось достаточно большим. Продолжительность «жизни» этой волны составила 4,3 с.

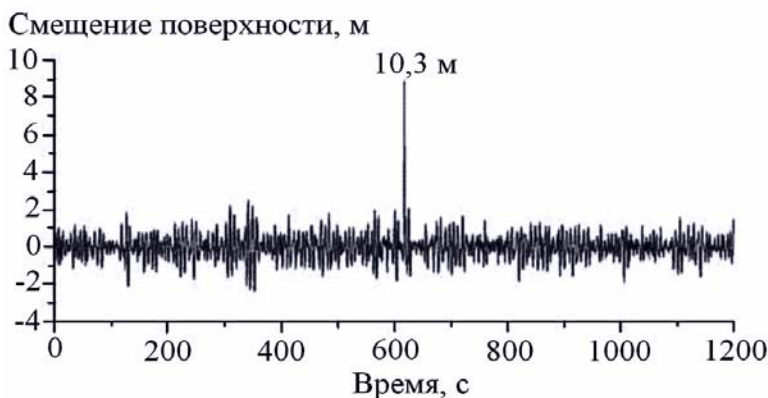


Рис. 3.20. Волна-убийца в Черном море, зарегистрированная 22 ноября 2001 г. с волнографического радиобуя в восточной части Черного моря около Геленджика [58]

Ниже на основе данных измерений, выполненных Морским гидрофизическим институтом НАН Украины в Каркинитском заливе, подтверждена возможность образования волн-убийц в северо-западной части Черного моря, и даны оценки их параметров [53].

Для измерения ветрового волнения и метеопараметров использована буровая платформа «Голицыно – 4», расположенная в северо-западной части Черного моря в точке с координатами 31°52' в. д, 45°42' с. ш. (рис. 3.21). Глубина моря в районе платформы составляет около 30 м.

Регистрация колебаний поверхности моря была начата в сентябре 2000 г. и завершена летом 2001 г. Измерения проведены отде-

лом взаимодействия атмосферы и океана МГИ НАН Украины с использованием разработанного в этом отделе витого волнографа. Ошибка измерений уровня не превысила 1 см.

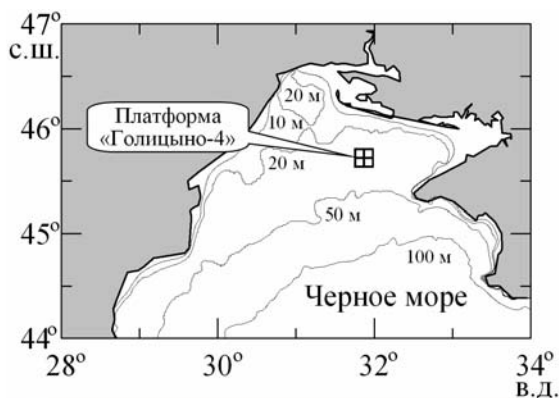


Рис. 3.21. Район проведения измерений ветрового волнения и метеорологических параметров

Колебания уровня моря регистрировались с частотой 4 Гц. Каждый ряд непрерывных наблюдений содержал 12288 точек, что соответствует промежутку времени 51,2 мин. При анализе ветрового волнения эти записи разделялись на три, каждая длительностью 17 мин. Для рядов такой продолжительности поле ветровых волн можно считать стационарным и эргодическим, что обычно используется при вероятностном анализе волн-убийц по данным измерений [59]. Заметим, однако, что предположение о стационарности случайного поля ветрового волнения может привести к заниженным на порядок оценкам вероятности возникновения волн-убийц, если волновой процесс таковым не является [60].

Для анализа волн-убийц в северо-западной части Черного моря использованы данные измерений колебаний уровня $z = z(t)$, полученные с 1 по 31 декабря 2000 г., где z – вертикальная координата, отсчитываемая вверх от заданного горизонта; t – время. Как показывает рис. 3.22, этот период характеризуется относительно небольшим числом сбоев в работе измерительного комплекса.

Для выделения аномальных волн анализу было подвергнуто 1660 центрированных 17-минутных записей $\zeta = z(t) - \overline{z(t)}$ колебаний

поверхности моря, где черта сверху означает осреднение по времени. Для нахождения высот волн запись рассматривалась как последовательность полных колебаний поверхности моря. Каждое такое колебание ограничено: оно начинается и заканчивается нулевыми значениями $\zeta = 0$, охватывая один гребень и одну подошву ветровой волны.

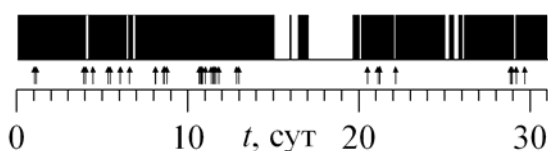


Рис. 3.22. Промежутки времени, в которые производились измерения ветрового волнения в Каркинитском заливе в декабре 2000 г. Стрелками отмечены моменты регистрации волн-убийц

Необходимо иметь в виду, что одно колебание в записи смещений уровня моря можно выделить двумя способами. Так, для определения начала и конца одного полного колебания уровня моря необходимо, двигаясь вдоль оси времени t , определить соседние нули ζ , соответствующие пересечениям горизонтальной оси $\zeta = 0$ с ростом времени в одном вертикальном направлении, то есть снизу вверх (англоязычный термин – the zero up-crossing criteria) или сверху вниз (the zero down-crossing criteria). Амплитудные характеристики волнового поля зависят от способа выделения отдельных волн в записи. Часто предпочтение отдается критерию, использующему пересечение нулевого уровня моря снизу вверх [59].

Для индивидуальной поверхностной гравитационной волны находилась ее высота h . Она принималась равной возвышению гребня волны над последующей (up-crossing criteria) или предшествующей (down-crossing criteria) подошвами волн. Затем по набору высот волн $\{h\}$ по каждой 17 – минутной реализации определялась максимальная высота волн $h_{\max} = \max \{h\}$, значительная высота волн $h_{1/3}$ и отношение $h_{\max} / h_{1/3}$.

На рис. 3.23 представлены значения параметра $h_{\max} / h_{1/3}$, рассчитанные обоими способами по всем данным измерений в декабре 2000 г. Диапазон изменения этого параметра от 1,32 до 2,56, а по-

этому условие (3.1) (область над штриховой линией) выполняется для некоторых 17 – минутных записей колебаний поверхности моря.

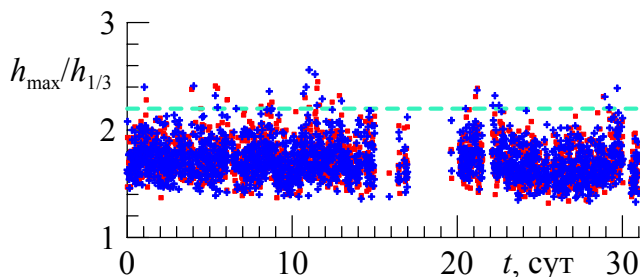


Рис. 3.23. Значения параметра $h_{\max}/h_{1/3}$ для 17–минутных центрированных записей смещений поверхности моря. Локальная высота волны определялась на отрезке между последовательными пересечениями оси нулевых значений уровня моря снизу вверх (■) и сверху вниз (+)

Выполненный анализ всех реализаций позволил выделить более трех десятков случаев образования волн-убийц в декабре 2000 г. Для нахождения высот волн применены оба описанных выше способа выделения одного колебания уровня моря. Моменты времени их регистрации отмечены вертикальными стрелками на рис. 3.22. Одна из записей волны-убийцы приведена на рис. 3.24.

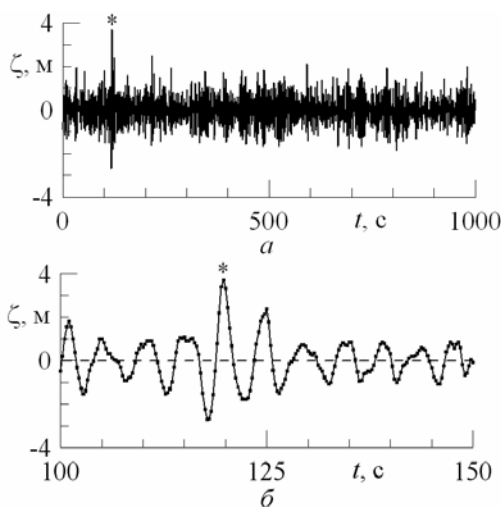


Рис. 3.24. Волна-убийца (*), зарегистрированная 12.12.2000 г. в северо-западной части Черного моря: a – 17-минутная запись колебаний уровня моря; $б$ – фрагмент записи с волной-убийцей

Формы волн-убийц в северо-западной части Черного моря достаточно разнообразны. Обнаружены как одиночные волны, так и волны-убийцы в группе ветровых волн относительно большой высоты. Волна-убийца на рис. 3.24 асимметрична, ее передний склон круче заднего, а ложбина ($-2,69$ м), предшествующая гребню ($3,71$ м) волны-убийцы, глубже следующей за ним впадины ($-1,78$ м).

Эти свойства профиля волны характерны для волн-убийц, хотя часто у них предшествующая волне-убийце впадина шире следующего за ней понижения уровня моря [55, 57]. Продолжительность колебания уровня в волне-убийце на рис. 3.24, б составляет около $4,75$ с, а ее длина (найденная в рамках линейной теории волн) равна $35,2$ м. При глубине залива в районе платформы 30 м, такая волна-убийца практически не взаимодействует с дном бассейна и обладает сильной дисперсией. Крутизна ее склонов достаточно велика, что говорит о возможном существенном проявлении нелинейных эффектов.

Таким образом, на основе волнографических измерений с бурового основания в Каркинитском заливе в декабре 2000 г. подтверждена возможность образования ветровых волн-убийц в Черном море. Для северо-западной части моря это сделано впервые, что расширяет географию районов Мирового океана, где наблюдалось подобное опасное морское явление.

В течение месяца зарегистрировано 33 волны-убийцы, высота которых более чем в 2,2 раза превышала значительную высоту окружающих их волн. Эти короткоживущие образования проявлялись как в виде одиночных волн, так и в форме групп из двух-трех ветровых волн с ярко выраженными дисперсионными эффектами. Волны обладали заметной асимметрией: их передние склоны, как правило, были круче задних, а предшествующая и следующая за волной-убийцей подошвы волн отличались по глубине и ширине. Максимальная высота волн-убийц составила $7,57$ м, хотя 28 декабря 2000 г. была зарегистрирована ветровая волна высотой (размахом колебаний) 17 м, но не удовлетворяющая критерию (3.1). Ослабление критерия (3.1) до $2,0$ увеличивает число зарегистрированных волн-убийц более чем в пять раз (176), а их максимальная высота по данным наблюдений может достигать $14,8$ м.

Используемый для выделения волн-убийц критерий (3.1) оперирует с относительной высотой экстремальных волн. По данным измерений высоты волн-убийц в районе платформы лежат в широ-

ком диапазоне, от 0,87 до 7,57 м. Поэтому выполнение критерия (3.1) не означает, что высота соответствующей волны-убийцы действительно велика.

3.8 Аномальные ледовые режимы

Аномальные ледовые режимы – нередкое событие для Черного и Азовского морей [4, 61]. Распределение льда в Черном и Азовском морях в зимний период показано на рис. 3.25 [62].



Рис. 3.25. Осредненное максимальное распространение льдов и их сплоченность в Черном и Азовском морях в феврале [62]

Черное море. Здесь лед обычно наблюдается в северо-западной части. В отдельные зимы он встречается вдоль западного побережья, на крайнем северо-востоке, включая Керченский пролив, а также у Крымского п-ва в районе м. Тарханкут, порта Евпатория, в Севастопольской и Феодосийской бухтах. Появление льда на Черном море, за исключением некоторых районов, приходится, как правило, на середину декабря – первую половину января. Прежде всего лед появляется в устьях крупных рек. На Черном море лед преимущественно местного происхождения. В районах устьев рек преобладает лед, выносимый реками. У открытых берегов и мористее их

чаще всего наблюдается дрейфующий лед, в лиманах, заливах и бухтах – неподвижный лед. Очищение моря ото льда происходит, как правило, во второй половине февраля–марте. Сначала лед исчезает с мористых участков, а затем с прибрежной зоны, где в последнюю очередь освобождаются лиманы. В умеренные зимы в северо-западной части моря число дней в году со льдом колеблется от 4-20 до 75-108. Аномальные ледовые сезоны с угрозой для безопасности мореплавания случаются в северо-западной части Черного моря не реже одного раза в 10 лет.

За последние 2 тыс. лет в районе Черного моря отмечено более 20 «жестоких» зим. Временной интервал между ними составляет в среднем 78 лет (в большинстве случаев от 60 до 90 лет). Основываясь на этих наблюдениях, можно думать, что очередная суровая зима на Черном море наступит не раньше, чем в начале XXI века.

Одна из последних наиболее суровых зим – зима 1953 – 1954 гг. Ее по праву называют «зимой века». Небывалые холода с ноября по апрель стояли на огромной территории от Испании и Франции до Уральского хребта. На Южном берегу Крыма морозы держались три месяца, среднемесячная температура февраля была на 10-12 °С ниже нормы, в Ялте высота снежного покрова в этот период превышала 30 см. Полностью замерзло Азовское море, через Керченский пролив было открыто устойчивое автомобильное сообщение, замерзла северная часть Черного моря.

Азовское море. Здесь лед держится 60-100 сут. Отмечены случаи вызванного ледовой обстановкой полного нарушения судоходства в Азовском море. Ледостав в иные годы продолжается 4-4,5 месяца, с декабря по март, толщина льда достигает 80-90 см. Раньше всего лед появляется в Таганрогском заливе, затем в Утлюкском, Ейском, Бейсугском и Ахтарском лиманах. В центральной части Азовского моря и в прикерченском районе льды плавучие.

Ледовый режим замерзающих мелководных морей определяется, главным образом, температурой воздуха и ветра над акваторией моря и прилегающей территорией. В холодную часть года погода на Азовском море определяется преобладанием области повышенного давления к северу и северо-востоку от моря, с одной стороны, и циклогенезом над Черным морем и восточной частью Средиземного моря с другой. Такая ситуация способствует выносу в зону моря холодного материкового воздуха восточными и северо-восточными сильными ветрами, а прорывы циклонов в район моря вызывают не-

устойчивую теплую погоду. Так как глубина моря невелика, а следовательно, и теплозапас незначителен по сравнению, например, с Черным морем, ледовые условия на море могут резко изменяться при смене погодных условий, т.е. они отличаются большим непостоянством

В период замерзания воды возможно неоднократное появление и исчезновение льда. В разгар зимы ледяной покров может покрывать всю акваторию моря и образовывать почти сплошной припай, а в отдельные годы большая часть моря остается свободной от льда. Процессы таяния и окончательного очищения моря от льда тоже могут сопровождаться периодами появления нового льда и замерзания.

3.9 Потенциальная опасность сероводородного заражения региона

Характерной особенностью Черного моря является существование под относительно тонким слоем аэробных вод мощного слоя сероводородного заражения. В некоторых публикациях зона сероводородного заражения (H_2S -зона) Черного моря рассматривается как таящая потенциальную опасность для населения в связи с возможным непредсказуемым подъемом ее верхней границы к поверхности моря, способным вызвать химическое заражение региона. Толчком к их появлению послужили как сведения о неблагоприятном состоянии экосистемы Черного моря, так и выводы, сделанные на основе ограниченного массива данных наблюдений. Например, американо-турецкая экспедиция на судне "Кнопг" (май-июнь 1988 г.) пришла к выводу о "драматических" изменениях зоны взаимодействия аэробных и анаэробных вод Черного моря на основе сравнения данных, полученных только на двух станциях – в апреле 1969 г. в экспедиции "Atlantis II" и в 1988 г. в экспедиции на "Кнопг" [63].

В МГИ НАН Украины регулярные наблюдения за топографией верхней границы H_2S -зоны в различные сезоны проводились по специальной программе с начала 80-х годов. Наблюдения позволили выявить характерные черты ее пространственной и временной изменчивости в 80-е годы [64].

Вместе с тем анализ положения верхней границы H_2S -зоны на основе гидрохимических наблюдений затруднен и не позволяет получить надежные и достоверные оценки параметров межгодовой

изменчивости ее положения как для отдельных десятилетий, так и для всего периода наблюдений. Основная причина – недостаточное количество наблюдений, выполненных до начала 80-х годов, большая неравномерность распределения наблюдений сероводородной зоны во времени и по акватории Черного моря.

Новые подходы к решению этой проблемы были предложены в 90-е годы в МГИ НАН Украины. На основе проведенных исследований была установлена связь между положением изопикнического слоя с условной плотностью $\sigma_t = 16,20$ и положением верхней границы H_2S -зоны в Черном море по осредненным многолетним данным [65, 66]. Это позволило для уточнения положения верхней границы H_2S -зоны на различных временных масштабах привлечь массив гидрологических данных, который по объему значительно превосходящий массив гидрохимических данных. Этот подход был положен в основу разработанной в МГИ НАН Украины информационной технологии исследования характеристик зоны взаимодействия сероводород – кислород в Черном море [67, 68].

Для проведения анализа положения верхней границы H_2S в МГИ НАН Украины были сформированы специализированные базы данных, которые содержали 3957 станций с определениями H_2S и 24429 гидрологических станций за период с 1910 по 1998 гг., выполненных в глубоководной зоне Черного моря.

На рис. 3.26 приведена карта глубины залегания верхней границы H_2S -зоны. Четко прослеживается ее зависимость от динамики вод. Ближе всего к поверхности (100-110 м) верхняя граница H_2S -зоны располагается в центрах двух стационарных циклонических круговоротов, расположенных в центрах восточной и западной частей бассейна. На их периферии и над континентальным склоном отмечается заглупление этой границы до 150-190 м. Восточная часть Черного моря характеризуется более глубоким положением верхней границы H_2S -зоны, чем западная. Максимальные глубины залегания границы отмечаются на крайнем юго-востоке глубоководной котловины в районе расположения локального антициклонального круговорота.

На рис. 3.27 представлены результаты расчетов с использованием десятилетнего скользящего среднего глубины залегания верхней границы сероводородной зоны и глубины залегания изопикны с условной плотностью 16,20.

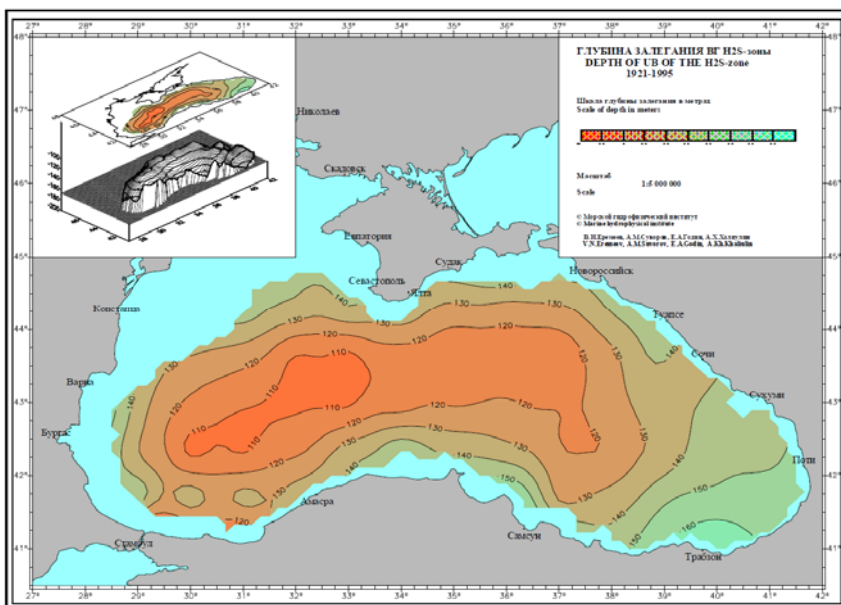


Рис. 3.26. Средняя глубина залегания верхней границы зоны сероводородного заражения по данным за 1921 – 1995 гг.

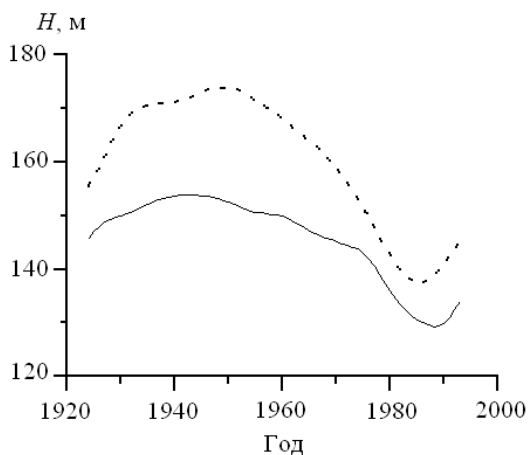


Рис. 3.27. Межгодовая изменчивость средних глубин залегания верхней границы H₂S-зоны (—) и изопикны $\sigma_t = 16,2$ (---) в Черном море

Рассчитанный по сглаженным рядам коэффициент корреляции между верхней границей H_2S -зоны и глубиной залегания изопикны 16,20, оказался равным 0,87. Сопоставление кривых на рис. 3.27 показывает, что они описывают некоторый глобальный климатический процесс, не имеющий постоянного однонаправленного тренда.

Полученные результаты свидетельствуют об отсутствии в изменениях положения верхней границы H_2S -зоны однонаправленного тренда и позволяют высказать предположение о том, что она совершает колебательные движения во времени. Тем самым, маловероятно ожидать самопроизвольного выхода верхней границы H_2S -зоны на поверхность моря. Вместе с тем, выполненные исследования указывают на необходимость проведения дальнейших работ с целью уточнения периода, амплитуды колебаний и прогноза тенденций поведения верхней границы сероводородной зоны Черного моря на различных временных масштабах [69].

3.10 Природные пожары

Пожар – это горение вне специально отведенного места, которое не контролируется и может привести к массовому поражению и гибели людей, а также к нанесению экологического, материального и другого вреда. В конце XX века на Земле ежегодно регистрировалось около 7 млн. пожаров всех типов, при которых ежегодно погибало приблизительно 70 тыс. человек. Реально их возникает намного больше пожаров, но многие из них, в первую очередь мелкие, по разным причинам не регистрируются.

Распределение пожаров по континентам показано на рис. 3.28. Наибольшее число пожаров приходится на Северную Америку и Европу, наименьшее – на Австралию.

Засушливое лето 2010 г., сопровождавшееся аномально высокой температурой воздуха, сделало проблему природных пожаров и борьбы с ними особенно актуальной. Аналогичная ситуация была летом 1972 г. Выгорают лесные массивы, заповедники, деревни, объекты хозяйственной деятельности, гибнут люди, домашние и дикие животные. По данным МЧС Российской Федерации в первой декаде августа 2010 г. на территории России зарегистрировано 853 очага природных пожаров, в том числе 32 торфяных, погибло более полусотни людей. Экономический и экологический ущерб от лесных пожаров огромен.

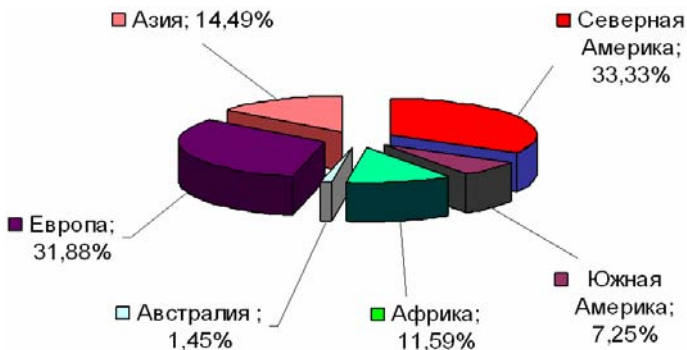


Рис. 3.28. Распределение числа пожаров всех типов по континентам планеты (в %)

В работе [70] даны основные характеристики пожаров. Классификация пожаров приводится ниже, следуя этой работе.

Пожары классифицируются по типам:

- индустриальные (пожары на заводах, фабриках и хранилищах);
- бытовые пожары (пожары в жилых домах и на объектах культурно – бытового назначения);
- природные пожары.

Природные пожары могут быть лесными, торфяными и степными (полевыми).

С точки зрения работ по локализации, тушению пожара, спасению людей и материальных ценностей, классификация пожаров проводится по трем основным типам зон горения:

- зона отдельных пожаров;
- зона массовых и сплошных пожаров;
- зона пожаров и тления в завалах.

Зона отдельных пожаров представляет собой район, на территории которого пожары возникают на отдельных участках, в отдельных зонах, зданиях и производственных сооружениях. Такие пожары рассредоточены по району, поэтому есть возможность быстрой организации их массового тушения с привлечением всех имеющихся сил и средств.

Зона массовых и сплошных пожаров – территория, где возникло так много загораний и пожаров, что невозможен подход или

нахождение в ней соответствующих подразделений (формирований) без проведения мероприятий по локализации или тушению; ведение спасательных работ практически исключено. Возникновение таких зон возможно при наличии определенных условий: сплошной застройки лесного массива, большого количества горючих материалов и др.

Особая форма сплошного пожара – огненный шторм. Он характеризуется наличием воздушных потоков, возникающих в результате горения большого количества материалов и образовавших конвекционный поток (столб), к которому устремляются воздушные массы со скоростью более $15 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Образование огненного шторма возможно при ряде условий: застройке или растекании горючих материалов на площади не менее 100 га; относительной влажности воздуха менее 30%; наличии определенного количества сгораемых материалов на соответствующей площади, в пересчете на древесину около $200 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}$ на площади 1 км^2 .

Далее нас будут интересовать в наибольшей степени природные пожары.

Лесные пожары представляют собой неуправляемое горение растительности, распространяющееся по территории леса. В зависимости от того, в каких элементах леса распространяется огонь, пожары подразделяются на три категории:

- низовые пожары. Они развиваются при сгорании хвойного подлеска, мертвого надпочвенного покрова (опавшие листья, хвоя, а также живого надпочвенного покрова (мхи, лишайники, трава, кустарники). Фронт низового пожара продвигается при сильном ветре со скоростью $1 \text{ км} \cdot \text{ч}^{-1}$, высота пламени достигает 1,5-2 м;

- верховые пожары. Они характеризуются сгоранием надпочвенного покрова и полосы древостоя. Скорость их распространения достигает $25 \text{ км} \cdot \text{ч}^{-1}$. Развиваются они обычно из низовых пожаров в густых хвойных лесах, когда засуха сочетается с ветром;

- подземные (почвенные) лесные пожары. Они являются дальнейшей стадией развития низового пожара. Пожары возникают на участках с мощным слоем подстилки ($> 20 \text{ см}$) или с торфяными почвами. Огонь распространяется в почву обычно у стволом деревьев. Горение происходит медленно, без пламени. При сгорании корней дерева беспорядочно падают, образуя завалы.

Торфяные пожары – это разновидность подземных пожаров. Они охватывают огромные площади. Торф горит медленно, на всю

глубину залегания. В выгоревшие, внешне незаметные полости, проваливаются почва, насаждения, техника, люди и дома.

Степные (полевые) пожары возникают на открытой степной местности с сухой растительностью. При сильном ветре фронт огня перемещается со скоростью $25 \text{ км}\cdot\text{ч}^{-1}$. Если горит хлеб, то огонь распространяется медленно.

Причинами возникновения пожаров являются неосторожное, обращение с огнем, нарушение правил пожарной безопасности, такое явление природы, как молния, самовозгорание сухой растительности и торфа. Известно, однако, что более 90% от числа всех пожаров возникают по вине человека (человеческий фактор) и только 7-8% – от молний. В большинстве конкретных случаев точно определить источник возгорания, а тем более найти виновных в пожаре, оказывается невозможно. Четкая приуроченность очагов возникновения пожаров к местам антропогенной активности, а также крайняя неравномерность распределения источников возгораний не может быть объяснена естественными причинами.

Леса – национальное богатство Украины. Они занимают более 7 млн. га земельных угодий государства. Статистика свидетельствует, что ежегодно в Украине возникает от 2 до 5 тыс. лесных пожаров, уничтожающих несколько тысяч гектаров леса. Причиненные ими убытки исчисляются миллионами гривен. На гашение лесных пожаров привлекаются значительные силы Государственного комитета лесного хозяйства Украины, Государственной пожарной охраны и подразделений Министерства по чрезвычайным ситуациям.

Среди причин возникновения лесных пожаров главным считается антропогенный фактор. Поэтому особого внимания требуют лесные массивы, расположенные около крупных промышленных центров, лечебно-оздоровительных заведений, дорог, электросетей. Естественные и климатические условия (высокая температура воздуха, ветер, малое количество осадков) чаще всего повышают вероятность возгорания и влияют на скорость распространения пожара.

Лесные пожары в Крыму – довольно частое явление (рис. 3.29). За 14 лет (1993 – 2006 гг.) в лесах Крыма по вине человека произошло 2120 лесных пожаров на общей площади 2170 га, в том числе верховых – 258 га. Ущерб, нанесенный лесному хозяйству, составил более 900 тыс. грн [71]. Количество лесных пожаров от года к году значительно колеблется и зависит, в большой степени, от погодных условий, а также от увеличения посещения лесов неоргани-

зованными отдыхающими и туристами. В условиях жаркой, засушливой погоды повышается вероятность возникновения и распространения пожаров в лесах.



Рис. 3.29. Лесные пожары в Крыму: *а* – ущелье Уч – Кош над Ялтой (август 2007) (<http://mediaua.com.ua/detail/22374>); *б* – пригород Севастополя (август 2009 г.); *в* – Пожар в горах над Алушкой (август 2007 г.) (<http://photo.allcrimea.net>); *г* – Алушкинское лесничество (август 2007 г.) (www.novoteka.ru)

Самые крупные лесные пожары произошли в Ялтинском горно-лесном природном заповеднике. Например, в 1993 г. площадь, охваченная пожаром, составила 459 га, из них верховым – 44,3 га. В этом же районе в 1998 г. пожары охватили площадь 107 га, включая 4,5 га верховых пожаров.

С января по август 2010 г. в крымских лесах произошло 39 пожаров, результате которых было уничтожено 4,53 гектаров лесной подстилки и нанесен материальный ущерб на сумму 12 тыс. грн (<http://www.novoross.info>).

На рис. 3.30 приведено распределение числа пожаров в Крыму за период с 1953 по 2003 г. Какие-либо тенденции в межгодовом из-

менении числа пожаров не прослеживаются, хотя увеличение числа пожаров в последние 15 лет все-таки отметить можно.

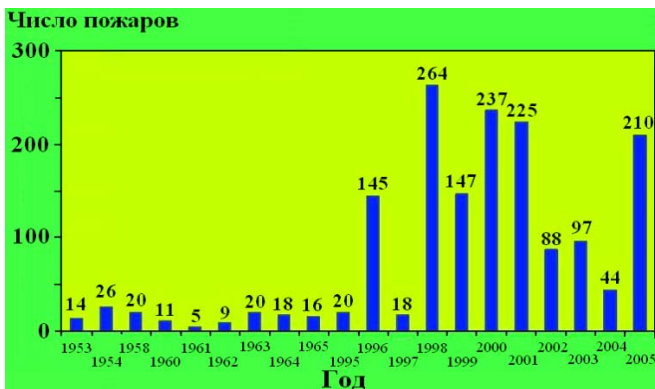


Рис. 3.30. Межгодовое изменение числа лесных пожаров в Крыму [71]

3.11 Оползни

По статистическим оценкам (рис. 1.6), на оползни и лавины приходится 9% от общего числа всех видов природных катастроф. Разрушительные оползни постоянно образуются в различных районах Земли, приводя к жертвам и огромным экономическим потерям. Оползни возникают на склонах долин или речных берегов, в горах, на берегах морей. Наиболее часто оползни возникают на склонах, сложенных чередующимися водоупорными и водоносными породами.

По данным на 2007 г. в Крыму было 1582 оползня, 67 из которых находились в активной фазе (рис. 3.31). Общая площадь оползней – 58,9 км², активных – 7,7 км². Не только подземные воды и механика грунта служат определяющим фактором подвижек почвы, но и хозяйственная деятельность человека (рис. 3.31, б). Оползень на рис. 3.31, в в Севастополе в апреле 2009 г. повредил четыре жилых дома, участок дороги, водопровод.

По прогнозам ученых, в Крыму начался пик повышенной активности оползней, который придется на 2010 – 2012 гг. Исследования государственной геологической службы "Южэкогеоцентр" показывают, что в 2010—2012 годах в границах автомобильных дорог в активном состоянии будут порядка 70% оползней, 5—10% оползне-

вых участков покажут интенсивную и катастрофическую активность. За последние 30 лет площади оползневых процессов увеличились в четыре раза.



Рис. 3.31. Последствия оползней Азово-Черноморского региона:
а – Керчь; б – пригород Севастополя, оползень антропогенной природы; в – Севастополь (www.e-crimea.info);
г – ялтинская трасса (фото М. Тесленко)

Южный берег Крыма на 80% занят оползнями. От мыса Айя до Алушты находится более 500 опасных оползневых участков. Особую тревогу сегодня вызывают 36 оползней, нависших над трассой Симферополь–Ялта–Севастополь. Среди причин оползней геологи называют непродуманное строительство у моря, свалки в горах, добычу песка в прибрежной зоне. Наибольшее число активных оползней Украины находятся вдоль Южного берега Крыма, Одесский, Николаевский и Мариупольский регионы, Западная Украина. Наибольшее число пассивных оползней располагается в западных районах Украины.

Подводные оползни могут возникать на континентальном склоне Черноморской котловины. Они представляют опасность для подводных газопроводов и линий связи. Наконец, по современным представлениям подводные оползни – эффективный генератор волн цунами [72].

Наиболее надежная защита от оползней на суше – их предупреждение. Большую часть потенциальных оползней можно предотвратить, если своевременно принять меры в начальной стадии их развития [70, 73]. Желательно было бы вообще избегать склоновых участков, что в реальных условиях, а тем более в крымских условиях, невозможно. Поэтому специалистами по инженерной геологии, механике грунтов и строительной технике были разработаны комплексные предупредительные мероприятия. Чтобы избежать сползания грунта, нельзя допускать:

- перегрузки верхней части оползня;
- подрезания основания оползневого участка (рекой, водохранилищем, инженерными мероприятиями);
- дополнительного увлажнения всего косогора.

Известно, что вода является главной причиной оползания. Поэтому первым этапом охранительных работ должны быть перехват и отвод поверхностных вод с оползневого склона. На оползнеопасном участке рекомендуется удаление воды из колодцев. Затем следует осушение участка с помощью подземного дренажа. Большое значение имеет и искусственное преобразование рельефа. В зоне отрыва уменьшают нагрузку на склон, ослабляя тем самым действие силы тяжести и повышая силы сцепления горных пород. Существует целый комплекс рекомендуемых технических операций по укреплению оползневого участка: анкерное крепление склонов, разрушение плоскостей скольжения, инъекция в грунт укрепляющих растворов, фиксация склонов с помощью свай и строительство опорных стенок. Важны и степень готовности, и быстрота реагирования, поскольку на более поздних этапах борьба с оползневыми процессами требует значительно больших усилий и экономических затрат.

3.12 Астероидная опасность

Последнее десятилетие широко обсуждается в средствах массовой информации, в научно-популярной и научной литературе проблема астероидной опасности для нашей планеты. Накопление и осмысление новых данных и теоретических оценок о малых телах Солнечной системы, выявление значительного числа следов космических катастроф на земной поверхности, новые гипотезы о катастрофических столкновениях в космосе – все это привело к существенному сдвигу в восприятии общественностью реальной опасности,

которую представляют собой столкновения крупных космических тел с Землей. Их падение на Землю могло сыграть важную роль в развитии жизни на Земле в прошлом и может оказать значительное влияние на ее эволюцию в будущем.

В Солнечной системе обнаружены десятки тысяч астероидов (рис. 3.32). По состоянию на 26 сентября 2009 г. в базах данных насчитывался 460271 объект, у 219018 из них точно определены орбиты. Предполагается, что в Солнечной системе может находиться от 1,1 до 1,9 миллиона объектов с диаметром более 1 км.

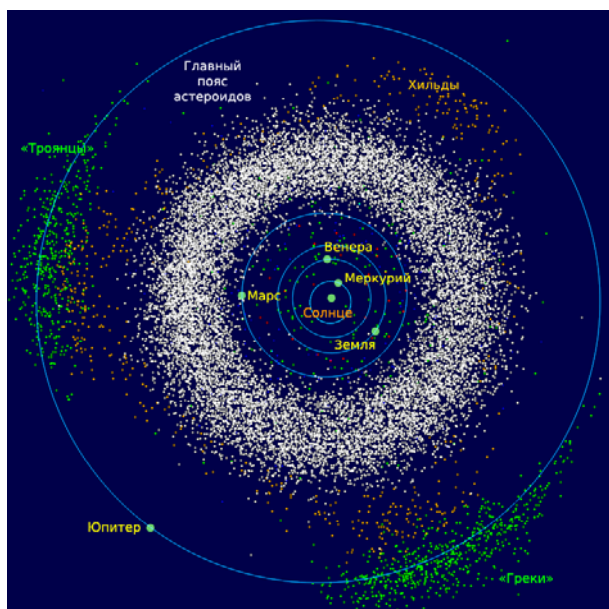


Рис. 3.32. Главный пояс астероидов (белый цвет) и троянские астероиды (зелёный цвет) (<http://ru.wikipedia.org/wiki/Астероид>)

Большинство известных сейчас астероидов сосредоточено в пределах пояса астероидов, расположенного между орбитами Марса и Юпитера (астероиды главного пояса). Кроме этих астероидов существуют астероиды, обращающиеся вокруг Солнца по довольно вытянутым и нестабильным орбитам, которые могут пересекать орбиту Земли. В настоящее время обнаружено около 800 астероидов, сближающихся с Землей или пересекающих ее орбиту. Это астерои-

ды групп Аполлона, Атона и Амура, физические свойства которых почти не отличаются от астероидов главного пояса соответствующих размеров (данные о физических свойствах этих астероидов приведены в [74]). Они имеют в основном такой же минералогический состав, такие же в среднем оптические свойства поверхности, форму, скорость вращения, как и астероиды главного пояса. Основные отличия – это их орбиты и относительно малые размеры.

Диаметры известных астероидов, которые при своем движении пересекают орбиту Земли, изменяются от 6 м до 40 км. Их распределение по размерам находится на основе изучения статистики кратеров на поверхности Земли и поверхности Луны, селекции при обнаружении новых астероидов, а также наблюдений метеоров, болидов и мини-комет при их входе в атмосферу Земли, наконец, статистики найденных метеоритов на поверхности Земли.

Форму и размеры этих астероидов определяют в настоящее время с помощью радиолокации при их прохождении вблизи Земли. Некоторые из них похожи на астероиды главного пояса, но основная их часть имеет менее правильную форму. Например, астероид Тоутатис состоит из двух, а может быть и большего числа, соприкасающихся друг с другом тел. Группу Аполлона составляют 66% астероидов сближающихся с Землей, которые в наибольшей степени опасны для Земли. Крупнейшими астероидами в этой группе являются Ганимед с диаметром 41 км, Эрос – 20 км, Бетулия, Ивар и Сизиф – 8 км.

На основе регулярных наблюдений и вычислений орбит таких астероидов можно сделать следующий вывод: пока нет известных астероидов, про которые можно сказать, что в ближайшие сто лет они подойдут близко к Земле. Ближайшим будет прохождение астероида Хатор в 2086 г. на расстоянии 883 тыс. км.

Астероиды сближающиеся с Землей могут сталкиваться между собой и с астероидами главного пояса. Такие столкновения могут приводить к полному их разрушению и популяция этих астероидов должна уменьшаться в 2-3 раза за несколько миллионов лет. На основании данных о следах падений небесных тел на Землю, Луну и другие планеты, можно утверждать, что частота падений астероидов остается неизменной на протяжении 3 млрд. лет. Это означает, что популяция таких астероидов непрерывно пополняется. Тем самым, кроме механизма убывания числа астероидов, существует механизм его увеличения.

Каждый год регистрируется пролет 2-3 космических тел диаметром 100-1000 м на расстоянии 0,5-3 млн. км от Земли (часто их пролет обнаруживается уже после максимального сближения с Землей). Таким образом, пока основную опасность представляют еще не открытые астероиды.

В целом, столкновение астероида и Земли – очень редкое явление. Согласно оценкам, столкновение с астероидами диаметром 1 м происходит ежегодно, 10 м – один раз в сто лет, 50-100 м – один раз за период от нескольких сотен до тысяч лет и диаметром 5-10 км – раз в 20-200 миллионов лет. При этом надо иметь в виду, что реальную опасность представляют астероиды с размерами большими нескольких сотен метров, поскольку они практически не разрушаются при проходе сквозь атмосферу.

Сейчас на Земле известно несколько сотен вызванных падением астероидов кратеров с диаметрами от десятков метров до сотен километров и возрастами от десятков до 2 млрд. лет. Наибольшими из известных являются кратер в Канаде диаметром 200 км, образовавшийся 1,85 млрд. лет назад, кратер Чиксулуб в Мексике диаметром 180 км, образовавшийся 65 млн. лет назад и Попигайская котловина диаметром 100 км на севере Средне-Сибирского плоскогорья в России, образовавшаяся 35,5 млн. лет назад. Все эти кратеры образовались в результате падения астероидов с диаметрами порядка 5-10 км со средней скоростью $25 \text{ км}\cdot\text{с}^{-1}$. Из молодых кратеров наиболее известен кратер Берринджер в штате Аризона (США) диаметром 1,2 км и глубиной 183 м, возникший 20-50 тыс. лет назад при падении астероида диаметром 260 м со скоростью $20 \text{ км}\cdot\text{с}^{-1}$ (рис. 3.33).



Рис. 3.33. Астероидный кратер Берринджер в штате Аризона (США) диаметром 1,2 км и глубиной 183 м, обнаруженный в 1891 г.

На рис. 3.34 показано местоположение и вид кратера Чиксулуб, являющегося третьим по величине в мире. Он находится в основном под водой около п-ва Юкатан (Мексика). Диаметр кратера около 170 км. Как полагают, это столкновение Земли с астероидом произошло примерно 65 миллионов лет назад. Предполагается, что сила удара метеорита о Землю в 1 млрд. раз превышала мощность бомбы, сброшенной на Хиросиму. Такой удар должен вызвать разрушительные цунами, землетрясения, оползни и вулканические извержения по всему миру, и, как полагают специалисты, привел к вымирания динозавров в конце мелового периода. Столкновение, вероятно, создало глобальную огненную бурю и/или широко распространившийся парниковый эффект, который вызвал долговременные экологические изменения.

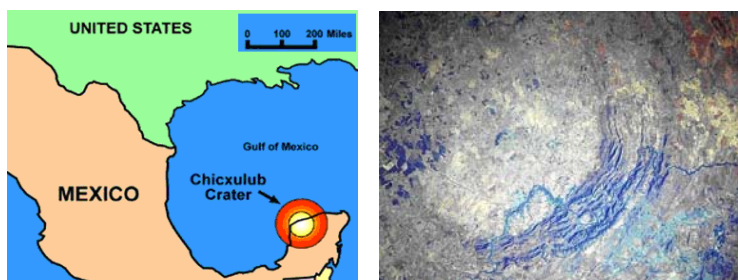


Рис. 3.34. Местоположение и вид кратера Чиксулуб на п-ве Юкатан в Мексике

Для определения геометрических параметров кратера на поверхности Земли, предложены различные теоретические модели. На рис. 3.35 представлены зависимости размеров кратера на поверхности Земли от радиуса упавшего астероида. Кривые отражают физически понятный рост глубины и диаметра кратера при увеличении радиуса упавшего на Землю космического тела.

Энергия, которая выделяется при ударе астероида диаметром 300 м, имеет тротиловый эквивалент 3000 мегатонн или 200 тыс. атомных бомб, подобных той, что была сброшена на Хиросиму. При столкновении с астероидом диаметром 1 км выделяется энергия с тротиловым эквивалентом 106 мегатонн, причем выброс вещества при столкновении по оценкам на три порядка превышает массу ас-

тероида. По этой причине столкновение с Землей крупного астероида может привести к катастрофе глобального масштаба, последствия которой будут усилены возникшими при ударе техногенными катастрофами.



Рис. 3.35. Теоретические зависимости диаметра и глубины кратеров на Земле от радиуса упавшего космического тела. Скорость астероида $20 \text{ км}\cdot\text{с}^{-1}$, плотность равна плотности Земли, $\rho = 3000 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$ [75]

Вероятность столкновения астероидов с океанами и морями существенно выше, чем с земной поверхностью, поскольку Мировой океан занимает 71% (361 миллион км^2) площади Земли. Карта районов вероятного падения астероидов в Мировой океан приведена в работе [76] и воспроизведена на рис. 3.36.

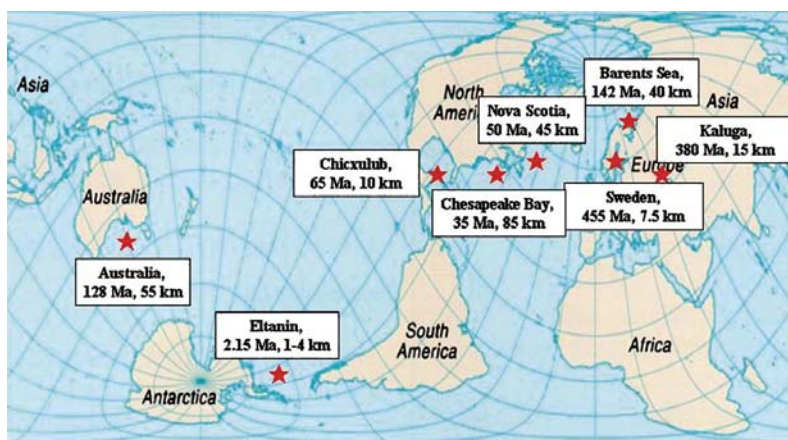


Рис. 3.36. Карта известных мест падения астероидов в Мировой океан [76]

Для оценки последствий столкновения астероидов с водной поверхностью созданы гидродинамические модели и компьютерные программы, моделирующие основные стадии удара и распространения образующейся волны (см., например, [76, 77]). Результаты вычислительного эксперимента по генерации и распространению волны цунами при падении астероида в океан глубиной 4 км приведены на рис. 3.37.

Экспериментальные исследования и теоретические оценки показывают, что заметные, в том числе и катастрофические последствия возникают тогда, когда размер падающего тела составляет более 10% глубины океана или моря. Так, для астероида 1950 DA диаметром 1 км, столкновение с которым может произойти 16 марта 2880 г., моделирование показало [78], что в случае его падения в Атлантический океан на расстоянии 580 км от побережья США волна высотой 120 м за 2 ч достигнет пляжей Америки, а через 8 ч она дойдет до берегов Европы, имея высоту 10-15 м.

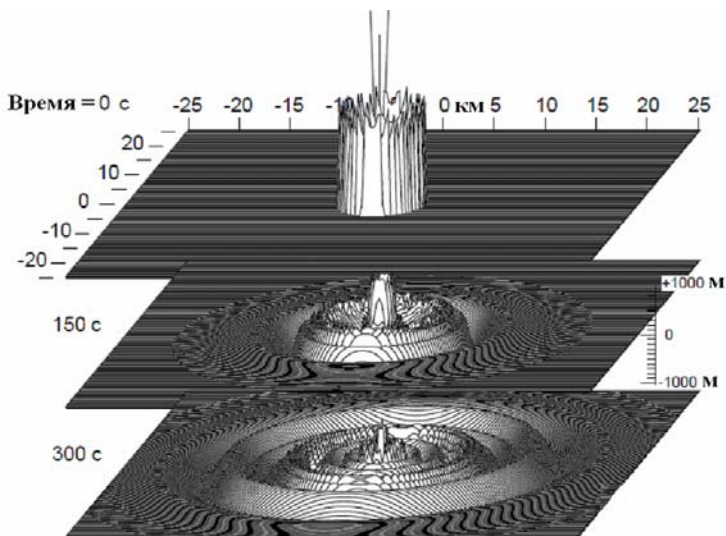


Рис. 3.37. Эволюция волны цунами, вызванной падением астероида диаметром 200 м в океан глубиной 4 км со скоростью $20 \text{ км}\cdot\text{с}^{-1}$. Плотность астероида $3000 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$. Высота головной волны в момент времени 300 с равна 325 м [75]

Опасным следствием столкновения астероида заметных размеров с водной поверхностью может стать испарение большого количества воды, которая выбрасывается в стратосферу. При падении астероида диаметром более 3 км объем испаряемой воды окажется сравнимым с общим количеством воды, содержащимся в атмосфере над тропопаузой. Этот эффект приведет к длительному повышению средней температуры поверхности Земли на десятки градусов и разрушению озонового слоя. Все сказанное относится к падению астероидов в Мировой океан, в частности, в акваторию Черного моря.

В работе [79] рассмотрен вопрос о возможном выбросе сероводорода при падении астероида в бассейн Черного моря и негативных последствиях такого события для населения региона. Автор считает, что при падении астероида в море образуется каверна, через которую в создавшихся критических условиях возможно выделение в атмосферу облака сероводорода, представляющего угрозу для населения. В результате проведенных вычислительных экспериментов установлена важная роль ветра для его распространения: при скорости ветра $10 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ облако сероводорода может быть перенесено на 150 км за время около 3,2 ч. При падении в море астероида диаметром 250 м отравляющему воздействию сероводорода будет подвержена площадь от 840 до 1890 км², при этом от 20 до 45 тыс. человек будут подвергнуты негативному действию сероводорода. В случае падения в Черное море астероида диаметром 1 км по полученным оценкам воздействию сероводорода будет подвергнута территория площадью до 115520 км² и пострадает до 276 тыс. человек.

Таким образом, можно ожидать, что при падении астероида в Черное море возможно не только образование разрушительных волн цунами, но и выброс в атмосферу большого количества сероводорода, способного вызвать химическое заражение региона.

Литература к главе 3

1. *Горячкин Ю.Н., Иванов В.А.* Уровень Черного моря: прошлое, настоящее и будущее. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2006. – 210 с.
2. *Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 5. Азовское море.* – С.-Пб.: Гидрометеоиздат, 1991. – 236 с.

3. *Богданова А.К., Кропачев Л.Н.* Сгонно-нагонная циркуляция и ее роль в гидрологическом режиме Черного моря // *Метеорология и гидрология.* – 1959. – № 4. – С. 26–33.
4. *Шнюков Е.Ф., Митин Л.И., Цемко В.П.* Катастрофы в Черном море. – Киев: Манускрипт, 1994. – 296 с.
5. <http://grants.rsu.ru/osi/azoveco/>.
6. *Иванов В.А., Манилюк Ю.В., Черкесов Л.В.* О сейшах Азовского моря // *Метеорология и гидрология.* – 1994. – № 6. – С. 105 – 110.
7. *Иванов В.А., Фомин В.В.* Математическое моделирование динамических процессов в зоне море – суша. – Севастополь: Морской гидрофизический институт НАН Украины, 2008. – 363 с.
8. *Кропачев Л.Н., Шайтан О.И.* Некоторые особенности колебаний уровня моря в Керченском проливе // *Океанология.* 1961. – 1, вып. 5. – С. 837–845.
9. *Мурти Т. С.* Сейсмические морские волны цунами. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 447 с.
10. *Соловьев С. Л.* Средиземноморские цунами и их сопоставление с тихоокеанскими цунами // *Известия РАН. Физика Земли.* – 1989. – № 11. – С. 3–17.
11. *Никонов А. А.* Цунами на берегах Черного и Азовского морей // *Известия РАН. Физика Земли.* – 1997. – № 1. – С. 86–96.
12. *Соловьева О. Н., Доценко С. Ф., Кузин И. П., Левин Б. В.* Цунами в Черном море: исторические события, сейсмические источники и закономерности распространения // *Океанология.* – 2004. – 44, № 5. – С. 679–685.
13. *Доценко С. Ф., Кузин И. П., Левин Б. В., Соловьева О. Н.* Особенности проявления цунами от сейсмических источников в Каспийском море // *Известия РАН. Физика Земли.* – 2003. – 39, № 4. – С. 308–314.
14. *Фомичева Л. А., Рабинович А. Б., Демидов А. Н.* Цунами в Черном море // Проект “Моря СССР”. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. – Т. IV. – Черное море. – Вып. 1. – Гидрометеорологические исследования. – С.–Петербург: Гидрометеиздат, 1991. – С. 352–354.
15. *Доценко С. Ф.* Черноморские цунами // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана.* – 1994. – 30, № 4. – С. 513–519.
16. *Доценко С. Ф., Коновалов А. В.* Цунами 1927 г. в Черном море: данные наблюдений, численное моделирование // *Морской гидрофизический журнал.* – 1995. – № 6. – С. 3–16.

17. *Григораш З. К.* Обзор удаленных мареограмм некоторых цунами в Черном море // Тр. СахКНИИ ДВО АН СССР. – Ю. – Сахалинск: СахКНИИ, 1972. – Вып. 29. – С. 271–278.
18. *Доценко С.Ф., Ингеров А.В.* Характеристики черноморских цунами по данным измерений // Морской гидрофизический журнал. – 2007. – № 1. – С. 21–31.
19. *Ranguelov B.* Tsunami vulnerability modelling for the Bulgarian Black Sea // Wat. Sci. Tech. – 1995. – 32, № 7. – P. 47–53.
20. *Altinok Y.* Tsunamis along the coasts of the Black Sea // Book of Abstracts, 2nd Balkan Geophys. Congr. and Exhibition., Istanbul, 5 – 9 July, 1999. – P. 46–47.
21. *Доценко С. Ф.* Оценка уровня цунамиопасности Черного моря // Вестник Московского университета. – Серия 3. – Физика. Астрономия. – 1998. – № 4. – С. 19–23.
22. *Yalçiner A., Pelinovsky E., Talipova T., Kurkin A., Kozelkov A., Zaitsev A.* Tsunami in the Black Sea: comparison of the historical, instrumental and numerical data // J. Geophys. Res. – 2004. – 109, C12023, doi: 10.1029/2003JC002113. – 13 pp.
23. *Куркин А.А.* Нелинейная и нестационарная динамика длинных волн в прибрежной зоне. – Н. Новгород: Нижегород. гос. техн. ун – т, 2005. – 330 с.
24. *Григораш З.К.* Черноморские цунами 1927 г. по мареографическим записям // Тр. МГИ АН СССР. – 17. – М.: АН СССР, 1959. – С. 59–67.
25. *Григораш З.К.* Распространение цунами 1927 г. в Черном море // Тр. МГИ АН СССР. – 18. – М.: АН СССР, 1959. – С. 113–116.
26. *Григораш З.К., Корнева Л.А.* Волны цунами, сопровождавшие Анапское землетрясение 12 июля 1966 г. // Океанология. 1969. – 9, вып. 6. – С. 988–995.
27. *Григораш З.К., Корнева Л.А.* Мареографические данные о цунами в Черном море при Турецком землетрясении в декабре 1939 г. // Океанология. –1972. – 12, вып. 3. – С. 417–422.
28. *Доценко С.Ф.* Особенности распространения цунами в северо-западной части Черного моря // Морской гидрофизический журнал. – 2005. – № 6. – С. 46–53.
29. *Доценко С.Ф., Ингеров А.В.* Численный анализ распространения и усиления цунами на северо – западном шельфе Черного моря // Морской гидрофизический журнал. – 2010. – № 5. – С. 11 – 20.

30. Tsunami glossary // IOC Tech. – Ser. 37. – UNESCO, 1991. – 136 pp.
31. *Ichinose G.A., Anderson J.G., Satake K., Schweickert R.A., Lahren M.M.* The potential hazard from tsunami and seiche waves generated by large earthquakes within Lake Tahoe, California – Nevada // *Geophys. Res. Letters.* – 2000. – 27, № 8. – P. 1203 – 1206.
32. *Малиновский Н.В.* Колебания уровня в Потийском порту // *Записки по гидрографии.* – 1923. – 47. – С. 163 – 196.
33. *Курчатов И.В.* Сейши в Черном и Азовском морях // *Известия центрального гидрометбюро.* – 1925. – 4. – С. 149 – 158.
34. *Thorade H.* Seiches im Schwarzen und Asowschen Meer // *Ann. Hydrogr. marit Meteorol.* – 1925. – 53 (10).
35. *Endros A.* Die Seiches des Schwarzen und Azowschen meers und die dortigen Huhhohen der Gezeiten // *Ann. Hyd. Mar.Met.* – 1932. – Bd. 60, Ht. 11. – S. 442 – 453.
36. *Defant A.* Die Seiches des Schwarzen Meers // *Ann. Hyd. Mar.Met.* – 1933. – 61, Ht. 3. – S. 56 – 58.
37. *Marinescu A., Sclarin O.* Les variations periodignes du niveau de la Mer Noire a longstanga // *Trans. Museum histoire nature Gr. Antipa.* – 1968. – № 1. – P. 531 – 535.
38. *Engel M.* Hydrodynamish – numerische Ermittlung von bewegungsvorgängen im Schwarzen Meer // *Mitt. Gnst. Meersk. Univ.* – № 22. – Hamburg, 1974. – 72 S.
39. *Баклановская В.Ф., Блатов А.С., Кондрин А.Т., Чечель И.И.* Результаты численного моделирования поверхностных и внутренних сейшевых колебаний в Черном море // *Метеорология и гидрология.* – 1986. – № 6. – С. 74 – 81.
40. *Иванов В.А., Блатов А.С.* Натурные характеристики колебаний уровня // *Гидрология и гидродинамика шельфовой зоны Черного моря (на примере Южного берега Крыма).* – Киев: Наук. думка, 1992. – С. 77 – 87.
41. *Иванов В.А., Манилюк Ю.В., Черкесов Л.В.* О сейшах Черного моря // *Метеорология и гидрология.* – 1996. – № 11. – С. 57 – 63.
42. *Архипкин В.С., Иванов В.А., Николаенко Е.Г.* Моделирование собственных колебаний в южных морях // *Численное моделирование гидрофизических процессов и явлений в замкнутых водоемах* / Под ред. А.С. Саркисяна. – М.: Наука, 1987. – С. 78 – 91.

43. *Горячкин Ю.Н., Иванов В.А., Репетин Л.Н., Хмара Т.В.* Сейши в Севастопольской бухте // Труды УкрНИГМИ.– Вып. 250.– Киев, 2002.– С. 342 – 353.
44. *Балинец Н.А., Хмара Т.В.* Явление тягуна в Севастопольских бухтах // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ – Гидрофизика», 2006. – Вып. 14. – С. 204–208.
45. *Иванов В.А., Манилюк Ю.В., Черкесов Л.В.* О сейшах Азовского моря // Метеорология и гидрология. – 1994. – № 6. – С. 105 – 110.
46. *Герман В.Х.* Спектральный анализ колебаний уровня Азовского моря в диапазоне частот от одного цикла за несколько часов до одного цикла за несколько суток // Труды ГОИН. – 1970. – Вып. 103. – С. 52 – 73.
47. *Рабинович А.Б.* Длинные гравитационные волны в океане: захват, резонанс, излучение. – С. – Петербург: Гидрометеиздат, 1993. – 325 с.
48. *Балинец Н.А.* Условия возникновения тягуна в портах Черного моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ – Гидрофизика», 2007. – Вып. 15. – С. 362 – 369.
49. *Репина И.А.* «Ветер – ветер – на всем Божьем свете...». О природе кататических ветров // Природа. – 2008. – № 5. – С. 36 – 43.
50. *Репетин Л.Н., Белокопытов В.Н.* Режим ветра над побережьем и шельфом северо – восточной части Черного моря // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2008. – Вип. 257. – С. 84 – 105.
51. *Лоция Азовского моря.* – СПб: ГУН и О, 2007. – 256 с.
52. <http://hmc.hydromet.ru/sea/black/wwf/wwfrest.php>
53. *Доценко С.Ф., Иванов В.А., Побережный Ю.А.* Волны – убийцы в северо – западной части Черного моря // Доповіді НАН України. – 2009. – № 9. – С. 113–117.
54. *Бухановский А.В., Лопатухин Л.И., Чернышева Е.С., Колесов А.М.* Шторм на Черном море 11 ноября 2007 г. и статистики экстремальных штормов моря // Известия РГО. – 2009. – 141, № 2. – С. 71 – 80.
55. *Куркин А. А., Пелиновский Е. Н.* Волны–убийцы: факты, теория и моделирование. – Н. Новгород: Нижегородский гос. техн. ун–т, 2004. – 158 с.

56. Бадулин С. И., Иванов А. Ю., Островский А. Г. Волны–убийцы и их дистанционное зондирование // Исследование Земли из космоса. – 2006. – № 1. – С. 77 – 92.
57. Доценко С. Ф., Иванов В. А. Волны – убийцы // Морской гидрофизический институт НАН Украины. – Препринт (серия: современные проблемы океанологии, вып. 1). – Севастополь, 2006. – 44 с.
58. Дивинский Б. В., Левин Б. В., Лопатухин Л. И. и др. Аномально высокая волна в Черном море: наблюдения и моделирование // Доклады РАН. – 2004. – **395**, № 5. – С. 948–950.
59. Jenkins A. D., Magnusson A. K., Niedermeier A. et al. Rogue waves and extreme events in measured time-series. Report WP2/1 from MAXWAVE project // Bergen: Norwegian Meteorological Institute, 2002. – Report № 138. – 101 pp.
60. Muller P., Garrett C., Osborne A. Rogue waves // Oceanography. – 2005. – **18**, № 3 – P. 66–75.
61. Проект "Моря СССР". Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. IV. Черное море. Вып. 1. Гидрометеорологические исследования. – С. – Петербург: Гидрометеиздат, 1991. – 429 с.
62. Black Sea and Sea of Azov pilot. – United Kingdom Hydrographic Office, 2003. – 276 pp.
63. Murray J. W., Jannasch H.W., Honjo S. et. al. Unexpected changes in the oxic/anoxic interface in the Black Sea // Nature. – 1989. – **338**, № 6214. – P. 411 – 413.
64. Безбородов А.А., Еремеев В.Н. Черное море. Зона взаимодействия аэробных и сероводородных вод. – Севастополь: МГИ АН Украины, 1993. – 299 с.
65. Еремеев В.Н., Суворов А.М., Годин Е.А., Халиулин А.Х., Богданова Н.В. Характеристики зоны взаимодействия сероводород – кислород в Черном море // Доклады НАН Украины, 1995. – № 3. – С. 75 – 79.
66. Еремеев В. Н., Суворов А. М., Халиулин А. Х., Годин Е. А. О соответствии положения верхней границы H_2S – зоны определенной изопикнической поверхности в Черном море по многолетним наблюдениям // Океанология. – 1996. – **36**, № 2. – С. 235 – 240.
67. Eremeev V.N. Suvorov A.M. Godin E.A., Khaliulin A.Kh. et al. Hydrochemistry and dynamics of H_2S zone in the Black Sea. – UNESCO: Paris, 1996 – 150 pp.

68. *Еремеев В.Н., Суворов А.М., Халиулин А.Х., Годин Е.А.* Исследование некоторых характеристик зоны взаимодействия аэробных и анаэробных вод в Черном море на основе компьютерного атласа // Комплексные океанографические исследования Черного моря. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 1995. – С. 190 – 197.
69. *Еремеев В.Н., Суворов А.М., Халиулин А.Х., Годин Е.А.* Сероводородное заражение Черного моря: есть ли опасность для жизнедеятельности человека в прибрежной зоне // Фундаментальные и прикладные проблемы мониторинга и прогноза стихийных бедствий. – Материалы международного научно – технического семинара. – Киев: Об – во "Знание" Украины, 1999. – Ч. 1 – С. 96 – 103.
70. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидации последствий. Кн. 1. – М.: Изд – во Ассоциации строительных вузов, 1995. – 319 с.
71. <http://reskomles.1024.info/text/work/fire.html>
72. *Ward, S.N.* Landslide tsunami // *J. Geophys. Res.* – 2001. – 106, № 6 – p. 11,201 – 11,215.
73. *Емельянова Е.П.* Основные закономерности оползневых процессов. – М.: Недра, 1972. – 310 с.
74. *Lupishko D. F., Di Martino M.* Physical properties of near – Earth asteroids // *Planetary and Space Science.* – 1998. – 46, № 1. – P. 47 – 74.
75. *Ward S.N.* Planetary cratering: A probabilistic approach // *Journal of Geophysical Research.* – 2002. – 107, № E4. – 11 pp.
76. *Kharif C., Pelinovsky E.* The near Earth objects: possible impactors of the Earth. Asteroid impact tsunamis // *C. R. Physique.* – 2005. – 6, № 3. – P. 361 – 366.
77. *Ward S.N., Asphaug E.* Impact tsunami–Eltanin // *Deep – Sea Research II.* – 2002. – № 49 – P. 1073 – 1079.
78. *Ward S.N., Asphaug E.* Asteroid impact tsunami of 2880 March 16 // *Geophys. J. Int.* – 2003. – № 153. – P. F6–F10
79. *Badescu V.* Release of hydrogen sulfide by asteroid impacts in Black Sea and risk for inland human population // *Environmental Toxicology.* – 2007. – 22, № 5. – P. 510–524.

Глава 4

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПАСНЫХ МОРСКИХ ЯВЛЕНИЙ В РЕГИОНЕ

В предыдущих главах был описан ряд опасных природных явлений, которые происходили в Азово-Черноморском регионе и принимали опасные для населения, объектов хозяйственной деятельности и экологии формы. Информация о гидрометеорологических опасных природных явлениях в Азово-Черноморском регионе поступает с береговых постов, а поэтому изначально является неполной. Она не позволяет описать характер развития явления в регионе в целом, описать его особенности и оценить интенсивность явления во всех частях региона. Частично неполноту данных удастся восполнить, привлекая информацию из международных центров, спутниковые данные, данные реанализа и др.

В тех случаях, когда есть дефицит инструментальной информации о природном явлении, который не удастся восполнить, на помощь приходит математическое моделирование. Оно позволяет, учитывая наиболее существенные стороны явления и вызывающих его причин, описать процесс развития события от зарождения до затухания или стабилизации полей, оценить интенсивность явления на различных стадиях и в различных точках региона. Конечно, математические модели разработаны далеко не для всех опасных природных явлений и далеки от совершенства, но они позволяют в настоящее время достаточно правильно описывать сценарии развития явлений и прогнозировать их интенсивность.

В настоящей главе дано краткое описание математических моделей нескольких опасных природных явлений. Рассмотрены модели баротропных сейш, сгонно-нагонных колебаний уровня моря, цунами и ветровых волн.

4.1 Сейши

Сейши – свободные стоячие гравитационные колебания жидкости в замкнутых или полужамкнутых бассейнах. Возникновение сейш в реальных водоемах обусловлено тем, что вода в бассейне, выведенная из состояния равновесия изменениями барического поля, ветровым напряжениями, паводковым стоком рек, землетрясе-

ниями или другими внешними факторами, стремится вернуться в положение равновесия, совершая свободные затухающие колебания.

Сейши имеют горизонтальные масштабы, соизмеримые с размерами бассейна. Для них отношение максимальной глубины бассейна к длине волны и вертикальной скорости к горизонтальной достаточно малы, что позволяет для описания сейш воспользоваться моделью длинных волн.

Математическая задача, описывающая линейные баротропные сейши в ограниченных бассейнах переменной глубины без учета вращения Земли, включает уравнение [1]

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(H \frac{\partial Z}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(H \frac{\partial Z}{\partial y} \right) + \frac{\sigma^2}{g} Z = 0 \quad (4.1)$$

относительно амплитудной функции $Z(x,y)$ гармонических колебаний уровня моря

$$\zeta = Z(x, y)e^{-i\sigma t},$$

отсчитываемого от невозмущенного горизонтального положения, а поэтому удовлетворяющего интегральному условию

$$\int_G Z(x, y) dx dy = 0, \quad (4.2)$$

и граничное условие непротекания на твердой боковой границе бассейна, означающее, что нормальная составляющая скорости к границе бассейна Γ равна нулю:

$$v_n = 0, \quad (x, y) \in \Gamma. \quad (4.3)$$

Здесь x, y – горизонтальные декартовы координаты; t – время; σ – частота волны; v_n – проекция скорости на внутреннюю нормаль к боковой границе бассейна; G – невозмущенное зеркало бассейна; $H = H(x, y)$ – глубина бассейна; g – ускорение свободного падения. Глубина бассейна отличной от нуля на границе бассейна.

Нахождение сейш сводится к решению задачи (4.1), (4.2) на собственные частоты $\sigma = \sigma_j$ ($j = 1, 2, \dots$) колебаний жидкости в бассейне (частоты сейш) и соответствующие им собственные функции $Z = Z_j(x, y)$ (распределения смещений свободной поверхности жидкости). В работе [2] доказано, что задача (4.1) – (4.3) имеет дискретный спектр, а система собственных функций является полной.

Только в небольшом числе случаев (бассейны модельной формы) задача может быть решена аналитически [1, 3]. Нахождение частот и распределений смещений уровня в сейшах для бассейнов близкой к реальной геометрии требует применения численных методов. Сейши в Черном и Азовском морях могут быть найдены только численно.

В работах [4 – 6] для расчета первых десяти сейш в Черном и Азовском морях применен метод конечных элементов, который позволяет с высокой степенью точности аппроксимировать береговую черту. Для решения задачи о сейшах в Черном море использована сетка, включающая 448 линейных конечных элементов с 260 узлами. При нахождении сейш в Азовском море использована конечно-элементная сетка из 284 треугольных элементов со 180 узлами. Применение метода конечных элементов позволило свести краевую задачу (4.1), (4.3) к обобщенной матричной задаче на собственные значения, решение которой найдено с помощью преобразования Хаусхолдера и TQL-алгоритма. В результате были найдены периоды первых десяти баротропных сейш и соответствующие им распределения смещений свободной поверхности жидкости. Частично эти результаты представлены на рис. 4.1 и 4.2. Аналогичный метод применен в работе [7] для расчета сейш в Черном море.

В работе [8] для расчета сейш в Азовском море с учетом вращения Земли и квадратичного донного трения применен явный по времени метод конечных разностей на разнесенных для смещений уровня и проекций скорости течения прямоугольных сетках с шагами по обеим осям 1,5 км (161×250 узлов). В этом случае граница расчетной области представляет собой ступенчатую функцию с параллельными координатным осям звеньями и поэтому на границе выполняется равенство нулю одной из проекций горизонтальной скорости. Реализован резонансный метод выделения сейш. Он опирается на исходную систему уравнений длинных волн. Суть метода следующая. На входе в Керченский залив задавались гармонические

колебания уровня разной частоты и определялись резонансные режимы колебаний уровня Азовского моря (максимумы зависимости полной энергии колебаний от частоты внешнего воздействия), а в результате находились частоты сейш и соответствующие им пространственные распределения смещений уровня моря.

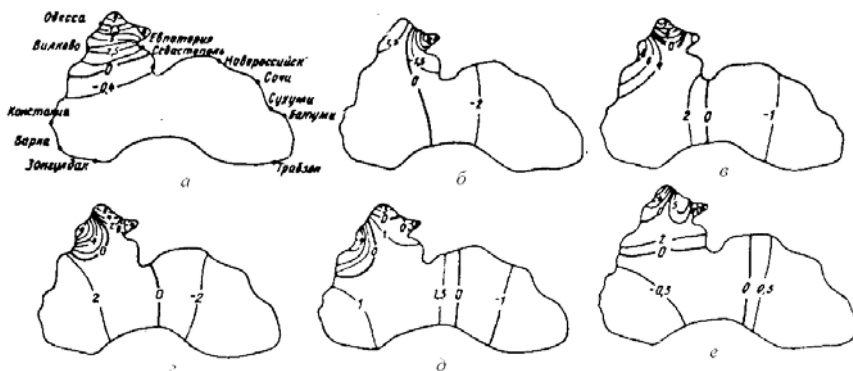


Рис. 4.1. Пространственная структура баротропных сейш Черного моря для периодов колебаний 10,9 ч (а), 7,5 ч (б), 6,3 ч (в), 5,5 ч (г), 4,6 ч (д), 4,4 ч (е) [6]

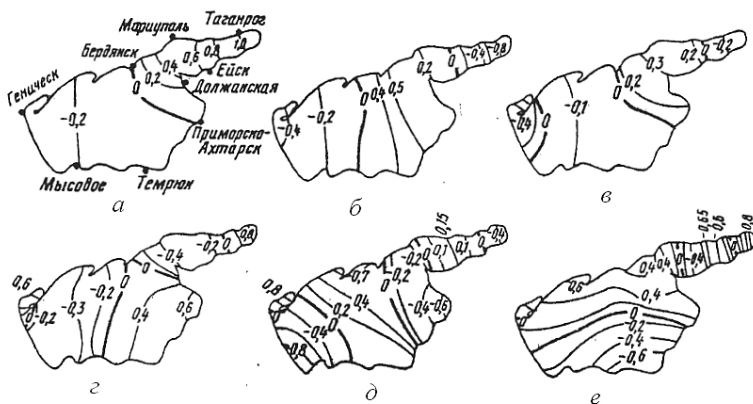


Рис. 4.2. Пространственная структура баротропных сейш Азовского моря для периодов колебаний 27,8 ч (а), 16,3 ч (б), 12,5 ч (в), 10,9 ч (г), 8,7 ч (д), 8,2 ч (е) [4]

На рис. 4.3 представлена структура одноузловой сейши Азовского моря (период 38,4 ч), рассчитанная резонансным методом. Уз-

ловая линия располагается в прикерченской зоне Азовского моря, а сейшевые колебания уровня наиболее интенсивны в вершине Таганрогского залива и у кос северо-западного побережья моря, что согласуется с результатами наблюдений.

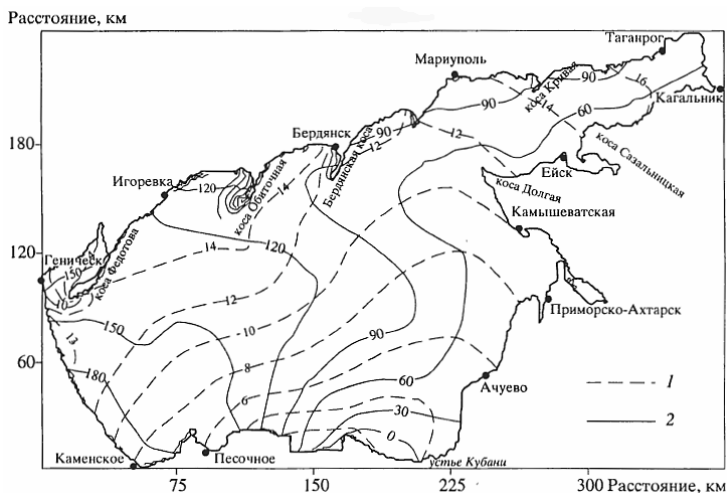


Рис. 4.3. Распределения изоамплитуд (I , в см) и изофаз (2 , в град) колебаний на резонансной частоте, соответствующей одноузловой сейше [8]

Сравнение периодов и пространственной структуры низших баротропных сейш, найденных различными методами (рис. 4.1, а и рис. 4.2), показывает их значительные отличия. Это можно объяснить различиями в задании граничных условий: в работах [4, 5] в зоне Керченского пролива принято условие непротекания, а в [7] задавались гармонические по времени изменения уровня моря с заданной амплитудой (внешний нагон). В принципе, резонансный метод нахождения двумерных сейш в рамках модели длинных волн более прост в реализации, хотя и менее экономичен по сравнению с методом конечных элементов.

4.2 Цунами

В “жизни” цунами традиционно выделяют три последовательных этапа с различным характером волнового процесса и уровнем опасности явления для населения и инфраструктуры:

- формирование возмущения океанской среды под действием внешнего источника (землетрясения, взрыва вулкана, оползня и др.). На этой стадии возникают возмущения свободной поверхности и поле скорости в морской среде. Фактически эти поля содержат всю информацию о природе источника, вызвавшем цунами. Поля выступают в качестве начального состояния океана при рассмотрении второго этапа “жизни” цунами;

- начальная стадия формирования волны цунами и последующее ее распространение в открытом океане, часто на трансокеанские расстояния, где принципиальную роль играет рельеф дна. Эффекты нелинейности здесь слабы, но возможно проявление частотной дисперсии. На этом этапе цунами реальной опасности для населения и объектов хозяйственной деятельности не представляет;

- распространения волны в сравнительно мелководной шельфовой зоне океана (глубины порядка 100 м и менее) и выход волны на берег. Здесь, помимо влияния рельефа дна топографии берега, существенна роль нелинейности волнового процесса. Этот заключительный этап эволюции цунами наиболее важен с точки зрения безопасности побережья.

Для математического описания процесса распространения пространственной волны цунами обычно применяется нелинейная эволюционная модель поверхностных длинных волн, учитывающая донное трение. Реакция жидкости на подводное землетрясение моделируется начальным возмущением среды в виде смещения свободной поверхности жидкости при нулевом поле скорости.

Неустановившиеся длинноволновые движения моря в рамках этой модели, записанной в полных потоках, описываются системой трех уравнений [9]

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{U^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{UV}{D} \right) = -gD \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{gk^2}{D^{7/3}} U \sqrt{U^2 + V^2}, \quad (4.4)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{UV}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{V^2}{D} \right) = -gD \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{gk^2}{D^{7/3}} V \sqrt{U^2 + V^2}, \quad (4.5)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0. \quad (4.6)$$

На твердой береговой границе Γ задается условие непротекания (скольжения) жидкости

$$\mathbf{V} \cdot \mathbf{n} = 0, \quad (x, y) \in \Gamma. \quad (4.7)$$

На жидких границах необходимо задать условие свободного выхода линейных волн, имеющее вид

$$\frac{\partial U}{\partial t} - C \frac{\partial U}{\partial n} = 0. \quad (4.8)$$

Начальные условия задачи имеют вид

$$\mathbf{V} = 0, \quad \zeta = \zeta_0(x, y) \quad (t = 0). \quad (4.9)$$

В уравнениях (4.4) – (4.9) $\mathbf{V} = (U, V)(x, y, t)$ – вектор полного горизонтального потока жидкости с проекциями U и V на оси x и y соответственно; $\zeta(x, y, t)$ – смещения поверхности жидкости от горизонтального положения; $\zeta_0(x, y)$ – начальное смещение свободной поверхности жидкости; $D = H(x, y) + \zeta(x, y, t) > 0$ – полная (динамическая) глубина жидкости, учитывающая конечные смещения свободной поверхности жидкости; \mathbf{n} – внутренняя нормаль к границе расчетной области; $C = \sqrt{gH(x, y)}$ – локальная скорость распространения длинных волн; g – ускорение свободного падения; $k = 0,013$ – параметр Маннинга.

Предполагается, что начальное смещение свободной поверхности жидкости повторяет по форме остаточные смещения дна бассейна, вызванные подводным землетрясением. Их можно оценить из решения упругой задачи для разлома в земной коре [10].

Воспользуемся простейшим способом моделирования начального возмущения уровня моря. А именно, $\zeta_0(x, y)$ зададим сосредоточенным в эллиптической области с большой и малой осями L и W соответственно. Длины осей эллипса зависят от магнитуды землетрясения M . Для задания осей можно использовать полученные в работе [11] обобщенные эмпирические зависимости для евразийского региона:

$$L = W, \lg L = 0,24M - 0,16 \quad (M < 6,5), \quad (4.10)$$

$$\lg L = 0,6M - 2,5, \lg W = 0,15M + 0,42 \quad (M \geq 6,5), \quad (4.11)$$

где L и W задаются в километрах. Для слабых землетрясений очаги цунами являются круговыми, при $M > 6,5$ – эллиптическими.

Максимальное смещение поверхности моря a_0 (м) в зоне подводного землетрясения можно задать, используя эмпирическую формулу [12]

$$\lg a_0 = 0,8M - 5,6 \quad (6,7 \leq M \leq 8,5), \quad (4.12)$$

найденную по данным о цунамигенных землетрясениях в Тихом океане и результатам решения обратной задачи (определения параметров очага по мареограммам вдоль побережья).

Рассчитанные по формулам (4.10) – (4.12) параметры начального возмущения уровня моря для подводных землетрясений различной магнитуды даны в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Параметры начального смещения уровня моря при различных значениях магнитуды землетрясения

M	L , км	W , км	a_0 , м
6,0	19,0	19,0	0,16
6,5	25,1	25,1	0,40
7,0	50,1	29,5	1,00
7,5	100,0	35,1	2,51
8,0	199,5	41,7	6,31

Начальное смещение поверхности моря в эллиптической области с центром в точке (x_0, y_0) задавалось по формулам

$$\zeta_0 = a_0 \cos^2(\pi r / 2) \quad (r \leq 1), \quad \zeta_0 = 0 \quad (r > 1), \quad (4.13)$$

$$r = 2\sqrt{(x_1 / L)^2 + (y_1 / W)^2},$$

$$x_1 = (x - x_0)\cos\alpha + (y - y_0)\sin\alpha, \quad y_1 = (y - y_0)\cos\alpha - (x - x_0)\sin\alpha;$$

где α – угол наклона большой оси эллипса к оси x , отсчитываемый против часовой стрелки.

Задача (4.4) – (4.9) может быть решена численно методом конечных разностей. Такой подход реализован для Черного моря в целом и его частей в работах [13 – 16] и др.

Для решения задачи была применена явно-неявная одношаговая по времени схема на разнесенных для полей U , V и ζ прямоугольных расчетных сетках (сетка Аракавы С) [17]. В работе [16] использована батиметрия Черного и Азовского морей, заданная на сетке с пространственными шагами $\Delta x = \Delta y = 500$ м. Такие же шаги задавались и в расчетной схеме. На границе расчетной области глубина бассейна $H = 5$ м. По результатам вычислительных экспериментов шаг интегрирования по времени был принят равным 1 с. Эти шаги обеспечивают выполнение критерия устойчивости разностной схемы.

В качестве примера применения описанной выше численной модели остановимся на анализе цунамиопасности участка черноморского побережья, включающего Южный берег Крыма и северо-восточную российскую часть кавказского побережья [16]. Карта района исследования с батиметрией приведена на рис. 4.4. Расчетная область с твердыми и жидкими (АБ, БВ, ГД) боковыми границами показана на рис. 4.5.

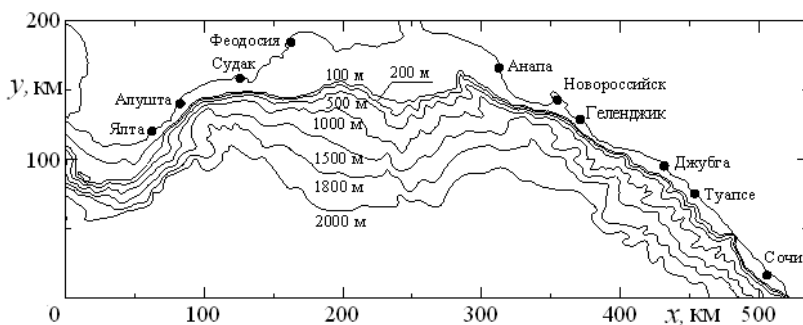


Рис. 4.4. Исследуемый географический район Черного моря

Расчеты волн цунами выполнены для 24 эллиптических очагов (рис. 4.5). Их центры расположены на изобатах 200, 1000 и 1800 м материкового склона. Такой выбор положений очагов цунами в не-

которой степени мотивирован одинаковыми перепадами глубин в направлении берега, что создает почти равные первоначальные условия (для каждого из трех рядов эллиптических зон генерации) с точки зрения усиления волн цунами при распространении к берегу. Большие оси всех очагов ориентированы вдоль изобат, что характерно для цунамигенных подводных землетрясений тихоокеанского региона [18]. Очаги покрывают Южнобережно (Крымско)-Кавказскую зону повышенной сейсмической активности [19, 20], которая создает наибольшую потенциальную цунамиопасность для побережья Крымского п-ва и северо-восточной части побережья Черного моря. Южнобережная сейсмоактивная зона Черноморской впадины характеризуется наибольшим выделением энергии в верхнем 15-километровом слое литосферы и значительным вкладом землетрясений с магнитудами $M \geq 5$. Очаг 1 близок к зоне сейсмической генерации цунами при Ялтинском землетрясении 26 июня 1927 г.

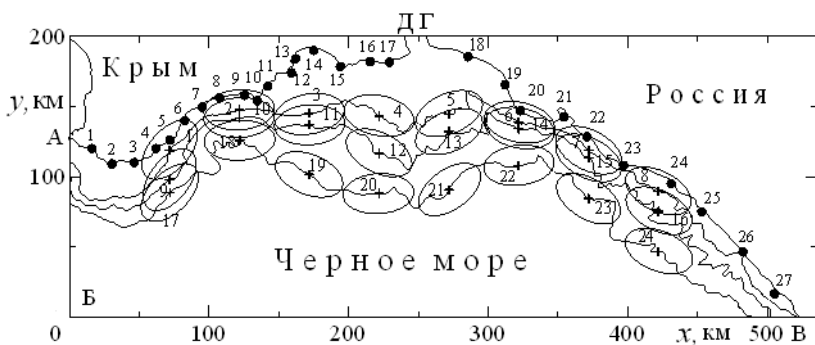


Рис. 4.5. Расчетная область АБВГДА численной модели с указанием 27 пунктов вдоль побережья Черного моря для анализа мареграмм и 24 эллиптические зоны сейсмической генерации цунами ($M = 7$) [16]

Характеристики волн цунами для диапазона магнитуд подводных землетрясений 6,0 – 7,5 анализировались по найденным численно мареграммам в 27 точках побережья (рис. 4.5), в том числе, для пунктов: 1 – Балаклава, 3 – Кацивели, 4 – Ялта, 5 – Гурзуф, 6 – Алушта, 9 – Судак, 10 – м. Меганом, 13 – Феодосия, 19 – Анапа, 21 – Новороссийск, 22 – Геленджик, 24 – Джубга, 25 – Туапсе, 27 – Сочи.

Процесс распространения волны в рассматриваемом районе Черного моря следующий. При опускании начального возвышения поверхности моря (8), показанного на рис. 4.6, *a*, образуются две на-

правленные волны повышения серповидной формы, распространяющиеся в противоположных направлениях по нормали к большой оси очага цунами (рис. 4.6, б). Волна, излученная в глубоководную часть бассейна, имеет меньшую высоту, выходит через открытые границы АБ, БВ и ГД (рис. 4.5) и в последующем не оказывает влияния на динамику волн в расчетной области.

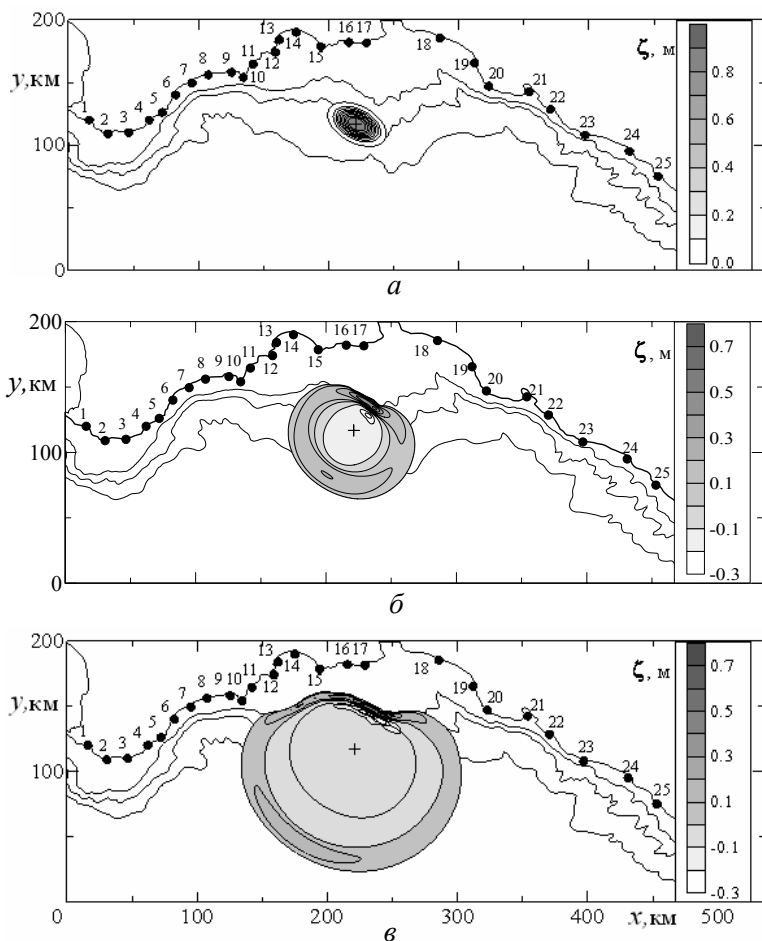


Рис. 4.6. Эволюция волны цунами, излученной из эллиптического очага 12, при $M = 7$: *a* – $t = 0$; *б* – $t = 5$ мин; *в* – $t = 10$ мин

Волна наибольшей высоты, распространяющаяся к берегу, усиливается по мере ее движения в область меньших глубин. Она подвержена значительной топографической трансформации (рефракции) в шельфовой зоне. Это проявляется в преобразовании серповидного гребня волны в прямолинейный, вытянутый вдоль изобат (рис. 4.6, в).

Расчеты показывают, что при отражении волны от берега образуются захваченные шельфом знакопеременные поверхностные волны, распространяющиеся вдоль берега в противоположных направлениях от зоны первоначального наката волны на берег.

Для общей оценки уровня опасности цунами вдоль морского побережья необходим анализ распределений высот волн вдоль твердых границ расчетной области при различных положениях и магнитудах сейсмических источников. Количественную оценку цунамиопасности можно проводить, анализируя различные характеристики волн (высоту первого гребня и максимальную высоту гребней волн в реализации, максимальную высоту волн в целом и др.).

Обобщенные оценки интенсивности цунами, вызванных землетрясениями в Крымско-Кавказской сейсмической зоне, представлены на рис. 4.7. для диапазона магнитуд 6-7. Приведены максимально возможные (для всей системы очагов цунами на рис. 4.5) высоты ζ_1 первых гребней волн цунами в пунктах побережья 1 – 27.

Распределения высот гребней волн вдоль берега крайне нерегулярны: участки побережья с высоким уровнем цунамиопасности перемежаются с зонами, где высоты волн цунами невелики.

Важное свойство черноморских цунами, установленное численно, следующее: максимальные подъемы уровня моря в данном пункте побережья возникают в результате действия ближайшего к береговому пункту сейсмического очага. Сейсмические источники, расположенные на различных изобатах материкового склона Черноморской впадины, возбуждают волны с близкими амплитудами, несмотря на существенное отличие глубин моря для различных очагов цунами. Это свойство волнового поля можно объяснить действием двух разнонаправленных факторов: во-первых, уменьшением амплитуды двумерных волн за счет пространственной расходимости волнового поля; во-вторых, усилением волн за счет увеличения перепада глубин между очагом генерации цунами и мелководной шельфовой зоной.

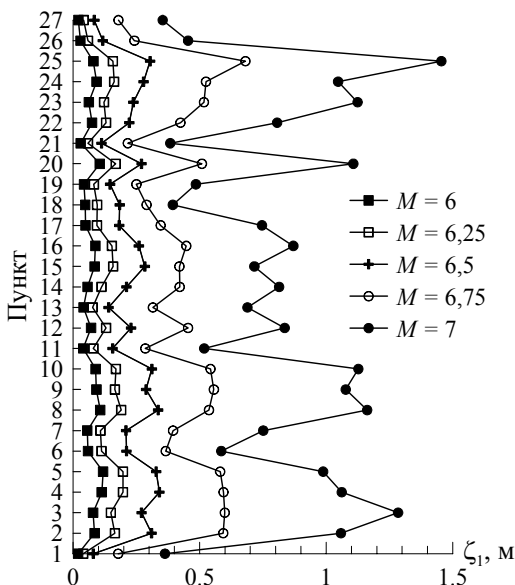


Рис. 4.7. Максимально возможные (для всей системы очагов цунами) высоты ζ_1 первых гребней волн в пунктах побережья 1 – 27 при землетрясениях различной магнитуды

Время распространения волн из зон генерации до ближайших участков морского побережья невелико. Для Ялты оно в среднем составляет 10 – 20 мин. Столь малая заблаговременность события не позволяет реализовать оперативные меры по защите населения и береговых объектов от сильных цунами на ближайших к зонам генерации участках морского побережья. Необходимы превентивные меры по снижению возможных негативных последствий этого опасного морского явления.

Приведенные выше количественные оценки в значительной степени приближенные. Точность прогноза волн цунами существенно зависит от правильности задания возмущения морской среды, вызванного сейсмическим источником. Подобная информация о сейсмических источниках генерации цунами в Черном море весьма скудна. По этой причине соответствие прогнозируемых и измеренных высот черноморских цунами не вполне удовлетворительное, хотя численные модели позволяют достаточно точно прогнозировать

время распространения длинных волн до различных пунктов побережья.

4.3 Сгонно-нагонные колебания уровня моря

Сгонно-нагонные колебания уровня, вызываемые, в основном, воздействием ветровых напряжений на поверхность жидкости, относятся к наиболее опасным морским явлениям в Азово-Черноморском регионе (см. параграф 3.1). Поэтому разработка математических моделей этого явления и их применение для прогноза колебаний уровня моря вдоль берега для различных ветровых режимов – интересная в теоретическом отношении и важная для приложений задача физической океанографии.

Остановимся на математической постановке задачи, описывающей сгонно-нагонные процессы в бассейнах переменной глубины [21].

Введем декартову систему координат с осями x и y , направленными на восток и север соответственно, и осью z , направленной вертикально вверх. В качестве базовых уравнений будем использовать нелинейные уравнения движения однородной вязкой несжимаемой жидкости в длинноволновом приближении:

$$\frac{du}{dt} - fv + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x}(\tau_{11}) + \frac{\partial}{\partial y}(\tau_{12}) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial u}{\partial z} \right), \quad (4.14)$$

$$\frac{dv}{dt} + fu + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x}(\tau_{21}) + \frac{\partial}{\partial y}(\tau_{22}) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial v}{\partial z} \right), \quad (4.15)$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} + g\rho = 0, \quad (4.16)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial x} = 0. \quad (4.17)$$

Здесь u , v , w – проекции скорости на оси x , y , z соответственно; t – время; p – давление (гидростатическое) в жидкости; K_M – коэффициент вертикальной турбулентной вязкости, при параметри-

зации которого применялась дифференциальная модель Меллора-Ямады [22]; $d/dt = \partial/\partial t + u\partial/\partial x + v\partial/\partial y + w\partial/\partial z$ – полная (индивидуальная) производная.

Компоненты тензора турбулентных напряжений Рейнольдса τ_{ij} в (4.14), (4.15) находятся по формулам:

$$\tau_{11} = 2A_M \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \tau_{12} = \tau_{21} = A_M \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right), \quad \tau_{22} = 2A_M \frac{\partial v}{\partial y},$$

где A_M – коэффициент горизонтальной турбулентной вязкости, вычисляемый по формуле Смагоринского [23].

Систему уравнений (4.14) – (4.17) дополним граничными условиями. Кинематическое и динамическое условия на свободной поверхности $z = \zeta$ имеют вид:

$$w|_{z=\zeta} = \frac{\partial \zeta}{\partial t} + u \frac{\partial \zeta}{\partial x} + v \frac{\partial \zeta}{\partial y},$$

$$K_M \left(\frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z} \right) \Big|_{z=\zeta} = (\tau_{0x}, \tau_{0y}),$$

где $\tau_{0x} = C_a^1 W_x |\mathbf{W}|$, $\tau_{0y} = C_a^1 W_y |\mathbf{W}|$ – проекции касательных напряжений ветра; $\mathbf{W} = (W_x, W_y)$ – скорость ветра на высоте 10 м над уровнем моря; C_a^1 – коэффициент поверхностного трения, рассчитываемый по формулам [24]:

$$C_a^1 = \begin{cases} 1,14 \cdot 10^{-3}, & |\mathbf{W}| \leq 10 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}, \\ (0,49 + 0,065|\mathbf{W}|)10^{-3}, & |\mathbf{W}| > 10 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}. \end{cases}$$

На дне ($z = -H(x, y)$) нормальная составляющая скорости равна нулю, т.е.

$$w + u \frac{\partial H}{\partial x} + v \frac{\partial H}{\partial y} = 0 \quad (z = -H).$$

Придонные касательные напряжения связаны со скоростью течения квадратичной зависимостью

$$K_M \left(\frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z} \right) = (\tau_{1x}, \tau_{1y}),$$

$$\tau_{1x} = C_b u \sqrt{u^2 + v^2}, \quad \tau_{1y} = C_b v \sqrt{u^2 + v^2}. \quad (4.18)$$

В (4.18) C_b – коэффициент донного трения [25], который находится по формуле $C_b = k^2 [\ln(z_b/z_0)]^{-2}$, где z_b – шаг по вертикали в придонном слое; $z_0 = 0,003$ м – параметр шероховатости, характеризующий гидродинамические свойства подстилающей донной поверхности; $k = 0,4$ – постоянная Кармана.

На твердых боковых границах бассейна необходимо задать условие прилипания

В начальный момент времени $t = 0$ движение жидкости отсутствует, свободная поверхность горизонтальна, т.е.

$$u(x, y, z, 0) = 0, \quad v(x, y, z, 0) = 0, \quad \zeta(x, y, 0) = 0.$$

В работах [21, 26] описанная выше математическая модель, после перехода от координаты z к σ -координате с 11 уровнями по вертикали, применена для прогноза сгонно-нагонных колебаний уровня Азовского моря в различных пунктах побережья. Ограничимся здесь изложением примера эффективного применения прогностической модели в случае однородного по пространству ветра.

Численные эксперименты проведены для западного ветра, изменяющегося следующим образом. При $t = 0$ жидкость неподвижна, уровень моря горизонтален, скорость ветра нулевая. При $t > 0$ на поверхность жидкости начинает действовать ветер, который усиливается линейно со временем. Через 3 ч скорость ветра в каждой точке акватории достигает своего максимального значения и в течение времени T не меняется со временем. В следующие 3 ч она линейно убывает до нуля и в последующем не изменяется.

Ветер направлен вдоль оси x , т.е. $W_y \equiv 0$. Изменение со временем зональной проекции скорости ветра задается кусочно-линейной функцией t (в часах):

$$W_x = \begin{cases} at, & 0 \leq t < t_1, \\ at_1, & t_1 \leq t < t_1 + T, \\ at_1 - a(t - t_1 - T), & t_1 + T \leq t < 2t_1 + T, \\ 0, & 2t_1 + T \leq t \leq 2t_1 + T + 36, \end{cases}$$

где $W_0 = at_1$ – максимальная скорость ветра; $t_1 = 3$ ч.

Численные эксперименты проведены для значений скорости ветра $W_0 = 5, 10, 15 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ и времени действия постоянного ветра $T = 6, 12, 18$ ч. Это позволяет выполнить анализ нагонов и сгонов вдоль побережья Азовского моря в зависимости от W_0 и T .

На рис. 4.8 приведены поля смещений уровня Азовского моря, вызванные постоянным западным ветром с различными значениями максимальной скорости. Они напоминают по своей структуре одноузловую сейшу (узловая линия показана как штриховая).

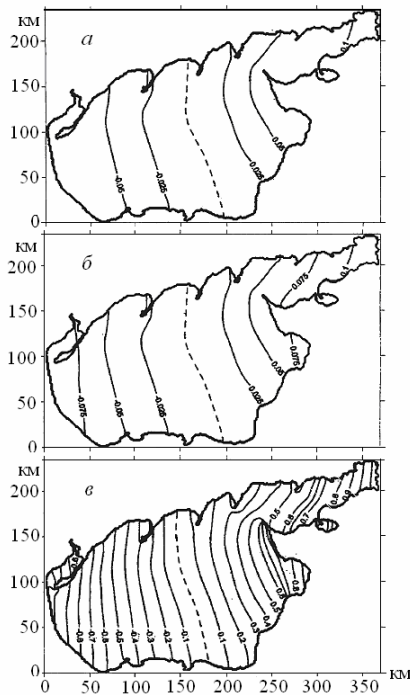


Рис. 4.8. Смещения уровня Азовского моря (м), вызванные постоянным западным ветром длительности $T = 12$ ч при $W_0 = 5$ (а); 10 (б); 15 (в) $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$

Как следует из сопоставления полей для различных максимальных скоростей ветра, сгоны возникают вдоль западного побережья моря, нагоны – у восточного берега. При увеличении максимальной скорости ветра величины сгонов и нагонов возрастают вдоль всего побережья Азовского моря. Наибольшие нагоны для ветра с $W_0 = 5, 10$ и $15 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ возникают в одном и том же пункте (в Таганроге) и равны 0,17; 0,6 и 1,41 м соответственно. При увеличении скорости ветра в 2 или 3 раза нагон возрастает в 3,5 или 8,3 раза. По полученным численным оценкам при максимальной скорости ветра $15 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ возникающие нагоны представляют опасность для населения и хозяйственных объектов в береговой зоне.

Для проверки качества модели, как инструмента для прогноза колебаний уровня Азовского моря, было выполнено сравнение измеренных и рассчитанных колебаний уровня в нескольких береговых пунктах. Натурные наблюдения представляют собой ежечасные измерения положения уровня моря с помощью самописцев. Такое сопоставление для гидрометеостанции Геническ приведено на рис. 4.9.

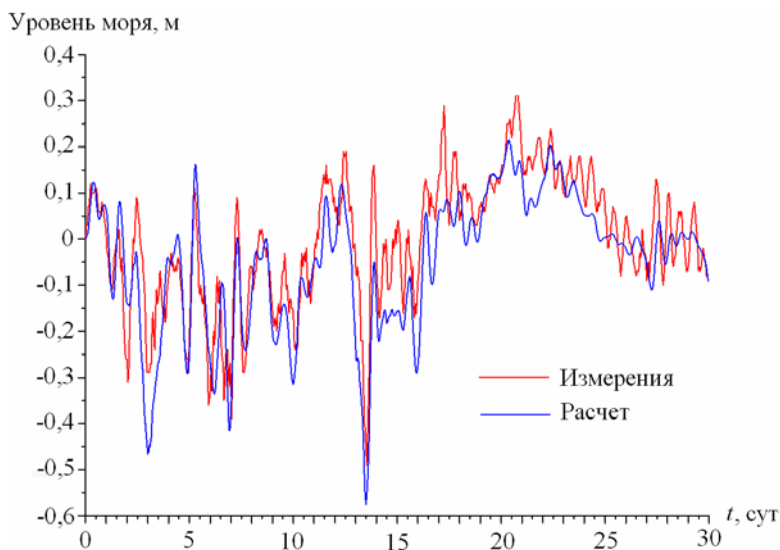


Рис. 4.9. Измеренные и рассчитанные изменения уровня Азовского моря на гидрометеостанции Геническ 1–30 ноября 2006 г.

Видно, что модель достаточно адекватно описывает смещения морской поверхности на станции Геническ несмотря на то, что в качестве входных данных использованы модельные поля ветра и атмосферного давления, а положения измерителей не совпадают с узлами расчетной сетки. Имеет место хорошее воспроизведение фаз подъемов и спадов уровня. Заметим, однако, что при сопоставлении измеренных и рассчитанных колебания уровня моря была использована более общая модель, чем описана выше, а именно, совместная модель прогноза волнения, течений и сгонно-нагонных процессов в Азовском море, разработанная в [21].

4.4 Ветровые волны

Штормовые волны входят в четверку доминирующих в Азово-Черноморском регионе опасных природных явлений. Их роль в динамике морской среды, взаимодействии атмосферы и океана, размыве берегов, безопасности мореплавания очень существенна. Северовосточная часть Черного моря и Азовское море в целом характеризуются наиболее интенсивной штормовой деятельностью в регионе. Азово-Черноморский бассейн характеризуется широким диапазоном изменения глубин. Для оценки параметров ветрового волнения в прибрежной зоне моря наиболее приемлема численная волновая модель третьего поколения SWAN (Simulating WAVes Nearshore), разработанная в Дельфтском Техническом Университете (Нидерланды). Модель ориентирована на расчет случайного волнения в ограниченных акваториях переменной глубины и в прибрежных зонах [27, 28].

В этой модели с достаточной точностью для практических расчетов поля ветрового волн учитываются:

- трансформация и рефракция волн на пространственных неоднородностях рельефа дна;
- рефракция волн на течениях;
- поступление энергии от воздушного потока;
- трехволновые и четырехволновые взаимодействия;
- потери энергии на обрушение волн в открытом море и на мелководье;
- потери энергии на донное трение.

Результаты моделирования хорошо согласуются с аналитическими решениями, данными лабораторных экспериментов и натуральных наблюдений.

В модели SWAN для описания полей волнения используется концепция частотно-углового спектра $E(x, y, t, \theta, \omega)$, где θ , ω – азимутальный угол и собственная (в системе координат, связанной с течением) частота волн. Основное уравнение модели – уравнение эволюции спектральной плотности волнового действия $N = E/\omega$ в форме основного уравнение –

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(c_x N) + \frac{\partial}{\partial y}(c_y N) + \frac{\partial}{\partial \theta}(c_\theta N) + \frac{\partial}{\partial \omega}(c_\omega N) = \frac{S}{\omega}, \quad (4.19)$$

Здесь S – функция источников и стоков энергии, содержащая параметризации механизмов формирования волнового поля. Второе и третье слагаемые в (4.19) описывает перенос волновой энергии в направлении распространения волн и фоновых течений, четвертое и пятое слагаемые учитывают эффекты рефракции поверхностных волн на горизонтальных неоднородностях глубины бассейна и фонового течения. Величины $c_x, c_y, c_\theta, c_\omega$ – скорости переноса волновой энергии в фазовом пространстве, определяемые в линейном приближении на основе метода геометрической оптики в предположении медленно изменения рельефа дна и течений [29].

Функция S в SWAN имеет вид:

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{wc} + S_{bf} + S_{dip}. \quad (4.20)$$

Здесь S_{in} – источник энергоснабжения волн ветром; S_{nl} – механизм резонансных взаимодействий спектральных гармоник, включающий четырех- и трехволновые взаимодействия; S_{wc} – сток энергии вследствие обрушения волновых гребней; S_{bf} – диссипация энергии, вызванная донным трением; S_{dip} – параметризация обрушения волн на мелководье. Конкретный вид параметризаций отдельных типов источников и стоков энергии волнового поля в формуле (4.20) приведен в работе [21].

Следуя [21], остановимся на примерах практического применения совместной модели прогноза волнения, течений и сгонно-

нагонных процессов для прогноза волновой динамики в рассматриваемом районе. Детали реализации вычислительного конечно-разностного алгоритма, использующего модель SWAN, описаны в указанной выше работе.

Азовское море. Рассмотрим штормовые ситуации в Азовском море в ноябре 2006 г. В этот период отмечено пять штормовых ситуаций (рис. 4.10). Они возникали в тех случаях, когда средняя скорость ветра над морем составляла не менее $10 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Даты максимального развития этих штормов следующие: шторм 1 – 3 ноября в 22:00 GMT; шторм 2 – 6 ноября в 20:00 GMT; шторм 3 – 7 ноября в 22:00 GMT; шторм 4 – 10 ноября в 01:00 GMT; шторм 5 – 14 ноября в 10:00 GMT. Все шторма вызваны прохождением циклонов.

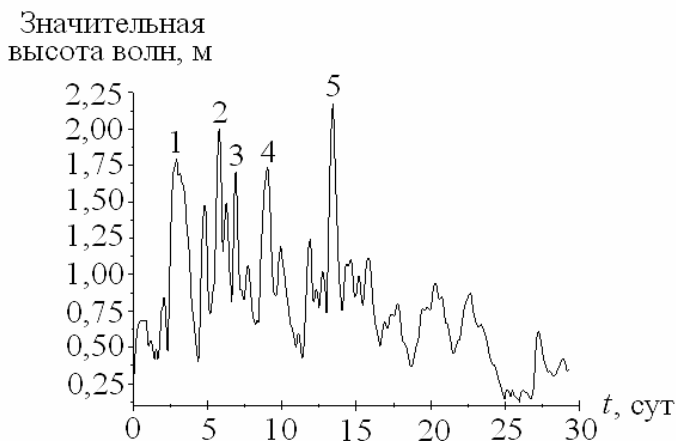
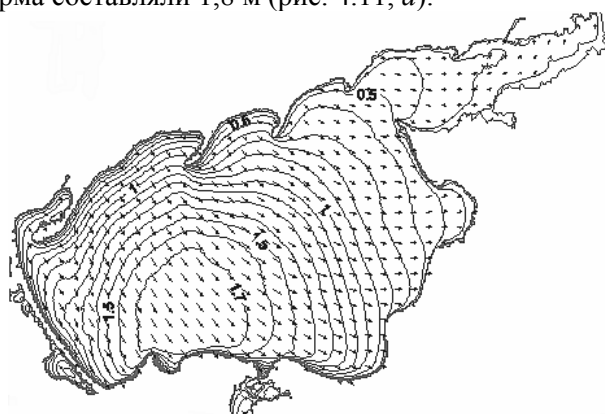


Рис. 4.10. Зависимость от времени максимума высоты значительных волн по акватории Азовского моря. Цифрами 1 – 5 обозначены пики, соответствующие штормовым ситуациям.

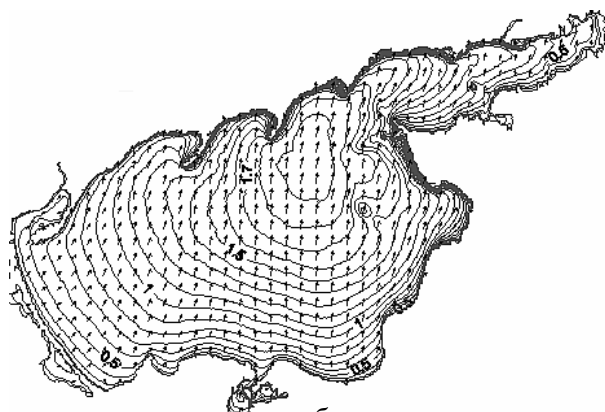
Для перечисленных выше штормов характерны такие максимальные высоты ветровых волн: 1-й шторм – 1,8 м; 2-й шторм – 2 м; 3-й шторм – 1,7 м; 4-й шторм – 1,7 м; 5-й шторм – 2,15 м.

В период первого шторма, длившегося с 12:00 GMT 3 ноября до 20:00 GMT 4 ноября, преобладал северо-западный ветер. Это вызвало формирование локальной зоны волнения у северной части Арабатской стрелки и ее постепенное смещение вдоль южного по-

бережья на восток к Темрюкскому заливу. Высоты волн во время этого шторма составляли 1,8 м (рис. 4.11, а).



а



б

Рис. 4.11. Высота значительных ветровых волн (м) и среднее направление волнения: *а* – шторм 3 ноября 2006 г. 22:00 GMT; *б* – шторм 6 ноября 2006 г. 20:00 GMT. Изолинии показаны через 0,1 м

Второй шторм начался 6 ноября в 12:00 GMT с усиления юго-западного ветра. Через 12 ч направление ветра сменилось на западное. Скорость ветра в течение следующих 12 ч стала постепенно уменьшаться. Такая ветровая ситуация привела к возникновению интенсивной зоны волнения у северного побережья, простирающейся

ся с запада на восток от косы Обиточной до косы Должанской. В период максимального развития шторма высота волн здесь достигала 2 м (рис. 4.11, б).

Самый сильный пятый шторм длился с 03:00 GMT 14 ноября до 19:00 GMT 14 ноября. Он был вызван западным ветром, скорость которого в течение 6 ч достигала 14 – 15 м/с. В результате у восточного берега (между Яссенским и Темрюкским заливами) возникла обширная область штормового волнения, в которой высоты волн превышали 2 – 2,15 м (рис. 4.12).

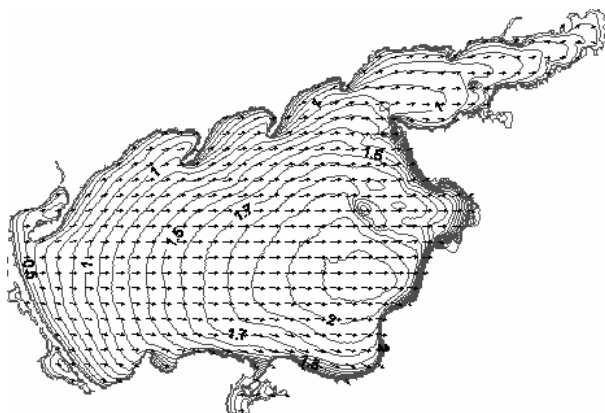


Рис. 4.12. Высота значительных ветровых волн (м) и среднее направление волнения при шторме 14 ноября 2006 г. в 10:00 GMT. Изолинии показаны через 0,1 м

Керченский пролив. В районе пролива характер ветрового волнения зависит от многих факторов: направления ветра, берегов и кос, взаимодействия с течениями. Количественно оценить их роль позволяет численное моделирование с использованием модели ветрового волнения SWAN. Эти результаты описаны в работе [30] и использованы ниже.

Расчеты ветрового волнения в проливе выполнено для четырех характерных направлений ветра: северо-восточного, северного, северо-западного и южного. При моделировании развития ветровых волн расчет производился из состояния покоя, а однородный по пространству ветер линейно нарастал за 6 ч от нуля до $15 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ и далее оставался неизменным.

Результаты моделирования ветрового волнения в проливе приведены на рис. 4.13. При северо-восточном ветре (рис. 4.13, *a*) максимальное волнение с высотами до 2,05 м развивается на входе в Керченский пролив со стороны Азовского моря. На глубинах 6 – 8 м направление распространения волн и направление ветра совпадают. Ослабление волнения и эффекты рефракции начинают проявляться при глубинах менее 5 м. При северном ветре направление распространения волн изменяется на юго-восточное. Существенное влияние на волновой режим оказывает о. Коса Тузла. Например, она блокирует волны, распространяющиеся на север [30].

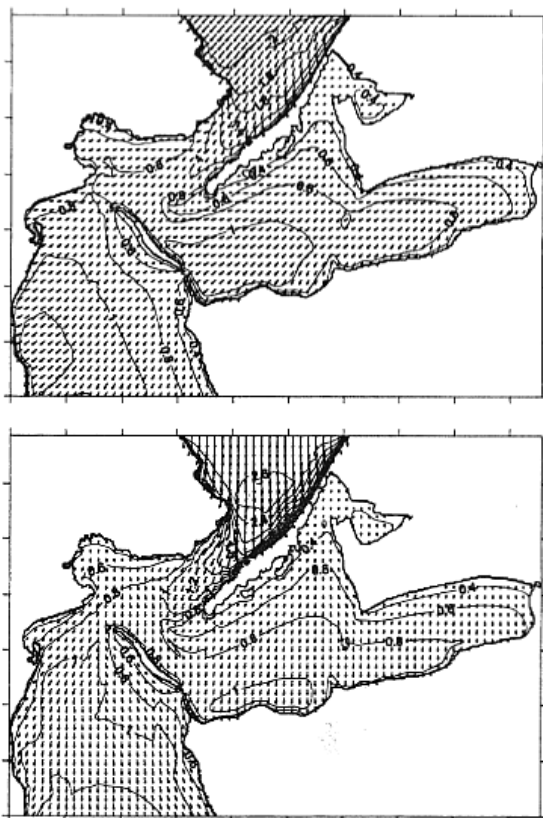


Рис. 4.13. Высота значительных ветровых волн (м) и среднее направление волнения при северо-восточном (*a*) и северном (*б*) ветрах

С помощью спектральной модели SWAN проведено численное моделирование ветрового волнения для экстремальных штормовых условий, которые привели к природной и экологической катастрофам в Керченском проливе 10–12 ноября 2007 г. (рис. 4.14). Результаты математического моделирования этой ситуации обсуждаются в [30]. Для задания функции источника S_{in} в (4.20) использованы результаты атмосферной модели SKIRON. Для повышения точности расчетов применен 3-х шаговый алгоритм вложенных сеток: Азово-Черноморский бассейн (шаг сетки около 5 км); северо-восточный шельф Черного моря, Керченский пролив и Азовское море (шаг сетки 1 км); Керченский пролив (шаг сетки 200 м).

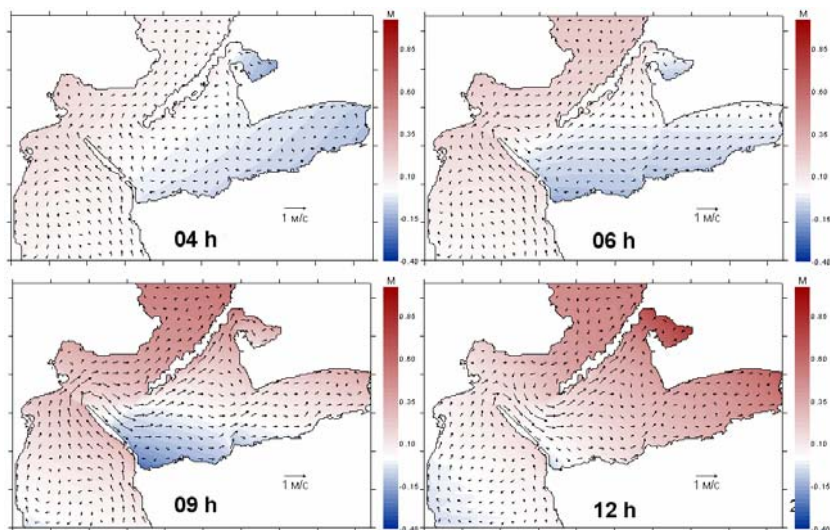


Рис. 4.14. Эволюция полей уровня моря и течений в Керченском проливе в период штормовой ситуации 11 ноября 2007 г. [30] (рисунок любезно предоставлен В.В. Фоминым)

Установлено, что своего максимального развития штормовая ситуация в проливе достигла в период с 4 по 16 ч 11 ноября под воздействием юго-западного ветра. Поля штормового волнения в проливе имеют значительную пространственную неоднородность, обусловленную влиянием рельефа дна и эффектами рефракции. Характерная особенность полей волнения состоит в наличии теневых зон,

возникающих с подветренных участков берегов пролива. Коса Тузла оказывает блокирующее влияние на распространение волн в северном направлении (рис. 4.14). В точках кораблекрушений в период шторма расчетные высоты значительных волн изменялись в пределах от 1,5 до 3 м.

Литература к главе 4

1. *Сретенский Л.Н.* Теория волновых движений жидкости. – М.-Л.: ОНТИ, 1935. – 303 с.
2. *Михлин С.Г.* Линейные уравнения в частных производных. – М.: Высшая школа, 1977. – 431 с.
3. *Ламб Г.* Гидродинамика. – М., Л.: Гос. Изд-во технико-теоретической лит-ры, 1947. – 928 с.
4. *Иванов В.А., Манилюк Ю.В., Черкесов Л.В.* О сейшах Азовского моря // *Метеорология и гидрология.* – 1994. – № 6. – С. 105 – 109.
5. *Манилюк Ю.В., Черкесов Л.В.* Математическое моделирование сейшевых колебаний в Азовском море на основе метода конечных элементов // *Мор. гидрофиз. журнал.* – 1994. – № 5. – С. 3 – 8.
6. *Иванов В.А., Манилюк Ю.В., Черкесов Л.В.* О сейшах Черного моря // *Метеорология и гидрология.* – 1996. – № 11. – С. 57–63.
7. *Матишов Г.Г., Инжебейкин Ю.Б.* Численное исследование сейшевых колебаний уровня Азовского моря // *Океанология.* – 2009. – 49, № 4. – С. 485–493.
8. *Иванов Ю.Б.* Моделирование баротропных сейш в Черном море // *Доповіді НАН України.* – 1999. – № 7. – С. 117–120.
9. *Liu P.L.-F., Cho Y.-S., Briggs M.J., Lu U.K., Synolakis C.E.* Runup of solitary waves on a circular island // *J. Fluid Mech.* – 1995. – 302. – P. 259–285.
10. *Okado Y.* Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space // *Bulletin of the Seismological Society of America.* – 1985. – 75, № 4. – P. 1135–1154.
11. *Уломов В.И., Полякова Т.П., Шумилина Л.С. и др.* Опыт картирования очагов землетрясений // *Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии.* – М.: ИФЗ РАН, 1993. – Вып. 1. – С. 99–108.
12. *Пелиновский Е.Н.* Нелинейная динамика волн цунами. – Горький: ИПФ АН СССР, 1982. – 226 с.

13. *Engel M.* Hydrodynamisch-numerische ermittlung von bewegungsvorgängen im Schwarzen Meer // Mitteilungen des Instituts für Meereskunde der Universität Hamburg. – 1974. – № 22. – 72 s.
14. *Доценко С.Ф., Коновалов А.В.* Цунами 1927 г. в Черном море: данные наблюдений, численное моделирование // Морской гидрофизический журнал. – 1995. – № 6. – С. 3–16.
15. *Yalçiner A., Pelinovsky E., Talipova T. et al.* Tsunami in the Black Sea: comparison of the historical, instrumental and numerical data // *J. Geophys. Res.* – 2004. – 109, № C12023. – 13 p.
16. *Доценко С.Ф., Ингертов А.В.* Численное моделирование распространения и усиления волн цунами у Крымского полуострова и северо-восточного побережья Черного моря // Морской гидрофизический журнал. – 2010. – № 1. – С. 3–15.
17. *Вольцингер Н.Е., Пясковский Р.В.* Основные океанологические задачи теории мелкой воды. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 300 с.
18. *Соловьев С.Л., Го Ч.Н.* Каталог цунами на западном побережье Тихого океана. – М.: Наука, 1974. – 310 с.
19. *Чекунов А.В.* Сейсмическая эмиссия и разноэтажная тектоника в Черноморском регионе // Доклады АН УССР. Сер. Б. – 1990. – № 11. – С. 27–31.
20. *Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е.* Сейсмичность Черноморской впадины // Геофизический журнал. – 1991. – № 3. – С. 14–19.
21. *Иванов В.А., Фомин В.В.* Математическое моделирование динамических процессов в зоне море-суша. – Севастополь: Морской гидрофизический институт НАН Украины, 2008. – 363 с.
22. *Mellor G.L., Yamada T.* Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems // *Rev. Geophys. Space Phys.* – 1982. – 20. – P. 851-875.
23. *Smagorinsky J.* General circulation experiments with primitive equations, I. The basic experiment // *Mon. Weather Rev.* – 1963. – 91. – P. 99–164.
24. *Large W.G., Pond S.* Open ocean momentum fluxes in moderate to strong winds // *J. Phys. Oceanogr.* – 1981. – 11, № 3. – P. 324–326.
25. *Китайгородский С.А.* Физика взаимодействия атмосферы и океана. – Л.: Гидрометеиздат. – 1970. – 284 с.
26. *Иванов В.А., Черкесов Л.В., Шульга Т.Я.* Динамические процессы и их влияние на распространение и трансформацию загрязняющих веществ в ограниченных морских бассейнах. – Севастополь:

- Морской гидрофизический институт НАН Украины, 2010. – 178 с.
27. *Booij N., Ris R.C., Holthuijsen L.H.* A third-generation wave model for coastal regions. 1. Model description and validation // *J. Geophys. Res.* – 1999. – 104, № C4. – С. 7649–7666.
 28. *Ris R.C., Holthuijsen L.H., Booij N.* A third-generation wave model for coastal regions. 2. Verification // *J. Geophys. Res.* – 1999. – 104, № C4. – С. 7667–7681.
 29. *Филлипс О.М.* Динамика верхнего слоя океана. – Л.: Гидрометеоиздат, 1980. – 319 с.
 30. Моделирование динамики вод в Керченском проливе и предприливных зонах / Под редакцией В.А. Иванова; НАН Украины, Морской гидрофизический институт. – Севастополь, 2010. – 206 с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Природные и антропогенные катастрофы происходили, происходят и будут происходить в Азово-Черноморском регионе, приводя к человеческим жертвам и нанося значительные экономические потери черноморским государствам. Они достаточно разнообразны по своему генезису, охватывают земную кору, морскую среду и атмосферу над регионом.

Для количественной характеристики явлений необходимо располагать соответствующими научно обоснованными шкалами магнитуд и пороговыми значениями интенсивности явления, превышение которых приводит к возникновению чрезвычайных ситуаций. Для многих природных явлений в настоящее время разработаны шкалы и даны оценки критических значений магнитуд. Критические магнитуды явлений можно определить, если располагать достаточно большим объемом данных наблюдений за природными катастрофами. К сожалению, наша информация об экстремальных реальных событиях для многих природных явлений в регионе достаточно скудна и ограничена по времени. Описания величайших природных катастроф далекого прошлого отражены в мифах и легендах, древних книгах, исторических рукописях, а поэтому содержат мало информации о количественных характеристиках явлений и не всегда позволяют определить вызвавшие их причины. Тем самым, необходима постоянная работа по сбору, систематизации и физико-статистическому анализу исторических данных об опасных природных явлениях различных типов, произошедших как в далеком прошлом, так и в инструментальный период наблюдений.

Все развитые страны мира активно изучают катастрофы природного и антропогенного характера, опираясь на данные наблюдений, математическое и физическое моделирование, разрабатывают рекомендации и практические мероприятия по предотвращению и уменьшению связанных с их возникновением людских и экономических потерь. Все страны Черноморского региона занимаются изучением природных катастроф. В Украине такие комплексные исследования природных катастроф проводятся в рамках национальных и международных научных проектов.

Малый объем данных наблюдений существенно ограничивает возможности анализа опасных природных явлений на основе инструментальных данных о реальных событиях. По этой причине в на-

стоящее время активно разрабатываются методы математического моделирования и прогноза динамических процессов в океане и атмосфере для близких к реальным условий с целью определения экстремальных характеристик гидрометеорологических полей в Азово-Черноморском регионе. В наибольшей степени это относится к сгонно-нагонным колебаниям уровня, волнам цунами, ветровым волнам, баротропным и бароклинным течениям, штормовым ветрам, вихрям в атмосфере, переносу загрязняющих веществ и донных осадков. Многое в этой области исследований еще предстоит сделать и усовершенствовать.

В ряде стран и регионов созданы специализированные наблюдательные системы и службы, позволяющие оперативно анализировать ситуацию и информировать население о возможном стихийном бедствии. После катастрофического цунами в Юго-восточной Азии (2004) начаты работы по созданию европейской системы раннего предупреждения о цунами, охватывающей северо-восточную Атлантику, Средиземное море и прилегающие моря, включая Черное море. Предполагается использование для этой цели уже существующих в регионе наблюдательных гидрометеорологических и сейсмологических сетей. К сожалению, для Черного моря эти работы в настоящее время фактически находятся в зачаточном состоянии, хотя подобная система могла бы принести пользу и для раннего предупреждения о других опасных морских явлениях.

Тем не менее, в настоящее время исследования различных видов природных катастроф в Азово-Черноморском регионе проводятся в ряде академических и научно-исследовательских институтов, в высших учебных заведениях Украины. Авторы надеются, что эта книга будет полезна всем, кто занимается или предполагает проводить теоретические и прикладные междисциплинарные исследования природных катастроф в регионе.

Научное издание

Доценко Сергей Филиппович
Иванов Виталий Александрович

ПРИРОДНЫЕ КАТАСТРОФЫ
АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА

На русском языке

Отпечатано НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика»
99011, г. Севастополь, ул. Ленина, 28.
Свидетельство о государственной регистрации: Серия ДК, № 914 от 16.02.02

