

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ЛУГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ВЛАДИМИРА  
ДАЛЯ»

Стахановский инженерно-педагогический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Луганский государственный университет  
имени Владимира Даля»

Кафедра технологии производства и охраны труда

## **КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ**

по дисциплине

### **«ИСТОРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ КАТАСТРОФ»**

для студентов направления подготовки  
Профессиональное обучение (по отраслям),  
профиль «Безопасность технологических процессов и производств».

Луганск 2023

Рекомендовано к изданию Учебно-методическим советом

ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля»

(протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_ . \_\_\_\_ . 2023г.)

Методические указания к конспекту лекций по дисциплине «**Исторический анализ природных и техногенных катастроф**» для студентов направления подготовки **Профессиональное обучение (по отраслям)**, профиль «Безопасность технологических процессов и производств». / Сост.: В.В. Тугай, А. М. Иваненко – **Стаханов: ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля»**, 2023. – 92 с.

Конспект лекций содержит 8 конспектов лекций, описание которых сопровождается теоретическими сведениями. К каждой теме приведены контрольные вопросы для самопроверки, список рекомендованной литературы.

Предназначен для студентов профиля «Безопасность технологических процессов и производств».

Составитель:

доц. Тугай В.В.

ст. преп. Иваненко А.М.

Ответственный за выпуск:

доц. Черникова С.А.

Рецензент:

доц. Петров А.Г.

## СОДЕРЖАНИЕ

Лекция 1 Основные источники природных опасностей.....	4
1.1. Геохронология.....	4
1.2. Падения крупных метеоритов.....	6
1.3. Природные катастрофы, их причины и последствия.....	8
1.4. Глобальные катастрофы в истории Земли.....	10
1.5. Оценка риска.....	11
Лекция 2 Землетрясения.....	15
2.1. Интенсивность и магнитуда.....	15
2.2. Физика землетрясения, сопутствующие явления.....	17
2.3. Последствия крупнейших землетрясений.....	19
2.4. Прогнозирование землетрясений.....	20
Лекция 3 Вулканическая деятельность.....	22
3.1. Извержения вулканов.....	22
3.2. Классификация.....	23
3.3. География вулканической деятельности и причины.....	26
3.4. Прогноз вулканических извержений.....	30
Лекция 4 Гидрологические опасные явления.....	32
4.1. Наводнения.....	32
4.2. Цунами.....	34
4.3. Защита от наводнений.....	36
4.4. Меры безопасности.....	37
Лекция 5 Пожары и взрывы.....	40
5.1. Самовоспламенение.....	40
5.2. Взрывное развитие процессов горения.....	44
5.3. Дефлаграция и детонация. Классификация взрывов.....	45
5.4. Случайные взрывы.....	49
Лекция 6 Аварии на объектах атомной промышленности.....	64
6.1. Чрезвычайные происшествия и катастрофы на АЭС.....	64
6.2. Основные поражающие факторы при авариях на атомном реакторе.....	69
6.3. Измерения характеристик ионизирующих излучений.....	71
6.4. Катастрофа на ЧАЭС.....	73
6.5. Причины и последствия катастрофы на ЧАЭС.....	74
Лекция 7 Катастрофы на химических предприятиях.....	77
7.1. Химически опасные регионы России.....	77
7.2. Нормативные документы, регламентирующие вопросы промышленной безопасности.....	81
Лекция 8 Терроризм.....	86
8.1. Хронология террористических актов в России.....	86
8.2. Правила поведения людей во время террористического акта.....	86
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	89

# Лекция 1

## Основные источники природных опасностей.

### План

- 1.1. Геохронология.
- 1.2. Падения крупных метеоритов.
- 1.3. Природные катастрофы, их причины и последствия.
- 1.4. Глобальные катастрофы в истории Земли.
- 1.5. Оценка риска.

#### 1.1. Геохронология.

Геохронология (от гр. γη - земля; χρόνος - время; λόγος - учение) - геологическое летосчисление, учение о хронологической последовательности формирования и возрасте горных пород, слагающих земную кору. Различают относительную и абсолютную (или ядерную) геохронологию. Относительная геохронология заключается в определении относительного возраста горных пород, который даёт представление о том, какие отложения в земной коре являются более молодыми и какие более древними, без оценки длительности времени, протекшего с момента их образования. Абсолютная геохронология устанавливает так называемый абсолютный возраст горных пород, т. е. возраст, выраженный в единицах времени, обычно в миллионах лет. (В последнее время термин «абсолютный возраст» часто заменяют названием изотопный, или радиологический, возраст.)

Хронологическая иерархия (подразделения временных этапов) – *эон, эра, период, эпоха, век.*

Геологическая иерархия (подразделения геологических формаций) – *эонотема, эратема, система, отдел, ярус.*

#### *Геохронологическая шкала.*

Геохронологическая шкала — геологическая временная шкала истории Земли, применяемая в геологии и палеонтологии, своеобразный календарь для промежутков времени в сотни тысяч и миллионы лет.

Согласно современным общепринятым представлениям возраст Земли оценивается в 4,5—5 млрд лет. В современной геологии наиболее часто встречается оценка возраста в 4,55—4,56 млрд лет, с оценкой погрешности в несколько процентов. Подобные оценки основаны на данных определения возраста пород методами радиоизотопной датировки. Цифра в 4,567 млрд лет представляет собой своего рода компромисс между различными датировками возраста горных пород, которые дают цифры от 4,2 до 4,6 млрд лет.

Это время было разделено на различные временные интервалы по важнейшим событиям, которые тогда происходили.

Граница между эрами фанерозоя проходит по крупнейшим эволюционным событиям — глобальным вымираниям. Палеозой отделён от мезозоя крупнейшим за историю Земли пермо-триасовым вымиранием видов. Мезозой отделён от кайнозоя мел-палеогеновым вымиранием.

#### *Относительная геохронология.*

Для определения относительного возраста слоистых осадочных и пирокластических пород, а также вулканических пород (лав) широко применяется принцип последовательности напластования [т. н. закон Стенсена (Стено)].

Согласно этому принципу, каждый вышележащий пласт (при ненарушенной последовательности залегания слоистых горных пород) моложе нижележащего.

Относительный возраст интрузивных пород и других неслоистых геологических образований определяется по соотношению с толщами слоистых горных пород. Послойное расчленение геологического разреза, т. е. установление последовательности напластования слагающих его пород, составляет стратиграфию данного района.

Для сравнения стратиграфии удалённых друг от друга территорий (районов, стран, материков) и установления в них толщ близкого возраста используется палеонтологический метод, основанный на изучении захороненных в пластах горных пород окаменевших остатков вымерших животных и растений (морских раковин, отпечатков листьев и т.д.).

Сопоставление окаменелостей различных пластов позволило установить процесс необратимого развития органического мира и выделить в геологической истории Земли ряд этапов со свойственным каждому из них комплексом животных и растений. Исходя из этого, сходство флоры и фауны в пластах осадочных пород может свидетельствовать об одновременности образования этих пластов, т. е. об их одновозрастности.

Впервые этот метод определения относительного возраста горных пород был применен в начале XIX в. У. Смитом в Великобритании и Ж. Кювье во Франции. Тогда ему не было дано надёжного теоретического обоснования. Кювье объяснял различия в составе комплексов ископаемых, встречаемых в пластах горных пород, вымиранием организмов в результате внезапных геологических катастроф и появлением затем новых их комплексов.

Последователи Кювье, в том числе французский геолог и палеонтолог А. Д'Орбиньи, предполагали, что смена органического мира Земли после каждой катастрофы связана с «творческими актами божества». Учение Ч. Лайеля о медленных естественных преобразованиях лика Земли и классические труды Ч. Дарвина и В. О. Ковалевского об эволюционном развитии органического мира дали материалистическое обоснование палеонтологическому методу.

#### *Абсолютная геохронология.*

В начале XX в. П. Кюри во Франции и Э. Резерфорд в Великобритании предложили использовать радиоактивный распад химических элементов для определения абсолютного возраста горных пород и минералов. Принцип, положенный этими учёными в основу определений абсолютного возраста, используется до сих пор. Измерение возраста производится по содержанию продуктов радиоактивного распада в минералах. Процесс распада радиоактивных элементов происходит с постоянной скоростью. В результате радиоактивного распада появляются атомы устойчивых, уже не распадающихся элементов, количество которых увеличивается пропорционально возрасту минерала. При этом принимается как достаточно обоснованное положение, что скорость радиоактивного распада в истории Земли всё время оставалась постоянной. Разные элементы распадаются с различной скоростью. Распад таких элементов, как уран, торий, калий и некоторых других, происходит очень медленно, на протяжении нескольких млрд. лет. Например, любое количество урана ( $^{238}\text{U}$ ) распадается наполовину за время, равное  $4,51 \cdot 10^9$  лет, тория ( $^{232}\text{Th}$ ) за

$1,41 \cdot 10^{10}$  лет. Эти долгоживущие элементы обычно и используются для определения абсолютного возраста горных пород и минералов.

В 1907 по инициативе Э. Резерфорда Б. Болтвуд в Канаде определил возраст ряда радиоактивных минералов по накоплению в них свинца. В СССР инициатором радиологических исследований был В. И. Вернадский. Его начинания продолжили В. Г. Хлопин, И. Е. Старик, Э. К. Герлинг. В 1937 была создана Комиссия по определению абсолютного возраста геологических формаций.

Цифры, полученные в результате первых определений абсолютного возраста пород, позволили английскому геологу А. Холмсу в 1938 предложить первую геохронологическую шкалу фанерозоя. Эта шкала неоднократно уточнялась и перерабатывалась.

Геохронологическая шкала докембрия (см. табл. 1) из-за отсутствия остатков скелетной фауны построена главным образом по данным многократных определений абсолютного возраста магматических пород на различных материках, что позволило установить одновременность крупных тектономагматических циклов, лежащих в основе деления докембрия.

## 1.2. Падения крупных метеоритов.

Метеорит представляет собой космический объект, который приблизился к поверхности более крупного небесного тела, а затем столкнулся с ней. Падение метеорита на Землю – не такая уж редкость. В истории насчитывается несколько легендарных случаев подобных столкновений. Большинство элементов имеют вес от пары граммов до нескольких десятков тонн.

По способу обнаружения метеориты делят на *находки* и *падения*. *Находками* называют метеориты, которые были найдены на поверхности Земли, но падение которых не наблюдалось, а *падениями* — такие метеориты, падение которых наблюдалось и которые были найдены вскоре после их падения.

К настоящему времени зарегистрировано более тысячи падений метеоритов.

В этот список включены только *падения*, то есть те метеориты, прохождение которых через атмосферу Земли зафиксировано наблюдателями или автоматизированной техникой.

Метеориты, падающие на Землю, изучались специалистами не один раз. Они входят в земную атмосферу на скоростном режиме, составляющем 11,2-72 километра в секунду. Именно на таких показателях начинается свечение и разогрев. За счёт свойств абляции масса объекта, который долетает до поверхности, может быть намного меньше.

К примеру, небольшой объект, который входит в атмосферный слой планеты Земля на скорости 25 километров в секунду и выше, подвергается сгоранию практически без остатка. Даже если стартовая масса равнялась несколько десятков тонн, до планеты долетает пара килограмм вещества. Если сгорания в атмосферном слое не произошло, по мере торможения происходит утрата горизонтального аспекта скорости. В итоге траектория меняется.

В ряде ситуаций, когда метеорит приближается к Земле, он может разрушиться на отдельные фрагменты. Вследствие этого выпадает соответствующий дождь. Есть версия, что это не самостоятельные объекты, а всего лишь остатки кометы. Если тело движется на большой скорости, оно

взрывается. Если она маленькая, тело может сохраниться практически в полном объеме и весе.

Согласно подсчетам астрономов, ежегодно на Землю падает около 100 тысяч тонн метеоритного вещества. Поскольку входя в атмосферу метеорное тело начинает разогреваться и светиться, постепенно теряя за счет абляции свою массу, большинство «снарядов» из космоса мы наблюдаем только в небе. Найти осколок метеорита — большая редкость. Распознать же в случайно найденной «глыбе» небесное тело внеземного происхождения может только знающий специалист.

Зачастую до поверхности долетает всего лишь несколько килограммов или даже граммов вещества, но иногда на Землю падают практически «космические бомбы», весом в несколько десятков тонн. За всю историю астрономии на планете было найдено 7 метеоритов, которые не на шутку взбудоражили весь мир.

Самым известным упавшим метеоритом XX века является Тунгусский метеорит. Космическое тело упало в районе реки Подкаменная Тунгуска, в Эвенкийском районе Красноярского края. Событие произошло в июне 1908 года. Мощность взрыва оценивают в 40—50 мегатонн — это примерно соответствует взрыву водородной бомбы. Сам взрыв произошел на высоте в 7—10 километров, довольно далеко от населенных пунктов, но стекла в домах выбило даже в двухстах километрах от эпицентра, а еще несколько ночей после этого наблюдалось свечение неба и светящиеся облака. Лес был повален на участке в 2 тысячи квадратных километров. Исследовательские экспедиции оказались на месте только спустя 15 лет, значимых обломков метеорита не нашли, но обнаружили микроскопические шарики, которые указывают на космическое происхождение вещества. Впрочем, существует и много теорий, в том числе конспирологических, о том, что тунгусское событие — вовсе не результат падения метеорита.

В ночь с 24 на 25 сентября 2002 года в Иркутской области упал так называемый Витимский болид — яркий метеор. Событие вызвало последствия, схожие с тунгусским событием, но в меньших масштабах. "Реальное время" вспоминает самые яркие (в прямом и переносном смысле) подобные события в XX—XXI веках.

#### "Бразильская Тунгуска"

Событие, которое известно как "Бразильская Тунгуска", произошло через 22 года после описанного происшествия. В августе 1930 года, под утро, во время ежегодного максимума метеорного потока Персеид, солнце окрасилось в красный цвет, посыпался пепел и раздался грохот. Взрывы были слышны на расстоянии до 250 километров. Судя по тому, что толчков было сразу два, можно сделать вывод о том, что и небесных тел было два. Мощность взрыва, несмотря на сравнение с Тунгусским метеоритом, была несравнимо — в 10—15 раз — меньше. Позже со спутника была найдена местность диаметром в полтора километра с поваленным лесом. В 1997 году был найден и кратер от небесного тела.

#### *Витимский болид.*

Еще одно событие, похожее на падение Тунгусского метеорита, — появление, собственно, того самого Витимского болида 18 лет назад. Годовщина события приходится на 24—25 сентября 2002 года. Около двух часов ночи метеор упал в Мамско-Чуйском районе Иркутской области. Как свидетельствуют

очевидцы, видимые размеры болида были сравнимы с видимыми размерами Луны. Несмотря на то, что взрыв от метеорита был по меркам космических тел небольшим, на месте наблюдалась картина, схожая с последствиями падения Тунгусского метеорита. Лес был повален в зоне около 6 на 10 километров, пожар случился на территории 2 на 3 километра.

#### *Камчатский метеорит.*

Один из последних крупных метеоритов, падавших на Землю, — Камчатский метеорит. Он взорвался над акваторией Берингова моря в декабре 2018 года. Взрыв был зафиксирован спутниками NASA в нескольких сотнях километров от побережья Камчатки, он произошел примерно в полдень по местному времени на высоте 26 километров от моря. Событие произошло в безлюдном месте, поэтому долго оставалось незамеченным. Мощность взрыва была в семь раз выше мощности атомной бомбы, сброшенной на Хиросиму.

#### *Челябинский метеорит.*

Однозначно самый "медийный" и самый мощный за последние 30 лет взрыв метеорита произошел 15 февраля 2013 года в окрестностях Челябинска. Благодаря местоположению и повсеместному использованию в России видеорегистраторов существует много видеозаписей падения метеорита. По оценкам NASA, это — крупнейшее из небесных тел, падавших на Землю после Тунгусского метеорита. Ударная волна дважды обогнула Землю, мощность взрыва составила около 0,5 мегатонны в тротиловом эквиваленте. Крупнейший найденный осколок метеорита весит 570 килограммов. В результате взрыва метеорита пострадало около 1,6 тысячи человек, в основном от выбитых стекол.

### **1.3. Природные катастрофы, их причины и последствия.**

К стихийным бедствиям природного характера можно отнести геологические (землетрясения), метеорологические (сильный ветер, бури, очень сильный дождь, снегопад, гололед, мороз, засуха), гидрологические опасные явления (наводнения, паводки, подтопления, заторы), пожары в природных экосистемах (лесные, торфяные, горючих ископаемых).

Все такие природные явления могут возникать, как правило, внезапно и нарушать нормальную жизнедеятельность людей, а иногда даже приводят к их гибели, разрушают и уничтожают значительные материальные ценности.

В настоящее время существует множество классификаций стихийных бедствий. В МЧС России приняли классификацию, в основе которой находятся причины или условия возникновения опасных природных явлений.

В соответствии с такой классификацией опасные природные явления можно подразделять на:

1. Геофизические опасные явления, такие как землетрясения, извержения вулканов.

2. Геологически опасные явления, это могут быть оползни, сели, обвалы, лавины, эрозия и т.д..

3. Метеорологические и агрометеорологические опасные явления, к которым можно отнести бури, ураганы, смерчи, сильный дождь, снегопад, гололед, мороз, сильная жара, засуха и т.д..

4. Морские гидрометеорологические явления, это могут быть тропические циклоны, цунами.



5. Гидрологические опасные явления, такие как половодье, заторы и зажоры, ветровые нагоны, подтопление и т.д..

6. Природные пожары, к которым можно отнести как лесные пожары, так и торфяные, подземные пожары горючих ископаемых и т.д..

Чрезвычайные ситуации природного характера могут возникать, в основном, в результате катастроф, стихийных бедствий и других природных явлений, которые могут быть вызваны не только внешними, но и внутренними причинами воздействия различных сил природы на состояние биосферы.

Каждая из групп стихийных бедствий может классифицироваться по характеру явлений, определяющих особенности воздействия присущих им поражающих (разрушающих) факторов на население, природу а также объекты экономики.

Опасные природные явления, которые связаны с метеорологическими и агрометеорологическими опасными явлениями, можно подразделять на бедствия вызываемые ветром (бури, ураганы, шквалы и смерчи) и сильным дождем, снегопадами, сильными метелями, сильным гололедом; заморозками и суховеями.

Гидрологические опасные явления могут вызываться также и высокими уровнями воды (наводнениями), или низким уровнем воды на судоходных реках, селями, которые могут образовываться при прорыве запруд, завальных и моренных озер и угрожающими населенным пунктам и другим важным объектам.

Угроза наводнения, которое является одним из самых опасных природных явлений на территории России, может существовать в более чем 40 крупных городах и нескольких тысячах других небольших населенных пунктов.

Возможные наводнения на реках Дальнего Востока и Сибири, таких как Амур, Зeya, Буряя, Уссуря и Лена всегда принимают характер национального бедствия.

Природные пожары, в первую очередь лесные и торфяные, также представляют собой одни из самых распространенных бедствий для населения, экономики и природной среды России.

Ежегодно негативному воздействию природных пожаров могут подвергаться многие районы Сибири, Дальнего Востока и Центральной России.

Опасные природные процессы являются частыми явлениями в России, наибольшее число которых обуславливается:

- наводнениями – 34%;
- ураганами, бурями, тайфунами, смерчами – 19%;
- сильными или особо длительными дождями – 14%;
- землетрясениями – 8%;
- сильными снегопадами и метелями – 8%;
- оползнями и обвалами – 5%.

На территории России наблюдается около 30 видов опасных природных явлений. Наиболее тяжелыми могут быть последствия от землетрясений, наводнения, засухи, лесных пожаров и сильных морозов.

Около 40 процентов территории страны, где проживает более 20 миллионов человек, является сейсмически опасной с высокой вероятностью землетрясений с интенсивностью более 6 баллов.

В десятибалльной сейсмически опасной зоне находятся Чиркейская, Миатлинская, Чирютская гидроэлектростанции, в девятибалльной зоне, это

Билибинская АЭС, СаяноШушинская, Белореченская, Иркутская, Колымская и Усть-Среднеканская ГЭС, в восьмибалльной зоне Зейская ГЭС.

Десятки гидроэлектростанций и тепловых электростанций расположены в семибалльной зоне.

Площадь сейсмоопасных районов, в которых возможны землетрясения от 8 до 9 баллов, составляют около 9 процентов от всей территории.

Наибольшая повторяемость опасных землетрясений, от 7 баллов и более, которые могут вызывать разрушения, в большей степени наблюдаются на Камчатке, Северном Кавказе.

В пределах сейсмически опасных районов России располагается 330 крупных населенных пунктов, из которых 103 города, и крупнейшие из них являются Владикавказ, Иркутск, Улан-Удэ, Петропавловск-Камчатский.

Значительную опасность представляют также и слабосейсмичные районы. Прежде всего, это европейская часть нашей страны, в том числе Кольский полуостров, Карелия, Южный Урал, Поволжье, Приазовье, где были засвидетельствованы землетрясения интенсивностью от 5 до 6 баллов, а на Южном Урале от 7 до 8 баллов. Повторяемость таких землетрясений сравнительно невелика и составляет примерно один раз в 1-5 тысяч лет [2].

#### **1.4. Глобальные катастрофы в истории Земли**

Одной из самых известных техногенных катастроф нашего времени является авария на четвертом энергоблоке Чернобыльской АЭС, при которой в атмосферу были выброшены огромные объемы радиоактивных веществ, которые навсегда изменили жизни миллионов жителей. Работники электростанции а также пожарники при аварии получили смертельные дозы радиации, а всего, по официальным данным, трагедия унесла жизни около 600 тыс. жителей. В настоящее время территория вокруг ЧАЭС в Киевской и Житомирской областях, в которую входят Припять и Чернобыль, считается зоной отчуждения.

Основная площадь промышленной части зоны отчуждения составляла около 54 000 гектар. Главной особенностью этих земель есть значительные уровни радиоактивного загрязнения грунтов промышленной площадки. Средние значения уровня поверхностного загрязнения изотопами плутония составляли около 300 000 Бк/м<sup>2</sup>, из них на территории 20000 гектар уровни загрязнения по плутонию превышали 4 000 000 Бк/м<sup>2</sup>. На этих территориях полная дезактивация невозможна.

Территория, которая окружает промышленную площадку ЧАЭС тоже имеет значительно высокие уровни радионуклидного загрязнения [2].

Зона отчуждения была определена вскоре после Чернобыльской катастрофы в 1986 году. На территории Зоны отчуждения было обозначено три контролируемых территории:

- особая зона (непосредственно промплощадка ЧАЭС);
- 10-километровая зона;
- 30-километровая зона.

Для полного очищения природных ресурсов 10-километровой зоны необходимо минимум 24 тысячи лет. А вот в 30-километровой зоне в настоящее время уже сравнительно безопасно. Дело в том, что в выбросах из аварийного реактора содержалось 23 радионуклида, большая часть из которых распалась в

течение нескольких месяцев после аварии и опасности не представляет. А вот плутоний еще долгие годы будет жить и вредить.

В 90-х гг. XX в. число техногенных аварий продолжало нарастать. Как во всем мире, в России развитие промышленности характеризуется ростом доли используемых пожаро-, взрыво-, химически опасных технологий, которые являются потенциальными источниками крупных производственных аварий. Так, в 1991 г. в Российской Федерации произошло 364 аварии техногенного характера, в которых погибли 1023 и пострадали 2693 человека. В 1993 г. в результате аварий техногенного характера погибли 1050 и пострадали 3232 человека. В 1993 г. количество пожаров и взрывов по сравнению с 1992 г. увеличилось в 1,5 раза, а число погибших и пострадавших в результате пожаров и взрывов - почти в 2,5 раза. В 1997 г. количество аварий и катастроф техногенного характера по сравнению с 1996 г. возросло на 8,7%. В них погиб 1651 человек.

На угольных шахтах в 1996-1997 гг. произошло 10 крупных аварий, в которых погибло 190 человек [27].

11 марта 1996 г. - пожар на Луганской шахте «Суходольская- Восточная» ПО «Краснодонуголь». Погибли 8 горняков.

12 сентября 1996 г. - возгорание угля на шахте в Шарыпово Красноярского края. 3 человека погибли от отравления угарным газом.

В середине сентября 1996 г. - взрыв на шахте «Кадыкчан» Магаданской области. 6 человек погибли.

17 ноября 1996г. - взрыв на шахте «Батуриная» объединения «Челябинскуголь». 9 человек погибли.

17 февраля 1997 г. - взрыв метана на шахте «Куллярская» Челябинской области. Погибли 4 человека.

1994: 3 января. (Ту-154 разбился в Сибири. 124 человека погибло); 23 марта. (Аэробус А-310, арендованный «Аэрофлотом», разбился около города Новокузнецк. 70 человек погибло); 26 сентября (самолет Як-40 разбился около пос. Ванавара в Сибири. 26 человек, находившихся на борту, погибли); 29 октября (21 человек погиб, когда самолет Ан-12 разбился возле Усть-Илимска).

## 1.5. Оценка риска

Риск как вероятность нежелательных событий является неотъемлемым компонентом жизни любого человека. Человек в течение жизни подвергается различным рискам: риску потери здоровья в связи с профессиональной деятельностью; радиационному риску; риску для здоровья, обусловленному воздействием разнообразных факторов окружающей среды; риску, связанному с условиями и качеством жизни и т.д. Методология оценки риска широко используется международными организациями (ВОЗ, ЕС) для установления показателей качества атмосферного воздуха, питьевой воды, пищевых продуктов, для оценки ущерба здоровью.

Методология оценки риска сегодня стала одним из важнейших инструментов социально-гигиенического мониторинга. Результаты оценки риска открывают новые возможности для прогнозирования неблагоприятных изменений в состоянии здоровья населения и являются предпосылкой к разработке и рекомендации мер по управлению рисками, т.е. по управлению системами

законодательных, технических и нормативных решений, направленных на ликвидацию или существенное уменьшение риска для здоровья населения.

Оценка риска для здоровья человека – это количественная и (или) качественная характеристика вредных эффектов, развивающихся или способных развиться в результате существующего или возможного воздействия факторов окружающей среды на конкретную группу людей при специфических, определяемых региональными особенностями условиях экспозиции.

На сегодняшний день понятию «риск» даётся достаточно большое количество определений. Так, в Федеральном Законе «О техническом регулировании» № 184 – ФЗ говорится: риск – вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений с учетом тяжести этого вреда.

Согласно рекомендациям ВОЗ «риск» определяют как ожидаемую частоту нежелательных эффектов, возникающих от заданного воздействия 7 загрязнителя. Опасность означает неотъемлемое свойство вещества или реальной ситуации, связанное с возможностью нанесения вреда здоровью человека и (или) окружающей среде».

Общее понятие риска включает в себя два четко различимых компонента: частоту (F) ожидаемого нежелательного события или аварии (частота выражается числом событий в единицу времени, например: 20000 дорожнотранспортных происшествий в год) и последствия (C), которые являются мерой серьезности аварии (последствия могут быть выражены различными способами, в зависимости от вида анализа). Основными этапами оценки риска для здоровья являются (рис 1):

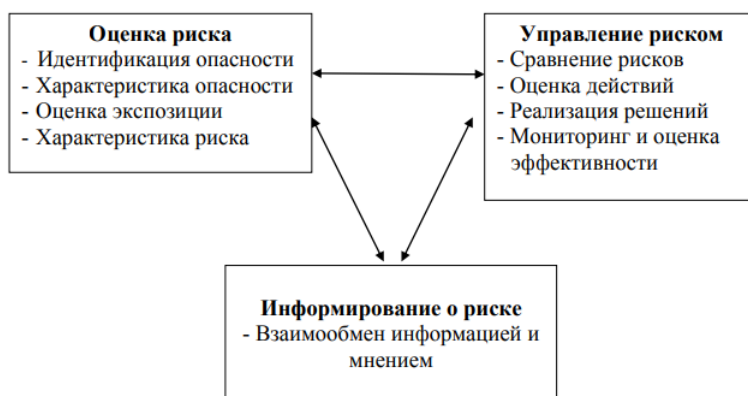


Рисунок 1.1. Схема анализа риска для здоровья

- идентификация опасности (определение веществ, уровней, сред и путей поступления, которые могут вызвать неблагоприятные последствия для здоровья человека, правдоподобия и доказанности связи между фактором и заболеванием);
- оценка экспозиции (характеристика источников загрязнения, маршрутов движения загрязнения от источника к человеку, пути и точки воздействия, уровни экспозиции и др.);
- оценка зависимости «доза-ответ» (выявление количественных связей между состоянием здоровья и уровнями экспозиции);
- характеристика риска (анализ всех полученных данных, расчет рисков для популяции и ее отдельных подгрупп, сравнительная оценка и ранжирование

различных рисков по степени их статистической, медико-биологической и социальной значимости) [4].

Природный риск обусловлен законами природы и негативным влиянием антропогенных факторов на природную среду.

Под неблагоприятным природным явлением понимается стихийное событие природного происхождения, которое по своей интенсивности, масштабу распространения и продолжительности может вызвать негативные последствия для жизнедеятельности людей и экономики. Для этих явлений характерны сравнительно небольшие отклонения состояния природной среды от нормального диапазона природных условий оптимальных для жизни человека и его хозяйственной деятельности. Такие явления чаще всего не инициируют чрезвычайных ситуаций.

***Анализ основных факторов риска возникновения чрезвычайных ситуаций, влияния на них факторов риска ЧС военного, биолого-социального характера и иных угроз на территории района.***

Характерной особенностью инфраструктуры экономики района является сосредоточение большинства потенциально опасных объектов в черте населенных пунктов. В них же проживает значительная часть населения, находятся основные материальные и культурные центры района. Эти обстоятельства определяют высокую вероятность возникновения в указанных городах чрезвычайных ситуаций техногенного характера, а также тяжесть возможных социально-экономических последствий.

Основными факторами риска возникновения чрезвычайных ситуаций являются опасности (как имевшие место, так и прогнозируемые с высокой степенью вероятности) на территории района, существенно сказывающиеся на безопасности населения:

- террористические;
- криминальные;
- коммунально-бытового и жилищного характера;
- техногенные;
- военные;
- природные;
- эпидемиологического характера;
- экологические;
- социального характера;

Под природным риском понимается вероятность нежелательных последствий, возникающих вследствие воздействия природного процесса (явления) на человека и созданные им объекты. Сами последствия могут выражаться в числе жертв, в числе пострадавших, в экономическом ущербе, доле разрушенных или поврежденных сооружений и тяжести чрезвычайных ситуаций. Последний показатель природного риска имеет интегральный характер.

Территория России по набору и «силе» проявления природных процессов относится к странам с высокой степенью природной опасности. Лишь малая численность населения и слабое развитие инфраструктуры в районах, где наиболее часто отмечаются разрушительные процессы, не приводят к возникновению стихийных бедствий, подобных тем, которые возникают в странах Юго-Восточной Азии, Центральной Америки и США.

Величина индивидуального риска в России, вызванного опасными природными процессами, существенно ниже среднемировых значений. Среднемировые значения природного риска составляют  $3,3 \times 10^{-5}$  чел./год, что значительно выше уровня приемлемого риска ( $10^{-6}$  чел./год), законодательно принятого в ряде высокоразвитых стран. На территории России среднесуточная величина индивидуального природного риска оценивается величиной порядка  $1,5 \times 10^{-6}$  чел./год. В отдельных регионах России величина индивидуального природного риска значительно превышает этот уровень. Наибольшее значение индивидуального риска характерно для Северного Кавказа, Алтая и территории острова Сахалин, где оно колеблется в пределах  $10^{-4}$  –  $10^{-5}$  чел./год.

### Литература

1. Геохронология // Большая советская энциклопедия : [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров. — 3-е изд. — М. : Советская энциклопедия, 1969—1978.
2. ГОСТ 22.0.03-97. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения п. 3.1.6.
3. Неровных А.Н., Заворотный А.Г., Бутенко В.М. О 60 Опасные природные процессы: учеб. пособие / А.Н. Неровных, А.Г. Заворотный, В.М. Бутенко, В.В. Сарычев, С.А. Резниченко. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. – 306 с.
4. Оценка неканцерогенного риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду // Н.В. Степанова, Э.Р. Валеева, Фомина С.Ф., – Казань: К(П)ФУ. – ИФМиБ. – 2015. – 112 с.

### Контрольные вопросы

1. Что относится к стихийным бедствиям природного характера?
2. Назовите одну из самых известных техногенных катастроф нашего времени.
3. Приведите классификацию опасных природных явлений.
4. Что можно отнести к метеорологическим и агрометеорологическим опасным явлениям?
5. Расскажите о последствиях наиболее крупных катастроф современности.
6. Назовите основные факторы риска возникновения чрезвычайных ситуаций.
7. Что представляют собой опасные природные процессы?
8. Что представляют из себя метеориты?
9. Что такое геохронология?
10. Объясните принцип построения геохронологической шкалы.

### Задания для самостоятельной работы

1. Проработать конспект лекции №1.
2. Составить краткий конспект лекции.

## Лекция 2 Землетрясения. План

- 2.1. Интенсивность и магнитуда.
- 2.2. Физика землетрясения, сопутствующие явления.
- 2.3. Последствия крупнейших землетрясений.
- 2.4. Прогнозирование землетрясений.

### 2.1. Интенсивность и магнитуда.

Интенсивность землетрясения - величина, характеризующая степень колебаний Земной поверхности при землетрясении. Интенсивность выражается баллами сейсмической шкалы в зависимости от степени разрушения типовых зданий и сооружений, ощущений очевидцев, изменений рельефа земной поверхности.

Интенсивность проявления землетрясений на поверхности зависит от глубины источника и магнитуды землетрясения. Интенсивность тем больше, чем ближе к поверхности расположен источник. Так, если источник землетрясения с магнитудой 6, находится на глубине 10 км, то на поверхности интенсивность составит 8-9 баллов, что может привести к значительным разрушениям. При той же магнитуде, но на глубине 300 км интенсивность составит 2-3 балла, а землетрясение будет ощущаться только немногими людьми.

В мире используется несколько шкал для определения интенсивности землетрясения (Европейская макросейсмическая шкала, шкала Меркалли, шкала Японского метеорологического агентства), но одной из наиболее распространенных в Украине 12-балльная шкала MSK-64 (Медведева-Шпонхойера-Карника).

<b>В России</b>		<b>В Европе</b>	
Балл. Сила землетрясения	Краткая характеристика	Балл. Сила землетрясения	Краткая характеристика
<b>I. Не ощущается</b>	Не ощущается. Отмечается только сейсмическими приборами.	<b>I. Неощутимое</b>	Не ощущается. Отмечается только сейсмическими приборами.
<b>II. Очень слабые толчки</b>	Отмечается сейсмическими приборами. Ощущается только отдельными людьми, находящимися в состоянии полного покоя в верхних этажах зданий, и очень чуткими домашними животными	<b>II. Едва осязаемое</b>	Ощущается только отдельными людьми, находящимися в состоянии полного покоя в верхних этажах зданий, и очень чуткими домашними животными. Отмечается сейсмическими приборами.
<b>III. Слабое</b>	Ощущается только внутри некоторых зданий, как сотрясение от грузовика.	<b>III. Слабое</b>	Ощущается в помещениях некоторыми людьми. Находящиеся в покое в помещении люди ощущают расшатывание или легкое дрожание.
<b>IV. Интенсивное</b>	Распознаётся по лёгкому дребезжанию и колебанию предметов, посуды и оконных стёкол, скрипу дверей и стен. Внутри здания сотрясение ощущает большинство людей.	<b>IV. Широко наблюдаемое</b>	Распознаётся по лёгкому дребезжанию и колебанию предметов, посуды и оконных стёкол, скрипу дверей и стен. Внутри здания сотрясение ощущает большинство людей.
<b>V. Довольно сильное</b>	Под открытым небом ощущается многими, внутри домов — всеми. Общее сотрясение здания, колебание мебели. Мятники часов останавливаются. Трещины в оконных стёклах и штукатурке. Пробуждение спящих. Ощущается людьми и вне зданий, качаются тонкие ветки деревьев. Хлопают двери.	<b>V. Сильное</b>	Большинство ощущает землетрясение внутри здания, снаружи ощущается только некоторыми. Многие спящие просыпаются. Некоторые выбегают на улицу. Строения испытывают легкое сотрясение по всей поверхности. Подвешенные предметы значительно качаются. Стекланные и фарфоровые изделия стучат друг о друга. Вибрации сильные. Объекты с высоко расположенным центром тяжести падают. Двери и окна открываются и закрываются.
<b>VI. Сильное</b>	Ощущается всеми. Многие в испуге выбегают на улицу. Картины падают со стен. Отдельные куски штукатурки откалываются.	<b>VI. Легкие повреждения</b>	Подавляющее большинство людей ощущает землетрясение внутри здания. Люди напуганы и выбегают прочь из здания. Маленькие предметы падают. Легкие повреждения у большинства обычных зданий; например, тонкие трещины в штукатурке, небольшие куски откалываются.
<b>VII. Очень сильное</b>	Повреждения (трещины) в стенах каменных домов. Антисейсмические, а также деревянные и плетневые постройки остаются невредимыми.	<b>VII. Повреждения</b>	Подавляющее большинство людей напуганы и выбегают из здания. Мебель сдвигается, большинство предметов падает с полок. Многие здания умеренно повреждены: небольшие трещины в стенах; часть дымовых труб обрушивается.
<b>VIII. Разрушительное</b>	Трещины на крутых склонах и на сырой почве. Памятники сдвигаются с места или опрокидываются. Дома сильно повреждаются. Падают фабричные трубы.	<b>VIII. Тяжелые повреждения</b>	Перевернутая мебель. Большинство зданий причиняет значительный ущерб: дымовые трубы падают; большие трещины в стенах; некоторые здания могут частично разрушиться.
<b>IX. Опустошительное</b>	Сильное повреждение и разрушение каменных домов. Старые деревянные дома кривятся.	<b>IX. Разрушительное</b>	Памятники и колонны падают. Многие здания частично разрушены, некоторые - полностью.
<b>X. Уничтожающее</b>	Трещины в почве иногда до метра шириной. Оползни и обвалы со склонов. Разрушение каменных построек. Искривление железнодорожных рельсов.	<b>X. Очень разрушительное</b>	Большинство зданий полностью разрушены
<b>XI. Катастрофа</b>	Широкие трещины в поверхностных слоях земли. Многочисленные оползни и обвалы. Каменные дома почти полностью разрушаются. Сильное искривление и выпучивание железнодорожных рельсов, разрушаются мосты.	<b>XI. Опустошительное</b>	Практически все здания полностью разрушены
<b>XII. Сильная катастрофа</b>	Изменения в почве достигают огромных размеров. Многочисленные трещины, обвалы, оползни. Возникновение водопадов, подруд на озерах, отклонение течения рек. Изменяется рельеф. Ни одно сооружение не выдерживает.	<b>XII. Полностью уничтожающее</b>	Практически все наземные и подземные структуры очень сильно повреждены или разрушены



## В США

I.	Не ощущается людьми.
II.	Ощущается в спокойной обстановке на верхних этажах зданий.
III.	Ощущается в помещениях; кажется, будто под окнами проезжает лёгкий грузовик. Качаются висячие предметы.
IV.	Кажется, будто проезжает тяжёлый грузовик; звенят оконные стёкла, посуда, скрипят двери.
V.	Ощущается на улице; просыпаются люди, выплескивается из посуды жидкость.
VI.	Ощущается всеми; испуганные люди выбегают на улицу; трескаются штукатурка и кирпичная кладка; сдвигается и переворачивается мебель; лопаются оконные стекла.
VII.	Трудно стоять на ногах; ощущается водителями движущихся автомобилей; осыпается штукатурка, падают кирпичи, керамическая плитка и т.д.; звенят большие колокола; на поверхности водоёмов возникают волны.
VIII.	Трудно вести автомобиль; падает штукатурка, рушатся некоторые кирпичные стены, дымовые трубы, башни, памятники; обламываются ветки деревьев; в сыром грунте образуются трещины.
IX.	Общая паника; лопаются каркасы строений и подземные трубы; образуются значительные трещины в грунте и песчаные воронки.
X.	Рушатся большинство кирпичной кладки каркасных сооружений и фундаментов; серьёзные повреждения плотин и насыпей; рушатся мосты; мощные оползни.
XI.	Серьёзная деформация железнодорожных путей; полностью выходят из строя подземные трубопроводы.
XII.	Практически полное разрушение; нарушение линии горизонта; взлетают в воздух отдельные предметы.

## Магнитуда

При каждом землетрясении выделяется энергия. Эта энергия распространяется в виде сейсмических колебаний. Магнитуда и есть оценка силы этих сейсмических волн.

Первым шкалу магнитуд предложил Чарльз Рихтер, поэтому нередко говорят: «Землетрясение силой 8 баллов, по шкале Рихтера». Однако, это неверная формулировка, магнитуда измеряется условными единицами, а не баллами, от 1 до 9,5.

Правильно говорить – «Землетрясение магнитудой 3»

Основной параметр землетрясения – магнитуда, которая пропорциональна логарифму выделившейся энергии. Так, самое сильное из известных землетрясений, происшедшее в 1960 году в Чили, имело магнитуду 9,5, что эквивалентно энергии 180 млн атомных бомб, взорванных над Хиросимой. Для сравнения, энергия самого крупного ядерного взрыва, произведенного СССР на Новой Земле в 1961 году, была эквивалентна землетрясению с магнитудой 8,2. Энергия землетрясения магнитудой 1 эквивалентна взрыву 2 кг тротила.

Шкалу магнитуд часто путают со шкалой интенсивности, измеряющейся в баллах от 1 до 12 на основании внешних проявлений подземного толчка (воздействие на людей, предметы, строения, природные объекты). Например, сильное землетрясение, происшедшее вдали от мест обитания людей, не ощущается и не приводит ни к каким воздействиям на строения. Поэтому магнитуда такого землетрясения большая, а интенсивность – минимальная. И наоборот, относительно «слабое» землетрясение, происшедшее близко к земной поверхности и непосредственно под каким-нибудь населённым пунктом, может привести к умеренным повреждениям зданий. В этом случае магнитуда землетрясения будет относительно маленькой, а интенсивность в подвергшемся воздействию населённом пункте – относительно большой.

Самые слабые ощущаемые землетрясения начинаются с магнитуды 2 и только на расстояниях, не превышающих нескольких километров. Приповерхностные землетрясения с магнитудой 4,5 могут приводить к незначительным разрушениям. Начиная с магнитуды 6 землетрясения могут



приводить к существенным разрушениям и человеческим жертвам. Землетрясения с магнитудами близкими к 7, происходящие в непосредственной близости от больших городов, могут приводить к катастрофическим последствиям (один из самых последних примеров – землетрясение на Гаити в 2010 году). Самые крупные, или «мегаземлетрясения», с магнитудой 9 и выше могут вызывать катастрофические цунами и разрушения в обширных районах. За период инструментальных наблюдений было зарегистрировано всего пять таких событий. Одно из них произошло в Курило-Камчатской зоне субдукции в 1952 году. Наиболее недавние примеры – мегаземлетрясения на Суматре в 2004 году и в Японии в 2011-м.

## **2.2. Физика землетрясения, сопутствующие явления**

Несмотря на расширение сетей регистрации сейсмической активности и на огромный объем накопленной информации о феноменологических закономерностях землетрясений, это явление остается одним из самых непрогнозируемых природных катаклизмов. В работе рассмотрены виды землетрясений, основные причины возникновения, показано как возникает гипоцентр землетрясения и формируется ударная волна.

Землетрясением называют подземные толчки и колебания поверхности Земли, вызванные естественными причинами (преимущественно тектоническими процессами) или искусственными процессами (взрывами, при заполнении водохранилищ), небольшие толчки могут вызывать и подъем лавы при вулканических извержениях. Толчки связаны с подвижками в земных оболочках: земной коре или в верхней мантии. Смещения в недрах Земли порождают сейсмические волны – колебания, которые распространяются в земной коре, подкоровой литосфере и в мантии Земли.

По способу происхождения землетрясения делят на тектонические, вулканические, техногенные, обвальные. Большинство землетрясений являются тектоническими, так как они связаны с процессами горообразования и движения литосферных плит. Плиты литосферы перемещаются относительно друг друга с разной скоростью, вследствие чего в местах тектонических разломов накапливается тектоническое напряжение. Когда уровень тектонического напряжения становится слишком высоким, литосферные плиты начинают разрушаться, что приводит к излучению сейсмических волн. Вулканические землетрясения обусловлены давлением раскаленных газов на верхние слои планеты. Движение раскаленного вещества обычно приводит к серии мелких землетрясений – вулканическому дрожанию. Техногенные землетрясения имеют антропогенную или смешанную природу.[1]

Для классификации землетрясения используют шкалу магнитуд и шкалу интенсивности. Самой популярной шкалой магнитуд долгое время оставалась шкала Рихтера, используемая при малой глубине очага землетрясения. Сейчас большинство геологических служб использует моментную шкалу магнитуд для сильных землетрясений. Интенсивность землетрясения определяется повреждениями, которые оно наносит в населенных районах. В основном, все шкалы интенсивности землетрясений имеют 12-бальную систему оценки[2].

Слабые и умеренные землетрясения случаются около 10 раз за сутки. Землетрясения с магнитудой около 6-7 встречаются несколько сотен раз в год. Магнитуда 8 выявляется около десяти раз за год. Примерно раз в 30 лет можно встретить самые разрушительные землетрясения, магнитуда которых достигает 9.

Наука, изучающая распространение сейсмических волн в недрах Земли, землетрясения, причины, их вызывающие, связанные с ними явления и строение Земли, называется сейсмологией. В сейсмологии под землетрясением понимают не только трясение земной поверхности, но и процесс разрушения, нарушения целостности поверхности Земли в области очага землетрясения, в пределах которой потенциальная упругая энергия, запасенная в недрах планеты, переходит в кинетическую энергию колебаний, уносимую из очага сейсмическими волнами.

Сейсмические волны характеризуют не только очаг землетрясения, но и среду, через которую они распространяются, поэтому они являются основным носителем информации в сейсмологии. Существуют два главных типа волн: объемные волны (вертикальные) и поверхностные волны (горизонтальные). Объемные волны подразделяются на первичные (P) и вторичные (S). Продольные P-волны могут распространяться в любых средах. Скорость P-волн равна 330 м/с в воздухе, 1450 м/с в воде и 5000 м/с в граните. Скорость поперечных S-волн, как правило, в два раза меньше скорости P-волн. При P-волнах смещение земли происходит в перпендикулярном направлении относительно их распространения, в случае же распространения горизонтально поляризованных S-волн происходит попеременное смещение земной поверхности в две стороны.

Самыми разрушительными являются поверхностные волны, так как они имеют низкую частоту, большую амплитуду и внушительное время действия. Поверхностные волны делятся на два типа: волны Рэлея и волны Лява. Первые распространяются вблизи поверхности твердого тела, их фазовая скорость направлена параллельно поверхности. Частицы среды в такой волне совершают эллиптическое движение в плоскости, в которой лежат вектор скорости и нормали к поверхности, а амплитуды колебаний затухают при удалении от поверхности по экспоненциальным законам. Волны Лява имеют горизонтальную поляризацию, в однородной изотропной среде смещение частиц в такой волне перпендикулярно вектору скорости.

Процесс сильного землетрясения идет сложно, так как он обусловлен большей магнитудой и интенсивностью. Начальный этап землетрясения обусловлен толчком, вызывающим разрыв и перемещение горных пород в глубине Земли. Гипоцентром или очагом землетрясения называют место, в котором это происходит. Точку на земной поверхности, находящуюся прямо над гипоцентром, называют эпицентром землетрясения. Чаще всего гипоцентр расположен на глубине до 100 км, но в отдельных случаях может быть расположен и до 700 км вглубь. Пласты земли, расположенные по краям от разлома, надвигаются друг на друга или один из них опускается, образуя сбросы [3].

Любое землетрясение начинается с внезапного высвобождения большого количества энергии.

При неглубоком и сильном землетрясении эпицентральная область выявляется достаточно надёжно. Вне очага землетрясения деформации в основном носят характер упругих колебаний, распространяющихся от него по законам упругих сейсмических волн. С данными волнам употребляются обычные понятия фронта и луча. Следовательно, плотность потока сейсмической энергии уменьшается при увеличении расстояния от гипоцентра.

Часто землетрясение с большой магнитудой предваряется и/или сопровождается большим количеством толчков, гипоцентры которых находятся неподалеку от гипоцентра основного толчка. Размеры очага, определенные по выявленным на поверхности Земли нарушениям или по сгущению повторных толчков, как правило, пропорциональны магнитуде главного толчка [3].

Ударно-волновая модель землетрясения в сейсмологии рассматривается редко, так как ударные волны рассматриваются в физике энергии высокой плотности, в частности, в вопросах кумуляции энергии, физике взрыва и образования кратеров при ударе высокоскоростных тел, и т.п. Но представление землетрясения в виде ударной волны объясняет многие явления, сопутствующие сильному землетрясению: такие как разрывы поверхности, волны на поверхности земли (когда среда ведет себя как вязкая жидкость), разуплотнение грунта, возникновение водяных фонтанов, грифонов и пр.

Согласно ударно-волновой модели, в определенном объеме горных пород образуются параллельные друг другу трещины и микротрещины. При раскрытии одной из микротрещин происходит излучение S-волны. S-волна, рассеиваясь на трещине, переизлучает P-волну, распространяющуюся в направлении ориентирования трещин, и S-волну, распространяющуюся поперек луча P-волны. S-волна при рассеивании на микротрещине вызывает её раскрытие, что приводит к каскаду повторяющихся явлений. В результате, в этом объеме образуется некоторое количество P-волн, распространяющихся вдоль направления трещин и S-волн, распространяющихся поперек этого направления [4]. Ударные волны могут возникать при пересечении волн. Простейший случай пересечения – образование центрированной волны, когда несколько простых волн, при их одновременном распространении, пересекаются в одной точке – в вершине волны и возникает волна сжатия, в вершине которой плотность вещества среды и давление возрастают [5].

Землетрясение – важная составляющая часть окружающей среды. Изучая волны, проходящие через Землю при землетрясениях, можно воссоздать детали внутреннего строения Земли. Разработанные для такого изучения методы применяют при поиске нефти и других полезных ископаемых. На всей Земле каждый год возникает около миллиона землетрясений, основная часть из них остается незамеченной.

### **2.3. Последствия крупнейших землетрясений**

Сильные землетрясения способны разрушать здания и различные сооружения. В результате таких разрушений погибает множество людей. А если очаг находится в море, то на побережье обрушивается цунами (огромная волна, способная сметать всё на своём пути). Землетрясение – одно из самых опасных явлений на нашей планете. А если учитывать, что их практически невозможно предсказывать, как многие другие явления. Это становится настоящей проблемой.

Как нам уже известно, опасными называют землетрясения силой 7-12 баллов. Именно они способны приводить к разрушениям и изменению рельефа планеты. И хоть точно нельзя утверждать, сколько ежегодно происходит таких явлений, можно посчитать примерное количество наиболее сильных из них. Два столетия назад, к примеру, в год проходило около 40 землетрясений, имеющих силу 7 и выше. Сейчас же их количество увеличилось в десяток раз. 400 сильных землетрясений в год для Земли уже стали нормой. Тенденция впечатляет, не так ли? А что будет дальше?

Землетрясения в России – на территории России землетрясения происходят как в горной так и в равнинных местностях, в местах стыков тектонических плит. В равнинных областях сейсмоактивными являются зоны сквозных разломов, например Европейско – Африканский: Кавказ, Поволжье, Алтай, Западная Сибирь, Восточная Сибирь, Камчатка.

Масштаб землетрясения, разрушившего в ночь с 5 на 6 октября 1948 года более 90% зданий в столице Туркменской ССР Ашхабаде, был полностью скрыт властями СССР. В США сперва расценили катастрофу как результат испытания советской атомной бомбы. В современной Туркмении считают, что землетрясение магнитудой 7,3 балла унесло жизни 176 тыс. человек, эксперты других стран оценивают число погибших в 110 тыс.

7 декабря 1988 года от землетрясения на северо-западе Армении, магнитуда которого достигала 7,2, погибли около 25 тыс. человек. Были полностью разрушены город Спитак и 58 сел, частично – еще более 300 населенных пунктов. 514 тыс. человек остались без крова. Землетрясение охватило около 40% территории Армении. Ущерб оценивается в \$3,5 млрд.

26 апреля 1966 года в результате землетрясения магнитудой 5,2 в центре Ташкента было полностью или частично разрушено более 36 тыс. строений. Без крова остались свыше 300 тыс. человек. Относительно небольшое число жертв (8 погибших и несколько сот травмированных) в городе с миллионным населением обязано преобладанию вертикальных, а не горизонтальных сейсмических колебаний.

Сильные обвалы и оползни вызвало крымское землетрясение 12 сентября 1927 года. Очаги располагались под морским дном вдоль побережья Крыма. На море близ Севастополя возникли огромные столбы дыма. Погибли три человека, раненые исчислялись десятками. От разрушений пострадало 70% строений Ялты, ущерб составил 25 млн руб. в ценах 1927 года.

#### **2.4. Прогнозирование землетрясений.**

Прогноз землетрясений – предположение о том, что землетрясение определённой магнитуды произойдет в определённом месте в определённое время (или в определённом диапазоне времени). Несмотря на значительные усилия сейсмологов в исследованиях, пока невозможно дать такой прогноз с точностью до дня или месяца и добиться того, чтобы предотвращённые потери устойчиво превосходили экономический ущерб от ложных тревог.

Свести ущерб от землетрясений к минимуму невозможно, задача конкретная и требует больших средств. Чаще всего, возможность их получения определяются важностью объекта и уровнем риска, который может считаться приемлемым в случае его разрушения. Чем больше ученые знают о землетрясениях, тем больше

возможностей для уменьшения ущерба от них. Они оформляются в виде специальных карт показывающих пространственно-временное распределение сейсмической опасности или наиболее вероятную силу сотрясений. Эти карты строятся исходя из информации об уже происходивших землетрясениях. Соответственно, чем больше данных о них, тем выше точность прогноза. Однако не всегда есть сведения о землетрясениях и не потому, что они не возникали, а потому что инструментальные сейсмические наблюдения ведутся только последние сто лет, и нет точных данных о параметрах землетрясений (координаты эпицентра, глубина очага, мощность) за предшествовавший период.

По мнению Сейсмологического сообщества Америки, заявляемый метод прогноза, который бы был подтверждён как верный, должен обеспечить ожидаемую магнитуду с определённым допустимым отклонением, хорошо определённую зону эпицентра, диапазон времени, в которое произойдет это событие, и вероятность того, что оно действительно произойдет. Данные, на которых основан прогноз, должны поддаваться проверке и результат их обработки должен быть воспроизводим.

Достижение успеха в долгосрочных прогнозах (на годы или десятилетия) гораздо вероятнее достижения прогноза с точностью до месяца. Точные краткосрочные прогнозы (от часов до дня) на данный момент невозможны.

#### Литература

1. Материал из Википедии (свободной энциклопедии): <https://ru.wikipedia.org/wiki/Землетрясение>
2. Болт Б. А. Землетрясения. М.: Изд-во «Мир», 1981. 256 с.
3. Викулин А.В. Физика Земли и геодинамика. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамГУ им. Витуса, 2009. 464 с.
4. Кузнецов В.В. Ударно-волновая модель землетрясения. Сильные движения землетрясения как выход ударной волны на поверхность // Физическая мезомеханика. 2009. Т. 12. №. 6. С. 87-96.
5. Смирнов С.Б. Ударно-волновая концепция сейсмического разрушения сооружений // Энергетическое строительство. 1992. № 9. С. 70-73.

#### Контрольные вопросы

1. Каким способом производится прогнозирование землетрясений?
2. Какими могут быть последствия крупнейших землетрясений?
3. Что называют землетрясением?
4. Что используют для классификации землетрясения?
5. Сколько шкал в мире используется для определения интенсивности землетрясения?
6. Какие землетрясения называют опасными?
7. Как проявляется интенсивность землетрясений на поверхности?
8. Кто первым предложил шкалу магнитуд?
9. Какие волны являются самыми разрушительными?
10. Что является основным параметром землетрясения?

#### Задания для самостоятельной работы

1. Проработать конспект лекции №2.
2. Составить краткий конспект лекции.

## Лекция 3

### Вулканическая деятельность.

#### План

- 2.1. Извержения вулканов.
- 2.2. Классификация.
- 2.3. География вулканической деятельности и причины.
- 3.4. Прогноз вулканических извержений.

#### 3.1. Извержения вулканов.

**Извержение вулкана** – процесс выброса вулканом на земную поверхность раскалённых обломков, пепла, изливание магмы, которая, излившись на поверхность, становится лавой. Извержения вулкана могут длиться от нескольких часов до многих лет.

Извержения вулканов относятся к геологическим стихийным бедствиям, которые могут привести к введению режима чрезвычайной ситуации.

Вулкан – геологическое образование, коническая гора с кратером на вершине, через который из недр земли время от времени извергается огонь, лава, пепел, горячие газы, пары воды и обломки горных пород. Кратер вулкана – чашеобразное или воронкообразное углубление на вершине или склоне вулканического конуса. Диаметр кратера может быть от десятков метров до нескольких километров, а глубина – от нескольких метров до сотен метров. На дне кратера находятся одно или несколько жерл, через которые на поверхность поступают лава и другие вулканические продукты, поднимающиеся из магматического очага по выводному каналу.

Извержение – процесс поступления из недр на поверхность значительного количества раскалённых и горячих вулканических продуктов в газообразном, жидком и твёрдом состоянии.

Лава – раскалённый жидкий (эффузия) или очень вязкий (экструзия) расплав горных пород, преимущественно силикатного состава, изливающийся на поверхность Земли при извержениях вулканов. Магма, выходя на поверхность, становится лавой и освобождается от газов. Скорость движения потока лавы может достигать нескольких метров в секунду. Температура лавы колеблется от 500 до 1200°C.

Застывшая лава принимает различные формы, может образоваться лавовое плато, лавовое озеро и другие лавовые покровы. Вулканический пепел – пирокластический материал с размером частиц менее 2 мм, образующийся в результате дробления вулканическими взрывами извергающейся жидкой лавы и слагающих вулкан пород – продуктов более ранних извержений.

В зависимости от размера частиц, силы извержения и ветра вулканический пепел может оседать на значительном удалении от места извержения, образуя выдержанные маркирующие горизонты. Пирокластические потоки – смесь горячего газа, пепла и камней, образующаяся при извержении вулкана. Скорость потока достигает иногда 700 км/ч, а температура газа – 100–800 °C. Из-за высокой подвижности пирокластические потоки могут распространяться на расстояние до 25 или более километров от вулкана. Лахар – грязевой поток на склонах вулкана, состоящий из смеси воды и вулканического пепла, пемзы и

горных пород. Возникает при смешивании раскалённого вулканического материала с более холодными водами кратерных озёр, рек, ледников или дождевой водой.

Двигается лахар, подобно селю, под действием силы тяжести. Вулканические землетрясения – разновидность землетрясений, при которых толчки возникают в результате высокого напряжения в недрах вулкана. Землетрясения этого типа слабы, но продолжаются долго, многократно – недели и месяцы. Тем не менее, опасности для людей землетрясение этого вида как правило не представляют, одна землетрясения произошедшие на вулканах могут спровоцировать сход них снежных лавин. KVERT – (Kamchatkan Volcanic Eruptions Response Team) – Камчатская группа оперативного реагирования на вулканические извержения SVERT – (Sakhalin Volcanic Eruptions Response Team) – Сахалинская группа оперативного реагирования на вулканические извержения.

### 3.2. Классификация.

Вулканы делятся на: – активные или действующие, извергавшийся в исторический период времени или в течение голоцена (в последние 10 тысяч лет). Активные вулканы могут считаться спящими, но на них ещё возможны извержения. – неактивные или потухшие, их извержения крайне маловероятны. Многие вулканы извергались более 10 тысяч лет назад, но потеряли свою активность. Существуют три типа извержения вулканов:

1. Эффузивного – если газы выделяются из магмы относительно спокойно, то она изливается на поверхность, образуя лавовые потоки. Такое извержение получило название.

2. Эксплозивного – если газы выделяются быстро, происходит как бы мгновенное вскипание магматического расплава, и он разрывается расширяющимися газовыми пузырьками.

3. Экструзивного – если магма очень вязкая и её температура невелика, то она медленно выдавливается на поверхность.

Продукты деятельности вулканов составляют следующие категории:

- газообразные продукты извержений;
- расплавленные огненно–жидкие массы (лавы);
- рыхлые продукты извержений (наиболее крупные шлаковые обломки, застывшие окончательно во время полета по воздуху, носят название вулканических бомб; более мелкие кусочки, в виде как бы шероховатых горошин называют лапилли или рапилли, еще более мелкие зерна составляют вулканический песок, а пылеобразные части, по внешнему сходству с золой, называют вулканическим пеплом).

Лахары имеют несколько возможных причин возникновения:

1. Снег и ледники могут разбавлять лаву во время извержения;

2. Лавовый поток смешивается с влажной почвой и грязью на склоне вулкана, создавая очень вязкий поток с высокой энергией;

3. Вода из озера, в сочетании с вулканическим материалом при извержении.

4. Наибольшее количество вулканов в России расположены на территории Камчатского края, около 300 из которых 30 являются активными.

Свыше 50 вулканов расположены на территории Сахалинской области. Осуществление мониторинга вулканов на территории Камчатского края и Сахалинской области осуществляется группами экстренного реагирования на вулканические извержения KVERT и SVERT.

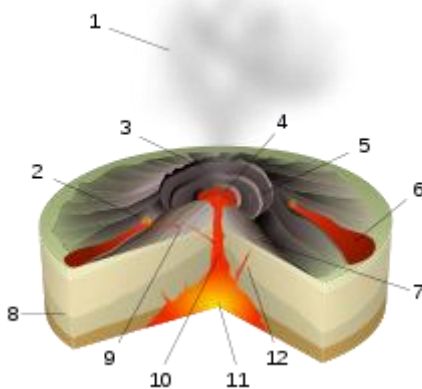
Типы вулканических извержений, как правило, называются в честь известных вулканов, на которых наблюдается характерное извержение. Извержения некоторых вулканов могут иметь только один тип в течение определённого периода активности, в то время как другие могут демонстрировать целую последовательность типов извержений. Существуют различные классификации, среди которых выделяются общие для всех типы.

#### Гавайский тип

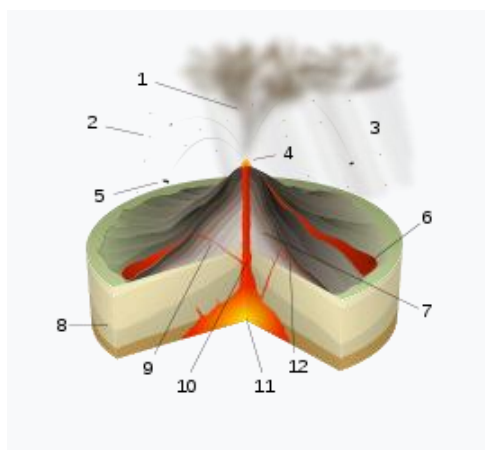
Извержения гавайского типа могут возникать вдоль трещин и разломов, как при извержении вулкана [Мауна-Лоа](#) на [Гавайях](#) в 1950 году. Они также могут проявляться через центральное жерло, как при извержении в кратере Килауэа Ики вулкана [Килауэа \(Гавайи\)](#) в 1959 году.

Данный тип характеризуется излияниями жидкой, высокоподвижной базальтовой лавы, формирующей огромные плоские *щитовые вулканы*. Пирокластический материал практически отсутствует. В ходе извержений через трещины фонтаны лавы выбрасываются через разломы в рифтовой зоне вулкана и растекаются вниз по склону потоками небольшой мощности на десятки километров. При извержении через центральный канал лава выбрасывается вверх на несколько сотен метров в виде жидких кусков типа «лепёшек», создавая валы и конусы разбрызгивания. Эта лава может скапливаться в старых кратерах, формируя лавовые озёра.

- Впервые вулканы такого типа были описаны в [Исландии](#) (вулкан [Крабла](#) на севере Исландии, расположенный в рифтовой зоне).
- Тип извержения вулкана Фурнез на острове [Реюньон](#) очень близок к гавайскому.
- Близкое к гавайскому – [Большое трещинное Толбачинское извержение](#).



Гавайский тип извержения: 1: Пепельный шлейф, 2: Фонтан лавы, 3: [Кратер](#), 4: [Лавовое озеро](#), 5: [Фумаролы](#), 6: Поток лавы, 7: Слои лавы и пепла, 8: Слой породы, 9: [Силл](#), 10: Магматический канал, 11: [Магматическая камера](#), 12: [Дайка](#)

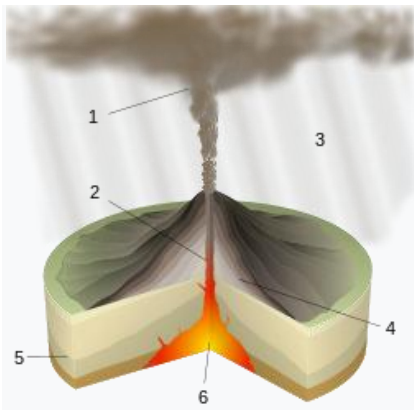


Стромболианский тип извержения

#### Стромболианский тип

Стромболианский тип (от вулкана [Стромболи](#) на [Липарских островах](#) к северу от [Сицилии](#)) извержений связан с более вязкой основной лавой, которая выбрасывается разными по силе взрывами из жерла, образуя сравнительно короткие и более мощные лавовые потоки. При взрывах формируются *шлаковые конусы* и шлейфы кручёных [вулканических бомб](#). Вулкан Стромболи регулярно выбрасывает в воздух «заряд» бомб и кусков (последнее извержение – июль 2019 года) раскалённого шлака.





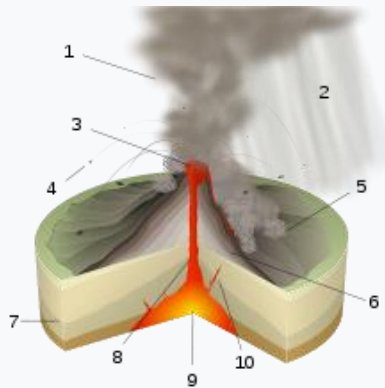
Плинианский тип извержения: 1: Пепельный шлейф, 2: Магматический канал, 3: Дождь вулканического пепла, 4: Слои лавы и пепла, 5: Слой породы, 6: Магматическая камера

### Плинианский тип

Плинианский тип (вулканический, везувианский) извержений получил своё название по имени римского учёного [Плиния Старшего](#), погибшего при извержении [Везувия](#) в 79 году н. э., уничтожившего три крупных римских города [Геркуланум](#), [Стабии](#) и [Помпеи](#).

Характерной особенностью этого типа извержений являются мощные, нередко внезапные взрывы, сопровождающиеся выбросами огромного количества [тефры](#), образующей пемзовые и пепловые потоки. Плинианские извержения опасны, так как происходят внезапно, часто без предварительных предвещающих событий. Крупные извержения плинианского типа, такие как извержения вулкана [Сент-Хеленс](#) 18 мая 1980 года или извержение [Пинатубо](#) на [Филиппинах](#) 15 июня 1991 года, могут выбрасывать пепел и [вулканические газы](#) на десятки километров в атмосферу. При плинианском типе извержений часто возникают быстродвижущиеся [пирокластические потоки](#).

К этому типу извержений относится и грандиозный взрыв вулкана [Кракатау](#) в Зондском проливе между островами [Суматра](#) и [Ява](#).

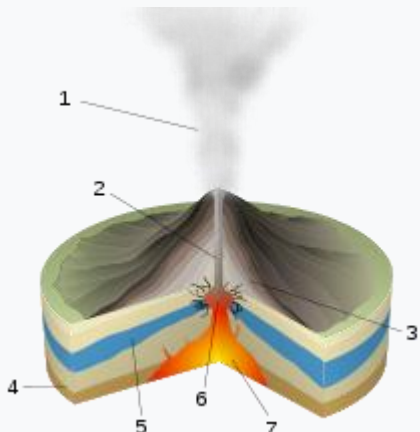


Пелейский тип извержения

### Пелейский тип

Пелейский тип извержений характеризуется образованием грандиозных раскалённых облачных лавин (эруптивное облако или «палящая туча»), а также ростом [экструзивных куполов](#) чрезвычайно вязкой лавы. Эруптивные облака в виде конвективной колонны с хорошо развитой турбулентностью являются источником инфразвуковых и длинноволновых возмущений в атмосфере.

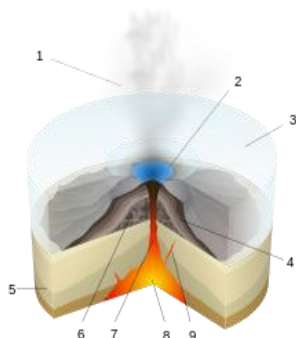
Своё название этот тип извержений получил от вулкана [Мон-Пеле](#) на острове [Мартиника](#) в группе малых [Антильских островов](#), где 8 мая 1902 года взрывом была уничтожена вершина дремавшего до этого вулкана, и вырвавшаяся из жерла раскалённая тяжёлая туча уничтожила город [Сен-Пьер](#) с 28 000 жителями. После извержения из жерла вылезла «игла» вязкой магмы, которая, достигнув высоты 300 м, вскоре разрушилась. Подобное извержение произошло 30 марта 1956 года на [Камчатке](#), где грандиозным взрывом была уничтожена вершина вулкана [Безымянного](#). Туча пепла поднялась на высоту 40 км, а по склонам вулкана сошли раскалённые лавины, которые, растопив снег, дали начало мощным грязевым потокам.



Фреатический тип извержения

### Газовый (фреатический) тип

Газовый, или фреатический, тип извержений (используется также название [бандайский](#) или [бандайсанский тип](#)), при котором выбрасываются в воздух обломки твёрдых, древних пород (новая магма не извергается), обусловлен либо магматическими газами, либо связан с перегретыми [грунтовыми водами](#). Фреатическая активность обычно слаба, но бывают сильные проявления, такие как извержение вулкана [Тааль](#) на Филиппинах в 1965 году и вулкана [Суфриер](#) на острове [Бас-Тер](#).



Подлёдный тип извержений:

- 1: Облако водяного пара,
- 2: Озеро,
- 3: Лёд,
- 4: Слои лавы и пепла,
- 5: Слой породы,
- 6: Шаровая лава,
- 7: Магматический канал,
- 8: Магматический очаг,
- 9: Дайка

### Подлёдный тип

Подлёдный тип извержений относят к вулканам, расположенным подо льдом или ледником. Такие извержения могут вызвать опасные наводнения, лахары и шаровую лаву. Всего пять извержений такого типа наблюдалось до настоящего времени.

### Извержение пепловых потоков

Извержения пепловых потоков были широко распространены в недалёком геологическом прошлом, но в настоящем не наблюдались человеком. В какой-то мере данные извержения должны напоминать палящие тучи или раскалённые лавины. На поверхность поступает магматический расплав, который, вскипая, разрывается и раскалённые лапиллы пемзы, обломки вулканического стекла, минералов, окружённые раскалённой газовой оболочкой, с огромной скоростью движутся под уклон. Возможным примером подобных извержений может стать извержение 1912 года в районе вулкана Катмай на Аляске, когда из многочисленных трещин излился пепловый поток, распространившийся примерно на 25 км вниз по долине, имея мощность около 30 м. Объём пепловых потоков может достигать десятков и сотен кубических километров, что говорит о быстром опорожнении очагов с расплавом кислого состава.

### Гидроэкссплозивные извержения

Гидроэкссплозивные извержения происходят в мелководных условиях океанов и морей. Их отличает образование большого количества пара, возникающего при контакте раскалённой магмы и морской воды.

#### Исландский тип

Исландский тип (от вулканов Исландии) характеризуется выбросами очень жидкой базальтовой лавы с содержанием пирокластического материала. Как правило, образуют плоские щитовые вулканы. Извержение происходит по трещинам (Гекла, Исландия). Историческим примером извержения исландского типа было извержение Лаки в Исландии в 1783 году.

#### Тип «треск грома»

Этот тип был зафиксирован при извержении вулкана на острове Пальма в 1915 году. Происходит на купольных вулканах. По трещинам, которые начинают идти из магматического очага, идёт лава, но уже не вязкая. Когда трещины доходят до кратера, происходят эксплозивные извержения (со взрывами)<sup>1</sup>

### 3.3. География вулканической деятельности и причины

**4 июня 2018** года началось извержение вулкана Фуэго в Гватемале, признанное одним из самых сильных за последние годы. Столбы дыба и пепла от вулкана поднимались на высоту до десяти километров. Пепел распространялся в направлении ветра со скоростью до 40 километров в час. Власти страны объявили красный уровень тревоги сразу в нескольких населенных пунктах. Из-за активности Фуэго был закрыт международный аэропорт столицы Гватемалы "Аурора". Спустя 16,5 часов извержение начало завершаться. В результате стихийного бедствия погибли 69 человек, число раненых составило 46 человек, были эвакуированы 3,26 тысячи человек, всего стихия затронула 1,7 миллиона жителей страны.

**В начале мая 2018 года** на фоне сейсмической активности начал извергаться вулкан Килауэа, расположенный на острове Гавайи (также известен как Большой остров). Власти Гавайских островов объявили эвакуацию населения, которая затронула около 10 тысяч человек. Позднее стало известно, что потоки лавы уничтожили по меньшей мере 77 домов. Президент США Дональд Трамп объявил островной штат в Тихом океане зоной бедствия.

Килауэа, расположенный на острове Гавайи (также известен как Большой остров), называют одним из самых активных действующих вулканов на Земле. Также Килауэа считается по традиционным верованиям местом обитания Пеле – гавайской богини вулканов.

**25 сентября 2014 года** утром началось извержение вулкана Онтакэ (высота 3067 метров), расположенного на границе японских префектур Нагано и Гифу. Главное метеорологическое агентство Японии установило третий по пятибалльной шкале уровень опасности. Он подразумевает запрет на приближение к подножию вулкана и подъем на гору. Извержение привело к гибели 57 человек, шесть человек пропали без вести. Причиной смерти большинства стали внешние травмы, полученные в результате падения камней. Во время извержения вулкан выбрасывал камни диаметром от 10 сантиметров и более, а скорость их падения составляла около 300 километров в час.

**15 января 2014 года** извержение активизировавшегося вулкана Синабунг на индонезийском острове Суматра унесло жизни 16 человек. Число эвакуированных на время активности вулкана местных жителей превысило 26 тысяч человек. Первое за почти 400 лет извержение вулкана Синабунг произошло в 2010 году, затем выбросы пепла повторялись. В мае 2016 года пирокластические потоки привели к гибели семи человек, в августе на извергающемся вулкане произошло обрушение купола.

**5 июня 2011 года** на фоне подземных толчков произошло извержение вулкана Пуйеуэ, расположенного в 800 километрах к югу от столицы Чили города Сантьяго на чилийской стороне Анд. Чилийские власти эвакуировали более 3,5 тысячи человек. В некоторых районах соседней южной Аргентины из-за рассеянного в атмосфере пепла были закрыты школы, приостановлена работа правительственных учреждений, отменены несрочные хирургические операции. Распространение облака пепла от извержения привело к авиаколлапсу в соседних с Чили странах, а также к перебоям с авиасообщением в Австралии и Новой Зеландии.

**В ночь на 22 мая 2011 года** извержение вулкана Гримсвотн на юго-востоке Исландии перешло в активную фазу. Шлейф пепла, дыма и пара от вулкана поднимался на высоту до 20 километров. Воздушное пространство над Исландией было временно закрыто, затем были отменены многие авиарейсы в Германии и Британии.

**В конце октября 2010 года** в стадию активного извержения перешел один из самых активных вулканов Индонезии Мерапи. Были эвакуированы более 50 тысяч человек. Число жертв извержения вулкана превысило 300 человек.

Мерапи входит в число наиболее опасных вулканов Индонезии: в 1994 году пирокластические облака унесли жизни почти 70 человек, а самое мощное за современный период извержение в 1930 году погубило 1,4 тысячи человек.

**14 апреля 2010 года** началось извержение вулкана Эйяфьятлайокудль, который находится в 200 километрах к востоку от столицы Исландии Рейкьявика. В результате извержения образовалось большое облако пепла, представляющее опасность для турбин авиационных двигателей и крыльев самолетов. Европейские службы безопасности полетов приняли решение на время закрыть воздушное пространство над многими территориями. Облако вулканического пепла накрыло сначала Северную, затем частично Западную и Восточную Европу. Целую неделю большинство аэропортов Европы были полностью закрыты для вылета и прилета авиалайнеров. Эксперты оценили ущерб мировой экономике от извержения вулкана в 5 миллиардов долларов.

Наша Земля не вся твердокаменная насквозь, скорее она напоминает яйцо: сверху тонкая твердая скорлупа, под ней вязкий слой горячей *мантии*, а в центре – твердое ядро. Земная «скорлупа» называется *литосфера*, что в переводе с греческого означает «каменная оболочка». Толщина литосферы в среднем около 1% радиуса земного шара: на суше она составляет 70-80 километров, а в глубине океанов может быть всего 20 километров. Литосфера вся изрезана разломами и напоминает мозаику.

Температура мантии – тысячи градусов: ближе к ядру температура больше, ближе к оболочке – меньше. Из-за разницы температур происходит перемешивание вещества мантии: горячие массы поднимаются вверх, а холодные – опускаются (так же, как закипающая вода в кастрюле или чайнике, но только происходит это в тысячи раз медленнее). Мантия хоть и разогрета до огромных температур, но из-за колоссального давления в центре Земли она не жидкая, а вязкая – как очень густая смола. Литосфера – «скорлупа» как бы плавает в вязкой мантии, немного погрузившись в нее под тяжестью своего веса.

Достигая подошвы литосферы, остывающая масса мантии какое-то время движется горизонтально вдоль твердой каменной «скорлупы», но затем, остыв, она снова опускается в направлении центра Земли. Пока мантия движется вдоль литосферы, вместе с ней поневоле движутся и куски «скорлупы» (литосферные плиты), при этом отдельные части каменной мозаики сталкиваются и наползают друг на друга.

Часть плиты, которая оказалась снизу (на которую наползла другая плита), постепенно погружается в мантию и начинает плавиться. Так образуется *магма* – густая масса расплавленных пород с газами и парами воды. Магма легче, чем окружающие породы, поэтому она медленно поднимается к поверхности и накапливается в так называемых магматических очагах, которые располагаются чаще всего вдоль линии столкновения плит. Магма более жидкая, чем мантия, но всё же достаточно густая; в переводе с греческого «магма» означает «густая паста» или «тесто».

Поведение раскаленной магмы в магматическом очаге и правда напоминает дрожжевое тесто: магма увеличивается в объеме, занимает всё свободное пространство и поднимается из глубин Земли по трещинам, норовя вырваться на волю. Как тесто приподнимает крышку кастрюли и вытекает через край, так и магма прорывает земную кору в самых слабых местах и вырывается на поверхность. Это и есть извержение вулкана.

Извержение вулкана происходит из-за дегазации магмы. Процесс дегазации известен каждому: если осторожно открыть бутылку с газированным напитком

(лимонадом, кока-колой, квасом или шампанским), раздается хлопок, и из бутылки появляется дымок, а иногда и пена – это из напитка выходит газ (то есть происходит его дегазация). Если бутылку с шампанским перед открыванием потрясти или нагреть, то из нее вырвется мощная струя, и удержать этот процесс невозможно. А если бутылка неплотно закрыта, то эта струя может сама вышибить пробку из бутылки.

Магма в магматическом очаге находится под давлением, так же как и газированные напитки в закрытой бутылке. В том месте, где земная кора оказалась «неплотно закрыта», магма может вырваться из недр Земли, вышибив «пробку» вулкана, и чем прочнее была «пробка», тем сильнее будет извержение вулкана. Поднимаясь вверх, магма теряет газы и пары воды и превращается в лаву – магму, обедненную газами. В отличие от шипучих напитков, газы, которые выделяются при извержении вулкана, – горючие, поэтому они воспламеняются и взрываются в жерле вулкана. Сила взрыва вулкана бывает настолько мощной, что на месте горы после извержения остается огромная «воронка» (*кальдера*), и если извержение продолжается, то прямо в этой впадине начинает расти новый вулкан.

Однако бывает, что магме удастся найти легкий выход на поверхность Земли, тогда лава вытекает из вулканов вообще без взрывов – как кипящая каша, булькая, переливается через край кастрюли (так, например, извергаются вулканы на Гавайских островах). У магмы не всегда хватает сил выйти на поверхность, и тогда она медленно застывает на глубине. В этом случае вулкан вообще не образуется.

Как же все-таки работает вулкан? Когда открывается «клапан» в Земле (вышибается пробка вулкана), давление в верхней части магматического очага резко снижается; внизу же, где давление пока еще большое, растворенные газы всё еще входят в состав магмы. В жерле вулкана из магмы уже начинают выделяться пузырьки газов: чем выше, тем их становится больше; эти легкие «воздушные шарики» поднимаются вверх и увлекают за собой вязкую магму. Около поверхности уже образуется сплошная пенистая масса (застывшая вулканическая каменная пена даже легче воды – это известная всем *пемза*). Дегазация магмы завершается на поверхности, где, вырвавшись на свободу, она превращается в лаву, пепел, горячие газы, пары воды и обломки горных пород.

После бурного процесса дегазации давление в магматическом очаге снижается, и извержение вулкана прекращается. Жерло вулкана закрывается застывшей лавой, но иногда не очень прочно: в магматическом очаге остается достаточно жара, поэтому на поверхность через трещины могут вырываться вулканические газы (*фумаролы*) или струи кипящей воды (*гейзеры*). В этом случае вулкан всё еще считается действующим. В любой момент в магматической камере может накопиться большое количество магмы, и тогда процесс извержения начнется вновь.

Известны случаи, когда извергались вулканы, молчавшие и 300, и 500, и 800 лет. Вулканы, которые хотя бы раз извергались на памяти человека (и могут заработать вновь), называются *спящими*.

Потухшие (или древние) вулканы – это те, которые работали в далеком геологическом прошлом. Например, столица Шотландии город Эдинбург стоит на

древнем вулкане, который извергался более 300 миллионов лет назад (тогда еще и динозавров-то не было).

### 3.4. Прогноз вулканических извержений

Катастрофические извержения вулканов сопровождаются большими жертвами среди населения. При извержении влк. Тамбора в Индонезии в 1815 г. погибло от 60 тыс. до 90 тыс. человек. Взрыв влк. Кракатау в 1883 г. стал причиной смерти 40 тыс. человек. От палящих туч, образовавшихся при извержении влк. Ламингтон на Новой Гвинее, погибло около 4 тыс. человек. Предвестником извержения являются вулканические землетрясения, которые связаны с пульсацией магмы, продвигающейся вверх по подводящему каналу. Специальные приборы – наклонометры – регистрируют изменение наклона земной поверхности вблизи вулканов. Перед извержением меняются местное магнитное поле и состав вулканических газов, выделяющихся из fumarol. На Камчатке уже в 1955 г. было предсказано извержение влк. Безымянный, в 1964 г. – влк. Шивелуч, затем – Толбачикских вулканов.

На вулканических территориях действует ряд вулканических станций. Как и для землетрясений, составляются карты вулканической опасности (риска). Подробная карта такого рода составлена для Камчатки в РФ, для Гавайских островов и района Каскадных гор в США. В Российской Федерации непосредственное наблюдение за вулканами осуществляется институтом вулканологии Дальневосточного отделения АН РФ.

Прогноз извержений основан на двух группах методов. Первые основаны на изучении жизни самого вулкана: отдельные вулканы извергаются с определенными интервалами времени, другие свое пробуждение знаменуют звуковыми эффектами; знание вулканов может помочь в предупреждении извержений. Другую группу методов составляют сложные статистические вычисления и исследования признаков готовящегося извержения с помощью точных приборов. Вокруг опасных вулканов размещают, как правило, сейсмические станции, регистрирующие толчки. Когда лава расширяется на глубине, заполняя трещины, это вызывает сотрясение земной поверхности. Землетрясения с очагами под вулканами являются, таким образом, надежным признаком готовящегося извержения.

Надежным является метод прогноза вулканических извержений на основе измерения изменений наклонов земной поверхности вблизи вулкана. Изменение наклона показывает, что готовится извержение. По скорости нарастания изменений можно вычислить примерное время извержения.

Новый метод прогноза извержений представляет собой аэрофотографирование вулканов в инфракрасных лучах, и позволяет определить нагревание земной поверхности и подъем горячих расплавов.

Поведение воды в кратере также может служить надежным показателем готовящегося извержения. Иногда температура воды повышается до кипения, иногда она перед извержением меняет свой цвет (становится бурой или красноватой). Перед извержением часто увеличивается концентрация серосодержащих газов и паров хлористоводородной кислоты, в то время как проценты водяных паров уменьшаются и повышается отношение S/Cl.

Может оправдать себя и метод изучения изменения магнитного поля: на Камчатке в 1966 г. за 12 ч до извержения напряженность магнитного поля ослабевала, а за несколько месяцев до извержения менялась и его ориентация.

Успешный прогноз вулканических извержений может значительно уменьшить вулканический риск для населения гг. Петропавловск-Камчатский, Елизово, Ключи, Северо-Курильск и других населенных пунктов, а также для пассажиров сотен международных авиарейсов, ежедневно совершаемых вдоль восточного побережья Камчатки.

С практической точки зрения выделяются краткосрочные, среднесрочные и долгосрочные прогнозы вулканической деятельности.

*Краткосрочный прогноз* – наиболее точный. Вывод о времени предстоящего извержения делают на основе совокупности результатов всех методов. Физической основой прогноза является постепенное и непрерывное возрастание давления в магматическом очаге и выводном канале вулкана перед извержением. Возрастание давления в выводном канале вызывает напряжения и упругие деформации в окружающих его твердых породах, изменение их физических свойств, что отражается в физическом поле в районе вулкана. Установления закономерностей связи изменений физического поля вулкана с его деятельностью и непрерывные наблюдения за этими изменениями и составляют суть краткосрочного прогноза извержений.

Наиболее перспективными считаются методы, основанные на наблюдениях за вулканическими землетрясениями, за деформациями земной поверхности и за газогидрохимическими явлениями на вулканах. Начиная с 1980-х гг., на Камчатке развиваются также аэрофотограмметрические методы прогноза вулканических извержений.

*Долгосрочный прогноз* может быть выполнен с достаточной точностью лишь для тех вулканов, в деятельности которых существует периодичность. Для остальных вулканов этот прогноз не является точным, а лишь позволяет установить причинно-следственные связи в тектонической деятельности в каком-либо определенном районе. На основе подобных расчетов можно получить вероятностные характеристики, которые являются важными данными для краткосрочного и среднесрочного прогноза.

## Литература

1. Якушова А. Ф., Хаин В.Е., Славин В. И. Общая геология. Под редакцией В. Е. Хаина. стр. 140. Классификация вулканических извержений. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – 448 с. ISBN 5-211-00131-1.

### Контрольные вопросы

1. На чем основан прогноз извержений вулканов?
2. С практической точки зрения какие выделяются прогнозы вулканической деятельности?
3. Чем характеризуется Исландский тип вулканов?
4. Чем характеризуется Гавайский тип извержения вулканов?
5. Что такое извержение вулкана?
6. Какие категории составляют продукты деятельности вулканов?



7. Назовите три типа извержения вулканов.
8. Чем характеризуется подлёдный тип извержений вулканов?:
9. Что такое краткосрочный прогноз извержения вулканов?
10. Чем характеризуется Пелейский тип извержений вулканов?

### **Задания для самостоятельной работы**

1. Проработать конспект лекции №3.
2. Составить краткий конспект лекции.

## **Лекция 4**

### **Гидрологические опасные явления.**

#### **План**

- 4.1. Наводнения.
- 4.2. Цунами.
- 4.3. Защита от наводнений.
- 4.4. Меры безопасности.

#### **4.1. Наводнения.**

**НАВОДНЕНИЕ** – это значительное затопление местности в результате подъема уровня воды в реке, озере или море в период снеготаяния, ливней, ветровых нагонов воды, при заторах, зажорах и т.п. К особому типу относятся наводнения, вызываемые ветровым нагоном воды в устья рек. Наводнения приводят к разрушениям мостов, дорог, зданий, сооружений, приносят значительный материальный ущерб, а при больших скоростях движения воды (более 4 м/с) и большой высоте подъема воды (более 2 м) вызывают гибель людей и животных. Основной причиной разрушений являются воздействия на здания и сооружения гидравлических ударов массы воды, плывущих с большой скоростью льдин, различных обломков, плавсредств и т.п. Наводнения могут возникать внезапно и продолжаться от нескольких часов до 2 – 3 недель.

Последствия наводнений для здоровья людей возникают в результате прямого контакта с паводковыми водами или нанесения ущерба медицинским учреждениям, инфраструктуре, экосистемам, запасам продовольствия и воды или системам социальной поддержки. Они могут возникать немедленно или через несколько дней, недель или месяцев после ухода паводковых вод. За последние двадцать лет наводнения были зарегистрированы в 49 государствах-членах Европейского региона ВОЗ. Начиная с 2000 г. в результате 400 крупномасштабных наводнений, зарегистрированных в базе данных EM-DAT, погибли более 2000 и пострадали 8,7 млн человек, а также были понесены финансовые потери в размере как минимум 72 млрд евро (Guha-Sapir et al., 2015).

В базе данных EM-DAT не регистрируются многие маломасштабные наводнения, которые также случаются на постоянной основе в странах Европейского региона ВОЗ. Экстремальное выпадение осадков стало более частым явлением, которое, согласно прогнозам, должно еще более участиться в Европейском регионе ВОЗ. Несмотря на прогнозируемое сокращение числа дождливых летних дней, интенсивность экстремального выпадения ливневых дождей может увеличиться. Это может привести к более частым и интенсивным



наводнениям различных видов. Более того, существует несколько геологических и исторических данных о зарегистрированных в Европе цунами, в основном в районе Средиземного и Черного моря. Цунами, вызванные подводными или наземными оползнями, происходят в основном в Норвегии, хотя были зарегистрированы случаи и в других частях Европы. Поэтому имеет смысл подготовиться к таким явлениям, несмотря на то, что в течение последнего столетия разрушительных цунами в Европе не было (ESPON, 2005).

Затопление медицинских учреждений приводит к остановке их работы; потере или повреждению объектов инфраструктуры; повышенному притоку пациентов; дополнительным осложнениям в осуществлении рутинного медицинского и сестринского ухода за пациентами с хроническими заболеваниями. Было отмечено несколько недостатков в области предотвращения, обеспечения готовности, реагирования и восстановления после наводнений, включая следующие примеры. Меры охраны здоровья зачастую не рассматриваются непосредственно в многосекторальных планах ликвидации чрезвычайной ситуаций на случай всех видов опасности, а если и рассматриваются, то в основном относительно критических последствий.

– Операционный анализ служб здравоохранения (напр., больничной безопасности и функционирования) зачастую не входит в многосекторальные оценки риска различных видов опасности.

– При долгосрочном планировании редко учитываются вопросы предоставления воды, продуктов питания, санитарно-технических и гигиенических средств надлежащего качества и в достаточном количестве; мероприятия по охране здоровья во время ликвидации последствий; защитные меры против инфекционных заболеваний и химических угроз; мероприятия по надзору за смертностью и заболеваемостью во время и после наводнений; или меры для отслеживания психических расстройств и обеспечения психического здоровья и благополучия во время и после наводнений.

– Связанная с долгосрочными структурными и неструктурными мерами польза или риски для здоровья редко учитываются.

– Штормовые предупреждения об экстремальном выпадении осадков делаются почти во всех европейских странах. Однако предупреждения конкретно о наводнении зачастую недостаточно своевременны для принятия надлежащих мер в системе здравоохранения (напр., для эвакуации людей, подвергающихся высокому риску). Подходы с учетом гендерных и возрастных особенностей особо уязвимых групп населения (напр., пожилых людей, хронических больных и мигрантов) редко применяются на стадии планирования (Menne & Murray, 2013).

– Правовая среда во многих государствах-членах не позволяет своевременно предоставлять гуманитарную помощь, особенно медикаменты и расходные материалы. С целью придания направления мерам по сокращению рисков бедствий Управление Организация Объединенных Наций по снижению риска бедствий (УСРБ ООН) и государства-члены приняли Сендайскую рамочную программу по снижению риска бедствий на 2015–2030 гг. Приоритеты данной рамочной программы направлены на расширение понимания риска бедствий при помощи проведения научных исследований; укрепление систем управления риском бедствий; инвестирование в деятельность по достижению устойчивости к бедствиям; повышение готовности к бедствиям в целях

эффективного реагирования и восстановление по так называемому принципу «лучше, чем было» (УСРБ ООН, 2015 г.).

#### 4.2. Цунами.

Из-за того что на Земле улучшились коммуникации, мы стали гораздо чаще слышать о цунами. В переводе с японского цунами означает «волна в гавани». Чем же она отличается от привычных волн, пусть даже и штормовых?

Главное отличие в том, что цунами при распространении переносит огромное количество воды, а обыкновенные волны этого не делают. Простые волны связаны с колебанием поверхности воды около ее равновесного состояния. Например, если вы забросите удочку, то поплавков будет плавать и качаться на волнах, но переносится он только ветром. Это и означает, что поверхностные волны не переносят вещество.

Волны, переносящие большие объемы воды, в 1834 году открыл шотландский физик и инженер Джон Рассел. Готовясь к переводу барж на паровую тягу, он изучал движение барж, влекомых лошадьми, по каналу от Эдинбурга до Глазго. В узком канале баржа, как поршень, гнала перед собой воду. Когда лошади вдруг стали, некоторое время наблюдалось бурное движение воды, а потом позади судна образовался гладкий, округлый водяной холм и понесся по каналу'. Рассел погнался за ним верхом. Так была открыта волна нового типа – солитон.

Цунами образуется при быстром вытеснении больших объемов воды. Например, при землетрясении подъем суши вызывает образование холма воды на поверхности океана, и это возмущение начинает распространяться подобно солитону Рассела. Хотя холм и невысок, но площадь огромная, поэтому и воды переносится много. Добегая до берега, она неумолимо заполняет его всевозможные ниши и заливы. Если под водой произойдет провал суши, образуется впадина. Поэтому вода сначала отойдет от берега, а потом обрушится на него с неистовой силой. Так энергия не самого сильного из известных цунами 2004 года была в два раза больше, чем энергия всех боевых снарядов, взорванных во Второй мировой войне.

Вытеснение воды может происходить также при оползнях, падении крупных метеоритов, извержении подводных вулканов, подводных ядерных взрывах.

В 1597 году оползень крутого берега Волги в Нижнем Новгороде привел к образованию волны цунами, выбросившей деревянные суда на 40 м вглубь берега. Оползень льда и грунта в июле 1958 года в бухте Литуйя на Аляске вызвал цунами высотой 500 м. Цунами после извержения вулкана Кракатау в 1883 году несколько раз обошло Землю и достигло каждой бухты на Земле.

Цунами – грозное явление природы, но человеку по силам его предсказать. На основании теории, учитывающей особенности рельефа морского дна, сделаны прогнозные оценки цунами при разных землетрясениях в самых разных географических районах. Поэтому самое главное сейчас – это построение надежной системы оповещения.

В глубине недр Земли постоянно происходят определенные процессы, причем в равной степени они затрагивают как области суши, так и часть коры под дном всемирного океана.

Тектонические плиты смещаются, пласты сталкиваются, вызывая колебания, подземные вулканы извергаются. Подводные землетрясения и извержения вулканов не остаются незамеченными: эти явления вызывают огромные волны, нередко докатывающиеся до материков. Эти волны называют цунами - в переводе с японского языка термин означает «гигантская волна, пришедшая в гавань».

Толща воды, приходящая в движение в результате колебаний морского дна, вдали от суши практически безобидна. Но чем ближе к берегу' продвигается волна, тем большую мощь она обретает, и тем выше становится ее гребень. Нижние слои воды, проходя по дну и встречая сопротивление, еще более наращивают энергию верхних слоев.

Цунами может двигаться со скоростью до 800 километров в час, при этом высота волны нередко составляет и десять, и двадцать, и даже тридцать метров. Эта масса воды, обрушиваясь на берег, уничтожает все на своем пути, забрасывая обломки на много километров вглубь материка. Опасность цунами заключается еще и в том, что это - не одиночная волна: всего волн может насчитываться до десятка, причем самыми опасными являются третья и четвертая.

Но цунами может выглядеть и не как волны, а как серия быстро сменяющих друг друга сильных отливов и приливов, что несет в себе не меньшую опасность.

#### ***Причины возникновения цунами.***

До 7% всех цунами обусловлены оползнями, когда огромные глыбы земли, горных пород или льда обрушиваются в воду. В 1958-м году на Аляске такой оползень привел к образованию волны высотой 524 метра.

Опасны также подводные оползни в речных дельтах. Оползневые цунами регулярно случаются в Индонезии и приводят к появлению двадцатиметровых цунами. Еще 5% случаев приходится на извержения подводных вулканов. Может привести к появлению цунами и деятельность человека - например, испытания глубинного оружия.

До 85% всех случаев, когда были зафиксированы цунами, связаны с подводными землетрясениями. Дно океана при этом смещается по вертикали, и поверхность воды приходит в движение, стремясь вернуться к прежнему уровню. Цунами рождают в основном землетрясения с очагами, расположенными близко к поверхности.

При землетрясениях от места вертикального сдвига расходятся поверхностные волны, называемые местными цунами. Высота таких волн может достигать тридцати метров. Одновременно от эпицентра расходятся и подводные волны, которые проходят по всей толще воды, от дна до поверхности, и двигаются со скоростью от 600 до 800 километров в час.

#### ***Последствия цунами.***

Кроме гибели людей цунами вызывают затопления значительных прибрежных территорий и засоление почв, разрушение зданий и сооружений, размыв почвы, повреждение судов, пришвартованных у берега.

Чтобы уменьшить ущерб от последствий цунами строительство следует вести вне зоны их воздействия. Если это не возможно – строить здания так, чтобы они воспринимали удары своей короткой стороной, или располагать их на прочных колоннах. В этом случае волна свободно пройдет под зданием, не нанося ему ущерба.

При угрозе цунами суда, пришвартованные у берега, необходимо вывести в открытое море.

### **4.3. Защита от наводнений**

Наводнения занимают первое место среди стихийных бедствий по числу жертв и причиняемому ущербу. Защита от наводнений - комплекс мероприятий по предотвращению или снижению нежелательных последствий наводнения.

Меры защиты от наводнений могут быть оперативными (срочными) и техническими (предупредительными).

К оперативным мерам относятся своевременное прогнозирование максимальных уровней наводнений, своевременное оповещение о возможных опасных уровнях, организация эвакуации населения и материальных ценностей и др. Прогнозирование угрозы наводнения позволяет своевременно осуществить комплекс предупредительных мероприятий, значительно снижающих возможный ущерб и потери, а также заблаговременно создать условия для проведения спасательных и других неотложных работ в зонах затопления.

Однако оперативные меры не решают в целом проблему защиты от наводнений и должны осуществляться в комплексе с техническими мерами.

Технические меры носят предупредительный характер, и для их выполнения необходимо заблаговременное строительство специальных инженерных сооружений с расходом значительных материальных и финансовых ресурсов. В комплексе технических мероприятий различают активные и пассивные методы защиты.

К активным мероприятиям относятся: регулирование стока в русле рек, отвод паводковых вод, регулирование поверхностного стока на водосборах, заблаговременное разрушение ледяного покрова рек.

Каждому виду наводнения соответствуют свои инженерно-технические мероприятия по защите от их последствий. К ним относятся: инженерная разведка развития опасных природных явлений; применение способа спрямления русла реки; сооружение ограждающих дамб (валов) и других сооружений, для задержания водных и селевых потоков, сбора или стока их; использование способа подсыпки территорий; проведение берегоукрепительных и дноуглубительных работ; накопление аварийных запасов материала для заделывания пробоин, прорывов и наращивания высоты дамб; оборудование мест посадки и высадки; накопление и организация безопасного хранения резервных и автономных источников электрической и тепловой энергии.

Основное направление борьбы с наводнениями состоит в уменьшении максимального расхода воды в реке путем перераспределения стока во времени. Для этого осуществляется перераспределение максимального стока между водохранилищами, переброска стока между бассейнами и внутри речного бассейна. Регулирование паводочного стока с помощью водохранилищ применяется для средних и крупных рек. Существует два вида противопаводковых накопителей: водохранилище регулируемого типа и водохранилище автоматического удержания паводкового сброса.

Отвод паводковых вод осуществляется путем направления паводкового водосброса в обводные каналы. Определенный эффект дает также устройство

прудов, запаней и других емкостей в логах, балках и оврагах для перехвата талых и дождевых вод.

Для ликвидации опасности образования заторов на реках производится разрушение льда взрывами за 10-15 дней до ее вскрытия. Наибольший эффект достигается при закладке зарядов под лед на глубину, в 2,5 раза превышающую его толщину. Тот же результат дает посыпание ледяного покрова молотым шлаком с добавкой соли, за 15-25 дней до вскрытия реки. Затопы льда при толщине скоплений не более 3-4 м ликвидируются с помощью речных ледоколов.

Дамбы обвалования и стенки защиты от наводнений - это гидротехнические сооружения, защищающие от паводков те земельные площади, возле которых они возводятся. Дамбы обвалования, представляющие собой сплошные земляные насыпи, использовались на протяжении многих столетий. Защитные стенки строятся из бетона и возводятся, как правило, в районах с развитой застройкой, где для насыпей просто не хватает места. В большинстве случаев рядом с такими сооружениями располагаются насосные станции, которые во время паводков используются для откачки ливневых и прочих сточных вод через канализационные коллекторы.

Разрушительное действие паводков можно ослабить, увеличивая пропускную способность водоводов, что достигается чисткой каналов, спрямлением, расширением и углублением их русла и размещением в нем затворов.

Повышение отметок защищаемой территории достигается путем устройства насыпных территорий, свайных оснований, подсыпкой на пойменных землях при расширении и застройке новых городских территорий.

К агролесомелиорационным мероприятиям относятся: посадка лесозащитных полос в бассейнах рек, распашка земли поперек склонов, сохранение прибрежных водоохранительных полос растительности, террасирование склонов и т.д. При надлежащем уходе за земельными угодьями и лесными массивами ливневые воды активно поглощаются почвой, и интенсивность паводковых потоков уменьшается. Выбор способа защиты затопляемых территорий зависит от многих факторов, таких как гидравлический режим водотока, рельеф местности, инженерно-геологические и гидрогеологические условия, наличие инженерных сооружений в русле и на пойме (плотины, водохранилища, мосты, дороги, водозаборы, дамбы), расположения объектов народного хозяйства, которые подвергаются затоплению.

#### **4.4. Меры безопасности.**

При угрозе наводнения проводят предупредительные мероприятия. В первую очередь – это информирование населения о возникновении угрозы наводнения, усиление наблюдения за уровнем воды, приведение в готовность сил и средств, предназначенных для борьбы со стихией и для эвакуации населения. Проверяется состояние дамб, плотин, мостов и устраняются выявленные недостатки. Возводятся дополнительные насыпи, роются водоотводные каналы, готовятся гидротехнические сооружения.

При нарастании угрозы наводнения работа предприятий, организаций и учреждений прекращается, людей отправляют по домам или эвакуируют в безопасные районы.

В этом случае необходимо:

- отключить воду, газ и электричество;

- потушить горящие печи отопления;
- перенести на верхние этажи зданий (чердаки) ценные предметы и вещи, убрать в безопасное место сельскохозяйственный инвентарь, закопать, укрыть удобрения и отходы;
- при необходимости обить окна и двери первых этажей домов досками или фанерой;
- взять с собой личные документы, помещенные в непромокаемый пакет, деньги и ценности, медицинскую аптечку, комплект верхней одежды и обуви по сезону, постельное белье и туалетные принадлежности, трехдневный запас продуктов питания. Вещи и продукты лучше уложить в чемоданы (рюкзак, сумки);
- прибыть к установленному сроку на сборный эвакуационный пункт для регистрации и отправки в безопасный район.

Действия при выполнении эвакуационных мероприятий.

Если наводнение застало вас дома, необходимо:

- не поддаваться панике и не терять самообладание;
- как можно быстрее занять ближайшее, безопасное возвышенное место, верхние этажи зданий, чердак или крышу дома и быть готовым к эвакуации по воде, в том числе с помощью подручных плавсредств;
- принять меры, позволяющие спасателям своевременно себя обнаружить. В светлое время суток это достигается вывешиванием на высоком месте белого или цветного полотнища, а в ночное время - подачей световых сигналов;
- до прибытия помощи, если вам не угрожает опасность, оставаться на выбранном вами месте;
- самостоятельную эвакуацию на незатопленную территорию проводить только в случаях необходимости оказания неотложной медицинской помощи пострадавшим. Для самостоятельной эвакуации используются личные лодки или катера, плоты из бревен и других подручных материалов. При эвакуации необходимо соблюдать меры безопасности: входить в лодку, катер по одному, во время их движения не садиться на борта, не меняться местами и не толкаться.

Если вы все же оказались в воде - нужно срочно выходить на возвышенное место, а если в лесу – то забраться на прочное развесистое и высокое дерево. Если вы все же оказались в воде, то плывите к ближайшему незатопленному участку не против течения, а под углом к нему. Для этого используйте все предметы, способные удержать вас на воде: бревна, доски, обломки деревьев и т.п. В местах с большим количеством водорослей или травы избегайте резких движений, чтобы не запутаться.

После спада воды необходимо:

- вернуться, по возможности, в место проживания, перед входом в здания убедиться, что их конструкции не претерпели явных разрушений и не представляют опасности;
- при осмотре внутренних комнат здания не рекомендуется в качестве источника света применять спички или свечи из-за возможного присутствия газа. Для этих целей лучше использовать электрические фонари;

– остерегайтесь порванных или провисших электрических проводов. Запрещается включать электроприборы до проверки специалистами состояния электрической сети;

– о повреждениях и разрушениях водопроводных, газовых и канализационных магистралей немедленно нужно сообщить в соответствующие коммунальные службы и организации;

– попавшие в воду продукты категорически запрещается применять в пищу до проведения проверки санитарно - эпидемиологической службой и без горячей обработки;

– проверить запасы питьевой воды, а имеющиеся колодцы осушить путем выкачивания из них загрязненной воды.

Первоочередными мероприятиями по оказанию медицинской помощи при наводнениях является извлечение пострадавших из воды, их согревание, стимулирование сердечной и дыхательной деятельности.

К тонущему человеку подплывать лучше со спины. Приблизившись, взять его за голову, руки, плечи или воротник, повернуть его лицом вверх и плыть к берегу, работая свободной рукой и ногами. Если при оказании помощи утопающему вы используете лодку, то вытаскивать человека из воды лучше всего со стороны кормы. В том случае если лодка отсутствует, то можно воспользоваться подручными средствами - бочками, бревнами, деревянными щитами и дверями, автомобильными камерами и другими предметами, способными удержать человека на плаву.

### **Литература**

1. Абрамов В.В. Безопасность жизнедеятельности, М. 2013год, 365 с.
2. Гусяков В.К. Сильнейшие цунами мирового океана и проблема цунами-районирования морских побережий, М. 2013 год, 46 с.
3. Безопасность жизнедеятельности: Учебник для вузов / Л. А. Михайлов, В. П. Соломин. А. Л. Михайлов А. В. Старостенко и др. – СПб.: Питер, 2006 – 302 с.: ил.

### **Контрольные вопросы**

1. Что необходимо предпринимать при нарастании угрозы наводнения?
2. Если наводнение Вас застало дома, что необходимо предпринимать?
3. Какими могут быть последствия цунами?
4. Назовите основные причины возникновения цунами.
5. Что такое наводнение?
6. Что необходимо предпринять после спада воды?
7. Назовите первоочередные мероприятия по оказанию медицинской помощи при наводнениях.
8. Действия при выполнении эвакуационных мероприятий.
9. Что необходимо предпринимать для ликвидации опасности образования заторов на реках?
10. Назовите основное направление борьбы с наводнениями.

### **Задания для самостоятельной работы**

1. Проработать конспект лекции №4.
2. Составить краткий конспект лекции.

## Лекция 5

### Пожары и взрывы.

#### План

- 5.1. Самовоспламенение.
- 5.2. Взрывное развитие процессов горения.
- 5.3. Дефлаграция и детонация. Классификация взрывов.
- 5.4. Случайные взрывы.
  - 5.4.1 Взрывы конденсированных ВВ.
  - 5.4.2 Взрывы топливно-воздушных смесей в замкнутом объеме.
  - 5.4.3 Взрывы сосудов с газом под давлением.
  - 5.4.4 Взрывы емкостей с перегретой жидкостью.
  - 5.4.5 Взрывы неограниченных облаков топливовоздушных смесей.
  - 5.4.6 Паровые.

#### 5.1. Самовоспламенение.

Самовоспламенение – процесс возникновения горения в результате того, что горючая смесь нагревается извне до такой температуры, выше которой она загорается самостоятельно, без дополнительного внешнего влияния.

Самовоспламенение - распространенный процесс, присущий очень многим веществам. Обычно самовоспламенение веществ происходит при достижении определенной температуры, которая называется температурой самовоспламенения. Но существуют вещества и смеси способные самовоспламенятся и при комнатной (и даже ниже) температуре без воздействия видимого источника тепла. Такие реакции выглядят довольно эффектно.

Механизм работы таких смесей - самоускоряющаяся экзотермическая реакция протекающая с воспламенением смеси. Вследствие этого, время воспламенения таких смесей зависит от внешней температуры (чем она выше, тем время воспламенения меньше). По понятным причинам хранение готовых смесей не рекомендуется. При очень высокой скорости развития процесса самовозгорания могут быть получены и самодетонирующие смеси (например, смесь алюминиевой пыли, угля и перекиси водорода или смесь нитрата аммония с перманганатом калия), но из-за их капризного поведения показывать опыты с их применением или даже готовить такие смеси не рекомендуется! Следует иметь ввиду, что самовоспламеняющаяся смесь может образоваться и тогда когда этого не ожидает и сам экспериментатор. Для их возникновения подходит практически любая экзотермическая реакция проходящая в отсутствии или при минимальном количестве растворителя. Например, описан случай самовоспламенения смеси сульфата меди с порошком железа и опилками.

По скорости воспламенения вещества и смеси можно разделить на: воспламеняющиеся немедленно (1-2 секунды после смешивания реагентов), воспламеняющиеся через непродолжительное время (0,1-5 минут после смешивания реагентов) и воспламеняющиеся через продолжительное время (более 5 минут после смешивания реагентов). Следует заметить, что эта классификация очень условна, вследствие сильной зависимости времени воспламенения от внешних условий (состав смеси, температура воздуха, влажность воздуха и реагентов, их концентрация). Большинство смесей и веществ воспламеняются немедленно после смешивания или попадания на воздух.



По условиям воспламенения вещества и смеси можно разделить на несколько групп:

1. Вещества и смеси воспламеняющиеся в парах или газах отличных от воздуха.

Таких веществ и смесей очень много, например:

Все органические вещества, металлы, неметаллы и многие соединения в газообразном фторе, трехфтористом хлоре, фториде кислорода, диоксидфториде самовоспламеняются. В частности можно наблюдать самовоспламенение слегка подогретой воды в фторе, стекла в трехфтористом хлоре.

В газообразном хлоре самовоспламеняются: порошок сурьмы (горит красивыми белыми искорками), красный и белый фосфор, скипидар на развитой поверхности (например на вате).

В парах брома самовоспламеняются: сурьма, фосфор.

2. Вещества и смеси самовоспламеняющиеся при соприкосновении с воздухом.

Обычно это химически активные вещества, например:

Металлические рубидий и цезий, пиррофорные металлы (пиррофорное железо, никель), многие простейшие металлоорганические вещества (метилнатрий, метиллитий), водород в присутствии платинированного асбеста.

3. Вещества и смеси самовоспламенение которых активизируется водой.

Обычно это смеси, в которых вода служит растворителем для одного из компонентов, после растворения которого начинается сильноэкзотермическая реакция приводящая к воспламенению смеси. Также это могут быть вещества реагирующие с водой с большим выделением тепла.

Например: диэтилцинк, триэтилалюминий.

Основным параметром, характеризующим степень пожарной опасности вещества при самовоспламенении является:

температура самовоспламенения – наименьшая температура системы, при которой происходит резкое увеличение скорости экзотермической реакции, приводящее к появлению пламенного горения.

На температуру самовоспламенения влияют три основные группы факторов:

- вид горючего вещества;
- состав горючей смеси;
- условия, в которых находится горючая смесь.

К первой группе факторов относятся:

– теплотворная способность горючего вещества  $Q_n$  и строение молекулы (определяется таким показателем, как средняя длина углеродной цепи  $l_{cp}$ ).

– Ко второй группе относятся:

- концентрация горючего вещества в смеси фгв;
- концентрация кислорода в окислительной среде фок;
- наличие негорючих газов в смеси фнг;
- присутствие катализаторов или ингибиторов горения.

К третьей группе можно отнести:

- давление в системе  $P$ ;
- объем горючей системы  $V_{zc}$ ;

- площадь теплоотдачи  $S$ ;
- коэффициент теплоотдачи  $\alpha$ ;
- начальная температура смеси  $T_0$ .

Все факторы, увеличивающие интенсивность тепловыделения горючей системы приводят к снижению температуры самовоспламенения.

Все факторы увеличивающие теплоотдачу горючей системы приводят к увеличению температуры самовоспламенения.

Данные о температуре самовоспламенения используют при оценке пожаровзрывоопасности веществ. Чем ниже температура самовоспламенения вещества, тем легче возникнет горение и тем выше его пожарная опасность.

По температуре самовоспламенения определяют группу взрывоопасных смесей паров и газов с воздухом в соответствии с ДНАОП 0.00–1.32–01 „Правила устройства электроустановок. Электрооборудование специальных установок“ для выбора взрывозащищенности электрооборудования.

Значение температуры самовоспламенения используют при разработке мероприятий по обеспечению пожаро- и взрывобезопасности технологических процессов в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.004–91 для определения допустимой температуры нагрева рабочих поверхностей технологического оборудования.

Самовозгорание – возникновение горения в результате превышения скорости тепловыделения за счет протекания внутренних экзотермических процессов над скоростью теплоотдачи в окружающую среду.

В зависимости от причины, вызывающей процесс первоначального саморазогрева вещества, различают четыре вида самовозгорания: микробиологическое, химическое, физическое, тепловое.

Не следует рассматривать перечисленные виды самовозгорания изолированно друг от друга, в чистом виде. В большинстве случаев процесс самовозгорания – это комбинация различных процессов, имеющих определенную первопричину.

**Химическое** самовозгорание возникает в месте контакта взаимодействующих веществ, реагирующих с выделением тепла. В зависимости от характера окислителя, вступающего в реакцию с горючим материалом, этот вид самовозгорания можно подразделить на самовозгорание при контакте с кислородом воздуха, при контакте с водой и при контакте с химическим окислителем.

Наиболее характерными примерами являются случаи самовозгорания промасленной ветоши, легковоспламеняющихся жидкостей при контакте с марганцовкой, древесных опилок с кислотами и пр. Поэтому хранение веществ и материалов должно всегда отвечать требованиям их совместимости.

Другой вид химических реакций веществ связан с взаимодействием воды или влаги. При этом также выделяется достаточная для самовозгорания веществ и материалов температура. Примерами могут служить такие вещества, как калий, натрий, карбид кальция, негашеная известь и др. Особенностью щелочноземельных металлов является их способность разогреваться под действием влаги до больших температур и расщеплять влагу воздуха на водород и кислород. Вот почему тушение водой таких веществ приводит к взрыву образующегося водорода.

**Физическое** самовозгорание является следствием тепловыделения физических процессов. К таким относятся:

- адсорбция – поглощение газов на поверхности твердых веществ,
- абсорбция – растворение паров и газов в жидкостях, тепловыделение при трении.

**Микробиологическое** самовозгорание характерно для материалов, в которых возможна жизнедеятельность микроорганизмов. В основном – это растительные материалы. Самовозгорание происходит, как правило, в глубине материала при длительном хранении и определенной влажности хранимого материала. В процессе протекания данного вида самовозгорания на разных его этапах могут проходить и другие процессы, характерные для ранее перечисленных видов самовозгорания. Наиболее характерным примером является самовозгорание прошлогодних скирд сена.

**Тепловое** самовозгорание возникает при нагревании вещества до температуры, обеспечивающей его термическое разложение и дальнейшее самоускоряющееся самонагревание за счет теплоты экзотермической реакции окисления продуктов термического разложения в объеме горючего материала. Сам процесс протекает в глубине материала в форме тления, которое затем может переходить в пламенное горение на поверхности.

Часто мы становимся свидетелями тления и горения угля в кучах, торфа, неоднократно отмечены случаи самовозгорания толи в рулонах, целлофана и целлулоида, бумаги, а также материалов, содержащих нитроцеллюлозную основу, при хранении в больших кипах и пакетах. Температура самонагревания торфа и бурого угля составляет 50-60°C, хлопка 120°C, бумаги 100°C, поливинилхлоридного линолеума 80°C и т.д. Для большинства горючих веществ температура самонагревания не превышает 150°C.

Общее требование пожарной безопасности для случаев теплового самовозгорания формулируется довольно просто: безопасной температурой длительного нагрева вещества считается температура, не превышающая 90% температуры его самонагревания.

Основными параметрами, характеризующими степень пожарной опасности вещества при самовозгорании являются:

температура самонагревания вещества  $t_{сн}$  – минимальная температура среды, выше которой при благоприятных условиях возможно развитие экзотермического процесса самонагревания, связанного с термическим разложением и окислением определенного объема (массы) горючего вещества.

Период индукции  $\tau_{инд}$  – время от момента достижения температуры самонагревания в очаге самовозгорания до момента возникновения горения.

Обычно процесс самовозгорания протекает при температуре окружающей среды не менее 10°C (при более низких температурах увеличивается интенсивность теплоотдачи так, что тепловыделение может быть недостаточным для возникновения горения). Однако, чем меньше рассеивается тепло (в случае большого скопления горючего материала), тем при более низкой температуре окружающей среды возможно самонагревание вещества.

Как правило, самовозгорание возникает в том случае, когда отношение внешней поверхности материала (площади теплоотдачи) к объему небольшое, а площадь поверхности реагирования много больше внешней поверхности

материала. В противном случае за счет большого теплоотвода саморазогрев и самовозгорание будут невозможны.

Способность склонных к самовозгоранию материалов распространять тление внутри своей массы и поглощать продукты горения создает особую опасность возникновения пожара от самовозгорания. Опасность заключается в том, что не всегда можно своевременно обнаружить пожар.

Меры профилактики самовозгорания надо направлять на уменьшение потерь самовозгорающегося полезного ископаемого при выемке и снижение его сорбционной способности к кислороду путем обработки антипирогенами (например, 5–10%-ным раствором жидкого стекла с гелеобразующей добавкой). Пропускать через выработанное пространство или целик полезного ископаемого большое количество воздуха очень трудно. Еще труднее контролировать равномерность его прохождения. Поэтому более надежной мерой предупреждения самовозгорания является изоляция выработанных пространств или целиков полезного ископаемого с целью прекращения прохода воздуха через них.

Для отопления пламенных печей используют жидкое топливо, которое хранят в подземных расходных и напорных баках. Бункеры для угля рассчитывают на запас не более одних суток и оборудуют тепловыми датчиками и системой автоматической подачи в бункеры углекислого газа при превышении температуры 60 °С для предупреждения самовозгорания.

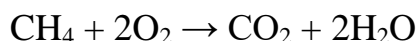
Основными мерами предупреждения самовозгорания масляных отложений и нагаров являются своевременное удаление и предотвращение накопления их в коммуникациях.

## 5.2. Взрывное развитие процессов горения.

Горение – это сложный физико-химический процесс взаимодействия горючего вещества и окислителя, сопровождающийся выделением тепла и излучением света. Обычным окислителем в процессах горения является газообразный кислород, находящийся в воздухе.

Для возникновения и протекания горения необходимо наличие горючего вещества, кислорода и источника воспламенения. Горючее вещество и кислород являются реагирующими веществами, они составляют горючую систему.

Химическую реакцию можно рассматривать как процесс обмена и/или перераспределения атомов между сталкивающимися молекулами. В ходе химической реакции, например:



все атомы, важнейшие для горения сохраняются, т.е. не создаются и не разрушаются.

### *Диффузионное горение.*

Диффузионное горение – горение неперемешанных газо- и паровоздушных смесей с воздухом. Оно свойственно конденсированным горючим веществам жидкостям и твёрдым материалам. Для диффузионного горения характерно наличие светящегося пламени. В зависимости от диаметра трубопровода, а также давления, при котором происходит истечение газов, диффузионное горение может

быть ламинарным (с нормальной скоростью распространения пламени) и турбулентным (при увеличении скорости распространения пламени). Для возникновения диффузионного горения необходимо, чтобы горючее вещество (материал) было нагрето источником зажигания до температуры воспламенения. Диффузионное горение сопровождается, как правило, сажеобразованием, что характерно для турбулентных факелов, образуемых при горении нефтепродуктов в резервуарах. К диффузионному горению относятся различные очаги пожаров.

#### ***Кинетическое горение***

Горение, скорость которого лимитирована скоростью химической реакции, называют кинетическим горением. Так как скорость химического взаимодействия, как правило, превышает скорость диффузии, кинетическое горение протекает с максимальной скоростью.

#### ***Взрывное горение.***

Взрыв – быстрое сгорание вещества, сопровождающееся выделением значительного количества энергии в ограниченном объёме и образованием сжатых газов, в результате чего образуется и распространяется ударная волна, способная привести или приводящая к возникновению ЧС техногенного характера. При взрывном горении и детонации в окружающей среде возникает взрывная волна, фронт которой распространяется по среде с большой скоростью.

Различают следующие виды взрывов:

- физический – взрыв, вызываемый изменением физического состояния вещества, в результате чего оно превращается в газ с высоким давлением и большой температурой;
- химический – взрыв, вызываемый быстрым химическим превращением вещества, при котором потенциальная химическая энергия переходит в тепловую и кинетическую энергию расширяющихся продуктов взрыва;
- ядерный – мощный взрыв, вызванный высвобождением ядерной энергии либо быстро развивающейся цепной реакцией деления тяжёлых ядер, либо термоядерной реакцией синтеза ядер гелия из более лёгких ядер;
- аварийный – взрыв, произошедший в результате нарушения технологии производства, ошибок обслуживающего персонала либо ошибок, допущенных при проектировании;
- взрыв пылевоздушной смеси - взрыв, когда первоначальный инициирующий импульс способствует возмущению пыли или газа, что приводит к последующему мощному взрыву;
- взрыв сосуда под высоким давлением – взрыв сосуда, в котором в рабочем состоянии хранятся сжатые под высоким давлением газы или жидкости, либо в котором давление возрастает в результате внешнего нагрева или самовоспламенения образовавшейся смеси внутри сосуда.

### **5.3. Дефлаграция и детонация. Классификация взрывов.**

***Дефлаграция*** – процесс дозвукового горения, при котором образуется быстро перемещающаяся зона (фронт) химических превращений. Передача энергии от зоны реакции в направлении движения фронта происходит преимущественно за счет конвективной теплопередачи. Принципиально

отличается от детонации, при которой зона превращений распространяется со сверхзвуковой скоростью и передача энергии происходит за счет разогрева от внутреннего трения в веществе при прохождении через него продольной волны (ударная волна в детонационном процессе).

Дефлаграция происходит при горении газо-воздушных смесей, смесей типа воздух – пары бензина, горении порохов или пиротехнических составов.

В некоторых взрывчатых веществах детонация может не развиваться или затухать, при этом может наблюдаться переход к дефлаграции.

Переходные процессы обычно называют *переход горение – детонация* (ПГД) (англ. *Deflagration – Detonation Transition (DDT)*). Наибольшей склонностью к детонационно-дефлаграционным переходам обладают многокомпонентные смеси, многие или все компоненты которых не обладают индивидуальными взрывчатыми свойствами, классические примеры - АСВВ, не содержащие индивидуальных бризантных ВВ. Высокая склонность к переходу от детонации к дефлаграции приводит к снижению надежности и эффективности бризантных ВВ при использовании по прямому назначению.

При определенных условиях многие смесевые ВВ способны переходить от конвективного горения (дефлаграции) к детонации. Этому способствует: высокое давление протекания процесса, большая масса состава, прочный корпус, отрицательный кислородный баланс состава и ряд других факторов. Наличие соединений переходных металлов в смесевых ВВ напротив повышает склонность к переходу детонации в дефлаграцию, что связано с каталитическим действием соединений переходных металлов на процессы окисления топливных компонентов смеси в процессе конвективного горения. Для предотвращения перехода детонации в дефлаграцию используют: добавки индивидуальных бризантных ВВ, повышение плотности заряжания, использование водонаполненных ВВ, применение мощных детонаторов, соблюдение критического диаметра детонации при формовании заряда.

### ***Классификация взрывов.***

***Взрыв*** – это весьма быстрое изменение химического (физического) состояния взрывчатого вещества, сопровождающееся выделением большого количества тепла и образованием большого количества газов, создающих ударную волну, способную своим давлением вызывать разрушения.

***Взрывчатыми веществами (ВВ)*** – особые группы веществ, способные к взрывчатым превращениям в результате внешних воздействий.

### ***Различают взрывы:***

***1. Физический*** – высвобождающаяся энергия является внутренней энергией сжатого или сжиженного газа (сжиженного пара). Сила взрыва зависит от внутреннего давления. Возникающие разрушения могут вызываться ударной волной от расширяющегося газа или осколками разорвавшегося резервуара (Пример: разрушение резервуаров со сжатым газом, паровых котлов, а также мощные электрические разряды)

***2. Химический*** – взрыв, вызванный быстрой экзотермической химической реакцией, протекающей с образованием сильно сжатых газообразных или парообразных продуктов. Примером может служить взрыв дымного пороха, при котором происходит быстрая химическая реакция между селитрой, углем и серой,

сопровождаясь выделением, значительного количества теплоты. Образовавшиеся газообразные продукты, нагретые за счет теплоты реакции до высокой температуры, обладают высоким давлением и, расширяясь, производят механическую работу.

**3. Атомные взрывы.** Быстропротекающие ядерные и ли термоядерные реакции (реакции деления или соединения атомных ядер), при которых освобождается очень большое количество теплоты. Продукты реакции, оболочка атомной или водородной бомбы и некоторое количество окружающей бомбу среды мгновенно превращается в нагретые до очень высокой температуры газы, обладающие соответственно высоким давлением. Явление сопровождается колоссальной механической работой.

**Химические взрывы подразделяются на конденсированные и объемные взрывы.**

**А)** Под конденсированными взрывчатыми веществами понимаются химические соединения и смеси, находящиеся в твердом или жидком состоянии, которые под влиянием определенных внешних условий способны к быстрому самораспространяющемуся химическому превращению с образованием сильно нагретых и обладающих большим давлением газов, которые, расширяясь, производят механическую работу. Такое химическое превращение ВВ принято называть взрывчатым превращением.

Возбуждением взрывчатого превращения ВВ называется инициированием.

Для возбуждения взрывчатого превращения ВВ требуется сообщить ему с определенной интенсивностью необходимое количество энергии (начальный импульс), которая может быть передана одним из следующих способов:

- механическим (удар, накол, трение);
- тепловым (искра, пламя, нагревание);
- электрическим (нагревание, искровой разряд);
- химическим (реакции с интенсивным выделением тепла);
- взрывом другого заряда ВВ (взрыв капсуля-детонатора или соседнего заряда).

Примеры взрывов, вызванных физическими причинами, – это взрыв паровых котлов (перегрев пара или мгновенное испарение воды при подаче ее в перегретый котел; взрыв газовых баллонов при их нагреве). Эти взрывы, как правило, вызваны превышением допустимого давления расчетной прочности стенок баллона или котла.

Далее будем рассматривать взрывы при химическом превращении веществ. Пример – взрыв черного (дымного) пороха при выстреле из охотничьего ружья. При этом происходит быстрая химическая реакция, в результате которой образуются газообразные и твердые продукты сгорания и выделяется теплота. Образовавшиеся газы, обладающие высокой температурой и давлением, совершают механическую работу по разгону пули до необходимой скорости.

Взрывчатыми веществами называются такие вещества, при химическом превращении которых происходят взрывы.

**Конденсированные ВВ подразделяются на группы:**

Группы	Характеристика. Примеры вещества.
I	Чрезвычайно опасные вещества Нестабильны. Взрываются даже в самых малых количествах. Трихлорид азота; некоторые органические перекисные соединения; ацетиленид меди, образующийся при контакте ацетилена с медью или медесодержащим сплавом
II	Первичные ВВ Менее опасные вещества. Иницирующие соединения. Обладают очень высокой чувствительностью к удару и тепловому воздействию. Используются в основном в капсулах-детонаторах для возбуждения детонации в зарядах ВВ. Азид свинца, гремучая ртуть.
III	Вторичные ВВ (бризантные ВВ) Возбуждение детонации в них происходит при воздействии сильной ударной волны. Последняя может создаваться в процессе их горения или с помощью детонатора. Как правило, ВВ этой группы сравнительно безопасны в обращении и могут храниться в течение длительных промежутков времени. Динамиты, тротил, гексоген, октоген, централит.
IV	Метательные ВВ, пороха Чувствительность к удару очень мала, относительно медленно горят. Баллистические пороха – смесь нитроцеллюлозы, нитроглицерина и других технологических добавок. Загораются от пламени, искры или нагрева. На открытом воздухе быстро горят. В замкнутом сосуде взрываются. На месте взрыва черного пороха, содержащего азотнокислый калий, серу и древесный уголь в отношении 75:15:10, остается остаток, содержащий углерод.

Взрыв может быть вызван следующими причинами:

- Нагревание.
- Укол.
- Удар.
- Трение.
- Детонация (передача энергии взрыва другого взрывчатого вещества).

Явление взрыва всегда характеризуется следующими факторами:

- Очень большая скорость химического превращения.
- Выделение газов.
- Выделение теплоты.

Только при наличии всех этих факторов будет происходить процесс взрывчатого превращения. Каждое из этих условий является необходимым, но недостаточным для того, чтобы та или иная химическая реакция могла быть отнесена к категории взрыва. Например, при горении термитной смеси выделяется теплота (нагрев продуктов реакции до 3000<sup>0</sup>С, реакция протекает очень быстро, но не выделяются газообразные продукты). Поэтому такая реакция не является взрывчатым превращением.

Наиболее характерным для взрыва является большая скорость химических превращений. Процесс взрыва длится в промежуток времени ~ (10<sup>-2</sup>÷10<sup>-5</sup>) с. Например, боевой заряд в оружии среднего калибра сгорает за время ~ 0.008 с, шашка тола массой 400 г – за время ~ 10<sup>-5</sup> с. Только за счет такого быстрого превращения у взрывчатых веществ получается огромная по сравнению с другими источниками энергии мощность, хотя общие запасы энергии у них не больше, а в некоторых случаях даже меньше, чем у обычных горючих веществ.



При взрыве взрывчатого вещества образуется большое количество газов, обладающих высокой температурой и давлением. Количество выделяющихся при взрыве газов определяется по объему, который они занимали бы при нормальных условиях, то есть при температуре  $T = 0^{\circ}\text{C}$  и давлении  $p = 760$  мм ртутного столба. Например, при взрыве 1 кг пироксилинового пороха в таких условиях выделяется  $0.845 \text{ м}^3$  газов.

В зависимости от скорости взрывчатого превращения различают следующие его формы:

- Быстрое сгорание.
- Обыкновенный взрыв.
- Детонация.

При быстром сгорании процесс взрывчатого превращения протекает в массе взрывчатого вещества со скоростью порядка нескольких метров в секунду, а на сам процесс большое влияние оказывают внешние условия. Если горение происходит на открытом воздухе, оно не сопровождается звуковым эффектом или механической работой разрушения или перемещения. Если горение происходит в замкнутом или полужамкнутом объеме, то процесс идет более энергично и сопровождается резким звуком. Для быстрого горения характерно относительно быстрое, но плавное нарастание давления газов (артиллерийский выстрел, газогенератор для вытеснения нефтяных пластов, пороховой газогенератор автомобильной подушки безопасности и т.д.).

При обыкновенном взрыве процесс превращения в массе взрывчатого вещества протекает со скоростями в несколько сотен метров в секунду. Обыкновенный взрыв характеризуется резким повышением давления в месте взрыва, ударом газов о преграду и разрушением (раскалыванием или дроблением) преграды, находящейся на небольшом расстоянии от места взрыва.

При детонации процесс превращения в массе взрывчатого вещества протекает с максимально возможной в данных условиях скоростью (обычно  $5 \div 7$  километров в секунду). Детонация характеризуется особенно резким скачком давления, сильным ударом газов о преграду и большим ее разрушением. Примеры детонации – все виды взрывов взрывчатых веществ, вызванных детонатором (разрыв снаряда, мины, гранаты, подрывной шашки и т.д.).

#### 5.4.Случайные взрывы

В зависимости от причин, вызывающих взрыв, принято деление взрывов на контролируемые и неконтролируемые.

**Контролируемые взрывы** используются для решения экономических задач.

**Неконтролируемые взрывы** происходят случайно, поэтому их называют случайными.

Случайные взрывы происходят:

- при изготовлении, хранении, транспортировке горючих, взрывоопасных веществ;

- нарушении технологических режимов, поломке оборудования.

Случайные взрывы подразделяются на:

- взрывы газов, паров и пыли в замкнутых объемах без избыточного давления;

- взрывы сосудов с газом под давлением;

- взрывы, вызванные горением;
- взрывы емкостей с перегретой жидкостью;
- взрывы неограниченных облаков пара;
- физические (паровые) взрывы и др.

#### **5.4.1. Взрывы конденсированных ВВ.**

Взрывы конденсированных взрывчатых веществ, газо-, паро- и пылевоздушных смесей

Пожары и взрывы представляют собой явления, в результате которых исходное вещество переходит в качественно новое состояние. Схожесть этих процессов заключается в преобразовании энергии межмолекулярных и межатомных связей в энергии меньшего уровня, принимающие форму тепловой и кинетической, и образовании веществ, плотность которых гораздо меньше первоначальной.

Процессы, лежащие в основе пожаров, только химические, а в основе взрывов – и химические, обусловленные реакцией окисления, и физические. При этом для пожаров характерны только диффузионные реакции, а для взрывов газопаровоздушных (ГПВС) и пылевоздушных смесей (ПЛВС) – только кинетические.

Обычно под горением понимается самоускоряющееся быстрое химическое превращение, сопровождающееся интенсивным выделением тепла и света. Это определение не универсально. Существует целый класс химических реакций, протекающих с так называемым холодным пламенем и умеренной скоростью. Однако холодное пламя возникает лишь в особых условиях и интересует нас лишь постольку, поскольку возможен его переход в обычное горячее пламя. Соответственно, пламенем (горячим) называется газообразная среда, в которой интенсивная химическая реакция приводит к свечению, выделению тепла и саморазогреву.

*Горение* – это быстрое окисление кислородом (содержащимся в воздухе или чистым) горючих веществ – угля, жидких нефтяных продуктов, газообразных углеводородов и т. д. Однако химические превращения, соответствующие горению, не ограничиваются процессами соединения с кислородом. В горючих смесях различают горючее и окислитель. Окислителем при горении могут быть также оксиды азота, галоиды, озон. Кроме того, известны процессы горения, в которых участвует только один исходный продукт, способный к быстрому распаду, например, ацетилен ( $C_2H_2$ ), взрывчатые вещества, пороха.

Конденсированные взрывчатые вещества. Под конденсированными взрывчатыми веществами (КВВ) понимаются химические соединения или смеси, находящиеся в твердом или жидком состоянии, которые под влиянием определенных внешних условий способны к быстрому самораспространяющемуся химическому превращению с образованием сильно нагретых и обладающих большим давлением газов, которые, расширяясь, производят механическую работу. Такое химическое превращение ВВ принято называть взрывчатым превращением.

Взрывчатое превращение в зависимости от свойств взрывчатого вещества и вида воздействия на него может протекать в виде взрыва или горения. Взрыв распространяется по взрывчатому веществу с большой переменной скоростью,

измеряемой сотнями или тысячами метров в секунду. Процесс взрывчатого превращения, обусловленный прохождением ударной волны по взрывчатому веществу и протекающий с постоянной (для данного вещества при данном его состоянии) сверхзвуковой скоростью, называется детонацией.

В случае снижения качеств ВВ (увлажнение, слеживание) или недостаточного начального импульса детонация может перейти в горение или совсем затухнуть – такая детонация называется неполной.

Горение КВВ – это процесс взрывчатого превращения, обусловленный передачей энергии от одного слоя взрывчатого вещества к другому путем теплопроводности и излучения тепла газообразными продуктами. Процесс горения ВВ (за исключением инициирующих веществ) протекает сравнительно медленно, со скоростями, не превышающими нескольких метров в секунду.

Скорость горения в значительной степени зависит от внешних условий, и в первую очередь от давления в окружающем пространстве: с увеличением давления скорость горения возрастает, при этом в некоторых случаях горение может перейти во взрыв. Горение бризантных ВВ в замкнутом объеме, как правило, переходит в детонацию.

Возбуждение взрывчатого превращения ВВ называется инициированием. Для возбуждения взрывчатого превращения ВВ требуется сообщить ему с определенной интенсивностью необходимое количество энергии (начальный импульс), которая может быть передана одним из следующих способов:

- механическим (удар, накол, трение);
- тепловым (искра, пламя, нагревание);
- электрическим (нагревание, искровой разряд);
- химическим (реакции с интенсивным выделением тепла);
- взрывом другого заряда ВВ (взрыв капсюля-детонатора или соседнего заряда).

Все ВВ, применяемые в производстве, делятся на три основные группы: инициирующие, бризантные, метательные (пороха).

#### ***Группа. Характеристика. Примеры веществ.***

**I** Чрезвычайно опасные вещества. Нестабильны. Взрываются даже в самых малых количествах. Трихлорид азота; некоторые органические пероксидные соединения; ацетиленид меди, образующийся при контакте ацетилена с медью или медесодержащим сплавом

**II** Первичные ВВ. Менее опасные вещества. Иницирующие соединения. Обладают очень высокой чувствительностью к удару и тепловому воздействию. Используются в основном в капсюлях-детонаторах для возбуждения детонации в зарядах ВВ. Азид свинца, гремучая ртуть (фульманг ртути)

**III** Вторичные ВВ (бризантные ВВ). Возбуждение детонации в них происходит при воздействии достаточно сильной ударной волны. Последняя может создаваться в процессе их горения или с помощью детонатора. Как правило, ВВ этой группы сравнительно безопасны в обращении и могут храниться в течение длительных промежутков времени. Динамиты, тротил, гексоген, октоген, центратил

**IV** Метательные ВВ, пороха. Чувствительность к удару очень мала, относительно медленно горят. Валлиститные пороха – смесь нитроцеллюлозы, нитроглицерина и других технологических добавок. Загораются от пламени,

искры или нагрева. На открытом воздухе быстро горят. В закрытом сосуде взрываются. На местах взрыва черного пороха, содержащего азотнокислый калий, серу и древесный уголь в соотношениях 75:15:10, остается черный остаток, содержащий углерод. Смесевые твердые ракетные топлива – смесь перхлората аммония (или другого твердого окислителя) и органического связующего (например, полиуретана).

Так, например, аммиачная селитра используемая в качестве сельскохозяйственного удобрения и даже не относимая некоторыми специалистами к числу ВВ, проявляет себя как весьма сильное взрывчатое вещество, о чем свидетельствуют данные об авариях. Так в г. Людвигсгафен (Германия) в 1921 г. на территории компании BASF произошел гигантский взрыв аммиачной селитры массой 4500 т, в результате пострадало более 2000 человек, в том числе погиб 561 человек.

ВВ в зависимости от их природы и состояния обладают определенными взрывчатыми характеристиками. Наиболее важными из них являются:

- чувствительность к внешним воздействиям;
- энергия (теплота) взрывчатого вещества;
- скорость детонации;
- бризантность;
- фугасность (работоспособность).

Количественные значения основных характеристик некоторых КВВ приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Характеристики некоторых взрывчатых веществ

	Теплота взрыва, кДж/кг	ТНТ-эквивалент *	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Скорость детонации, км/с	Давление детонации, ГПа
Гексоген	5 360	1,85	1,65	8,7	34,0
Октоген	5 680	1,236	1,90	9,11	38,7
Октол (70% гексогена +30% ТНТ)	4 500	0,994	1,80	8,48	34,2
ТЭН	5 800	1,282	1,77	8,26	34,0
Лентолит50/50 (50% ТЭН +50% ТНТ)	5 110	1,129	1,66	7,47	28,0
Пикриновая кислота	4 180	0,926	1,71	7,26	26,5
ТНТ	4 520	1,000	1,60	6,73	21,0
РВХ9404 (94% октогена +3% нитроцеллюлозы +3% пластификатора)	5 770	1,227	1,844	8,80	37,5

\* ТНТ-эквивалент определяется из соотношения теплоты взрыва исследуемого вещества и тринитротолуола.

Как видно из таблицы, из-за высокой начальной плотности конденсированных ВВ при их детонации развиваются колоссальные давления – до 39 ГПа.

Пылевоздушные смеси и особенности их горения. Некоторые промышленные производства сопровождаются образованием ПЛВС. Практически все взрывы ПЛВС происходят в ограниченном пространстве, тогда как взрывы ГПВС могут происходить как в ограниченном, так и в неограниченном пространстве. Пылевоздушную смесь иногда называют пылевым

облаком, а взрыв ПЛВС – взрывом пылевого облака. Опыт ликвидации ЧС на взрывопожароопасных производствах позволяет сделать вывод о возможности таких взрывов в мукомольном производстве, на зерновых элеваторах (мучная пыль), при обращении с красителями, серой, сахаром, другими порошкообразными пищевыми продуктами, в производстве пластмасс, лекарственных препаратов, на установках дробления топлива (угольная пыль), в текстильном производстве.

Механизм взрыва пыли аналогичен процессу окисления перемешанных ГПВС, когда окислителем выступает кислород воздуха. При этом процесс окисления протекает на поверхности твердых частиц пыли. Интенсивность горения ПЛВС зависит от размера частиц и содержания кислорода в системе.

Мелкодисперсная пыль обладает большей активностью, более низкой температурой самовоспламенения и широким интервалом между нижним и верхним концентрационными пределами взрываемости. Если концентрация пыли в определенном объеме недостаточна (то есть расстояние между отдельными частицами, находящимися во взвешенном состоянии, велико), то перенос пламени от частицы к частице невозможен, и значит, взрыв не произойдет. Чрезмерно большое количество пыли также препятствует взрыву, так как в этом случае слишком мало кислорода для сгорания пыли. Уровень опасности пыли, так же, как и ГПВС, характеризуется следующими основными показателями:

- ·концентрационными пределами воспламенения;
- ·объемной плотностью энерговыделения;
- ·максимальным давлением, возникающим при воспламенении;
- ·скоростью распространения пламени;
- ·временем нарастания давления при взрыве;
- ·максимально допустимым содержанием кислорода в смеси пыли с воздухом, при котором пыль не воспламеняется.

Взрывоопасные ПЛВС могут возникать спонтанно, например, при встряхивании осевшей пыли. В замкнутом объеме технологического аппарата начавшееся горение и распространение пламени в ПЛВС приводит к быстро нарастающему повышению давления, что может вызвать разрыв аппарата, а затем и взрыв в помещении. Так как в условиях производства довольно сложно создать высокие концентрации пыли, то возможности взрывов ПЛВС оценивают по нижнему концентрационному пределу распространения пламени и смеси.

Под максимальным давлением взрыва ПЛВС понимается наибольшее давление, возникающее при дефлаграционном горении в замкнутом объеме при начальном атмосферном давлении. Максимальное давление взрывов различных ПЛВС составляет от 700 до 1200 кПа, то есть может превышать атмосферное давление в 7-12 раз.

Взрывы газовых емкостей с последующим горением в атмосфере имеют те же причины, что и у физических взрывов. Основное различие заключается в образовании в данном случае огненного шара, размер которого зависит от количества выброшенного в атмосферу газообразного горючего. Оно, в свою очередь, зависит от физического состояния, в котором находится газ в емкости. Количество газообразного горючего намного меньше, чем сжиженного, содержащегося в той же емкости.

Таким образом, пожары являются результатом химических экзотермических реакций, а взрывы – физических превращений, они образуют зоны, в которых действуют опасные факторы. Определить параметры опасных зон для интересующего объекта – значит, оценить опасность. Учесть эту опасность, удалить объект из опасной зоны, уменьшить ее размеры либо повысить защитные свойства объекта – значит, решить проблему его безопасности.

#### **5.4.2. Взрывы топливно-воздушных смесей в замкнутом объеме.**

Взрывы газопаровоздушных смесей (ГПВС) могут происходить как в *замкнутом*, так и *открытом пространствах*, в то время как взрывы пылевоздушных смесей (ПВС) происходят только в закрытых помещениях.

Замкнутым пространством являются:

- помещения (здания). В них взрыв возникает в результате утечки газа из элементов оборудования;
- емкости: резервуары, газгольдеры, цистерны, грузовые отсеки танкеров – для хранения и транспортировки взрыво- и пожароопасных веществ;
- шахты. В них взрывы смесей горючих газов с воздухом дают тяжелые последствия.

Взрывы ГПВС в открытом пространстве – это взрывы, возникающие в результате разрушений газопроводов, разлива сжиженного горючего газа и его испарения с переходом в детонацию. Известно большое число аварийных взрывов резервуаров с большим количеством сжиженного горючего газа, сопровождавшихся образованием осколочного поля.

В зависимости от давления  $P$  и температуры  $T$  вещество может находиться в различных агрегатных состояниях. Для сжижения газов их охлаждают и сжимают до получения параметров, соответствующих жидкой фазе, которые в общем случае отличаются от давления и температуры окружающей среды.

Сжиженные углеводородные газы, хлор, аммиак, фреоны, находящиеся в сосудах, резервуарах и другом технологическом оборудовании под сверхатмосферным давлением при температуре, выше или равной температуре окружающей среды, являются перегретыми жидкостями.

#### **5.4.3. Взрывы сосудов с газом под давлением.**

Сосудами, работающими под давлением, называются герметически закрытые емкости, предназначенные для ведения химических и тепловых процессов, а также для хранения и перевозки сжатых, сжиженных и растворенных газов и жидкостей под давлением.

Основная опасность при эксплуатации таких сосудов заключается в возможности их разрушения при внезапном адиабатическом расширении газов и паров (т. е. при физическом взрыве). Причинами взрывов сосудов, работающих под давлением, могут быть ошибки, допущенные при их проектировании и изготовлении, дефекты материалов, потеря прочности в результате местных перегревов, ударов, превышение рабочего давления в результате отсутствия или неисправности контрольно-измерительных приборов, отсутствие или

неисправность предохранительных клапанов, мембран, запорной и отключающей арматуры.

Особенно опасны взрывы сосудов, содержащих горючую среду, так как осколки резервуаров даже большой массы (до нескольких тонн) разлетаются на расстояние до нескольких сот метров и при падении на здания, технологическое оборудование, емкости вызывают разрушения, новые очаги пожара, гибель людей.

При взрывах сосудов развиваются большие мощности, приводящие к значительным разрушениям. Так, мощность, выделяемая при взрыве сосуда емкостью 1 м<sup>3</sup>, содержащего воздух под давлением 1,2 МПа, при длительности взрыва в 0,1 с, составляет 28 МВт.

Деятельность нанимателей, связанная с проектированием, изготовлением, реконструкцией, наладкой, монтажом, ремонтом, техническим диагностированием и эксплуатацией сосудов, работающих под давлением, является лицензируемой, регламентируется соответствующими правилами, которые распространяются:

- на сосуды, работающие под давлением воды с температурой выше 115 °С или другой жидкости с температурой, превышающей температуру кипения при давлении 0,07 МПа (0,7 кгс/см<sup>2</sup>), без учета гидростатического давления; сосуды, работающие под давлением пара или газа свыше 0,07 МПа (0,7 кгс/см<sup>2</sup>);

- баллоны, предназначенные для транспортирования и хранения сжатых, сжиженных и растворенных газов под давлением свыше 0,07 МПа (0,7 кгс/см<sup>2</sup>);

- цистерны и бочки для транспортирования и хранения сжатых и сжиженных газов, давление паров которых при температуре до 50 °С превышает давление 0,07 МПа (0,7 кгс/см<sup>2</sup>);

- цистерны и сосуды для транспортирования или хранения сжатых, сжиженных газов, жидкостей и сыпучих тел, в которых давление выше 0,07 МПа (0,07 кгс/см<sup>2</sup>) создается периодически для их опорожнения;

- барокамеры.

Взрывы газопаровоздушных смесей образуют класс объемных взрывов. Взрывы газопаровоздушных смесей (ГПВС) могут происходить как в помещениях, так и в неограниченном пространстве. Подобные взрывы в неограниченном пространстве могут происходить в результате разрушений газопроводов и резервуаров, разлива сжиженного горючего газа, его испарения с переходом горения в детонацию. Воспламенение облака ГПВС происходит при наличии источника зажигания. При этом возможен переход дозвукового дефлаграционного режима с ускоряющимся пламенем к детонационному сверхзвуковому.

Огненный шар без детонации возникает обычно при горении ГПВС, переобогащенным топливом, а также в некоторых случаях – состава, близкого к стехиометрическому.

Сферическая детонационная волна может возникнуть и непосредственно в ГПВС от слабого энергетического источника, например от искры, если размер облака превышает некоторое критическое значение и в пределах концентраций, указанных в табл. 1 [5].

**Таблица 1. Концентрационные (об. %) пределы детонации и воспламенения ГПВС в неограниченном пространстве и в замкнутых объемах**

Горючий компонент	Детонация				Воспламенение	
	неогр. простр.		замкн. объем		нижний	верхний
	нижний	верхний	нижний	верхний		
Ацетилен C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>			4,2	50,0	2,5	80,0
Бутан C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	2,5	5,2	1,98	6,18	1,8	8,4
Водород H <sub>2</sub>			18,3	58,9	4,0	75,0
Пропан C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	3,0	7,0	2,57	7,37	2,1	9,5
Пропилен C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	3,5	8,5	3,55	10,40	2,4	11,0
Этан C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	4,0	9,2	2,87	12,2	3,0	12,4
Метан CH <sub>4</sub>					5,0	15,0

Характеристики взрыва газопаровоздушных смесей приведены в табл. 2.

**Таблица 2. Характеристики газопаровоздушных смесей**

Горючий компонент	D, м/с	рстх, кг/м <sup>3</sup>	Q <sub>м.стх</sub> , МДж/кг	Q <sub>в.стх</sub> , МДж/м <sup>3</sup>	γ <sub>стх</sub>	μ <sub>г</sub>	C <sub>стх</sub> , об. %	ΔP <sub>2</sub> , МПа
Ацетилен C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	1990	1,270	3,387	4,329	1,259	26	7,75	2,14
Бутан C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	1840	1,328	2,776	3,684	1,270	58	3,13	1,88
Водород H <sub>2</sub>	1770	0,993	3,425	3,195	1,248	2	29,59	1,20
Метан CH <sub>4</sub>	1750	1,232	2,763	3,404	1,256	16	9,45	1,57
Пропан C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	1850	1,315	2,801	3,676	1,257	44	4,03	1,89
Пропилен C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	1840	1,314	2,922	3,839	1,259	42	4,46	1,87
Этан C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	1800	1,250	2,797	3,496	1,257	30	5,66	1,69
Этилен C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1880	1,285	3,010	3,869	1,259	28	6,54	1,91

Для расчета поражающего действия взрывов ГПВС определяют параметры детонационной волны расширяющихся продуктов детонации (ПД) и воздушной ударной волны (ВУВ).

Начальный радиус r<sub>0</sub>, м, полусферического облака ГПВС в зависимости от его объема V<sub>0</sub>, м, определяют по формуле

$$r_0 = \sqrt[3]{3V_0/(2\pi)} \quad (1).$$

Поскольку согласно закону Авогадро киломоль μ<sub>Г</sub> идеального газа занимает объем V<sub>а</sub>=22,4 м<sup>3</sup>, для газовой смеси стехиометрического состава концентрацией ССТХ и молекулярной массой μ<sub>Г</sub> горючей компоненты массы С<sub>в</sub> запишем приближенную формулу для объема облака:

$$V_0 = V_a \cdot \vartheta \cdot C_{стх} / (\mu_G \cdot C_{стх}) \quad (2).$$

Значение коэффициента ϑ принимают в зависимости от способа хранения продукта: ϑ= 1 - для газов при атмосферном давлении; ϑ=0,5 - для газов, сжиженных под давлением; ϑ=0,1 - для газов, сжиженных охлаждением; ϑ=0,02...0,07 - при растекании легковоспламеняющихся жидкостей. При взрыве детонационная волна распространяется со скоростью D, м/с, (Q<sub>м</sub> - удельная теплота взрыва, Дж/кг)

$$D = \sqrt{2(\gamma^2 - 1)Q_m} \quad (3),$$

то есть время полной детонации облака t<sub>в</sub>, с, равно

$$t_v = r_0/D \quad (4).$$



Максимум избыточного давления на фронте детонационной волны (химический пик)

$$\Delta P_1 = 4(\gamma - 1) \cdot Q_m \cdot \rho_{\text{СТХ}} - P_0 \quad (5).$$

Через весьма малый интервал времени  $\tau$  давление в детонационной волне уменьшается в два раза (так называемая точка Жуге)

$$\Delta P_2 = 2(\gamma - 1) \cdot Q_m \cdot \rho_{\text{СТХ}} - P_0 = \rho_{\text{СТХ}} \cdot D^2 / (\gamma + 1) - P_0 \quad (6).$$

Характеристики распространенных газо- и паровоздушных смесей приведены в табл. 2, где приняты обозначения:  $\Delta P_2$  - избыточное давление детонационной волны (эффективное давление),  $\gamma_{\text{СТХ}}$  - показатель адиабаты продуктов детонации,  $\rho_{\text{СТХ}}$  - плотность,  $Q_{m,\text{СТХ}}$  и  $Q_{v,\text{СТХ}}$  - удельная теплота взрыва по массе и объему смеси соответственно, а индексом СТХ помечен стехиометрический состав. Параметры ударной волны на расстояниях, превышающих размер облака  $R_0 \geq r_0$ , м, определим по формулам, аппроксимирующим численное решение задачи о детонации пропановоздушной смеси (Б.Е. Гельфанд и др., 1985 [2, 8, 9]). Полученные универсальные зависимости максимума эффективного избыточного давления  $\Delta P_m$ , Па, и удельного импульса  $I$ , Па·с, в ударных волнах от расстояния  $R$  от центра взрыва в энергетических координатах удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными для горючих смесей углеводородов с воздухом или кислородом, независимо от состава смеси:

$$\Delta P_m = P_0 \cdot \bar{P}, I = \bar{I} \cdot \sqrt[3]{m_T} \quad (7),$$

$$\lg \bar{P} = 0,65 - 2,187 \lg \bar{R} + 0,52 (\lg \bar{R})^2, \bar{R} = R / \sqrt[3]{m_T} \quad (8),$$

$$\lg \bar{I} = 2,11 - 0,97 \lg \bar{R} + 0,44 (\lg \bar{R})^2 \quad (9),$$

Здесь  $m_T$  - тротильный эквивалент наземного взрыва полусферического облака ГПВС, кг,

$$m_T = 2m \cdot Q_{m,\text{СТХ}} / Q_T \quad (10),$$

где:  $m = \rho_{\text{СТХ}} \cdot V_0$  - масса горючего облака, кг;

$Q_T$  - удельная теплота взрыва тротила (принята 4,184 МДж/кг);

$P_0$  - атмосферное давление, Па, ( $P_0 = 1,013 \times 10^5$  Па).

Для сшивания параметров на границе облака величина  $r_0$  заменяется на близкое значение  $R_0$ , определяемое из условия непрерывности функции  $\Delta P_m(R)$  в точке:

$$R_0 = 10^\alpha \cdot \sqrt[3]{m_T}, \alpha = K_1 - \sqrt[2]{K_1^2 - A} \quad (11).$$

$$K_1 = 1,09 / 0,52, A = 1,25 - \lg(\Delta P_2 / P_0) / 0,52$$

Эффективное время  $\theta$ , с, действия фазы сжатия ударной волны с давлением, аппроксимируемым треугольником, определяется по формуле:

$$\theta = 2 \cdot I / \Delta P_m \quad (12).$$

В качестве критерия мощности поражающего действия (МПД) объемно-детонирующего взрыва выбрана площадь приведенной зоны поражения человека с учетом степени его защищенности и времени потери работоспособности. К

объемно-детонирующим взрывам относятся взрывы ГПВС или облака топливо-воздушной смеси (ТВС), поражающее действие которых обусловлено действием воздушной ударной волны (ВУВ), генерируемой при детонации облака ТВС, образующегося при диспергировании горючего (как правило, углеводородного) в аэрозольное или газообразное состояние. За рубежом такие взрывчатые системы носят название FAE (Fuel Air Explosive).

Параметры ВУВ определяются энергетическими и физико-химическими характеристиками горючего, условиями формирования топливо-воздушного облака у цели и возбуждения в нем взрывного процесса в детонационном режиме. Реализация энергии аэрозольного заряда может осуществляться по двум основным технологическим схемам:

– по двухтактной схеме, где сначала формируется топливо-воздушное облако, а затем через некоторое время в нем возбуждается с помощью инициирующего заряда реакция химического превращения топлива в режиме детонации (объемно-детонирующий взрыв - ОДВ);

– по одноктактной схеме, в которой реакция химического превращения топлива протекает под действием ударной волны (УВ), образованной диспергирующим зарядом (объемный взрыв).

Объемно-детонирующие взрывы наиболее часто происходят при авариях с веществами, относящимся к различным классам органических соединений: непредельным углеводородам (1,3 - пентадиен); органическим окисям (окись пропилена); циклическим соединениям; рецептуры пастообразных композиций, в основу которых входят углеводороды с добавками порошков металлического горючего и промотирующие добавки. Проведенные исследования позволили выявить характерные черты газового взрыва, основными из которых являются: малая доля энергии, уходящая в воздушную УВ (примерно половина от полной выделившейся энергии при детонационном взрыве); очень резкий спад давления вблизи заряда при взрыве в режиме детонации; формирование волны сжатия при сгорании зарядов, которая по мере распространения трансформируется в ударную волну.

Обработка полученных опытных данных позволила авторам [6] предложить эмпирические зависимости для основных параметров воздушной УВ при детонации сферических зарядов топливо-воздушных смесей на основе метода энергетического подобия, который согласуется с вышеизложенным подходом к оценке параметров ВУВ (Б.Е. Гельфанд и др. [7, 8])

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta P_m = 0,06 \cdot E_0^{1/3} / r + 0,014 \cdot E_0^{2/3} / r^2 + 2,5 \cdot 10^{-3} \cdot E_0 / r^3, \text{ при } r/E_0^{1/3} > 0,3, \\ \Delta P_m = 0,052 \cdot (E_0^{1/3} / r)^{1,7}, \text{ при } 0,08 \leq r/E_0^{1/3} \leq 0,3, \\ i = 9,5 \cdot 10^{-2} \cdot E_0^{2/3} / r, \text{ при } 0,1 \leq r/E_0^{1/3}, \\ \tau = 0,35 \cdot E_0^{1/6} \cdot r^{1/2}, \text{ при } 0,1 \leq r/E_0^{1/3}. \end{array} \right. \quad (13).$$

Здесь:

$E_0$  - полная энергия взрыва в ккал;

$r$  - расстояние от центра заряда в м;

$\Delta P_m$  - максимальное избыточное давление на фронте УВ в атм.;

$i$  - удельный импульс избыточного давления фазы сжатия в кгс-с/м<sup>2</sup>;

$\tau$  - длительность фазы сжатия в мс.

Время задержки подрыва облака ТВС определяется временем испарения основной массы аэрозоля горючего, для больших емкостей, например баллонов, содержащих более 100-200 кг горючего, это время может составлять 80-120 мс.

Отличительной особенностью объемного взрыва ТВС является высокое поражающее действие по людям в укрытиях и сооружениях за счет высокого избыточного давления в облаке ОДС и его сплошности, а также способности его "затекать" внутрь негерметичных сооружений.

Пример расчета взрыва газозвдушной смеси пропана	
Исходные данные	Значение величины
Тип горючего	сжиженный пропан
Масса сжиженного пропана	1000 тонн
Удельная теплота взрыва стехиометрической смеси с воздухом	2,801 МДж/кг
Удельная плотность стехиометрической смеси с воздухом	1,315 кг/м <sup>3</sup>
Атмосферное давление (нормальное)	1,013x10 <sup>5</sup> Па
Скорость звука	340 м/с
Концентрация стехиометрической смеси с воздухом	4,03%, об.
Киломоль	44 кг
Коэффициент $\vartheta$ для сжиженных газов	0,5
Показатель адиабаты газозвдушной смеси	1,257
1. Расчет объема облака газозвдушной смеси пропана $V_0 = V_a \cdot \vartheta \cdot C_m / (\mu_T \cdot C_{СТХ}), 22,4 \text{ м}^3 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 10^6 \text{ кг} / (44 \text{ кг} \cdot 0,0403)$	6 316 264 м <sup>3</sup>
2. Расчет радиуса облака газозвдушной смеси пропана $r_0 = \sqrt[3]{3V_0 / (2\pi)} = (3 \cdot 6316264 / 2\pi)^{1/3} = 144 \text{ м}$	144 м
3. Расчет скорости детонации газозвдушной смеси пропана $D = \sqrt[3]{2(\gamma^2 - 1)Q_m} = (2 \cdot (\gamma^2 - 1) \cdot Q_m)^{1/2} = (2(1,257^2 - 1)2,801 \cdot 10^6) = 1803 \text{ м/с}$	1803 м/с
4. Время полной детонации облака $t_n = r_0 / D = 144 / 1803 = 79,9 \text{ мс.}$	79,9 мс
5. Избыточное давление на фронте детонационной волны (макс.) $\Delta P_1 = 4(\gamma - 1) \cdot Q_m \cdot \rho_{СТХ} - P_0$ $= 4(1,257 - 1)2,801 \cdot 10^6 \cdot 1,315 - 0,1 \text{ МПа} =$	3,685 МПа
6. Избыточное давление на фронте детонационной волны $\Delta P_2 = 2(\gamma - 1) \cdot Q_m \cdot \rho_{СТХ} = 1,843 \text{ МПа}$	1,843 МПа
7. Расчет тротилового эквивалента наземного взрыва облака ГПВС $m_T = 2m \cdot Q_{мстх} / Q_T, m = \rho_{СТХ} \cdot V_0$ $2 \cdot 1,315 \cdot 6,316 \cdot 10^6 \cdot 2,801 \cdot 10^6 / (4,184 \cdot 10^6) = 1,11 \cdot 10^9 \text{ кг}$	(11,1 кт)
8. Параметры ударной волны при определим по формулам (7-9) $\Delta P_m = P_0 \cdot \bar{P}, I = \bar{I} \cdot \sqrt[3]{m_T},$ (7) $\lg \bar{P} = 0,65 - 2,187 \lg \bar{R} + 0,52(\lg \bar{R})^2, \bar{R} = R / \sqrt[3]{m_T},$ (8) $\lg \bar{I} = 2,11 - 0,97 \lg \bar{R} + 0,44(\lg \bar{R})^2.$ (9) $R_0 = 10^\alpha \cdot \sqrt[3]{m_T}, \alpha = K_1 - \sqrt[2]{K_1^2 - A},$ (11) $K_1 = 1,09 / 0,52, A = 1,25 - \lg(\Delta P_2 / P_0) / 0,52.$	
9. Расчет параметров ударной волны при R <sub>0</sub> ■ Избыточное давление на фронте ВУВ при R <sub>0</sub> ■ Удельный импульс на расстоянии R <sub>0</sub> , I <sub>0</sub> ■ Эффективное время фазы сжатия $\theta_0$	$\Delta P_m = 18 \cdot 10^5 \text{ Па}$ $I_0 = 54780 \text{ Па с}$ $\theta_0 = 0,0608 \text{ с}$

#### 5.4.4. Взрывы емкостей с перегретой жидкостью.

При перегреве жидкости, хранящейся в емкости, наблюдается явление В LEVE. Перегревы происходят при разрыве емкости с жидкостью в очаге пожара. В этом случае создается давление паров жидкости, превышающее атмосферное. Емкость с перегретой жидкостью разрушается.

Нейтральная или горючая перегретая жидкость (сжиженные углеводородные газы, хлор, аммиак, фреоны, вода в паровых котлах) отличается тем, что давление ее паров превышает атмосферное.

Уровень перегрева жидкости характеризуется разностью между температурой, при которой жидкость находится в технологической системе, и температурой ее кипения при атмосферном давлении. Если происходит внезапное разрушение сосуда (системы) с перегретой жидкостью, она быстро испаряется с образованием паров в окружающей среде и формированием ударных волн. Взрывы технологических систем с высокими параметрами перегрева жидкости по разрушающему эффекту часто бывают подобны взрывам сосудов со сжатыми газами. Оценка уровня опасности таких систем может определяться тротильным эквивалентом

$$W = E/4520 \text{ кг.}$$

Уровень опасности может характеризоваться работой, совершаемой расширяющимся газом (паром) от начального давления перегретой жидкости до атмосферного.

Энергия перегрева жидкости может быть источником чисто физических взрывов, например при интенсивном перемешивании жидкостей с различными температурами, при контакте жидкости с расплавами металла и нагретыми твердыми телами. При этом не происходит химических превращений, а энергия перегрева расходуется на парообразование, которое может протекать с такой скоростью, что возникает ударная волна. При смешивании двух жидкостей с существенно разными температурами возможны явления физической детонации с образованием облака жидких капель одного из компонентов.

#### **5.4.5. Взрывы неограниченных облаков топливовоздушных смесей.**

##### ***Взрывы неограниченных облаков пара.***

Взрыв неограниченного облака пара может произойти в результате стечения обстоятельств. Во-первых, необходим массовый выброс горючего (например, углеводорода) либо в атмосферу, либо на поверхности земли. После выброса горючего в атмосферу развитие ситуации может пойти по четырем направлениям:

- выброшенное горючее рассеивается без воспламенения;
- во время выброса горючее загорается, как правило без взрыва;
- выброшенное горючее рассеивается на большой площади; после некоторой задержки облако загорается, и происходит обширный пожар;
- последовательность событий такая же, как и в третьем случае, но после начала пожара пламя заметно ускоряется и образуется опасная взрывная волна.

Взрыв неограниченного облака пара может произойти в результате редкого стечения обстоятельств. Во-первых, необходим массовый выброс горючего (например, углеводорода) либо в атмосферу, либо у поверхности земли. Подобное событие возможно как на химическом предприятии, так и при перевозке горючего или при взрыве газопровода. После выброса горючего в атмосферу развитие явления может пойти по четырем направлениям.

- 1) Выброшенное горючее рассеивается без воспламенения.



2) Во время выброса горючее загорается. Как правило, инцидент завершается только пожаром без взрыва.

3) Выброшенное горючее рассеивается на большой площади. После некоторой задержки облако зажигается и происходит массовый пожар.

4) Последовательность событий такая же, как и в случае 3, но после начала пожара пламя заметно ускоряется и образуется опасная взрывная волна.

Взрывы неограниченных паровых облаков могут быть и впечатляющими, и чрезвычайно опасными. Это происходит по той причине, что при большой утечке в атмосферу энергоносителя в определенных метеорологических условиях могут образоваться действительно огромные облака горючей смеси.

К настоящему времени наибольший ущерб принес взрыв облака паров, происшедший на заводе «Нипрокемиклплант» около Фликсборо (Англия) в июне 1974 г. Обстоятельства взрыва тщательно изучались. Как было установлено, временно подсоединенная труба диаметром 0,5 м с двумя сильфонами вышла из строя, что вызвало выброс через два отверстия размером 0,7 м примерно 45 т циклогексана, находившегося при температуре 155°C и давлении 850 кПа. Это горючее быстро испарилось и образовало большое облако. Зажигание произошло, по всей вероятности, от печи водородного цеха, находившегося на некотором расстоянии от места утечки. Зажигание было «мягким», и вначале возник крупный пожар, а затем в результате ускорения пламени образовалась ударная волна, которая вызвала серьезные разрушения завода и домов на расстоянии до полутора километров. Погибло 28 человек и 89 было ранено. Ущерб заводу и окружающей территории оценивался в 100 млн. долл.

Примером взрыва неограниченного облака паров на транспорте является авария в Ист-Сент-Луисе в январе 1972 г. Проводилось формирование железнодорожного состава с использованием «горки». В этой операции вагоны освобождаются на вершине горки и переключением стрелок направляются к определенному составу. Вдоль пути имеются специальные тормоза, замедляющие движение вагона, как только он достигает определенного места. Железнодорожная цистерна с пропиленом была направлена к формирующемуся составу. До нее в этом же направлении был пущен пустой хоппер (саморазгружающийся вагон). Хоппер не успел пройти полный путь и сцепиться с формирующимся составом. Тормозная система не замедлила достаточным образом ход цистерны с пропиленом, и она ударила хоппер на большой скорости. Хоппер был подброшен вверх и своим механизмом сцепки пробил отверстие в цистерне с пропиленом. Два вагона затем прошли путь около 500 м, при этом происходил разлив жидкого пропилена вдоль пути. Облако загорелось в служебном вагоне на некотором расстоянии от того места, где остановились эти два вагона.

Вслед за пожаром произошел мощный взрыв, в результате которого было ранено 176 человек и причинен ущерб 7,6 млн. долл.

#### **5.4.6. Паровые.**

*Паровой взрыв* (англ. Vapor Explosion) – резкое (быстрое) за время 1 мс образование большого количества пара, сопровождающееся местным

повышением давления, вследствие перехода тепловой энергии (затрачиваемой на испарение жидкости и расширение пара) в механическую [1].

### ***Условия возникновения парового взрыва.***

Для возникновения и развития крупномасштабного парового взрыва необходим ряд условий:

- образование такой смеси расплава и теплоносителя ячеистой структуры, которая была бы достаточно компактной, чтобы волна давления могла распространиться внутри неё;
- смесь должна иметь достаточное количество теплоносителя для образования пара;
- должен присутствовать спусковой механизм – импульс давления, который привел бы к срыву плёнки пара на каплях расплава, резкой интенсификации теплообмена.

### ***Стадии парового взрыва.***

В явлении парового взрыва выделяют четыре стадии – фазы:

- («фаза задержки») – смешение теплоносителя и крупных капель расплава, образование паровой плёнки на поверхности расплава;
- фаза интенсивного взаимодействия – прорыв плёнки пара, фрагментация капель, возникновение ударной волны;
- фаза распространения парового взрыва – распространение фронта ударной волны, размельчение капель расплава за счёт ударной волны, интенсификация перемешивания, увеличение энергии волны (2, 3 – собственно фаза парового взрыва)
- фаза затухания импульсов давления, кипения на застывших фрагментах.

### ***Паровой взрыв чистых жидкостей.***

Жидкости высокой степени чистоты легко входят в перегретое состояние. Связано это с тем, что в таких средах присутствует весьма малое количество зародышей паровых пузырей. Однако если перегретая чистая жидкость контактирует с ячеистой структурой или внутри неё возникают турбулентные течения, то в течение сравнительно малого промежутка времени количество зародышей многократно увеличивается и в них начинается процесс парообразования. Возникающие при этом локальные течения ещё больше турбулизируют жидкость, что приводит к росту интенсивности парообразования и процесс ускоряется лавинообразно до тех пор, пока вся жидкость не превратится в пар.

По этой причине нагрев чистых жидкостей до температуры кипения чрезвычайно опасен. На большинстве бытовых водонагревательных приборов есть соответствующие предупреждения о недопустимости использования дистиллированной воды.

### ***Паровой взрыв на АЭС.***

В условиях тяжелой аварии на АЭС паровой взрыв может происходить при контакте расплавленных материалов активной зоны – кориума с теплоносителем. Механизмы фрагментации расплава связаны с локальными тепловыми и гидродинамическими явлениями на границе расплава и теплоносителя. Периодический рост и схлопывание паровых пузырей, разница в скоростях капли и расплава приводят к силам, вызывающим дробление капель. Образующиеся

ударные волны при взаимодействии с каплями расплава также приводят к дроблению капель.

Силовые элементы главного циркуляционного контура АЭС работают в тяжелых условиях: высокий уровень температур и давлений; значительные термические напряжения, обусловленные большими тепловыми нагрузками и градиентами температуры; высокие скорости теплоносителя, способствующие появлению вибраций; ионизирующее излучение. Поэтому во время эксплуатации серьёзное внимание обращается на поддержание заданного безопасного теплогидравлического режима.

На АЭС имеются надежные системы контроля всех основных режимных параметров и состояния оборудования. Тем не менее, даже маловероятные отказы отдельных элементов оборудования или отказы в системах контроля и регулирования, или просто случайное сочетание неблагоприятных отклонений режимных параметров от нормальных условий эксплуатации могут привести к аварийным ситуациям [2].

Безопасность АЭС базируется на комплексе мероприятий, направленных на профилактику причин аварийных ситуаций и совершенствования средств защиты. Один из главных вопросов оценки парового взрыва – знание того, как быстро отводится тепло от расплавленной частицы. Исследованию этого вопроса посвящён комплекс научных исследований, в частности механизмам фрагментации теплоносителя [3][4], эволюции паровых образований.

### Литература

1. Кириллов П.Л., Богословская Г.П. Тепломассообмен в ядерных энергетических установках. – М.: ИздАт, 2008–256 с.
2. Тепломассообмен в ядерных энергетических установках. /Б. С. Петухов, Л. Г. Генин, С. А. Ковалёв, С. Л. Соловьёв. – М.: Издательство МЭИ, 2003. – 548 с.
3. Заметки о некоторых аспектах парового взрыва / Ю. А. Зейгарник, Ю. П. Ивочкин, В. С. Григорьев, А. А. Оксман. // ТВТ, 2008. – Т. 46, № 5. – С.797-800.
4. Об одном возможном механизме инициирования (триггеринга) парового взрыва / В. В. Глазков и др. // ТВТ, 2006. – Т. 44, № 6. – С. 913-917.
5. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Учебное пособие в 4-х книгах. Книга 1 / Под ред. В.А. Котляревского. – М.: Издательство АСВ, 1995. – 320 с. с ил.
6. Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко. – Изд. 3-е, переработанное. – В 2 т. Т. 1 – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 832 с.
7. Гельфанд Б.Е., Сильников М.В. Баротермическое действие взрывов. – СПб.: Астерион, 2006. – 658 с., ил.
8. Гельфанд Б.Е., Сильников М.В. Объемные взрывы: монография. – СПб.: Астерион, 2008. – 374 с., илл.
9. Гражданская защита. Энциклопедия / Под общ. ред. Шойгу С. К.; МЧС России. – Москва: Московская типография № 2, 2006. – Т. 1. – 568 с. – 3000 экз. – [ISBN 5-86472-158-1](https://doi.org/10.1007/978-5-86472-158-1).

## **Контрольные вопросы**

1. Что такое взрыв? Перечислите поражающие факторы взрыва.
2. Какими бывают взрывы в зависимости от среды, в которой они происходят?
3. Что такое паровой взрыв на АЭС?
4. В результате чего может произойти взрыв неограниченного облака пара?
5. Дайте определение пожара. Как классифицируются пожары?
6. Назовите опасные факторы при пожаре.
7. Назовите правила поведения во время пожара.
8. Как подразделяются случайные взрывы?
9. Что такое паровой взрыв чистых жидкостей?
10. В чем заключается основная опасность при эксплуатации сосудов с перегретой жидкостью?

## **Задания для самостоятельной работы**

1. Проработать конспект лекции №5.
2. Составить краткий конспект лекции.

## **Лекция 6**

### **Аварии на объектах атомной промышленности.**

#### **План**

- 6.1 Чрезвычайные происшествия и катастрофы на АЭС.
- 6.2 Основные поражающие факторы при авариях на атомном реакторе.
- 6.3 Измерения характеристик ионизирующей излучений.
- 6.4 Катастрофа на ЧАЭС.
- 6.5 Причины и последствия катастрофы на ЧАЭС.

#### **6.1. Чрезвычайные происшествия и катастрофы на АЭС.**

**Список радиационных аварий** — чрезвычайные случаи, связанные с радиационными выбросами классифицируются по шкале МАГАТЭ INES по одному из 7 уровней [1]. Распространение радиоактивности классифицируется по этой шкале от 2 до 7 уровня, большие уровни соответствуют большей опасности. Так, риск облучения населения возникает на уровнях INES 4 и выше, и начиная с этого уровня – INES 4 – ядерный или радиологический инцидент квалифицируется как авария.

Шкала ИНЕС является всемирным инструментом, предназначенным для информирования населения с использованием последовательно употребляемых терминов о значимости ядерных и радиологических событий для безопасности. Подобно тому, как информацию о землетрясениях или температуре было бы трудно понять без шкалы Рихтера или шкалы Цельсия, так и шкала ИНЕС - это средство разъяснения значимости событий, являющихся результатом целого ряда видов деятельности, включая промышленное и медицинское использование источников излучения, операции на ядерных установках и перевозку радиоактивного материала.



В рамках шкалы события классифицируются по семи уровням: на уровнях 1-3 они называются "инцидентами", а на уровнях 4-7 – "авариями". Шкала построена таким образом, что степень серьезности события возрастает с каждым уровнем шкалы примерно в 10 раз. События, не существенные с точки зрения безопасности, называются "отклонениями" и классифицируются как случаи ниже шкалы/уровень 0 (см. табл. 6.1).

Таблица 6.1

### Список радиационных аварий

Дата	Описание	Описание инцидента	Страна	Уровень INES
12 декабря 1952	<a href="#">Авария в Чок-Риверской лаборатории</a>	переход реактора в надкритический режим, частичное расплавление активной зоны	Канада	5
29 сентября 1957	<a href="#">Кыштымская авария</a>	перегрев и тепловой взрыв емкости с высокоактивными радиоактивными отходами, крупный выброс радиоактивных веществ	СССР	6
10 октября 1957	<a href="#">Авария в Уиндскейле</a>	перегрев и возгорание реактора, крупный выброс радиоактивных веществ	Великобритания	5
3 января 1961	На экспериментальном реакторе <a href="#">SL-1</a> по неустановленным причинам был извлечен управляющий стержень, началась неуправляемая цепная реакция, вызвавшая тепловой взрыв, расплавление реактора и выброс в атмосферу 3 ТБк радиоактивного <a href="#">йода</a> .	переход реактора в надкритический режим, тепловой взрыв и расплавление активной зоны, крупный выброс радиоактивных веществ	США	5
24 июля 1964	Авария на заводе <i>Wood River Junction</i>	достижение критичности вне реактора из-за ошибочного использования работником концентрированного раствора нитрата уранила вместо разбавленного	США	?
17 января 1966	В результате произошедшего над Паломаресом <a href="#">столкновения бомбардировщика В-52 с самолётом-заправщиком</a> разрушились две <a href="#">термоядерные бомбы</a> , произошло заражение местности.	разрушение ядерных боеприпасов, выброс радиоактивных веществ	США, Испания	—
21 января 1968	<a href="#">Авиакатастрофа над базой Туле в Гренландии</a> . При падении бомбардировщика <a href="#">В-52</a> ВВС США разрушились <a href="#">термоядерные бомбы</a> , произошло радиоактивное заражение местности.	разрушение ядерных боеприпасов, выброс радиоактивных веществ	США, Дания	—
18 января 1970	<a href="#">Радиационная авария на заводе «Красное Сормово»</a>	переход реактора в надкритический режим, частичное расплавление активной зоны, выброс радиоактивных веществ	СССР	—
30 ноября 1975	<a href="#">Авария на Ленинградской АЭС</a>	перегрев реактора, разрушение технологических каналов, выброс радиоактивных веществ	СССР	4
22 февраля 1977	Авария на реакторе КС-150 ( <a href="#">АЭС Богуннице</a> )	потеря герметичности ТВЭЛ в активной зоне реактора, выброс радиоактивного содержимого	Чехословакия	4
24 января 1978	Советский <a href="#">спутник</a> морской космической системы разведки и целеуказания <a href="#">Космос-954</a> с <a href="#">ядерной энергетической установкой</a> на	разрушение реактора, не связанное с его работой, выброс радиоактивного	СССР, Канада	—

	борту упал на территорию <a href="#">Канады</a> , вызвав радиоактивное заражение части <a href="#">Северо-Западных территорий</a> .	содержимого активной зоны		
28 марта 1979	<a href="#">Авария на АЭС Три-Майл-Айленд</a>	перегрев остановленного реактора, расплавление активной зоны, выброс продуктов деления	США	5
13 марта 1980	<a href="#">Авария на АЭС Сен-Лоран-дез-О</a>	частичное расплавление активной зоны реактора, выброс продуктов деления	Франция	4
февраль 1982	<a href="#">Радиационная авария в губе Андреева</a>	утечка радиоактивной воды из бассейна хранения отработанного топлива	СССР	?
7 февраля 1983	Спутник <a href="#">Космос-1402</a> после завершения задачи не смог выйти на орбиту захоронения. Реактор разрушился над Атлантическим океаном, рассеяв в атмосферу 44 килограмма урана. <sup>[2]</sup>	разрушение реактора, не связанное с его работой, выброс радиоактивного содержимого активной зоны	СССР	—
10 августа 1985	<a href="#">Радиационная авария в бухте Чажма</a> Японского моря. При перезарядке активной зоны реактора на <a href="#">АПЛ К-431</a> реактор перешёл в пусковой режим, вызвав тепловой взрыв и радиационное заражение местности.	переход реактора в надкритический режим, тепловой взрыв активной зоны, крупный выброс радиоактивного содержимого активной зоны	СССР	5
26 апреля 1986	<a href="#">Авария на Чернобыльской АЭС</a>	переход реактора в надкритический режим, тепловой взрыв и последующее расплавление активной зоны, крупнейший выброс радиоактивного содержимого активной зоны	СССР	7
4 мая 1986	В результате ошибки оператора при работе с системой загрузки шаровых ТВЭЛов произошла незначительная утечка радиоактивного газа — <a href="#">АЭС THTR-300</a> <sup>[3]</sup>	разрушение ТВЭЛ вне активной зоны, незначительный выброс радиоактивного содержимого	Германия	?
13 сентября 1987	<a href="#">Радиоактивное заражение в Гоянии</a>	повреждение радиологического источника излучения	Бразилия	5 <sup>[4]</sup>
6 апреля 1993	Предположительно, из-за недостаточной подачи воздуха для перемешивания раствора на радиохимическом заводе <a href="#">Сибирского химического комбината</a> взрывом был разрушен аппарат по экстракции урана и плутония, содержащий раствор <a href="#">нитрата уранила</a> . <sup>[5][6]</sup>	выброс радиоактивного вещества	Россия	4 <sup>[5][7]</sup> или 3 <sup>[8]</sup>
30 сентября 1999	<a href="#">Авария на ядерном объекте Токаймура</a>	достижение критичности вне реактора, небольшой выброс радиоактивных продуктов деления	Япония	4
2006	<a href="#">Авария в институте радиоэлементов во Флёрюсе</a> <sup>[9][10]</sup>	облучение сотрудника источником радиоактивного излучения вследствие нарушения работы механики систем защиты	Бельгия	4
11 марта 2011	Землетрясение и последовавшее <a href="#">цунами</a> вызвали на <a href="#">АЭС Фукусима-1</a> отключение энергоснабжения и систем охлаждения, что привело к расплавлению активной зоны реакторов на энергоблоках 1, 2 и 3.	перегрев трех реакторов, расплавление активной зоны, крупнейший выброс радиоактивного содержимого активной зоны	Япония	7

## 2018

В конце марта два ЧП произошли на единственной атомной электростанции в Румынии — АЭС "Чернавода". 25 марта был отключен первый блок, второй

блок работал на 55% от мощности. 29 марта второй энергоблок был автоматически отключен от сети. По сообщению компании-оператора S. N. Nuclearelectrica SA (SNN), остановка энергоблока вызвана проблемами в его электрической части и не влияет на ядерную безопасность.

18 февраля произошло возгорание трансформатора на Курской АЭС. Защитой был отключен один из энергоблоков. Возгорание на трансформаторе ликвидировали, пострадавших не было. Нарушений пределов и условий безопасной эксплуатации, а также радиационных последствий не было.

## **2017**

13 июня в одном из помещений третьего энергоблока на Чернобыльской АЭС на Украине произошло задымление, которое оперативно было ликвидировано. Причиной задымления стало курение в неполюженном месте. По сообщению Государственной инспекции ядерного регулирования Украины, радиационный фон на территории Чернобыльской АЭС не изменился.

23 мая ближе к полуночи на АЭС "Дул" в бельгийской Фландрии произошла автоматическая остановка реактора. По информации компании-оператора Engie-Electrabel, причиной явился технический "инцидент".

21 мая первый энергоблок Запорожской атомной электростанции (Украина) действием автоматики был отключен от энергосети.

18 апреля автоматика отключила от сети шестой энергоблок Запорожской АЭС.

5 марта от сети был отключен второй энергоблок Запорожской АЭС.

20 марта утром на французской АЭС "Фламанвиль" из-за выявления утечки воды в контуре охлаждения был остановлен один из энергоблоков.

9 февраля на северо-западе Франции в машинном зале АЭС "Фламанвиль" прогремел взрыв, после которого произошло возгорание. Работа одного из двух реакторов АЭС была остановлена. Взрыв произошел из-за короткого замыкания и последовавшего возгорания вентилятора. Пожар был потушен сотрудниками станции. В результате аварии легкие отравления получили пять человек, раненых не было. Реактор первого энергоблока был остановлен после случившегося.

10 января на бельгийской АЭС "Дуль" во Фландрии в неядерной части реактора произошел выброс пара в машинное отделение. Администрация связала его с "нештатной ситуацией", связанной с работой высоковольтной линии. В связи с инцидентом произошла автоматическая остановка реактора. Сотрудник субподрядчика компании, находившийся в машинном отделении, получил ожоги.

## **2016**

20 июня в помещении энергоблока №3 Калининской АЭС произошло короткое замыкание в электрическом оборудовании трансформатора. В результате электрическим током были поражены работники электрического цеха — 34-летний инженер и 28-летний электромонтер. От полученных телесных повреждений спустя девять дней 28-летний работник цеха скончался.

7 марта в американском округе Окони (штат Джорджия) на одноименной АЭС была объявлена тревога из-за серии взрывов и пожара на трансформаторе. Пожар был локализован через 30 минут после прибытия пожарных к месту ЧП. В результате инцидента пострадавших не было, угрозы выброса радиационных веществ не было. Один из трех реакторов был остановлен. Событие было

переведено из класса "внештатная ситуация" в класс "тревога", поскольку огонь повредил линии электропередачи на распределительной станции.

## 2015

18 декабря на АЭС "Тианж" в Бельгии произошел пожар в неядерной части электростанции. Пожар удалось потушить спустя 20 минут. Как сообщила бельгийская энергетическая компания Electrabel, реактор АЭС автоматически остановился согласно правилам работы в нештатных ситуациях. Один работник АЭС, находившийся в помещении во время возгорания, был доставлен в больницу с ранениями.

18 декабря второй блок Ленинградской АЭС был остановлен из-за образования пара в помещении турбинного цеха. Характер паровой течи был незначителен. Радиационная обстановка на Ленинградской АЭС и промышленной площадке не изменялась и оставалась в пределах естественных фоновых значений.

В ночь на 3 июля пожар произошел на АЭС "Палюэль" во французском департаменте Приморская Сена. От пожара пострадал охладитель выходящего из турбины пара. Работа машинного зала была остановлена. Опасности утечки радиоактивных материалов не возникло.

11 мая один из реакторов атомной электростанции Indian Point в 50 километрах к северу от Нью-Йорка (США) был остановлен из-за поломки трансформатора. Несколько тонн масла из трансформатора попали в реку Гудзон. Угрозы безопасности АЭС не было.

15 января на территории Южно-Украинской АЭС в Николаевской области Украины произошло возгорание отдельно расположенного электрического трансформатора. Площадь пожара составила 100 квадратных метров. Жертв и пострадавших не было. На работу энергоблоков пожар не повлиял.

## 2014

27 декабря энергоблок №6 Запорожской АЭС был отключен из-за срабатывания защиты от внутренних повреждений генератора. 28 декабря 2014 года энергоблок после устранения неисправности был подключен к сети.

14 мая в южном индийском штате Тамилнад на атомной электростанции "Куданкулам" на первом энергоблоке в турбинном отделении произошло ЧП. В результате нарушения техники безопасности шесть индийских рабочих обожглись горячей водой и получили серьезные ожоги. Пострадавшие были отправлены в больницу города Нагеркоил с ожогами около 50% тела. По словам директора станции, никакого взрыва или утечки радиации не было.

## 2013

9 августа на французской АЭС "Крей-Мальвиль" произошел пожар. Очаг возгорания находился в емкости с натрием, что вызвало сильное задымление, которое препятствовало работе пожарных. Инцидент не вызвал каких-либо опасных последствий.

8 января на АЭС недалеко от города Бей-Сити в американском штате Техас произошел пожар, который продолжался 15 минут. В результате ЧП был отключен один из реакторов. В результате инцидента никто не пострадал, об отключениях электроэнергии не сообщалось.

В ночь на 8 января на трансформаторной подстанции на территории АЭС, расположенной к югу от Сиднея (Австралия) возник пожар. Возникшее пламя

удалось потушить еще до прибытия сотрудников пожарной безопасности. В результате ЧП реакторы не пострадали.

## 2012

5 апреля очаги огня и задымленность возникли на атомной электростанции "Пенле" на юге Франции, что привело к автоматической остановке реактора. Подразделения пожарных ликвидировали пожар в аварийном отсеке. В результате инцидента никто не пострадал, угрозы для окружающей среды не возникло.

### 6.2. Основные поражающие факторы при авариях на атомном реакторе

Атомные электростанции представляют серьезную потенциальную радиационную опасность. Радиоактивное загрязнение окружающей среды при авариях на АЭС - это основной фактор, оказывающий влияние на состояние здоровья и условия жизнедеятельности людей на территориях, подвергшихся загрязнению.

Генсек правительства Японии Юкио Эдано подтвердил факт взрыва на АЭС "Фукусима-1" 12 марта, но сообщил, что взорвался не реактор.

Атомные электростанции представляют серьезную потенциальную радиационную опасность. Радиоактивное загрязнение окружающей среды при авариях на АЭС - это основной фактор, оказывающий влияние на состояние здоровья и условия жизнедеятельности людей на территориях, подвергшихся загрязнению.

На АЭС тепло, выделяющееся в ядерном реакторе, используется для получения водяного пара, вращающего турбогенератор для производства электрической энергии. При работе любого ядерного реактора каждую секунду происходит огромное количество делений ядер урана-235. При нормальной эксплуатации АЭС количество радиоактивных веществ, поступающих во внешнюю среду за счет газоаэрозольных выбросов и жидких сбросов, невелико. Доза внешнего и внутреннего облучения организма человека на границе санитарно-защитной зоны вокруг АЭС и за ее пределами намного ниже установленных норм, так как защитные барьеры ослабляют количество поступающей во внешнюю среду радиоактивности во много раз.

Однако в результате аварий, когда защитные барьеры оказываются разрушенными, из реакторов во внешнюю среду могут выбрасываться с потоками пара газообразные и возгоняющиеся радиоактивные элементы: радиоактивные благородные газы, радионуклиды йода и цезия.

На ранней фазе аварии (т.н. фаза "острого" облучения) происходит собственно выброс радиоактивных веществ в окружающую среду. Продолжительность этого периода может быть от нескольких минут до нескольких часов в случае разового выброса и до нескольких суток в случае продолжительного выброса.

Промежуточная фаза аварии - период, в течение которого нет дополнительного поступления радиоактивности из источника выброса в окружающую среду. Эта фаза начинается с нескольких первых часов с момента выброса и длится до нескольких суток, недель и больше. Для разовых выбросов протяженность промежуточной фазы прогнозируют, как правило, в пределах 7 - 10 суток.

Поздняя фаза (фаза восстановления) характеризуется периодом возврата к условиям нормальной жизнедеятельности населения и может длиться от нескольких недель до нескольких десятков лет в зависимости от мощности и радионуклидного состава выброса, характеристик и размеров загрязненного района, эффективности мер радиационной защиты. К наиболее тяжелым радиационным авариям на АЭС, сопровождаемым выбросом урана и продуктов его деления за пределы санитарно-защитной зоны и радиоактивным загрязнением окружающей среды, относятся т.н. запроектные аварии, обусловленные разгерметизацией первого контура реактора. Характерный пример такого типа аварий - авария реактора РБМК-1000 на Чернобыльской АЭС в апреле 1986 года.

Основной источник радиоактивных загрязнений окружающей среды и облучения людей при авариях ядерных реакторов - это выбрасываемые из реактора газоаэрозольные смеси. Радиоактивные аэрозоли после попадания на поверхность объектов закрепляются на ней. Процессы поверхностного и глубинного загрязнений, как правило, происходят одновременно.

В сухую погоду радиоактивные загрязнения являются в основном поверхностными. В то же время отдельные частицы будут проникать в выемки шероховатой поверхности, обуславливая глубинные загрязнения.

При загрязнении поверхности каплями, содержащими радиоактивные вещества, срабатывает другой механизм: первоначально будет происходить адгезия (прилипание) капель к твердой поверхности, которая в дальнейшем приведет к повышению концентрации радионуклидов на поверхности, ионному обмену и диффузии.

Помимо первичного радиоактивного загрязнения возможны последующие циклы загрязнения, т.н. <вторичное> загрязнение. При вторичном загрязнении происходит переход радиоактивных веществ с ранее загрязненного объекта или территории на чистый или загрязненный в меньшей степени объект. Так, радиоактивные загрязнения местности, сооружений и дорог могут переходить в воздушную среду или грунтовые воды, а затем осаждаться, вызывая радиоактивные загрязнения ранее "чистых" объектов, переноситься транспортом, людьми или животными.

При авариях на АЭС выделяют два основных периода: "йодовой опасности", продолжительностью до 2 месяцев, и "цезиевой опасности", который продолжается многие годы.

В "йодном периоде", кроме внешнего облучения (до 45 % дозы за первый год), основные проблемы связаны с молоком и листовыми овощами - главными "поставщиками" радионуклида йода внутрь организма. На первом этапе радиационное воздействие на людей складывается из внешнего и внутреннего облучений, обусловленных соответственно радиоактивными облучениями от загрязненных радионуклидами объектов окружающей среды и вдыханием радионуклидов с загрязненным воздухом, на втором этапе - облучением от загрязненных радионуклидами объектов окружающей среды и введением их в организм человека с потребляемой пищей и водой, а в дальнейшем - в основном за счет употребления населением загрязненных продуктов питания.

Принято считать, что 85 % суммарной прогнозируемой дозы облучения на последующие 50 лет после аварии составляет доза внутреннего облучения,

обусловленного потреблением продуктов питания, которые выращены на загрязненной территории, и лишь 15 % падает на дозу внешнего облучения.

### **6.3. Измерения характеристик ионизирующей излучений**

Ионизирующее излучение (неточный синоним с более широким значением — радиация) — потоки фотонов и других элементарных частиц или атомных ядер, способные ионизировать вещество.

К ионизирующему излучению не относятся видимый свет и ультрафиолетовое излучение, которые в отдельных случаях могут ионизировать вещество.

Инфракрасное излучение и излучение радиодиапазонов не являются ионизирующими, поскольку их энергии недостаточно для ионизации атомов и молекул в основном состоянии[1][2].

Методы обнаружения и количественного определения различных видов излучения основаны на взаимодействии испускаемых частиц или электромагнитного излучения с веществом. Это взаимодействие вызывает ионизацию или возбуждение в газах, жидкостях или твердых телах. В процессе регистрации ионизирующее излучение преобразуют с помощью детекторов в электрические сигналы или кванты света, которые затем измеряют, сортируют, регистрируют и анализируют радиометрической аппаратурой.

Основной частью приборов для регистрации ядерных излучений является элемент, воспринимающий излучения, — детектор излучения. Применяемые типы детекторов рассчитаны на регистрацию различных видов излучения и частиц:  $\alpha$ - и  $\beta$ -частиц, рентгеновского,  $\gamma$ -излучения, нейтронов, протонов и т.п. в широком диапазоне их энергий.

Чтобы не только обнаружить ядерное излучение, но и измерить его интенсивность, недостаточно одного детектора излучения. Необходимы еще электронные устройства, подсчитывающие число электрических импульсов, т.е. число попавших в счетчик частиц, и устройства, показывающие результат подсчета. К их числу следует отнести счетчики частиц, интенсиметры, спектрометры, радиометры различных типов, дозиметры и т.п. Радиометрическая аппаратура используется для определения состава излучения и измерения его интенсивности, измерения спектра энергий частиц, изучения процессов взаимодействия быстрых частиц с атомными ядрами и процессов распада ядер.

Дозиметрия ионизирующих излучений и виды облучения.

Следует отличать энергию излучения, падающего на облучаемый объект, от энергии, поглощаемой объектом и вызывающей физическое воздействие. Поэтому в радиобиологии, как и в ядерной физике, выделяют экспозиционную, или физическую, дозу и поглощенную дозу.

Экспозиционную дозу, то есть дозу падающего на объект излучения, можно оценить, преобразуя его в теплоту. Имеются чувствительные калориметры, позволяющие регистрировать малейшие изменения температуры объекта. Однако, при радиобиологически эффективных дозах количество выделяемой теплоты столь невелико, что его измерение оказывается очень непростой задачей. Например, доза рентгеновского или гамма-излучения, достаточная для того, чтобы убить млекопитающее, вызывает повышение температуры его тела не более чем на 0,002 °С. Поэтому, наиболее распространенные физические методы

дозиметрии ионизирующих излучений, основаны на оценке степени ионизации, производимой в воздухе.



Рис. 6.1. Дозиметр-радиометр Радиаскан 701А

Дозиметр-радиометр Радиаскан 701А показывает мощность дозы 52 мкР/ч (или 0,52 мкЗв/ч).

Первая общепринятая единица экспозиционной дозы - Рентген (русское обозначение Р, международное - R), была определена, как доза рентгеновского и гамма-излучений, при которой корпускулярное излучение (то есть электроны) производит, при нормальных условиях, в 1 см<sup>3</sup> воздуха (0.001293 г) такое число ионов, что их суммарный заряд равен одной электростатической единице количества электричества каждого знака. Экспозиционной дозе 1 Р соответствует образование, как уже упоминалось в начале статьи,  $2,08 \cdot 10^9$  пар ионов в 1 см<sup>3</sup> воздуха.

В системе СИ единицей измерения эквивалентной дозы является Зиверт (Зв, Sv). 1 Зв = 100 бэр.

Для оценки эффективности радиоактивных элементов и изотопов измеряют их активность. Для этой цели иногда используется внесистемная единица Кюри (Ки, Ci). Кюри - это радиоактивность любого радиоактивного вещества, в котором происходят  $3,7 \cdot 10^{10}$  распадов в 1 секунду.

В системе СИ единицей радиоактивности является Беккерель (Бк, Bq). 1 Бк = 1 расп./с.

Перечисленные внесистемные и системные единицы дозы ионизирующего излучения и радиоактивности, а также соотношения между ними приведены в таблице 6.2.



## Единицы дозы ионизирующего излучения и радиоактивности

Единицы	Наименование единицы		Соотношение между единицами
	внесистемные	в системе СИ	
Экспозиционная доза	Рентген (Р)	Кулон на килограмм (Кл/кг)	$1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$ $1 \text{ Кл/кг} = 3876 \text{ Р}$
Поглощенная доза	Рад	Грей (Гр)	$1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр}$ $1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$
Эквивалентная доза	Бэр	Зиверт (Зв)	$1 \text{ бэр} = 0,01 \text{ Зв}$ $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$
Радиоактивность	Кюри (Ки)	Беккерель (Бк)	$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$ $1 \text{ Бк} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Ки}$

Для характеристики распределения ионизирующего излучения во времени используют величину мощности дозы, под которой понимают количество энергии излучения, поглощаемое веществом в единицу времени.

#### 6.4. Катастрофа на ЧАЭС.

Авария на Чернобыльской АЭС 26 апреля 1986 года (также известна как катастрофа на Чернобыльской АЭС, чернобыльская авария, чернобыльская катастрофа или просто Чернобыль) — разрушение реактора четвёртого энергоблока Чернобыльской атомной электростанции, расположенной около города Припять (Украинская ССР, ныне — Украина).

Разрушение носило взрывной характер, реактор был полностью разрушен, а в окружающую среду выброшено большое количество радиоактивных веществ. Авария расценивается как крупнейшая в своём роде за всю историю атомной энергетики, как по предполагаемому количеству погибших и пострадавших от её последствий людей, так и по экономическому ущербу.

В течение первых трех месяцев после аварии погиб 31 человек; отдаленные последствия облучения, выявленные за последующие 15 лет, стали причиной гибели от 60 до 80 человек.

134 человека перенесли лучевую болезнь той или иной степени тяжести.

Более 115 тыс. человек из 30-километровой зоны были эвакуированы.

Для ликвидации последствий были мобилизованы значительные ресурсы, более 600 тыс. человек участвовали в ликвидации последствий аварии [4, 5].

В отличие от бомбардировок Хиросимы и Нагасаки, взрыв напомнил очень мощную «грязную бомбу» — основным поражающим фактором стало радиоактивное загрязнение. Облако, образовавшееся от горящего реактора, разнесло различные радиоактивные материалы, прежде всего радионуклиды йода и цезия, по большей части Европы. Наибольшие выпадения вблизи реактора отмечались на территориях, относящихся к Белоруссии, Российской Федерации и Украине [6].

Из 30-километровой зоны отчуждения вокруг АЭС было эвакуировано всё население — более 115 тысяч человек. Для ликвидации последствий были мобилизованы значительные ресурсы, более 600 тысяч человек участвовали в ликвидации последствий аварии [5].



Чернобыльская авария стала событием большого общественно-политического значения для СССР. Всё это наложило определённый отпечаток на ход расследования её причин. У специалистов нет единого мнения о точных причинах аварии, версии разных специалистов-атомщиков сходны в общих чертах и различаются в конкретных механизмах возникновения и развития аварийной ситуации.

### **6.5. Причины и последствия катастрофы на ЧАЭС.**

Существуют по крайней мере два различных подхода к объяснению причин чернобыльской аварии, которые можно назвать официальными, а также несколько альтернативных версий разной степени достоверности.

Государственная комиссия, сформированная в СССР для расследования причин катастрофы, возложила основную ответственность за неё на оперативный персонал и руководство ЧАЭС. МАГАТЭ создало свою консультативную группу, известную как Консультативный комитет по вопросам ядерной безопасности (англ.)русск. (англ. *INSAG; International Nuclear Safety Advisory Group*), который на основании материалов, предоставленных советской стороной, и устных высказываний специалистов (среди которых группу консультировали Калугин А. К. и Дёмин В. Ф., а делегацию советских специалистов возглавил Валерий Легасов, первый заместитель директора ИАЭ имени И. В. Курчатова) в своём отчёте 1986 года [7] также в целом поддержал эту точку зрения. Утверждалось, что авария явилась следствием маловероятного совпадения ряда нарушений правил и регламентов эксплуатационным персоналом, а катастрофические последствия приобрела из-за того, что реактор был приведён в нерегламентное состояние [7].

Грубые нарушения правил эксплуатации АЭС, совершённые её персоналом, согласно этой точке зрения, заключаются в следующем [7]:

- проведение эксперимента «любой ценой», несмотря на изменение состояния реактора;
- вывод из работы исправных технологических защит, которые просто остановили бы реактор ещё до того, как он попал в опасный режим;
- замалчивание масштаба аварии в первые дни руководством ЧАЭС.

Однако в 1990 году комиссия Госатомнадзора СССР заново рассмотрела этот вопрос и пришла к заключению, что «начавшаяся из-за действий оперативного персонала Чернобыльская авария приобрела неадекватные им катастрофические масштабы вследствие неудовлетворительной конструкции реактора» ([7], с. 35). Кроме того, комиссия проанализировала действовавшие на момент аварии нормативные документы и не подтвердила некоторые из ранее выдвигавшихся в адрес персонала станции обвинений. Несмотря на широко распространённое ошибочное мнение о том, что авария произошла из-за испытаний выбега турбогенератора, на самом деле испытания лишь облегчили проведение расследования, так как вместе со штатными системами контроля работала ещё и внешняя, с высоким временным разрешением ([8], с. 68).

В 1993 году INSAG опубликовал дополнительный отчёт, обновивший «ту часть доклада INSAG-1, в которой основное внимание уделено причинам аварии», и уделивший большее внимание серьёзным проблемам в конструкции реактора. Он основан, главным образом, на данных Госатомнадзора СССР и на докладе «рабочей группы экспертов СССР» (эти два доклада включены в качестве приложений), а также на новых данных, полученных в результате моделирования аварии. В этом отчёте многие выводы, сделанные в 1986 году, признаны неверными и пересматриваются «некоторые детали сценария, представленного в INSAG-1», а также изменены некоторые «важные выводы». Согласно отчёту, наиболее вероятной причиной аварии являлись ошибки проекта и конструкции реактора, эти конструктивные особенности оказали основное влияние на ход аварии и её последствия.

Основными факторами, внёсшими вклад в возникновение аварии, INSAG-7 считает следующее:

- реактор не соответствовал нормам безопасности и имел опасные конструктивные особенности;
- низкое качество регламента эксплуатации в части обеспечения безопасности;
- неэффективность режима регулирования и надзора за безопасностью в ядерной энергетике, общая недостаточность культуры безопасности в ядерных вопросах как на национальном, так и на местном уровне;
- отсутствовал эффективный обмен информацией по безопасности как между операторами, так и между операторами и проектировщиками, персонал не обладал достаточным пониманием особенностей станции, влияющих на безопасность;
- персонал допустил ряд ошибок и нарушил существующие инструкции и программу испытаний.

В целом INSAG-7 достаточно осторожно сформулировал свои выводы о причинах аварии. Так, например, при оценке различных сценариев INSAG отмечает, что «в большинстве аналитических исследований тяжесть аварии связывается с недостатками конструкции стержневой системы управления и защиты (СУЗ) в сочетании с физическими проектными характеристиками», и, не высказывая при этом своего мнения, говорит про «другие ловушки для эксплуатационного персонала».

Любая из них могла бы в равной мере вызвать событие, инициирующее такую или почти идентичную аварию», например, такое событие, как «срыв или

кавитация насосов» или «разрушение топливных каналов». Затем задаётся риторический вопрос: «Имеет ли в действительности значение то, какой именно недостаток явился реальной причиной, если любой из них мог потенциально явиться определяющим фактором?».

При изложении взглядов на конструкцию реактора INSAG признаёт «наиболее вероятным окончательным вызвавшим аварию событием» «ввод стержней СУЗ в критический момент испытаний» и замечает, что «в этом случае авария явилась бы результатом применения сомнительных регламентов и процедур, которые привели к проявлению и сочетанию двух серьёзных проектных дефектов конструкции стержней и положительной обратной связи по реактивности». Далее говорится: «Вряд ли фактически имеет значение то, явился ли положительный выбег реактивности при аварийном останове последним событием, вызвавшим разрушение реактора.

Важно лишь то, что такой недостаток существовал и он мог явиться причиной аварии». INSAG вообще предпочитает говорить не о причинах, а о факторах, способствовавших развитию аварии. Так, например, в выводах причина аварии формулируется так: «Достоверно не известно, с чего начался скачок мощности, приведший к разрушению реактора Чернобыльской АЭС.

Определённая положительная реактивность, по-видимому, была внесена в результате роста паросодержания при падении расхода теплоносителя. Внесение дополнительной положительной реактивности в результате погружения полностью выведенных стержней СУЗ в ходе испытаний явилось, вероятно, решающим приведшим к аварии фактором».

Ниже рассматриваются технические аспекты аварии, обусловленные в основном имевшими место недостатками реакторов РБМК, а также нарушениями и ошибками, допущенными персоналом станции при проведении последнего для 4-го блока ЧАЭС испытания.

## Литература

1. ИНЕС международная шкала ядерных и радиологических событий.
2. Гусев Н. Г., Климанов В. А., Машкович В. П., Суворов А. П. Защита от ионизирующих излучений. В 2-х томах. М., Энергоатомиздат, 1989.
3. Ионизирующие излучения и их измерения. Термины и понятия. М.: Стандартинформ, 2006.
4. *ВОЗ/МАГАТЭ/ПРООН*. Чернобыль: истинные масштабы аварии. [www.who.int](http://www.who.int) (5 сентября 2005).
5. *ИБРАЭ РАН*. Чернобыль между домыслами и фактами. [www.ibrae.ac.ru](http://www.ibrae.ac.ru) (2001).
6. *А.М.Агапов, Г.А.Новиков, Р.В.Арутюнян, Е.М.Мелихова*. Кто помог создать «чернобыльский миф»? [www.proatom.ru](http://www.proatom.ru) (8 ноября 2005).
7. Абагян А. А., Асмолов В. Г., Гуськова А. К. Информация об аварии на Чернобыльской АЭС и её последствиях, подготовленная для МАГАТЭ // Атомная энергия. — 1986. — Ноябрь (т. 61, вып. 5). — С. 301—320. — ISSN0004-7163
8. «О причинах и обстоятельствах аварии на 4 блоке чернобыльской АЭС 26 апреля 1986 г.». Доклад Комиссии Госпроматомнадзора СССР, 1991 (Приложение I к INSAG-7)

## Контрольные вопросы

1. Основные дозиметрические величины и их взаимосвязь.
2. Особенности спектра бета-излучения при радиоактивном распаде.
3. Приведите основные факторы, которые внесли вклад в возникновение аварии на ЧАЭС.
4. Назовите грубые нарушения правил эксплуатации ЧАЭС, совершённые её персоналом.
5. Какие существуют излучения?
6. Перечислите внесистемные и системные единицы дозы ионизирующего излучения и радиоактивности.
7. Назовите основной источник радиоактивных загрязнений окружающей среды при авариях на ЧАЭС.
8. Назовите основные поражающие факторы при авариях на атомном реакторе.
9. Назовите основной источник радиоактивных загрязнений окружающей среды и облучения людей при авариях ядерных реакторов.
10. Какие основные периоды выделяют при авариях на АЭС.?

## Задания для самостоятельной работы

1. Проработать конспект лекции №6.
2. Составить краткий конспект лекции.

## Лекция 7

### Катастрофы на химических предприятиях.

#### План

- 7.1. Химически опасные регионы России.
- 7.2. Нормативные документы, регламентирующие вопросы промышленной безопасности.

#### 7.1. Химически опасные регионы России.

**Химически опасный объект** — опасный производственный объект, на котором хранят, перерабатывают, используют или транспортируют опасные химические вещества, при аварии на котором или при разрушении которого может произойти гибель или химическое поражение людей, сельскохозяйственных животных и растений, а также химическое заражение окружающей природной среды.

К такого рода объектам относятся:

- Химическая промышленность,
- Нефтехимическая промышленность,
- Нефтехимические и подобные им заводы и предприятия.

Такие производства связаны с вредными химическими веществами и с химическими энергоносителями. Номенклатура продукции, выпускаемой химическим заводом с передовой технологией, может включать тысячи различных материалов и веществ, многие из которых чрезвычайно токсичны и ядовиты.

Значительная часть объектов нехимических отраслей промышленности, где в технологических процессах применяются опасные вещества и имеют место химические превращения (целлюлозно-бумажная, текстильная, пищевая, металлургическая промышленность, коммунальные предприятия). Исследовательские центры, аммиачные холодильные установки, склады (хранилища) и терминалы, транспортные средства и трубопроводы.

Военно-химические объекты (склады и полигоны, заводы по уничтожению химических боеприпасов, спецтранспорт, склады и объекты ракетных топлив).

Аварийные ситуации с выбросом (угрозой выброса) опасных химических веществ возможны в процессе производства, транспортировки, хранения, переработки, а также при преднамеренном разрушении (повреждении) объектов с химической технологией, складов, мощных аммиачных холодильных устройств и водоочистных сооружений, газопроводов (продуктопроводов) и транспортных средств, обслуживающих эти объекты и отрасли промышленности. Степень химической опасности объекта устанавливается исходя из доли населения, попадающего в зону возможного химического заражения при аварии на химически опасном объекте, от общей численности населения. Для объектов экономики установлены 4 степени химической опасности:

– 1-я степень — в зону возможного химического заражения попадает свыше 75 тысяч человек;

– 2-я степень — в зону возможного химического заражения попадает 40-75 тысяч человек;

– 3-я степень — в зону возможного химического заражения попадает менее 40 тысяч человек;

– 4-я степень — зона возможного химического заражения сильнодействующих ядовитых веществ находится в пределах санитарно-защитной зоны объекта.

В России в настоящее время функционирует свыше 10 тысяч потенциально опасных химических объектов, большинство из которых устарело и несет реальную угрозу для населения. Такие данные содержатся в ФЦП "Национальная система химической и биологической безопасности РФ" на 2009-2018 годы.

По данным международных организаций, 75% всех смертельных случаев, возникающих в результате аварий, связаны с воздействием химических факторов. Тем не менее число потенциально опасных химических объектов, выработавших свой ресурс, неуклонно растет.

Объемы затрат на модернизацию, реконструкцию, вывод этих объектов из эксплуатации могут достигать 7% валового внутреннего продукта, отмечают авторы документы. Однако, при этом следует учесть, что затраты на ликвидацию последствий аварий и катастроф в 10-15 раз выше затрат, необходимых для осуществления превентивных мер.

"Без разработки и реализации комплексных превентивных мер количество опасных объектов с близкими к предельным или полностью исчерпанными техническими и технологическими ресурсами будет расти на 10% ежегодно", - говорится в документе.

К числу наиболее значимых загрязнителей среды обитания человека (взвешенные вещества, оксиды азота, углерода, серы, полиароматические углеводороды и тяжелые металлы), за которыми ведется наблюдение, следует

также отнести устойчивые экотоксиканты, например, полихлорированные бифенилы, бензофураны и диоксины, считают авторы документа.

"Несмотря на то что при проведении специальных исследований указанные стойкие органические загрязнители определяются в объектах внешней среды практически повсеместно, до сих пор в стране не создана необходимая методическая и материально-техническая база для их количественного определения и мониторинга", - говорится в программе.

Население страны недостаточно обеспечено необходимыми средствами индивидуальной защиты от опасных химических веществ.

"Заложенные на хранение средства предназначены для защиты населения от боевых отравляющих веществ в военное время и могут быть лишь ограниченно использованы в мирное время (при техногенных авариях, природных катастрофах и террористических актах на потенциально опасных объектах)", - говорится в документе.

### **Список городов России с наибольшим уровнем загрязнения атмосферного воздуха.**

В ФГБУ «ГГО» по данным 677 станциях в 250 городах государственной наблюдательной сети сформирован список городов с наибольшим уровнем загрязнения атмосферного воздуха (Приоритетный список) в 2019 году.

В список включены города с очень высоким уровнем загрязнения воздуха, для которых комплексный индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) равен или выше 14. ИЗА учитывает 5 загрязняющих веществ из полного перечня контролируемых в городе, вносящих наибольший вклад в уровень загрязнения. Величина ИЗА рассчитывается по значениям среднегодовых концентраций. Показатель характеризует уровень хронического, длительного загрязнения воздуха. При формировании перечня городов учитываются также показатели, характеризующие уровень кратковременного воздействия загрязненного воздуха (стандартный индекс - СИ и наибольшая повторяемость превышения ПДК - НП).

<b>Города с наибольшим уровнем загрязнения атмосферы (ЗА) и вещества, его определяющие, в 2019 году</b>			
Город	Вещества, определяющие уровень ЗА	Город	Вещества, определяющие уровень ЗА
Абакан	<b>БП, NO<sub>2</sub>, CO, BB, Ф</b>	Свирск	<b>БП, BB, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO</b>
Братск	<b>БП, BB, CS<sub>2</sub>, Ф, HF</b>	Селенгинск	<b>БП, O<sub>3</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, BB</b>
Зима	<b>БП, NO<sub>2</sub>, HCl, Ф, CO</b>	Улан-Удэ	<b>БП, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, BB, Ф</b>
Иркутск	<b>БП, BB, NO<sub>2</sub>, Ф, NO</b>	Усолье-Сибирское	<b>БП, BB, NO<sub>2</sub>, Ф, SO<sub>2</sub></b>
Кызыл	<b>БП, BB, NO<sub>2</sub>, Ф, CO</b>	Черемхово	<b>БП, NO<sub>2</sub>, BB, SO<sub>2</sub>, NO</b>
Лесосибирск	<b>БП, BB, Ф, NO<sub>2</sub>, CO</b>	Черногорск	<b>БП, NO<sub>2</sub>, Ф, BB, CO</b>
Минусинск	<b>БП, NO<sub>2</sub>, Ф, BB, CO</b>	Чита	<b>БП, BB, фенол, NO<sub>2</sub>, Ф</b>
Новокузнецк	<b>БП, BB, HF, NO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub></b>	Шелехов	<b>БП, O<sub>3</sub>, BB, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub></b>
Норильск*	<b>SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, BB, БП</b>	Южно-Сахалинск	<b>Ф, БП, NO<sub>2</sub>, С, BB</b>

БП — бенз(а)пирен, BB — взвешенные вещества, PM — взвешенные частицы фракций PM10 и PM2.5, Ф — формальдегид, CO — оксид углерода, CS<sub>2</sub> — сероуглерод, HCl — хлорид водорода, HF — фторид водорода, NH<sub>3</sub> — аммиак, NO<sub>2</sub> — диоксид азота, NO — оксид азота, O<sub>3</sub> — приземный озон, SO<sub>2</sub> — диоксид серы, С — углерод (сажа).  
Выделены вещества с наибольшим вкладом в уровень ЗА.  
\*Установлено с учетом выбросов за 2018 год.

### **Города Приоритетного списка не ранжируются по степени загрязнения воздуха**

Приоритетный список 2019 г. включает **18** городов с общим числом жителей в них **3,3** млн. человек. Все города списка расположены на территории Азиатской части России.

Из Приоритетного списка вышли 5 городов, один находится на территории Дальневосточного федерального округа — Петровск-Забайкальский (Забайкальский край), четыре — на территории Сибирского федерального округа — Ангарск (Иркутская область), Барнаул (Алтайский край), Искитим (Новосибирская область) и Красноярск (Красноярский край) в связи со снижением уровня загрязнения воздуха, в основном за счет снижения концентраций бенз(а)пирена.

В Приоритетный список вернулся Южно-Сахалинск (Сахалинская область.) в связи с ростом концентраций формальдегида.

В Приоритетном списке 2019 года сохранился город Норильск, где выбросы диоксида серы достигают значительных объемов.

Химически опасные объекты – объекты, при аварии на которых или при его разрушении могут произойти массовые поражения людей, животных и растений опасными химическими веществами.

К химически опасным объектам производства относятся предприятия черной и цветной металлургии, целлюлозно-бумажной, строительной, оборонной и медицинской промышленности, коммунального и сельского хозяйства. На этих предприятиях широко применяется хлор, аммиак, соляная кислота, сернистый ангидрид, фтористый водород и другие опасные химические вещества.

Примеры химически опасных объектов:

- черная и цветная металлургия (хлор, аммиак, соляная кислота, ацетонциангидрин, фтористый водород, нитрил акриловой кислоты);
- целлюлозно-бумажная промышленность (хлор, аммиак, сернистый ангидрид, сероводород, соляная кислота);
- машиностроительная и оборонная промышленность (хлор, аммиак, соляная кислота, фтористый водород);
- коммунальное хозяйство (хлор, аммиак);
- медицинская промышленность (хлор, аммиак, фосген, нитрил акриловой кислоты, соляная кислота);
- сельское хозяйство (аммиак, хлорпикрин, хлорциан, сернистый ангидрид).

Классификация промышленных объектов по степени химической опасности.

Основным показателем степени опасности химически опасных объектов считают численность населения проживающего в зоне возможного химического заражения в случае аварии.

Степень химической опасности	Численность населения, проживающего в зоне возможного заражения, человек
1	Более 75 тыс.
2	От 40 до 74 тыс.
3	До 40 тыс.
4	Зона возможного заражения не выходит за пределы территории объекта или его санитарно – защитной зоны



По имеющимся данным, в РФ 12 % химически опасные объекты относятся к объектам 1 степени опасности, 7% - 2, 73% - 3 и 8% - 4 степени.

Химическая авария – авария на химически опасном объекте, сопровождающаяся разливом или выбросом опасных химических веществ, способным привести к гибели или химическому заражению людей, продовольствия, пищевого сырья и кормов, сельскохозяйственных животных и растений или к химическому заражению окружающей природной среды.

Опасность химических веществ для людей состоит в их способности при попадании в сравнительно небольших количествах через органы дыхания в организм нарушать его нормальную жизнедеятельность, вызывать различные болезненные состояния, а при определенных условиях – летальный исход. При нахождении людей в непосредственной близости от источника заражения возможно их поражение через кожные покровы.

Аварии бывают:

- -аварии с выбросом (угрозой выброса) АХОВ при их производстве, переработке или хранении;
- -аварии на транспорте с выбросом (угрозой выброса) АХОВ;
- -образование и распространение АХОВ в процессе химических реакций, начавшихся в результате аварии;
- -аварии с химическими боеприпасами.

## **7.2. Нормативные документы, регламентирующие вопросы промышленной безопасности.**

Состояние экономики России, с точки зрения обеспечения промышленной безопасности, на текущий момент времени характеризуется рядом отрицательных тенденций:

- износ и старение оборудования промышленных предприятий, в условиях снижения качества технического обслуживания и ремонтов;
- ухудшение обеспечения предприятий квалифицированными специалистами;
- уменьшение полномочий органов государственного контроля и надзора;
- децентрализация управления отраслями;
- увеличение числа аварий с тяжелыми последствиями.

В таких условиях особую важность приобретает обучение руководителей и специалистов по общим и специальным вопросам в области промышленной безопасности [2].

За последние несколько лет законодательство в области промышленной безопасности опасных производственных объектов претерпело значительные изменения. В 2013 году были введены новые понятия, определения, категории и новые требования в основной нормативный документ в области промышленной безопасности – Федеральный закон от 21.07.1997 года № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов». Так указанный Федеральный закон закрепил новую категорию – класс опасности опасного производственного объекта, расширил нормативное понимание классификации опасных производственных объектов. Не менее значимым аспектом для деятельности нефтегазовых и особенно проектных компаний явилось введение категории «обоснование безопасности опасного

производственного объекта». Кроме этого были пересмотрены вопросы организации производственного контроля и систем обеспечения промышленной безопасности на опасных производственных объектах, организации и проведения экспертизы промышленной безопасности, вопросы разработки декларации промышленной безопасности и др. За 2013-2014 годы б

Правительством Российской Федерации до 1 января 2021 года в соответствии с определенным им перечнем видов государственного контроля (надзора) обеспечиваются признание утратившими силу, не действующими на территории Российской Федерации и отмена нормативных правовых актов Правительства Российской Федерации, федеральных органов исполнительной власти, правовых актов исполнительных и распорядительных органов государственной власти РСФСР и Союза ССР, содержащих обязательные требования, соблюдение которых оценивается при осуществлении государственного контроля (надзора).

Российской Федерации или отменены ли нормативные правовые акты, указанные в части 1 настоящей статьи, с 1 января 2021 года при осуществлении государственного контроля (надзора) не допускается оценка соблюдения обязательных требований, содержащихся в указанных актах, если они вступили в силу до 1 января 2020 года.

Независимо от того, признаны ли утратившими силу, не действующими на территории Российской Федерации или отменены ли нормативные правовые акты, указанные в части 1 настоящей статьи, с 1 января 2021 года несоблюдение требований, содержащихся в указанных актах, не может являться основанием для привлечения к административной ответственности, если они вступили в силу до 1 января 2020 года. Перечень видов надзора Ростехнадзора, которых касается "регуляторная гильотина" (Распоряжение Правительства РФ от 15.12.2020 № 3340-р):

- Федеральный государственный надзор в области промышленной безопасности на опасных производственных объектах
- Федеральный государственный строительный надзор
- Федеральный государственный надзор в области безопасности гидротехнических сооружений
- Федеральный государственный энергетический надзор в сфере теплоснабжения
- Государственный надзор за деятельностью саморегулируемых организаций в области инженерных изысканий, архитектурно-строительного проектирования, строительства, реконструкции, капитального ремонта, сноса объектов капитального строительства
- Государственный контроль (надзор) за соблюдением требований законодательства Российской Федерации об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности
- Лицензионный контроль за деятельностью по проведению экспертизы промышленной безопасности
- Лицензионный контроль за деятельностью, связанной с обращением взрывчатых материалов промышленного назначения

- Лицензионный контроль за эксплуатацией взрывопожароопасных и химически опасных производственных объектов I, II и III классов опасности
- Лицензионный контроль за производством маркшейдерских работ
- Государственный надзор за безопасным ведением работ, связанных с использованием недр

***Перечень нормативных правовых актов и нормативных документов в сфере контроля (надзора) в области промышленной безопасности в общепромышленном комплексе***

Технический регламент Таможенного союза "О безопасности машин и оборудования" (ТР ТС 010/2011), утвержденный решением Комиссии Таможенного союза от 18.10.2011 № 823;

Технический регламент Таможенного союза «О безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах» (ТР ТС 012/2011), утвержденный решением Комиссии Таможенного Союза от 18.10.2011 № 825;

Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»;

Федеральный закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании»;

Федеральный закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ «О пожарной безопасности»;

Федеральный закон от 27.07.2010 № 225-ФЗ «Об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в случае аварии на опасном объекте»;

Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ;

Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»;

«Положение о разработке планов мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий на опасных производственных объектах», утвержденное постановлением Правительства Российской Федерации от 15.09.2020 № 1437;

«Правила организации и осуществления производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности», утвержденные постановлением Правительства Российской Федерации от 18.12.2020 № 2168;

Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Требования к производству сварочных работ на опасных производственных объектах», утвержденные приказом Ростехнадзора от 11.12.2020 № 519 (зарегистрирован Минюстом России 30.12.2020, рег. № 61964);

«Требования к форме представления сведений об организации производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности», утвержденные приказом Ростехнадзора от 11.12.2020 № 518 (зарегистрирован Минюстом России 30.12.2020, рег. № 61959);

Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности», утвержденные приказом Ростехнадзора от 20.10.2020 № 420 (зарегистрирован Минюстом России 11.12.2020, рег. № 61391);

«Порядок проведения технического расследования причин аварий, инцидентов и случаев утраты взрывчатых материалов промышленного назначения», утвержденный приказом Ростехнадзора от 08.12.2020 № 503 (зарегистрирован Минюстом России 24.12.2020, рег. № 61765);

«Требования к регистрации объектов в государственном реестре опасных производственных объектов и ведению государственного реестра опасных производственных объектов», утвержденные приказом Ростехнадзора от 30.11.2020 № 471 (зарегистрирован Минюстом России 18.12.2020, рег. № 61590);

Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности складов нефти и нефтепродуктов», утвержденные приказом Ростехнадзора от 15.12.2020 № 529;

Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Общие правила взрывопожаробезопасности для взрывопожаробезопасных химических, нефтехимических, и нефтеперерабатывающих производств», утвержденные приказом Ростехнадзора от 15.12.2020 № 533;

Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасного ведения газоопасных, огневых и ремонтных работ», утвержденные приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15.12.2020 № 528;

Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности при использовании оборудования, работающего под избыточным давлением» утвержденные приказом Ростехнадзора от 15.12.2020 № 536;

Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности», утвержденные приказом Ростехнадзора от 15.12.2020 № 534;

Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Основные требования к проведению неразрушающего контроля технических устройств, зданий и сооружений на опасных производственных объектах», утвержденные приказом Ростехнадзора от 01.12.2020 № 478;

Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности химически опасных производственных объектов», утвержденные приказом Ростехнадзора от 07.12.2020 № 500;

Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при производстве, хранении, транспортировании и применении хлора», утвержденные приказом Ростехнадзора от 03.12.2020 № 486;

Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности процессов получения или применения металлов», утвержденные приказом Ростехнадзора от 09.12.2020 № 512;

Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Обеспечение промышленной безопасности при организации работ на опасных производственных объектах горно-металлургической промышленности», утвержденные приказом Ростехнадзора от 13.11.2020 № 440;

Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности взрывопожароопасных производственных объектов хранения и переработки растительного сырья», утвержденные приказом Ростехнадзора от 03.09.2020 № 331;

Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения», утвержденные приказом Ростехнадзора от 26.11.2020 № 461.

### **Литература**

1. ГОСТ Р 22.0.05-94. Техногенные ЧС. Термины и определения.
2. Коробовский А.А., Богданов Е.А. Общие вопросы промышленной безопасности: учебное пособие, – 6-е изд., испр. и доп. – Архангельск: Издательский дом САФУ, 2015. – 248 с.
3. Е.В. Глебова, А.В. Коновалов Основы промышленной безопасности. Учебное пособие. М: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2015.-171с.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие производства и объекты считаются "взрывоопасными" в соответствии с "Правилами по обеспечению промышленной безопасности взрывоопасных химических производств и объектов"?
2. В каком случае допускается эксплуатация трубопроводов после истечения срока службы?
3. Что представляет собой химически опасный объект?
4. Чем может сопровождаться химическая авария химически опасном объекте?
5. Назовите примеры химически опасных объектов.
6. Назовите 4 степени химической опасности для объектов экономики.
7. Что можно отнести к числу наиболее значимых загрязнителей среды обитания человека?
8. Что можно считать основным показателем степени опасности химически опасных объектов?
9. Когда было построено и введено в эксплуатацию подавляющее большинство химических объектов?
10. Какие бывают аварии с выбросом (угрозой выброса) АХОВ?

### **Задания для самостоятельной работы**

1. Проработать конспект лекции №7.
2. Составить краткий конспект лекции.
3. Рукописный вариант конспекта лекции №7 отсканировать и выслать на проверку (tug53@mail.ru).

## Лекция 8

### Терроризм.

#### План

- 8.1. Хронология террористических актов в России.
- 8.2. Правила поведения людей во время террористического акта.

#### **8.1. Хронология террористических актов в России.**

3 сентября в стране отмечают День солидарности в борьбе с терроризмом.

Большая часть терактов в России прихлась на 90-е и первую половину 2000-х. Одна из самых страшных страниц — захват заложников 1 сентября 2004 года в школе города Беслана. В результате террористического акта погибли 333 человека, из них — 186 детей. Штурм школы произошел 3 сентября, именно эту дату выбрали для Дня солидарности в борьбе с терроризмом. С 2005 года в России вспоминают жертв терактов, когда-либо совершенных на территории страны. 5-tv.ru рассказывает о самых жестоких терактах в истории современной России.

#### **8.2. Правила поведения людей во время террористического акта.**

##### **Захват больницы в Буденновске в 1995-м**

В 1995-м группа террористов из 195 человек под командованием Шамиля Басаева захватила 1200 жителей города Буденновска, которых согнали в местную больницу. Тех жителей города, которые отказывались идти, расстреливали. В начале у террористов было много требований, но главное — вывод российских войск из Чечни. Басаев, удерживая заложников в больнице, охотно общался с журналистами. И за развитием событий у экранов телевизоров следила вся страна.



Освобождение заложников из больницы в Буденновске 19 июня 1995-го.  
Фото: ИТАР-ТАСС / Сергей Величкин / Николай Малышев.

Премьер-министр Черномырдин вступил в переговоры с боевиком. Басаев требовал, чтобы разговор проходил в прямом эфире. После этого прецедента, в 2006-м в России приняли закон «О противодействии терроризму». В 16-й статье говорится, что ведение переговоров возможно, но «специально уполномоченными на то руководителем контртеррористической операции». Во время теракта в Буденновске погибли 129 человек.

## Взрывы жилых домов в 1999-м

В сентябре 1999-го произошла серия взрывов жилых домов в Москве, Буйнакске и Волгодонске. С 4 по 16 сентября террористы подорвали четыре многоквартирных дома. Первый взрыв прогремел в дагестанском городе Буйнакск 4 сентября: жертвами стали 64 человека. Второй взрыв произошел 8 сентября в Москве на улице Гурьянова, в результате чего два подъезда дома были уничтожены, погибли 100 человек. На месте взрыва специалисты обнаружили следы гексогена. Изготовить его в домашних условиях невозможно. До сих пор нет ответа на вопрос, где террористы могли достать вещество.

Третий террористический акт снова произошел в столице 13 сентября в жилом доме на Каширском шоссе. Здание было полностью разрушено, погибли 124 человека. Четвертый взрыв прогремел в Волгодонске 16 сентября, погибли 18 человек. На местах всех разрушенных взрывами домов открыли памятники жертвам и разбили скверы.

## Захват театра на Дубровке в 2002-м

Захват заложников во время мюзикла «Норд-Ост» в московском театре на Дубровке произошел 23 октября 2002-го. 40 террористов во главе с Мовсаром Бараевым в течение трех дней удерживали 916 человек. При штурме здания силовики использовали газ, он позволил уничтожить боевиков, однако из-за этого же газа погибла часть заложников. По официальным данным, жертвами теракта стали 130 человек.



Фотографии погибших в теракте в театре на Дубровке на стене мемориала «В память о жертвах терроризма» в Москве. Фото: ТАСС / Сергей Савостьянов

## Захват школы в Беслане в 2004-м

Утром 1 сентября 2004-го во время линейки по случаю Дня знаний группа террористов под руководством Руслана Хучбарова захватила 1100 заложников. 3 сентября в школе прогремело несколько взрывов, начался пожар. Во время штурма погибли 333 человека, большинство из них — дети. Также во время спецоперации погибли 10 сотрудников ФСБ. Они прикрывали собой детей, выводя из здания школы.



После трагедии было заложено кладбище «Город ангелов», где похоронено большинство жертв теракта. В 2005-м на территории мемориала открыли памятник «Древо скорби» в виде бронзовой статуи, состоящей из фигур женщин с поднятыми к небу руками, из которых разлетаются ангелы — погибшие дети Беслана. Здание школы решили не реставрировать, а над спортивным залом, где держали заложников, возвели купол, под которым расположился мемориал. Школа № 1 города Беслана существует до сих пор, но уже в новом здании.

### **Взрывы в московском метро**

Первый раз в истории современной России поезда подземки взорвали в 1996-м. Самодельное взрывное устройство было спрятано в сиденье поезда московского метрополитена, двигавшегося с «Тульской» в сторону станции «Нагатинская». В результате теракта погибли четыре человека. Ответственность за теракт взяли на себя террористы из Чечни.

Следующая трагедия произошла не в метро, а в подземном переходе к станциям «Пушкинская», «Тверская» и «Чеховская». 8 августа 2000-го из-за взрыва погибли 13 человек, ранено — 118.

6.февраля 2004-го в поезде, следовавшего от станции «Автозаводская» до «Павелецкой» произошел очередной взрыв. Теракт унес жизни 41 человека, а пострадавших было более 250. Серия взрывов в московском метрополитене произошла в 2010-м. Сразу на двух станция «Лубянка» и «Парк культуры» произошли мощные взрывы, которые унесли жизни 41 человека. На всех станциях метро, где произошли террористические акты, установлены памятные таблички с именами жертв трагедий.

Взрывы в поезде «Невский экспресс» в 2007-м и 2009-м

«Невский экспресс» подрывали несколько раз. Первый теракт произошел в 2007-м, в результате чего поезд сошел с рельсов. Было ранено 60 человек. Следующий теракт с «Невским экспрессом» произошел два года спустя 27 ноября 2009-го. Возле деревни Лыкошино в 21:30 по московскому времени раздался взрыв, из-за чего четыре последних вагона сошли с рельсов и перевернулись.



Один из четырех перевернувшихся вагонов во время взрыва в поезде «Невский экспресс» в 2009-м. Фото: ИТАР-ТАСС/ Вадим Жернов

В результате подрыва экспресса погибли 28 человек, а пострадали более 132. 78-летняя пенсионерка Ирина Голубева, дом которой находился вблизи от железной дороги и пострадал из-за крушения поезда, оказывала помощь



раненым и стала известна на всю страну. Женщину отблагодарили РЖД и построили ей новый дом. Также на месте трагедии установили памятную табличку.

### Теракт в аэропорту Домодедово в 2011-м

Взрыв в зале ожидания столичного аэропорта произошел 24 января 2011-го. Зал моментально затянуло дымом, людей эвакуировали, а большую часть рейсов направили в аэропорт Шереметьево.

На месте взрыва погибли 35 человек, двое скончались в больнице. Травмы различной степени тяжести получили 170 человек.

### СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Всё о Земле. Определение возраста горных пород. Дата обращения: 17 апреля 2019. Архивировано 22 апреля 2017 года.
2. Геохронология // Большая советская энциклопедия : [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров. — 3-е изд. — М. : Советская энциклопедия, 1969—1978.
3. ГОСТ 22.0.03-97. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения п. 3.1.6.
4. Неровных А.Н., Заворотный А.Г., Бутенко В.М. О 60 Опасные природные процессы: учеб. пособие / А.Н. Неровных, А.Г. Заворотный, В.М. Бутенко, В.В. Сарычев, С.А. Резниченко. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. – 306 с.
5. Оценка неканцерогенного риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду // Н.В. Степанова, Э.Р. Валеева, Фомина С.Ф., – Казань: К(П)ФУ. – ИФМиБ. – 2015. – 112 с.
6. Материал из Википедии (свободной энциклопедии): <https://ru.wikipedia.org/wiki/Землетрясение>.
7. Болт Б. А. Землетрясения. М.: Изд-во «Мир», 1981. 256 с.
8. Викулин А.В. Физика Земли и геодинамика. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамГУ им. Витуса, 2009. 464 с.
9. Кузнецов В.В. Ударно-волновая модель землетрясения. Сильные движения землетрясения как выход ударной волны на поверхность // Физическая мезомеханика. 2009. Т. 12. №. 6. С. 87-96.
10. Смирнов С.Б. Ударно-волновая концепция сейсмического разрушения сооружений // Энергетическое строительство. 1992. № 9. С. 70-73.
11. Якушова А. Ф., Хаин В.Е., Славин В. И. Общая геология. Под редакцией В. Е. Хаина. стр. 140. Классификация вулканических извержений. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – 448 с. ISBN 5-211-00131-1.
12. Абрамов В.В. Безопасность жизнедеятельности, М. 2013год, 365 с.
13. Гусяков В.К. Сильнейшие цунами мирового океана и проблема цунами-районирования морских побережий, М. 2013 год, 46 с.
14. Безопасность жизнедеятельности: Учебник для вузов / Л. А. Михайлов, В. П. Соломин. А. Л. Михайлов А. В. Старостенко и др. – СПб.: Питер, 2006 – 302 с.: ил.
15. Кириллов П.Л., Богословская Г.П. Теплообмен в ядерных энергетических установках. – М.: ИздАт, 2008–256 с.

16. Теплообмен в ядерных энергетических установках. /Б. С. Петухов, Л. Г. Генин, С. А. Ковалёв, С. Л. Соловьёв. – М.: Издательство МЭИ, 2003. – 548 с.
17. Заметки о некоторых аспектах парового взрыва / Ю. А. Зейгарник, Ю. П. Ивочкин, В. С. Григорьев, А. А. Оксман. // ТВТ, 2008. – Т. 46, № 5. – С.797-800.
18. Об одном возможном механизме инициирования (триггеринга) парового взрыва / В. В. Глазков и др. // ТВТ, 2006. – Т. 44, № 6. – С. 913-917.
18. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Учебное пособие в 4-х книгах. Книга 1 / Под ред. В.А. Котляревского. – М.: Издательство АСВ, 1995. – 320 с. с ил.
19. Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко. – Изд. 3-е, переработанное. – В 2 т. Т. 1 – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 832 с.
20. Гельфанд Б.Е., Сильников М.В. Баротермическое действие взрывов. – СПб.: Астерион, 2006. – 658 с., ил.
21. Гельфанд Б.Е., Сильников М.В. Объемные взрывы: монография. – СПб.: Астерион, 2008. – 374 с., илл.
22. Гражданская защита. Энциклопедия / Под общ. ред. Шойгу С. К.; МЧС России. – Москва: Московская типография № 2, 2006. – Т. 1. – 568 с. – 3000 экз. – [ISBN 5-86472-158-1](https://doi.org/10.1007/978-5-86472-158-1).
23. ИНЕС международная шкала ядерных и радиологических событий.
24. Гусев Н. Г., Климанов В. А., Машкович В. П., Суворов А. П. Защита от ионизирующих излучений. В 2-х томах. М., Энергоатомиздат, 1989.
25. Ионизирующие излучения и их измерения. Термины и понятия. М.: Стандартинформ, 2006.
26. ВОЗ/МАГАТЭ/ПРООН. Чернобыль: истинные масштабы аварии. [www.who.int](http://www.who.int) (5 сентября 2005).
27. ИБРАЭ РАН. Чернобыль между домыслами и фактами. [www.ibrae.ac.ru](http://www.ibrae.ac.ru) (2001).
28. А.М.Аганов, Г.А.Новиков, Р.В.Арутюнян, Е.М.Мелихова. Кто помог создать «чернобыльский миф»? [www.proatom.ru](http://www.proatom.ru) (8 ноября 2005).
29. Абагян А. А., Асмолов В. Г., Гуськова А. К. Информация об аварии на Чернобыльской АЭС и её последствиях, подготовленная для МАГАТЭ // Атомная энергия. — 1986. — Ноябрь (т. 61, вып. 5). — С. 301—320. — [ISSN0004-7163](https://doi.org/10.1007/978-5-86472-158-1).
30. «О причинах и обстоятельствах аварии на 4 блоке чернобыльской АЭС 26 апреля 1986 г.». Доклад Комиссии Госпроматомнадзора СССР, 1991 (Приложение I к INSAG-7). ГОСТ Р 22.0.05-94. Техногенные ЧС. Термины и определения.
31. Коробовский А.А., Богданов Е.А. Общие вопросы промышленной безопасности: учебное пособие,— 6-е изд., испр. и доп. – Архангельск: Издательский дом САФУ, 2015. – 248 с.
32. Е.В. Глебова, А.В. Коновалов. Основы промышленной безопасности. Учебное пособие. М: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2015.-171с.



Учебное издание

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
к конспекту лекций  
по дисциплине  
**«ИСТОРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ  
КАТАСТРОФ»**

для студентов направления подготовки  
44.03.04 Профессиональное обучение (по отраслям)

С о с т а в и т е л ь:

Владимир Васильевич Тугай  
Александр Михайлович Иваненко

Печатается в авторской редакции.  
Компьютерная верстка и оригинал-макет автора.

Подписано в печать \_\_\_\_\_  
Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага типограф. Гарнитура Times  
Печать офсетная. Усл. печ. л. \_\_\_\_\_. Уч.-изд. л. \_\_\_\_\_  
Тираж 100 экз. Изд. № \_\_\_\_\_. Заказ № \_\_\_\_\_. Цена договорная.

Издательство Луганского государственного  
университета имени Владимира Даля

*Свидетельство о государственной регистрации издательства  
МИ-СРГ ИД 000003 от 20 ноября 2015г.*

**Адрес издательства:** 91034, г. Луганск, кв. Молодежный, 20а  
**Телефон:** 8 (0642) 41-34-12, **факс:** 8 (0642) 41-31-60  
**E-mail:** [uni@snu.edu.ua](mailto:uni@snu.edu.ua)    **http:** [www.snu.edu.ua](http://www.snu.edu.ua)