

**КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**ИНСТИТУТ УПРАВЛЕНИЯ, ЭКОНОМИКИ И ФИНАНСОВ**  
*Кафедра природообустройства и водопользования*

**О.Ю. ДЕРЕВЕНСКАЯ**

**ПРИРОДНЫЕ КАТАСТРОФЫ  
И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯ**

**Казань – 2022**

**УДК 502.3**  
**ББК ШЗ(4)**

*Принято на заседании учебно-методической комиссии ИУЭФ  
Протокол № 2 от 26 сентября 2022 года*

**Рецензенты:**

кандидат биологических наук, доцент  
кафедры природообустройства и водопользования КФУ **Э.Г. Набеева**;  
кандидат биологических наук, генеральный директор  
ООО «НПЦ «Экологическая аудиторская компания» **Ф.Ф. Бариева**

**Деревенская О.Ю.**

**Природные катастрофы и их последствия** / О.Ю. Деревенская. –  
Казань: Казан. ун-т, 2022. – 165 с.

Человечество на протяжении всей своей истории постоянно подвергается воздействию разнообразных катастроф. Они уносят тысячи человеческих жизней, наносят огромный экономический ущерб, вызывая масштабные разрушения. Каждая чрезвычайная ситуация имеет свои причины, по-своему воздействует на человека и созданную им инфраструктуру. В настоящем учебном пособии рассмотрены природные катастрофы, а также последствия, которые они вызывают и методы их предупреждения.

Настоящее учебное пособие адресовано, в первую очередь, студентам, обучающимся по магистерским программам «Безопасность и реабилитация территорий природных и техногенных катастроф», «Урбоэкология», направлению «Природообустройство и водопользование», а также широкому кругу читателей, интересующихся указанными проблемами.

© Деревенская О.Ю., 2022  
© Казанский университет, 2022

## Содержание

Введение.....	5
1. Чрезвычайные ситуации и их последствия.....	7
1.1. Основные понятия и определения.....	7
1.2. Классификация чрезвычайных ситуаций.....	10
1.3. Предупреждение и прогнозирование опасных природных и техногенных процессов и явлений.....	12
2. Общие сведения о природных катастрофах и их последствиях..	16
3. Опасные геофизические явления.....	22
3.1. Землетрясения.....	22
3.1.1. Классификация землетрясений.....	22
3.1.2. Сейсмические волны и сейсмические шкалы.....	23
3.1.3. Географическое распространение землетрясений.....	32
3.1.4. Последствия землетрясений.....	34
3.1.5. Изучение и прогноз землетрясений.....	36
3.2. Извержения вулканов.....	38
3.2.1. Вулканическая деятельность и ее причины.....	38
3.2.2. Распространение вулканов на земной поверхности.....	40
3.2.3. Классификация по форме вулкана.....	42
3.2.4. Продукты вулканических извержений.....	43
3.2.5. Мониторинг вулканической активности.....	44
3.2.6. Поствулканические явления.....	47
3.2.7. Последствия извержений вулканов.....	52
4. Опасные геологические явления.....	55
4.1. Оползни.....	55
4.2. Обвалы.....	61
4.3. Сели.....	62
4.3.1. Причины возникновения селей.....	62
4.3.2. Классификация селей.....	65

4.3.3.	Методы борьбы с селями.....	66
4.4.	Снежные лавины.....	85
5.	Гидрологические опасные явления. Наводнения, защита от наводнений.....	89
6.	Опасные гидрометеорологические явления.....	99
6.1.	Буря, ураган, тайфун, смерч, штормовой нагон, цунами.....	99
6.2.	Опасные агрометеорологические явления.....	113
7.	Пожары.....	116
8.	Опасные космические явления.....	122
9.	Биологические опасные явления.....	131
9.1.	Эпизоотии.....	131
9.2.	Эпифитотии.....	140
10.	Проблемы прогноза, профилактики и защиты людей и материальных ценностей от стихийных бедствий.....	144
	Заключение.....	160
	Список использованных источников	161

## Введение

На протяжении всей своей истории человечество сталкивалось с катастрофами природного и техногенного характера. Наиболее крупные и значимые, для людей того времени, природные катастрофы нашли свое отражение в мифах, легендах, древних рукописях.

Рост технического прогресса не привел к уменьшению числа природных катастроф. Стоит признать, что защищенность человека от неблагоприятных природных событий существенно выросла. Однако, природные катастрофы и в наши дни нередко становятся причиной многочисленных человеческих жертв, наносят огромный материальный ущерб. Причин, по которым природные катастрофы продолжают наносить весьма существенный урон, несколько. Во-первых, население Земли существенно увеличилось и сейчас составляет около 8 миллиардов человек. Следовательно, люди вынуждены осваивать неудобные для жизни территории, строить жилые дома и промышленные объекты на территориях, подверженных воздействию опасных природных явлений. Осваиваются месторождения полезных ископаемых на крайнем Севере, на арктическом шельфе и в других местах со сложными природными условиями. Во-вторых, многие опасные природные явления сложно предсказать и невозможно с ними бороться. В этих случаях основное внимание должно уделяться мониторингу опасных природных явлений, выявлению предвестников событий с целью своевременного оповещения населения и организации эвакуации из опасных районов. Снизить ущерб от опасных природных явлений позволяет специальный комплекс мероприятий и специальных защитных объектов, создаваемых на потенциально опасных территориях с целью обеспечения сохранности и устойчивости инженерных сооружений и экосистем. В-третьих, деятельность человека уже привела к существенным изменениям в окружающей среде, проявившимся в глобальном изменении климата. Следствием этого стало уве-

личение частоты возникновения опасных природных явлений, появление их в тех регионах, в которых они раньше не наблюдались. В-четвертых, деятельность человека, особенно связанная с добычей полезных ископаемых, может провоцировать возникновение некоторых опасных природных явлений, например, землетрясений.

Эти и другие причины подтверждают необходимость изучения опасных природных явлений, осуществления постоянного мониторинга, особенно в местах их частых проявлений, создания технологий и сооружений, направленных на защиту населения, промышленных объектов и жилых зданий от их воздействия, разработки мероприятий по предупреждению, а в случае необходимости, и эвакуации населения в безопасные районы.

Данное учебное пособие разработано в соответствии с Федеральным Государственным образовательным стандартом ВО по направлению магистратуры 20.04.02 «Природообустройство и водопользование», профиль «Безопасность и реабилитация территорий природных и техногенных катастроф» (1 курс). Содержание соответствует рабочей программе дисциплины «Природные катастрофы и их последствия».

# 1. ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯ

## 1.1. Основные понятия и определения

Чрезвычайные ситуации (ЧС) в мирное время могут возникнуть в результате производственных аварий, катастроф, стихийных бедствий, конфликтов (диверсий, террористических актов) и в военное время - при изменении современных средств поражения.

**Чрезвычайная ситуация** - это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей [6, 24]. Под территорией понимается совокупность земельного, водного и воздушного пространства, объектов производственного и социального назначения, а также объектов окружающей среды.

Причинами возникновения ЧС являются их источники.

**Источник чрезвычайной ситуации (ИЧС)** – это опасное природное явление, техногенное происшествие, широко распространенное инфекционное заболевание людей и животных, а также применение современных средств поражения, в результате чего возникла или может возникнуть ЧС.

Главным свойством ИЧС является его опасность. По этой причине ИЧС часто называют опасностью.

*Опасность* (в общем смысле слова) - это негативное свойство живой и неживой природы, характеризующее ее способность причинять ущерб людям, объектам экономики и окружающей природной среде. Применительно к ИЧС опасность это состояние, при котором возникают или могут возникать поражающие факторы источника.

*Поражающий фактор* (ПФ) — это возникающее в результате действия ИЧС явление (или процесс), которое характеризуется физическим,

химическим или биологическим поражающим действием. Поражающее воздействие ИЧС представляет собой негативное влияние одного или нескольких ПФ на людей, объекты или окружающую среду [3].

Наличие ИЧС на какой-либо территории также придает этой территории свойство опасности (статус опасной территории). К территориям повышенной опасности относятся районы загрязнения окружающей среды и возможных ЧС, а также районы военных действий или активной террористической деятельности.

Будучи носителем опасности, ИЧС реализует ее в определенных условиях путем генерации полей поражающих факторов, создающих угрозу поражающего воздействия на людей, объекты и окружающую среду. При этом конкретный ИЧС может создавать в окружающей его среде несколько ПФ разной природы и интенсивности (например, при аварии на взрывоопасном объекте возникают ударная волна, тепловой импульс, осколочное поле).

Генерация тех или иных ПФ и их интенсивность полностью определяются совокупностью свойств ИЧС и среды распространения ПФ.

Опасности (ИЧС) представляют угрозу только в том случае, если они могут причинить ущерб конкретным объектам при воздействии на них.

Угроза возникновения ущерба зависит прежде всего от географического (геометрического) фактора, т.е. взаимного расположения ИЧС и объектов (людей), начальной интенсивности ущербобразующего воздействия, степени устойчивости объектов, наличия защиты.

*Ущерб* это результат изменения состояния людей и объектов, выражаемый в прекращении или нарушении их нормального функционирования, или, другими словами, все фактические или возможные материальные и социальные потери, возникающие в результате действия ИЧС.



Ущерб (прямой, косвенный) всегда оценивается в натуральном или стоимостном выражении и фактически представляет оцененные последствия.

*Прямой ущерб* - убытки и потери социальной сферы, населения, всех структур экономики, окружающей природной среды, попавших в зону действия ПФ. Они складываются из невозвратных потерь основных фондов, оцененных убытков природных ресурсов и убытков, вызванных этими потерями (например, недобор предприятиями прибыли, государством налогов и пр.), ущерба, причиненного жизни и здоровью людей.

*Косвенный ущерб* - это потери, убытки и дополнительные затраты, которые понесут не попавшие в зону действия ПФ и ЧС объекты экономики, социальная сфера, население, а также вызванные нарушениями и изменениями в сложившейся структуре взаимосвязей дополнительные затраты на социальные программы, ликвидацию последствий и нормализацию обстановки.

Полный ущерб является суммой прямого и косвенного ущербов. Фактически он определяет масштаб последствий ЧС.

Таким образом, при возникновении ИЧС его опасность реализуется в виде генерируемых в окружающей среде ПФ, от интенсивности, масштабов и продолжительности действия которых зависят масштабы и последствия ЧС.

Ущерб приводит как к материальным потерям, так и к социальным (снижение средней ожидаемой продолжительности жизни в результате гибели, травмирования, заболеваний и т.д.).

Любой ИЧС характеризуется местом, временем его возникновения и мощностью, выражаемой в тех или иных единицах (балльность землетрясений, ветров и морских волнений, высота подъема воды при наводнениях, энергия взрыва и т.д.). Действие источника через ПФ описывается механизмами поражения, длительностью действия и интенсивностью воздействующих на объект ПФ. Совокупность этих характеристик и определяет тот ущерб, который сопутствует возникновению ЧС [3].

## 1.2. Классификация чрезвычайных ситуаций

ЧС могут быть классифицированы (систематизированы) по значительному числу признаков, описывающих эти сложные явления с различных характерных сторон их природы и свойств. Для практических же целей наиболее целесообразна общая классификация ЧС по типам и видам, лежащих в основе чрезвычайных событий. Такая классификация является наиболее обобщающей, т.к. раскрывает сущность и характер базовых явлений, складывающихся при ЧС.

Общая классификация делит все ЧС на следующие группы:

- 1) ЧС техногенного характера;
- 2) ЧС природного происхождения;
- 3) ЧС биолого-социального характера;

Любая ЧС после возникновения характеризуется прежде всего масштабами и последствиями.

**Пространственный масштаб** обусловлен размерами зоны ЧС.

**Зона чрезвычайной ситуации** – это территория или акватория на которой в результате появления источника чрезвычайной ситуации и распространения его последствий из других районов возникла ЧС.

**Временной масштаб** ЧС характеризуется сроками восстановления потерь, нормализацией обстановки и полнотой восстановления.

В зависимости от тяжести последствий с учетом масштабов распространения ЧС подразделяются на шесть классов [16]. Чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера подразделяются на:

а) чрезвычайную ситуацию локального характера, в результате которой территория, на которой сложилась чрезвычайная ситуация и нарушены условия жизнедеятельности людей (далее - зона чрезвычайной ситуации), не выходит за пределы территории объекта, при этом количество людей, погибших или получивших ущерб здоровью (далее - количество пострадавших), составляет не более 10 человек либо размер ущерба окружающей

природной среде и материальных потерь (далее - размер материального ущерба) составляет не более 100 тыс. рублей;

б) чрезвычайную ситуацию муниципального характера, в результате которой зона чрезвычайной ситуации не выходит за пределы территории одного поселения или внутригородской территории города федерального значения, при этом количество пострадавших составляет не более 50 человек либо размер материального ущерба составляет не более 5 млн. рублей, а также данная чрезвычайная ситуация не может быть отнесена к чрезвычайной ситуации локального характера;

в) чрезвычайную ситуацию межмуниципального характера, в результате которой зона чрезвычайной ситуации затрагивает территорию двух и более поселений, внутригородских территорий города федерального значения или межселенную территорию, при этом количество пострадавших составляет не более 50 человек либо размер материального ущерба составляет не более 5 млн. рублей;

г) чрезвычайную ситуацию регионального характера, в результате которой зона чрезвычайной ситуации не выходит за пределы территории одного субъекта Российской Федерации, при этом количество пострадавших составляет свыше 50 человек, но не более 500 человек либо размер материального ущерба составляет свыше 5 млн. рублей, но не более 500 млн. рублей;

д) чрезвычайную ситуацию межрегионального характера, в результате которой зона чрезвычайной ситуации затрагивает территорию двух и более субъектов Российской Федерации, при этом количество пострадавших составляет свыше 50 человек, но не более 500 человек либо размер материального ущерба составляет свыше 5 млн. рублей, но не более 500 млн. рублей;

е) чрезвычайную ситуацию федерального характера, в результате которой количество пострадавших составляет свыше 500 человек либо размер материального ущерба составляет свыше 500 млн. рублей [16].

Каждый класс в зависимости от величины ущерба характеризуется тремя параметрами:

- 1) Числом пострадавших людей;
- 2) Размером материального ущерба;
- 3) Масштабом зоны ЧС.

Наиболее тяжелыми являются масштабные ЧС (межрегиональные, федеральные). Если ЧС первых трех классов проходят достаточно часто, то масштабные – редко. Однако, нельзя исключать их появление в будущем.

### **1.3. Предупреждение и прогнозирование опасных природных и техногенных процессов и явлений**

Группа информационных мероприятий защиты (мониторинг, прогнозирование, выявление и оценка радиационной, химической, биологической и прочих обстановок) непосредственно связана со сбором, обработкой, анализом, отображением и интерпретацией информации, необходимой для своевременного принятия органами управления РСЧС обоснованных решений по обеспечению защиты населения и территорий. Эти мероприятия и составляют информационное обеспечение защиты.

Мониторинг (от лат. monitor — «надзирающий») опасных процессов и явлений (далее — мониторинг) - это регулярные (постоянные) наблюдения, контроль, сбор и анализ информации об опасных процессах и явлениях, а также факторах, обуславливающих их формирование и развитие. В отличие от разных информационных систем (автоматизированного управления, автоматического регулирования и др.) задачи систем мониторинга ограничиваются только получения информации и, как правило, не затрагивают вопросов управления.

Мониторинг включает в себя следующие основные направления деятельности:

- наблюдение за воздействующими факторами;
- оценка фактического состояния объектов и природной среды;
- прогноз состояния природной среды и объектов.

Таким образом, мониторинг - это система наблюдения, оценки и прогноза состояния природной среды и объектов. Мониторинг подразделяется на природный и техногенный. Основная цель любого мониторинга - получение информации для своевременной разработки и проведения мероприятий по предупреждению возникновения ЧС. В случае же возникновения ЧС силы и средства мониторинга используются для отслеживания и анализа развития ситуации во времени (наряду с проводимой в этих же целях разведкой).

*Природный мониторинг* - это мониторинг опасных природных процессов и явлений. В настоящее время наиболее развитыми являются системы гидрометеорологического и сейсмического мониторинга. Контроль событий гидрологического и метеорологического характера осуществляется рассредоточенными по территории страны организациями Росгидромета (Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды). Система данного вида мониторинга в России включает в себя около 1500 гидрологических и метеорологических станций, около 2000 наблюдательных постов. Упомянутая система средств осуществляет наблюдение и оценку состояния атмосферы, почв, морской среды, рек и озер, сельскохозяйственных посевов, трансграничного переноса загрязняющих веществ. В ее обязанности входит представление сведений об опасных природных явлениях гидрометеорологического и аэрометеорологического характера, экстремальных загрязнениях природной среды, изменениях кли-

мата, о радиационной обстановке на поверхности Земли и в околоземном космическом пространстве.

Сейсмический мониторинг в нашей стране осуществляется федеральной системой сейсмических наблюдений. Наиболее мощными сейсмосетями обладают США, Япония и Китай. На территории США в настоящее время действует несколько тысяч стационарных сейсмостанций. В потенциально опасных районах (например, Калифорнии) среднее расстояние между станциями составляет всего 10 км. Очевидно, что сейсмосети должны контролировать большие территории, особенно в наиболее сейсмоопасных районах. С этой целью разрабатываются и постоянно совершенствуются карты сейсмического районирования, которые учитываются в строительных правилах и нормах [3].

*Техногенный мониторинг* включает в себя процедуры измерения параметров технологического процесса на объекте, выбросов вредных веществ, состояния окружающей среды на прилегающих к объекту за их пределами. Мониторинг, как правило, организуется на конкретных потенциально опасных объектах и в пределах их санитарно-защитных зон. Для АЭС обязательному мониторингу подлежит 30-километровая зона наблюдения и контроля территориях, а в случае аварии (в безаварийной ситуации).

*Комплексный мониторинг* радиоактивного и химического загрязнения является логичным развитием систем радиационного и химического контроля состояния окружающей среды. Его основное назначение наблюдение и контроль появления радиоактивных и вредных химических веществ в окружающей среде. Система сформирована в целях получения информации для принятия решений о проведении защитных и реабилитационных мероприятий в условиях радиоактивного и химического загрязнения окружающей среды.

Данные мониторинга и полученная в результате системная информация об опасных процессах и явлениях служат основой для прогнозирования ЧС и наблюдения за их изменением после возникновения.

Полученная информация не только отражает состояние, но и позволяет прогнозировать обстановку и ее развитие. Оценка прогнозируемой обстановки сводится к определению ожидаемого ущерба. Орган управления использует всю поступающую информацию для предупреждения ЧС, ограничения ее масштабов, принятия защитных мер.

Процесс прогнозирования ЧС по назначению логично разделить на два этапа:

- 1) прогнозирование возникновения ЧС;
- 2) прогнозирование сценариев развития и последствий ЧС.

Разные цели, объемы исходной информации, ее содержание и способы получения, с одной стороны, позволяют рассматривать эти этапы вполне самостоятельно; с другой стороны, оба этапа неразрывно связаны, являясь стадиями единого процесса - прогнозирования возникновения и развития ЧС.

Методы прогнозирования возникновения наиболее развиты применительно к ЧС природного характера, точнее к вызывающим их ИЧС. Для своевременного прогнозирования возникновения ЧС прежде всего необходима хорошо отлаженная система государственного мониторинга за предвестниками стихийных бедствий и техногенных происшествий изменениями в магнитном, электрическом, гравитационном полях Земли, в природной среде или технологических процессах на потенциально опасных объектах, которые появляются за некоторое время до наступления опасного события, но обусловлены им.

По времени упреждения прогнозы подразделяют на долгосрочный, средне- и краткосрочный. Для управления безопасностью населения и территорий прежде всего необходимо долгосрочное прогнозирование (до не-

скольких лет), проводимое в целях формирования государственной политики в области защиты населения, принятия стратегических решений (превентивных мер защиты). Краткосрочный прогноз (часы, дни) крайне необходим для принятия экстренных тактических мер по защите населения (например, эвакуация при землетрясении или наводнении).

Чрезвычайно важным элементом обеспечения безопасности людей является не только прогнозирование возможной опасности, но, что не менее важно, своевременное оповещение населения об этой опасности и умения населения правильно действовать по сигналам оповещения о ЧС.

Методы прогнозирования последствий хорошо развиты применительно как к природным ЧС, так и к техногенным. Основная цель этого прогнозирования заключается в определении возможного ущерба от ЧС и выработке мер по защите населения и территорий (смягчения ущерба) [3].

## **2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРИРОДНЫХ КАТАСТРОФАХ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯХ**

Под природными источниками чрезвычайных ситуаций (ИЧС) обычно понимают процесс, свойство или состояние определенных частей литосферы, гидросферы, атмосферы, представляющие угрозу для людей и объектов техносферы, т.е. природные процессы и явления, которые отклоняют состояние окружающей природной среды от оптимального для жизнедеятельности людей. Наиболее опасные из них называют стихийными бедствиями (СБ). Человечество страдает от таких СБ, как: землетрясения, вулканические извержения, наводнения, бури, ураганы, смерчи, шквалы, сильные метели, сели, оползни, карстовые явления, снежные заносы и лавины, обвалы, заморозки, засухи, лесные пожары, цунами, штормы, эпидемии, эпизоотии, эпифитотии и др.



*Стихийные бедствия* — это природные явления, которые носят чрезвычайный характер и приводят к нарушению нормальной жизнедеятельности населения, гибели людей, разрушению и уничтожению материальных ценностей. В течение последних десятилетий число природных катастроф выросло значительно. Стихийные бедствия могут возникать как независимо друг от друга, так и во взаимосвязи: одно из них может повлечь за собой другое. Стихийные бедствия страшны своей неожиданностью. За короткий промежуток времени они уничтожают жилища, имущество, коммуникации и другие элементы инфраструктуры. Затем следуют голод, инфекции, нищета.

Число видов опасных природных явлений (ОПЯ), с одной стороны, снижается по мере приспособления к ним технологий природопользования, повышения защищенности людей от действия неблагоприятных факторов, с другой стороны, увеличивается по мере появления индустриальных технологий, являющихся уязвимыми к помехам. Например, с появлением транспорта, транспортных магистралей, с увеличением скорости движения транспортных средств в разряд опасных перешли такие природные явления, как гололед, сильные снегопады, метели и туман [3].

В зависимости от действия во времени они бывают регулярные и нерегулярные.

*Регулярные*, или периодически действующие, ИЧС возникают практически в одни и те же сроки, а их интенсивность и масштаб могут быть благоприятно предсказаны (наводнения, паводок, затор, зажор и др.).

*Нерегулярно* действующие ИЧС возникают в случайные моменты времени. Время наступления таких явлений, как правило, заранее не может быть точно предсказано (землетрясения, природные пожары, эпидемии и др.), и потому они являются чрезвычайно опасными. Ряд ИЧС возникает в определенные сезоны (например, тропические циклоны - летом), но в пределах сезона предсказать момент времени их появления не всегда удается.

Воздействия ИЧС различаются по форме, продолжительности и интенсивности. По форме (механизму) воздействия они могут быть разрушительными (приводят к разрушению объектов техносферы - землетрясения, циклоны, штормы и др.), парализующими (остановка движения транспорта, нарушение работы сетей жизнеобеспечения и др. - снегопады, метели, туман, сильные морозы и др.) и истощающими (снижение урожая, плодородия почвы, запасов лесных ресурсов и др. - засухи, пыльные бури, пожары, эпидемии и др.).

Чаще всего формы воздействия оказываются многообразными. Например, высокое наводнение может быть разрушительным для города, парализующим для транспортной сети и истощающим для затопленных сельскохозяйственных посевов.

В зависимости от продолжительности воздействия различают кратковременно и продолжительно действующие ИЧС. Первые имеют длительность действия (существования) от секунд до часов. К ним относятся землетрясения, ураганы, циклоны, смерчи, волны прорывных паводков, сели, лавины и др. Как правило, они оказывают преимущественно разрушительное действие на объекты воздействия. Продолжительно действующие ИЧС оказывают длительное воздействие в течение времени от нескольких суток до недель и месяцев; такие ИЧС в основном являются парализующими или истощающими (наводнения, засухи, сильные морозы и др.) [3].

В настоящее время существует много классификаций стихийных бедствий. В МЧС России принята классификация в основе которой — причины (условия) возникновения опасных природных явлений. В соответствии с этой классификацией опасные природные явления подразделяются на:

1. Геофизические опасные явления (землетрясения, извержения вулканов).
2. Геологически опасные явления (оползни, сели, обвалы, лавины, эрозия и т.д.).

3. Метеорологические и агрометеорологические опасные явления (бури, ураганы, смерчи, сильный дождь, снегопад, гололед, мороз, сильная жара, засуха и т.д.).

4. Морские гидрометеорологические явления (тропические циклоны, цунами).

5. Гидрологические опасные явления (половодье, заторы и зажоры, ветровые нагоны, подтопление и т.д.).

6. Природные пожары (лесные пожары, торфяные пожары, подземные пожары горючих ископаемых и т.д.).

Стихийные бедствия, угрожая обитателям нашей планеты, могут приносить ущерб, размер которого зависит не только от интенсивности самих природных катастроф, но и от уровня развития общества и его политического устройства. Более 89% жертв природных катаклизмов приходится на страны с низкими доходами на душу населения.

Коллектив, возглавляемый учеными из Технологического института Карлсруэ (Германия), оценил экономический ущерб, который нанесли человечеству стихийные бедствия, произошедшие с 1900 по 2015 гг. Результаты исследования были представлены на встрече Европейского геофизического союза. Подсчитанный авторами исследования экономический ущерб составил 7 трлн дол. К этим выводам ученые пришли, проанализировав данные о 35 тыс. природных катастроф, произошедших за последние 100 лет и приведших к гибели более 8 млн человек.

В результате действия ИЧС возникают фактические или возможные материальные и социальные потери, называемые ущербом. Ущерб от природных ЧС определяется совокупностью характеристик ИЧС, выражаемой в тех или иных физических величинах (балльность землетрясений, ветров и морских волнений, высота подъема воды при наводнениях и т.д.). Ущерб всегда оценивается в натуральном или стоимостном выражении и фактиче-

ски представляет собой оцененные последствия. Различают прямой и косвенный ущерб.

Под *прямым ущербом* понимают убытки и потери социальной сферы, населения, всех структур экономики, ОПС, попавших в зону действия поражающих факторов. Они складываются из невозвратных потерь основных фондов, оцененных убытков природных ресурсов и убытков, вызванных этими потерями (например, недоход предприятиями прибыли, государством налогов и пр.), ущерба, причиненного жизни и здоровью людей.

*Косвенный ущерб* - это потери, убытки и дополнительные затраты, которые понесут объекты экономики, социальная сфера, население, не попавшие в зону действия поражающих факторов ИЧС, и вызванные нарушениями и изменениями в сложившейся структуре взаимосвязей, а также дополнительные затраты на социальные программы, ликвидацию последствий и нормализацию обстановки.

*Полный ущерб* является суммой прямого и косвенного ущербов. Фактически он определяет масштаб последствий ЧС.

Согласно мировым статистическим данным, количество опасных природных явлений возрастает ежегодно в среднем на 4%, а экономические потери от них – более чем на 10%. Следовательно, количество природных катастроф в мире может увеличиться к 2050 г. в четыре раза, а ущерб от их последствий - в девять раз. Впрочем, кое-какие хорошие новости все же есть. Несмотря на растущее число катастроф, от них гибнет все меньше людей, особенно в развитых странах, где своевременная эвакуация, прочные дома, спасательные службы и контроль эпидемий все лучше защищают граждан от разгула стихий. Важно не только количество бедствий, но и то, сколько людей в них пострадало. В России, например, эта цифра уменьшается. По данным МЧС РФ, с 2010 по 2015 г. в РФ произошло 1348 природных ЧС, в которых погибли 278 и пострадали 439 213 человек, то есть все говорит о том, что МЧС РФ может эффективно прогнозировать ЧС, вовремя

предупреждать население, обучать людей справляться с последствиями катастроф [3].

Все природные ЧС подчиняются некоторым общим закономерностям. Во-первых, для каждого вида ЧС характерна определенная пространственная приуроченность. Во-вторых, чем выше интенсивность (мощность) опасных природных явлений, тем реже оно случается. В-третьих, каждой ЧС предшествуют некоторые специфические признаки (предвестники). В-четвертых, при всей неожиданности той или иной ЧС ее проявление может быть предсказано. Наконец в-пятых, во многих случаях могут быть предусмотрены пассивные и активные защитные мероприятия от природных опасностей.

Между природными катастрофами существует определенная связь. В частности, выявлена тесная зависимость между землетрясениями и цунами, тропическими циклонами и наводнениями. Нередко традиционные катастрофы сопровождаются воздействиями, связанными с деятельностью человека. Например, землетрясения вызывают пожары, взрывы транспортируемого газа, возгорание нефтескважин, прорывы плотин. Вулканические извержения поражают пастбища, приводят к гибели скота, голоду. Паводок вызывает загрязнение почвенных вод удобрениями и иными химикатами, отравление колодцев, а также возрождение инфекций, заболеваний в связи с разрушением скотомогильников. Итак, можно говорить об ухудшении обстановки с природными катаклизмами, обусловленном многими причинами, и прежде всего мощным антропогенным воздействием на биосферу и глобальным потеплением климата.

Также известны многочисленные факты, когда нарушение равновесия в окружающей природной среде в результате деятельности человека приводило к усилению опасных воздействий. Так, согласно международной статистике, около 80% современных оползней связано с деятельностью человека [3].

## 3. ОПАСНЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

### 3.1. Землетрясения

#### 3.1.1. Классификация землетрясений

Подземные толчки и колебания земной поверхности, возникающие в результате внезапных смещений и разрывов в земной коре или верхней части мантии и передающиеся на большие расстояния в виде упругих колебаний, называют *землетрясением*. Наука, изучающая землетрясения, называется *сейсмологией*.

Землетрясения относятся к наиболее опасным и разрушительным стихийным бедствиям. Они способны вызывать другие стихийные бедствия, такие как оползни, лавины, сели, цунами, наводнения (из-за прорыва плотин), пожары (при повреждении нефтехранилищ и разрыве газопроводов), повреждения коммуникаций, линий энерго-, водоснабжения и канализации, аварии на химических предприятиях с истечением (разливом) химических опасных веществ, а также на АЭС с утечкой (выбросом) радиоактивных веществ в атмосферу и др. Ежегодно ученые-сейсмологи регистрируют около 1 млн сейсмических и микросейсмических колебаний земли. Порядка ста из них через тревогу и страх мобилизуют население на возможную встречу с опасным природным явлением, а 1000 способны причинить крупный ущерб [3, 19].

Район, где зарождаются колебания, называется очагом землетрясения, а его проекция на поверхность Земли – эпицентром землетрясения. Очаги большей части землетрясений лежат в земной коре на глубинах не более 16 км, однако в некоторых районах глубины очагов достигают 700 км. Ежедневно происходят тысячи землетрясений, но лишь немногие из них ощущаются человеком.

В зависимости от энергии землетрясений они условно подразделяются на сильные, слабые и микроземлетрясения. Термины «разрушительное» или «катастрофическое» используются по отношению к землетрясению лю-

бой энергии и природы, если оно сопровождалось разрушениями и гибелью людей. Колебания от землетрясений передаются в виде сейсмических волн [26].

По причинам возникновения землетрясения делятся на тектонические (в результате смещения тектонических плит), вулканические (в результате взрыва и движения продуктов извержения вулканов) и обвальные (провал или обвал грунта, создающие сеймоволну). Также они могут быть вызваны падением метеоритов наиболее часты на Земле тектонические землетрясения.

**Тектонические землетрясения** возникают вследствие внезапного снятия напряжения, например, при подвижках по разлому в земной коре (исследования последних лет показывают, что причиной глубоких землетрясений могут быть и фазовые переходы в мантии Земли, происходящие при определенных температурах и давлениях). Иногда глубинные разломы выходят на поверхность. Во время катастрофического землетрясения в Сан-Франциско 18 апреля 1906 общая протяженность поверхностных разрывов в зоне разлома Сан-Андреас составила более 430 км, максимальное горизонтальное смещение – 6 м. Максимальная зарегистрированная величина сейсмогенных смещений по разлому 15 м.

**Вулканические землетрясения** происходят вследствие резких перемещений магматического расплава в недрах Земли или в результате возникновения разрывов под влиянием этих перемещений.

**Техногенные землетрясения** могут быть вызваны подземными ядерными испытаниями, заполнением водохранилищ, добычей нефти и газа методом нагнетания жидкости в скважины, взрывными работами при добыче полезных ископаемых и пр. Менее сильные землетрясения происходят при обвале сводов пещер или горных выработок [9, 26].

### 3.1.2. Сейсмические волны и сейсмические шкалы

**Сейсмические волны.** Колебания, распространяющиеся из очага землетрясения, представляют собой упругие волны, характер и скорость

распространения которых зависят от упругих свойств и плотности пород. Скорость распространения упругих волн увеличивается прямо пропорционально квадратному корню значений параметров упругости и плотности среды.

Энергия от разрыва земной коры проходит сквозь толщу Земли в виде объемных упругих сейсмических волн двух типов, распространяющихся с разной скоростью во все стороны от очага землетрясения. Волны фиксируются на разных сейсмологических станциях, и по разнице во времени ученые вычисляют эпицентр землетрясения. Волна сжатия, или первичная продольная сейсмическая *P*-волна, вызывает колебания частиц пород, сквозь которые она проходит, вдоль направления распространения волны, обуславливая чередование участков сжатия и разрежения в породах. Она движется быстро, но не вызывает больших разрушений. На сейсмограммах эти волны появляются первыми. Это продольные волны, их называют также *P*-волнами, или первичными волнами. Их скорость зависит от модуля упругости и жесткости породы. Вблизи земной поверхности скорость *P*-волн составляет 6 км/с, а на очень большой глубине - около 13 км/с.

Следующая за ней *S*-волна сдвига, или поперечная сейсмическая волна, прогибает пласты горных пород вверх и вниз, как океаническая волна. Она приносит большую часть разрушительной энергии толчка. Вследствие этого происходит горизонтальное и вертикальное движение масс с поверхности Земли. При их прохождении каждая частица породы колеблется перпендикулярно направлению распространения волны. Их скорость зависит от сопротивления породы сдвигу и составляет примерно  $\frac{7}{12}$  от скорости распространения *P*-волн.

Существует ещё третий тип упругих волн – длинные или поверхностные волны (*L*-волны), возбуждаемые объемными волнами в земной коре. Из-за своей низкой частоты, времени действия и большой амплитуды они являются самыми разрушительными из всех типов сейсмических волн.



Поверхностные волны распространяются вдоль земной поверхности или параллельно ей и не проникают глубже 80-160 км. В этой группе выделяются волны Рэлея и волны Лява (названные по именам ученых, разработавших математическую теорию распространения таких волн). При прохождении волн Рэлея частицы породы описывают вертикальные эллипсы, лежащие в очаговой плоскости. В волнах Лява частицы породы колеблются перпендикулярно направлению распространения волн. Поверхностные волны часто обозначаются сокращенно как *L*-волны. Скорость их распространения составляет 3,2-4,4 км/с. При глубоководных землетрясениях поверхностные волны очень слабые [9].

Продольные и поперечные волны распространяются в толще Земли, при этом непрерывно увеличивается объем среды, вовлекаемой в колебательный процесс. Поверхность, соответствующая максимальному продвижению волн определенного типа в данный момент, называется фронтом этих волн. Поскольку модуль упругости среды возрастает с глубиной быстрее, чем ее плотность (до глубины 2900 км), скорость распространения волн на глубине выше, чем вблизи поверхности, и фронт волны оказывается более продвинутым вглубь, чем в латеральном (боковом) направлении.

Прибор, записывающий сейсмические колебания, называется сейсмографом, а сама запись - сейсмограммой. Сейсмограф состоит из маятника, подвешенного внутри корпуса на пружине, и записывающего устройства.

Часто форшоки и афтершоки называют чуть ли не главными предвестниками землетрясения.

**Форшок** – это термин английского происхождения, который характеризует небольшие толчки, являющиеся предвестниками большого землетрясения. Форшоки характерны не для всех землетрясений, они встречаются примерно в 40% средних подземных толчках и 70% больших. Предвестники могут появляться как за большие промежутки времени, так и за дни, минуты до основного события. Но при этом существуют катастрофические

землетрясения, при которых практически отсутствует форшоковая активность.

**Афтершок** – термин, обозначающий меньшие по силе подземные толчки, которые наступают после главного сейсмического события. Как показывает практика, афтершоки всегда сопровождают сильные землетрясения. Они работают по принципу затухания и могут периодически возникать на протяжении нескольких месяцев. В первые часы после высвобождения сейсмической энергии афтершоки особенно активны. История знает много случаев, когда именно эти отголоски, а не основное землетрясение, приводили к разрушению зданий. Особенно это опасно при проведении спасательных работ. Возникновение афтершоков связано не только с освобождением остаточного напряжения, но и с его распределением в связи с движением земной коры [9].

Очаг землетрясения – область возникновения подземного удара – представляет собой некоторый объем в толще земли, в пределах которого и происходит процесс высвобождения накапливающейся длительное время энергии. Размеры очага землетрясения могут быть от нескольких десятков метров до сотен километров. В геологическом смысле очаг – это разрыв или группа разрывов, по которым происходит почти мгновенное перемещение масс, быстрое смещение участка земной коры как целого в момент деформации упруго напряжённых пород в очаге землетрясения. Скольжению пород вдоль разлома вначале препятствует трение. Вследствие этого, энергия, вызывающая движение, накапливается в форме упругих напряжений пород. Когда напряжение достигает критической точки, превышающей силу трения, происходит резкий разрыв пород с их взаимным смещением; накопленная энергия, освобождаясь, вызывает волновые колебания поверхности земли – землетрясения. Землетрясения могут возникать также при смятии пород в складки, когда величина упругого напряжения превосходит предел прочности пород, и они раскалываются, образуя разлом.

В центре очага условно выделяется точка, именуемая гипоцентром. Проекция гипоцентра на поверхность земли называется эпицентром. Вокруг него располагается область наибольших разрушений. Глубина очага (гипоцентра) может колебаться в различных сейсмических районах от 0 до сотен километров (вплоть до 700 км). В зависимости от глубины очага землетрясения подразделяют на нормальные землетрясения (до 70 км), промежуточные (80-300 км) и 2 глубокие или, точнее, глубокофокусные (свыше 300 км). В нормальных очагах выделяется 3/4 общей сейсмической энергии. Большая часть очагов залегает в земной коре (на глубинах порядка 20-30 км), но иногда они возникают и у поверхности Земли [10].

Для оценки силы и воздействий землетрясений используются два типа шкал: шкалы магнитуд и шкалы интенсивности.

*Магнитуда землетрясения* – условная безразмерная величина, характеризующая общую энергию упругих колебаний, вызванных землетрясением. Она является относительной энергетической характеристикой землетрясения, объективно представляющей его как цельное, глобальное событие. Каждому конкретному землетрясению соответствует одна магнитуда. Среди первых сведений о произошедшем землетрясении становится известной именно его магнитуда, определяемая по сейсмограммам даже на больших расстояниях от эпицентра. Но она не является показателем интенсивности землетрясения, ощущаемой в конкретной точке на поверхности земли [2].

**Шкала Рихтера.** Наиболее популярной шкалой для оценки энергии землетрясений является шкала магнитуд Рихтера. Шкала была предложена американским сейсмологом Чарльзом Рихтером в 1935 году, поэтому в обиходе значения магнитуд называют шкалой Рихтера. Магнитуда связана с полной энергией землетрясения, но эта зависимость не прямая, а логарифмическая – она пропорциональна логарифму максимальной амплитуды определенного типа волн данного землетрясения. Эта величина определяется из наблюдений на сейсмических станциях по логарифму максимальной

амплитуды смещения частиц почвы. Существует несколько магнитуд и соответственно магнитудных шкал: локальная магнитуда (ML); магнитуда, определяемая по поверхностным волнам (Ms); магнитуда, определяемая по объемным волнам (mb); моментная магнитуда (Mw). Есть различия и в методах определения 4 магнитуд близких, удаленных, мелкофокусных (неглубоких) и глубокофокусных (глубоких) землетрясений. В основе локальной шкалы магнитуд Рихтера лежит величина максимальной амплитуды сейсмических волн, зарегистрированная стандартным сейсмографом на определенном расстоянии от эпицентра землетрясения. Она зависит от максимальной амплитуды смещения частиц почвы. Рихтер предложил для оценки силы землетрясения в его эпицентре использовать десятичный логарифм перемещения в микрометрах (A) иглы стандартного сейсмографа, расположенного на расстоянии не более 600 км от эпицентра, по эмпирической формуле  $ML = \lg A + f$ , где  $f$  – корректирующая функция, вычисляемая по таблицам в зависимости от расстояния сейсмографа до эпицентра. Энергия землетрясения при этом примерно пропорциональна  $A^{3/2}$ , то есть увеличение магнитуды на единицу соответствует увеличению амплитуды колебаний в 10 раз и увеличению энергии примерно в 32 раза.

Считается, что землетрясения более сильные, чем магнитудой 9 по шкале Рихтера, произойти на земле не могут по следующим причинам. Расчетами установлено, что размер очага землетрясения (то есть величина площади, на которой произошло смещение горных пород, которыми и определяется сила землетрясения и его энергия) при слабых, едва ощутимых человеком толчках измеряется в длину и по вертикали несколькими метрами. При землетрясениях средней силы размеры очага достигают уже километров. Очаги же при самых сильных, катастрофических землетрясениях могут иметь протяженность 500-1000 км и уходить далеко вглубь. У максимального из зарегистрированных на Земле землетрясений (Чили, 1960 г.) размеры очага ( $\sim 1000$  км  $\times$  100 км) близки к максимальным значениям,

известным ученым. Предполагается, что Земля не в состоянии (в физическом смысле) породить землетрясение более сильное, чем Чилийское. Однако шкала Рихтера изначально имела несколько существенных недостатков: Рихтер использовал для градуировки своей шкалы малые и средние землетрясения на территории Калифорнии, характеризовавшиеся малой глубиной очага; из-за несовершенства используемой аппаратуры шкала Рихтера была ограничена значением магнитуды 7; предложенный способ измерения учитывал только поверхностные волны, в то время как при глубинных землетрясениях существенная часть энергии выделяется в форме объёмных волн. В течение следующих нескольких десятков лет шкала Рихтера уточнялась и приводилась в соответствие с новыми наблюдениями. Сейчас существует несколько производных шкал, самыми важными из которых являются магнитуды объёмных волн ( $m_b$ ) и магнитуды поверхностных волн ( $M_s$ ). Однако эти шкалы плохо работают для самых крупных землетрясений.

**Сейсмический момент и шкала Канамори.** Для изучения процесса деформации в сейсмоактивных зонах часто пользуются такой характеристикой очага как сейсмический момент  $M$ , который определяется произведением модуля сдвига среды, среднего сдвига крыльев разлома и площади разлома. Сейсмический момент рассчитывается обычно по особенностям спектра объёмных или поверхностных сейсмических волн. На основании понятия сейсмического момента сейсмологом Хиро Канамори из Калифорнийского технологического института была предложена принципиально иная оценка интенсивности землетрясений. Такая шкала лучше подходит для оценки крупных землетрясений и в тоже время хорошо согласуется с более ранними шкалами при  $3 < M < 7$ . Магнитуда сильнейшего зарегистрированного землетрясения, происшедшего в Чили в 1960 году, равная 9 по шкале Рихтера, по шкале Канамори составляла 9.5.

**Интенсивность землетрясения** – качественная характеристика землетрясения, указывающая на характер и масштаб воздействия землетрясения на поверхность земли, на людей, животных, на естественные и искусственные сооружения в конкретной точке на поверхности земли. Интенсивность оценивается в баллах, выражающихся целыми числами без дробей. Определяется интенсивность при обследовании района, пострадавшего от землетрясения, или опросе жителей об их ощущениях при отсутствии разрушений, или же расчетами по эмпирически полученным и принятым для данного района формулам. Интенсивность проявления землетрясения в конкретном районе на поверхности зависит от магнитуды землетрясения, глубины гипоцентра, типа горных пород и расстояния до очага. В средствах массовой информации, оповещающих о сейсмических катастрофах, нередко путают магнитуду, являющуюся безразмерной величиной, и интенсивность, измеряемую в сейсмических баллах [10].

**Шкалы интенсивности.** Существует большое количество сейсмических шкал интенсивности, как с количественной, так и с описательной частями, в которых интенсивность колебания в конкретном месте оценивается по степени повреждений зданий, масштабу и формам проявления остаточных деформаций в грунте и другим показателям внешнего эффекта 5 землетрясений.

В мире используется несколько шкал интенсивности: в США – модифицированная шкала Меркалли (MM), в Европе – европейская макросейсмическая шкала (EMS), в Японии – шкала Японского метеорологического агентства (Shindo). В России применяется 12-балльная шкала MSK-64 (Медведева-Шпонхойера-Карника). Оценка интенсивности в сейсмических шкалах разных стран различна. Так как номер балла коррелируется со скоростью движения грунта, либо с его ускорением или смещением, то интенсивность землетрясений оценивается не только по результатам визуальных наблюдений, но и по показаниям приборов (сейсмографов, акселерографов

и др.), фиксирующих основные элементы колебательного процесса (смещение, скорость, ускорение), которые приобретают частицы грунта в момент землетрясения. Так, например, баллу 9 отвечает скорость колебаний частиц грунта порядка 24,1-48,0 мм/сек, ускорение – 241-480 см/сек<sup>2</sup>.

**Шкала 12-балльной сейсмической интенсивности MSK-64.** Интенсивность в баллах и соответствующая ей краткая характеристика воздействия землетрясения по этой шкале выглядят следующим образом. Классификация, принятая в шкале: объекты воздействия – а) люди и их окружение, б) сооружения, в) природные явления; количественные характеристики – отдельные (около 5%), многие (около 50%), большинство (около 75%); типы сооружений, возведенных без необходимых антисейсмических мероприятий – тип А (здания из ровного камня, сельские постройки, дома из кирпича-сырца, глинобитные дома), тип Б (обычные кирпичные дома, здания крупноблочного и панельного типа, фахверковые строения, здания из естественного тесаного камня), тип В (каркасные железобетонные здания, деревянные дома хорошей постройки); классификация повреждений сооружений – 1 степень (легкие повреждения), 2 степень (умеренные повреждения), 3 степень (тяжелые повреждения: большие и глубокие трещины в стенах, падение дымовых труб), 4 степень (разрушения: сквозные трещины и проломы в стенах, обрушение частей зданий, обрушение внутренних стен и стен заполнения каркаса), 5 степень (обвал, полное разрушение зданий) [10].

Между магнитудой, балльностью и глубиной очага землетрясения существует эмпирическая зависимость. Интенсивность тем больше, чем ближе очаг расположен к поверхности: так, например, если очаг землетрясения магнитудой 8 находится на глубине 10 км, то на поверхности в эпицентре интенсивность составит 11-12 баллов; при той же магнитуде, но на глубине 40-50 км воздействие на поверхности уменьшается до 9-10 баллов. По мере удаления от эпицентра интенсивность на поверхности земли будет спадать тем быстрее, чем глубже расположен очаг землетрясения.

Продолжительность землетрясений различна, число подземных толчков может быть огромно. Например, землетрясение, происшедшее на о. Лисса в Средиземном море, длилось три года, и общее число зафиксированных толчков за период 1870-1873 гг. составило около 86 тысяч [10].

**Катастрофические землетрясения.** Из огромного числа происходящих ежегодно землетрясений в среднем только одно имеет магнитуду равную или большую 8, десять – магнитуды 7-7.9, сто – магнитуды 6-6.9. Всякое землетрясение с магнитудой выше 7 может стать крупной катастрофой. Однако оно может остаться и незамеченным, если произойдет в пустынном районе. Так, грандиозная природная катастрофа – Гоби-Алтайское землетрясение (1957 г., магнитуда 8.5, интенсивность 11-12 баллов) – остается почти не изученной, хотя из-за огромной силы, малой глубины очага и отсутствия растительного покрова это землетрясение оставило на поверхности наиболее полную и многообразную картину последствий (возникли 2 озера, мгновенно образовался огромный надвиг в виде каменной волны высотой до 10 м, максимальное смещение по сбросу достигло 300 м и т. п.). Территория шириной 50-100 км и длиной 500 км (как Дания или Голландия) была полностью разрушена. Если бы это землетрясение произошло в густонаселенном районе, число жертв могло измеряться миллионами.

Большие потери при землетрясениях обычно связаны с высокой плотностью населения, примитивными методами строительства, при этом совсем не обязательно, чтобы землетрясение было сильным. Естественные явления – оползни, трещины играют меньшую роль.

### **3.1.3. Географическое распространение землетрясений**

Большинство землетрясений сосредоточено в двух протяженных, узких зонах. Одна из них обрамляет Тихий океан, а вторая тянется от Азорских о-вов на восток до Юго-Восточной Азии. Тихоокеанская сейсмическая зона проходит вдоль западного побережья Южной Америки. В Централь-



ной Америке она разделяется на две ветви, одна из которых следует вдоль островной дуги Вест-Индии, а другая продолжается на север, расширяясь в пределах США, до западных хребтов Скалистых гор. Далее эта зона проходит через Алеутские о-ва до Камчатки и затем через Японские о-ва, Филиппины, Новую Гвинею и острова юго-западной части Тихого океана к Новой Зеландии и Антарктике (рис. 3.1).

### Preliminary Determination of Epicenters 358,214 Events, 1963 - 1998

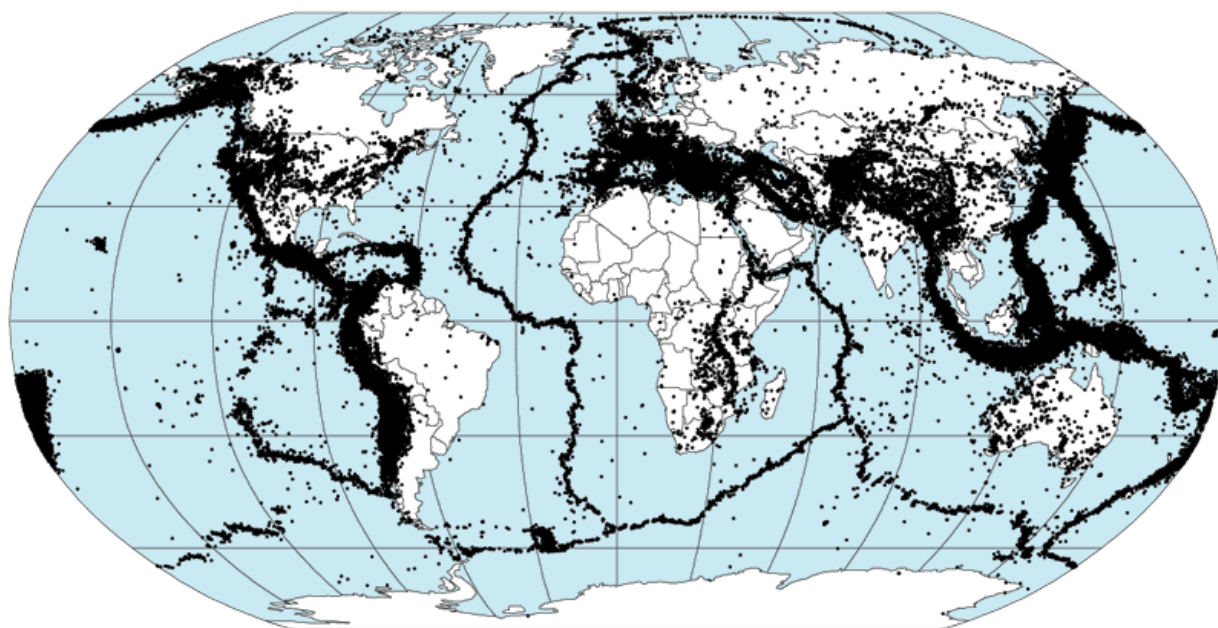


Рис. 3.1. Карта землетрясений, произошедших с 1963-1998 гг.

Вторая зона от Азорских о-вов простирается на восток через Альпы и Турцию. На юге Азии она расширяется, а затем сужается и меняет направление на меридиональное, следует через территорию Мьянмы, острова Суматра и Ява и соединяется с циркумтихоокеанской зоной в районе Новой Гвинеи.

Выделяется также зона меньшего размера в центральной части Атлантического океана, следующая вдоль Срединно-Атлантического хребта.

Существует ряд районов, где землетрясения происходят довольно часто. К ним относятся Восточная Африка, Индийский океан и в Северной Америке долина р.Св. Лаврентия и северо-восток США. Иногда в районах, которые принято считать неактивными, происходят сильные землетрясения, как, например, в Чарлстоне (шт. Южная Каролина) в 1886.

По глубине возникновения землетрясения делятся на 3 группы:

- «нормальные» — 33—70 км,
- «промежуточные» — до 300 км,
- «глубокофокусные» — свыше 300 км.

По сравнению с мелкофокусными глубокофокусные землетрясения имеют более ограниченное распространение. Они не были зарегистрированы в пределах Тихоокеанской зоны от южной Мексики до Алеутских о-вов, а в Средиземноморской зоне - к западу от Карпат. Глубокофокусные землетрясения характерны для западной окраины Тихого океана, Юго-Восточной Азии и западного побережья Южной Америки. Зона с глубокофокусными очагами обычно располагается вдоль зоны мелкофокусных землетрясений со стороны материка [38].

#### **3.1.4. Последствия землетрясений**

Сильные землетрясения оставляют множество следов, особенно в районе эпицентра: наибольшее распространение имеют оползни и осыпи рыхлого грунта и трещины на земной поверхности. Характер таких нарушений в значительной степени определяется геологическим строением местности. В рыхлом и водонасыщенном грунте на крутых склонах часто происходят оползни и обвалы, а мощная толща водонасыщенного аллювия в долинах деформируется легче, чем твердые породы. На поверхности аллювия образуются просадочные котловины, заполняющиеся водой. И даже не очень сильные землетрясения получают отражение в рельефе местности.

Смещения по разломам или возникновение поверхностных разрывов могут изменить плановое и высотное положение отдельных точек земной поверхности вдоль линии разлома, как это произошло во время землетрясения 1906 в Сан-Франциско. При землетрясении в октябре 1915 в долине Плезант в Неваде на разломе образовался уступ длиной 35 км и высотой до 4,5 м. В результате Ассамского землетрясения (Индия) в июне 1897 в эпицентральной области высота местности изменилась не менее, чем на 3 м.

Значительные поверхностные деформации прослеживаются не только вблизи разломов и приводят к изменению направления речного стока, подпруживанию или разрывам водотоков, нарушению режима источников воды, причем некоторые из них временно или навсегда перестают функционировать, но в то же время могут появиться новые. Колодцы и скважины заплывают грязью, а уровень воды в них ощутимо меняется. При сильных землетрясениях вода, жидкая грязь или песок могут фонтанами выбрасываться из грунта.

При смещении по разломам происходят повреждения автомобильных и железных дорог, зданий, мостов и прочих инженерных сооружений. Однако качественно построенные здания редко разрушаются полностью. Обычно степень разрушений находится в прямой зависимости от типа сооружения и геологического строения местности. При землетрясениях умеренной силы могут происходить частичные повреждения зданий, а если они неудачно спроектированы или некачественно построены, то возможно и их полное разрушение.

При очень сильных толчках могут обрушиться и сильно пострадать сооружения, построенные без учета сейсмической опасности. Обычно не обрушиваются одно- и двухэтажные постройки, если у них не очень тяжелые крыши. Однако бывает, что они смещаются с фундаментов и часто у них растрескивается и отваливается штукатурка.

Дифференцированные движения могут приводить к тому, что мосты сдвигаются со своих опор, а инженерные коммуникации и водопроводные трубы разрываются. При интенсивных колебаниях уложенные в грунт трубы могут «складываться», всовываясь одна в другую, или выгибаться, выходя на поверхность, а железнодорожные рельсы деформироваться. В сейсмоопасных районах сооружения должны проектироваться и строиться с соблюдением строительных норм, принятых для данного района в соответствии с картой сейсмического районирования.

В густонаселенных районах едва ли не больший ущерб, чем сами землетрясения, наносят пожары, возникающие в результате разрыва газопроводов и линий электропередач, опрокидывания печей, плит и разных нагревательных приборов. Борьба с пожарами затрудняется из-за того, что водопровод оказывается поврежденным, а улицы непроезжими вследствие образовавшихся завалов [22].

Цунами (большие волны на море) возникают при быстрых вертикальных деформациях морского дна во время подводных землетрясений. Цунами распространяются в океанах в пределах глубоководных зон океанов со скоростью 400–800 км/ч и могут вызвать разрушения на берегах, удаленных на тысячи километров от эпицентра. У близлежащих к эпицентру берегов эти волны иногда достигают в высоту 30 м.

### **3.1.5. Изучение и прогноз землетрясений**

Изучением землетрясений занимается сейсмология. Постоянные наблюдения за землетрясениями осуществляются сейсмической службой. Современная мировая сеть насчитывает несколько тысяч стационарных сейсмических станций, данные которых систематически публикуются в сейсмологических бюллетенях и каталогах. Прибор, записывающий сейсмические колебания, называется сейсмографом, а сама запись – сейсмограммой. Современный сейсмограф представляет собой комплект приборов,

регистрирующих колебания грунта при землетрясении и преобразующих их в электрический сигнал, записываемый на сейсмограммах в аналоговой и цифровой форме. Однако, по-прежнему, основным чувствительным элементом служит маятник с грузом. Кроме стационарных станций используются экспедиционные сейсмографы, в т. ч. устанавливаемые на дне океанов. Сейсмические волны, возникающие при землетрясениях, используются также для изучения внутреннего строения Земли, достижения в этой области послужили основой для развития методов сейсмической разведки [10].

В целях предупреждения о произошедших сильных землетрясениях в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (ФИЦ ЕГС РАН) функционируют Службы срочных донесений, которые круглосуточно в режиме реального времени осуществляют обработку всех поступающих сейсмологических данных и в течение 10-20 минут формируют срочные донесения и оповещают органы государственной власти субъектов Российской Федерации и органы местного самоуправления, а также структуры МЧС России о произошедших землетрясениях и их возможных последствиях.

Кроме того, Сахалинский и Камчатский филиалы ФИЦ ЕГС РАН участвуют в сейсмической подсистеме Службы предупреждения о цунами в Тихоокеанском регионе, а Камчатский филиал – в оценке текущей вулканической обстановки.

Всего в 2020 г. на территории России было зарегистрировано 610 землетрясений, в том числе 97, ощущавшихся жителями различных населенных пунктов [7].

*Сейсмическое районирование* – деление территории на районы разной сейсмической активности; оценка и составление карт потенциальной сейсмической опасности, которую необходимо учитывать при строительстве, принятии мер по предотвращению и снижению ущерба от землетрясений и

подготовке к ликвидации их последствий. На картах выделяются зоны ожидаемых землетрясений с указанием в баллах предполагаемой интенсивности, а также частоты повторения в определенное количество лет. Величину ожидаемой интенсивности землетрясения и соответствующие нагрузки кладут в основу расчёта сейсмостойких сооружений, возведение которых регламентируется строительными нормами и правилами [11].

## **3.2. Извержения вулканов**

### **3.2.1. Вулканическая деятельность и ее причины**

Извержение вулкана — процесс выброса вулканом на земную поверхность раскалённых обломков, пепла, изливание магмы, которая, излившись на поверхность, становится лавой. Извержение вулкана может иметь временной период от нескольких часов до многих лет.

Вулканизм – совокупность явлений, связанных с перемещением магмы из глубины Земли на ее поверхность.

Глубоко под поверхностью планеты Земля температура настолько высокая, что породы начинают плавиться, превращаясь в густое тягучее вещество – магму. Расплавленное вещество гораздо легче, чем твердые породы вокруг него, поэтому магма, поднимаясь, скапливается в так называемые магматические очаги. В конце концов, часть магмы вырывается на поверхность Земли через разломы в земной коре — так рождается вулкан – красивое, но чрезвычайно опасное природное явление, часто несущее с собой разрушения и жертвы.

Магма - это расплавленная масса преимущественно силикатного состава, которая образуется в глубинных зонах Земли. Очаги магмы находятся в мантии на глубине 30-50 км или в глубине земной коры. Достигая земной поверхности, магма извергается в виде лавы через трещины или жерла вулкана.

Вырвавшаяся на поверхность магма называется лавой, она имеет температуру около 1000° С и довольно медленно стекает по склонам вулкана.

Благодаря небольшой скорости, лава редко становится причиной человеческих жертв, однако потоки лавы вызывают значительные разрушения любых конструкций, строений, и сооружений, встречающихся на пути этих «огненных рек». Лава обладает очень плохой теплопроводностью, поэтому очень медленно остывает [18, 40].

Основные части вулканического аппарата: магматический очаг (в земной коре или верхней мантии); жерло - выводной канал, по которому магма поднимается к поверхности; конус - возвышенность на поверхности Земли из продуктов выброса вулкана; кратер - углубление на поверхности конуса вулкана глубиной от нескольких до сотен метров и диаметром до 1,5 км.

Во время извержений иногда происходит обрушение вулканического сооружения с образованием кальдеры - крупной впадины диаметром до 16 км и глубиной до 1000 м. При подъеме магмы внешнее давление ослабевает, связанные с ней газы и жидкие продукты вырываются на поверхность, и происходит извержение вулкана. Если на поверхность выносятся древние горные породы, а не магма, и среди газов преобладает водяной пар, образовавшийся при нагревании подземных вод, то такое извержение называют фреатическим.

Извержения вулканов бывают длительными и кратковременными. Продукты извержения (газообразные, жидкие, твердые) выбрасываются на высоту 1-5 км и переносятся на большие расстояния. Объем излившейся лавы достигает десятков кубических километров [3].

Наибольшую опасность представляют камни и пепел, вырывающиеся из жерла вулкана при извержении. Раскаленные камни, с огромной скоростью выбрасываемые в воздух, падают на землю, становясь причиной многочисленных жертв. Пепел падает на землю «рыхлым снегом», и если слой пепла оказывается слишком толстым, люди, животные, растения – все гибнет от недостатка кислорода.

Так произошло с печально известным городом Помпеи, развивающимся и процветающим, и уничтоженным извержением вулкана Везувий за считанные часы. Однако самым смертоносным из всех вулканических явлений по праву считаются пирокластические потоки. Пирокластические потоки – кипящая смесь твердых и полутвердых пород и горячего газа, стекающая по склонам вулкана. Состав потоков гораздо тяжелее воздуха, они устремляются вниз подобно снежной лавине, только раскаленной, наполненной токсичными газами и движущейся с феноменальной, ураганной скоростью [8, 40].

### 3.2.2. Распространение вулканов на земной поверхности

Можно выделить четыре области распространения вулканов: 1) огненное кольцо Тихого океана, включая Тихий океан с островами и Тихоокеанское побережье американского и азиатского материков; 2) средиземноморская полоса широтного простираия; 3) атлантическая меридиональная полоса в восточной части Атлантического океана; 4) восточноафриканская меридиональная полоса (рис. 3.2).

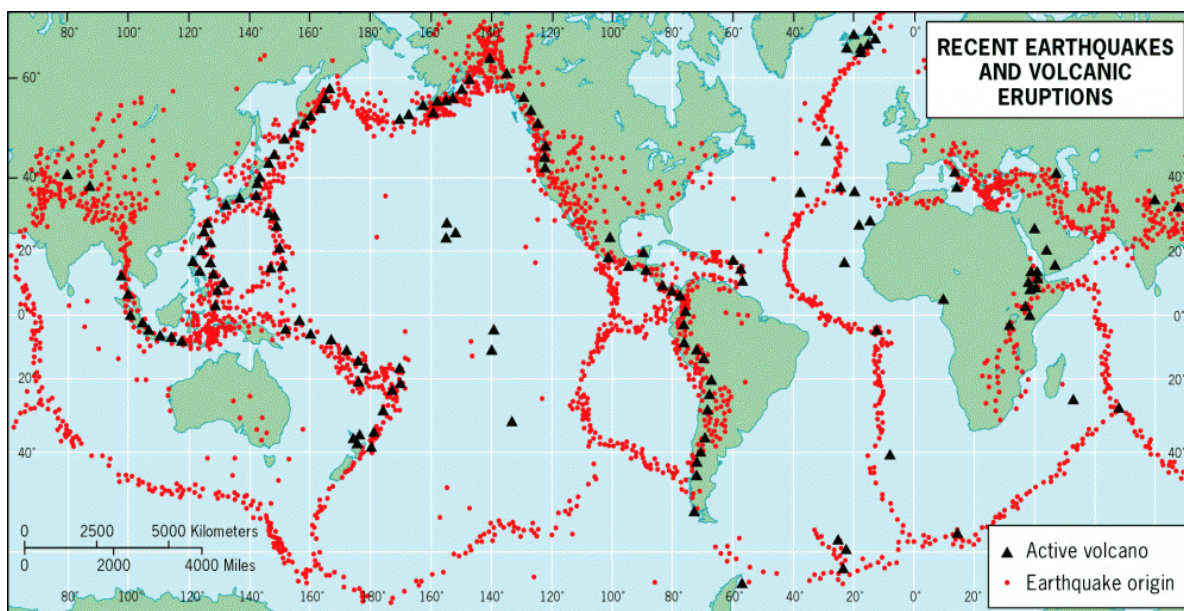


Рис. 3.2. Распространение вулканов по поверхности Земли



В 1960 г. (по данным В. А. Обручева, В. И. Владовца и др.) насчитывался 541 действующий вулкан, из них 465 на суше и 76 под водой. Все они, как это сохранилось в памяти человечества, дали свыше 2500 извержений. Из числа действующих вулканов на огненное кольцо и Тихий океан приходится 331 вулкан (302 на суше и 29 под водой), на средиземноморскую широтную полосу - 134 вулкана (113 на суше и 21 под водой), на восточно-атлантическую полосу - 59 вулканов (34 на суше и 25 под водой), на восточно-африканскую меридиональную полосу - 12 вулканов (все в пределах суши). Кроме указанных поясов, известно пять вулканов (четыре на суше и один под водой).

В пределах России вулканы известны на Камчатке и на Курильских островах. На Камчатке насчитывается около 40 вулканов, из них 13 действующих. Наиболее известна Ключевская сопка высотой 4850 м (после Килиманджаро и Котопахи это самый высокий вулкан). Из нее выделяется много фумарол, горячих источников и гейзеров. Извергается Ключевская сопка приблизительно через каждые 7 - 8 лет. Другим крупным действующим вулканом является Авачинская сопка высотой 2457 м. Отличаются высотой и потухшие вулканы — Кроноцкая и Лупанова сопки. На Курильских островах известно 20 вулканов, из которых примерно половина действующих.

На Кавказе известны потухшие вулканы Казбек и Эльбрус и находящийся в солфатарной стадии вулкан Арарат. Первые два вулкана действовали в начале четвертичного периода. Лавами Казбека в ряде мест покрыты моренные отложения на Военно-Грузинской дороге.

В результате анализа геологического строения участков земной коры, к которым приурочены действующие или потухшие вулканы, установлено, что все действующие вулканы расположены в местах сравнительно молодых разломов земной коры, которые очень часто совпадают с береговыми линиями и побережьями современных морей и океанов. В то же время эти

разломы часто проходят внутри континентов, далеко от берегов морен и океанов [4, 5, 8, 9].

### **3.2.3. Классификация по форме вулкана**

Включает в себя четыре типа: трещинный, куполообразный, купольные, щитовые, с кальдерой и стратовулканы.

**Трещинный** В древние периоды жизни Земли, когда земная кора была тоньше, происходили площадные вулканические извержения. В результате громадные участки земной коры проплавлились близко подходившей к поверхности Земли магмой. В дальнейшем по мере утолщения земной коры начали преобладать трещинные извержения, при которых продукты извержения поступают на поверхность Земли не из каналов, а из трещин, протягивающихся на многие десятки, а иногда сотни километров. Трещинные извержения известны и в настоящее время, но чрезвычайно редки. Они известны в Исландии, в пределах трещины Ляхи. Здесь в 1783 г. из трещины длиной 24 км происходило излияние жидкой лавы в количестве 12,5 трлн. м<sup>3</sup>

**Купольные вулканы** образуются, когда вязкая магма слишком тяжела, чтобы стечь по склонам вулкана. Она скапливается у жерла, закупоривая его и образуя купол. Со временем газы выбивают подобный купол словно пробку.

**Щитовые вулканы** имеют форму чаши или щита с пологими склонами, сформированными базальтовыми лавовыми потоками – траппами.

**Вулканы с кальдерой** образуются за счет катастрофического взрыва или коллапса пустого очага магмы, оставившего после себя круглую впадину. Кальдера может представлять опасность вплоть до континентального масштаба. Типы извержения таких вулканов, главным образом плинианский (пирокластические потоки) или пелейский (раскалённые лавины или палящие тучи).

**Стратовулканы** извергают смесь горячего газа, пепла и камней, а также лаву, которые чередуются, откладываясь на конусе вулкана [5, 40].

По степени активности вулканы делят на три типа: потухшие, спящие и активные. Активными (действующими) считаются вулканы, извергавшиеся в исторический период времени, относительно которых существует вероятность повторного извержения. К ним относят вулканы, извергающиеся и проявляющие сольфатарную активность (выделение горячих газов и воды) за последние 3500 лет исторического периода. На 1980 год их насчитывали 947. К потенциально действующим относятся голоценовые вулканы, извергающиеся 3500-13500 лет назад. Их примерно 1343 шт. К условно потухшим вулканам относят не проявляющими активности в голоцене, но сохранившие свои внешние формы (возрастом моложе 100 тыс. лет).

Спящими называются вулканы, не извергавшиеся в течение длительного времени, однако с существующей возможностью извержения.

Потухшие вулканы существенно переработанные эрозией, полуразрушенные, не проявляющие активности в течение последних 100 тыс. лет. Вероятность повторного их извержения равна нулю [18].

#### **3.2.4. Продукты вулканических извержений**

Объединяют в три группы: твердые, жидкие и газообразные.

**Твердые продукты извержения.** Основная их масса образуется при извержении вулканов из тефры (пирокластические продукты) и остывании лавы. Твердые продукты подразделяются по размеру обломков на несколько типов: вулканический пепел (пепел или тонкая пыль); вулканический песок (размером 0,25—1 мм); лапилли (1,5—3 см); вулканические бомбы (от 10 см до нескольких метров). Эти продукты извержения со временем уплотняются, образуя вулканический туф, а более крупные — вулканическую брекчию и вулканический агломерат.

**Жидкие продукты извержения.** К жидким продуктам извержения вулканов относится лава. По химическому составу и содержанию кремнезема лавы, как и горные породы, подразделяются на: кислые - липоритовые и дацитовые ( $\text{SiO}_2 > 65\%$ ); средние — андезитовые ( $\text{SiO}_2$  65-52%); основные - базальтовые ( $\text{SiO}_2$  52-45%); ультраосновные - пикритовые ( $\text{SiO}_2 < 45\%$ ). Ультраосновные лавы редко изливаются на поверхность. Они чаще образуют субвулканические тела. В базальтовых лавах часто наблюдается характерная столбчатая отдельность. Кислые и средние лавы, содержащие значительное количество кремнезема, отличаются высокой вязкостью и малой подвижностью.

**Газообразные продукты** всегда сопровождают извержения вулканов. Выделяющиеся из магматических расплавов газы содержат галоиды, серу, углерод, водород, большое количество паров воды и др. Схема классификации вулканических газов по В.В. Иванову, С.И. Набоко и др. включает несколько групп, связанных со стадиями вулканической активности от высокой к низкой:

- фумарольные высоко температурные газы (500—700 °С) сложного состава, содержащие  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{B}$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , хлористые соединения  $\text{Fe}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{Na}$  и др.;
- сульфатарные газы (с температурой около 100-200 °С), содержащие сернисто-углекислые ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{N}$ ) и сероводородно-углекислые ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{N}$ ) соединения;
- мофетты — углекислые фумаролы (с температурой  $< 100^\circ$ , содержащие  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ );
- газово-паровые азотно-углекислые выделения ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{N}$  с небольшой примесью  $\text{CO}$ ) [9,18].

### **3.2.5. Мониторинг вулканической активности**

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 [12].

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.

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. К характерным явлениям, предвещающим извержения, относятся: деформации земной поверхности, вулканические землетрясения; изменения гравитационного, магнитного и электрического полей в окрестностях вулкана; разогрев вулкана; изменение температуры и химического состава фумарольных газов и вод горячих источников. 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 дея-

тельности в каком-либо определенном районе. На основе подобных расчетов можно получить вероятностные характеристики, которые являются важными данными для краткосрочного и среднесрочного прогноза.

Среднесрочный прогноз является достаточно точным для вулканов с определенной периодичностью активности. Для других вулканов он позволяет лишь сделать вывод о том, что в определенном месте готовится извержение. Для прогнозов используются методы, основанные на показаниях сейсмографов, установленных вблизи вулкана, приборов, измеряющих изменение наклона земной поверхности, постоянных аэрофотографических наблюдений [1, 29].

### **3.2.6. Поствулканические явления**

После извержений, когда активность вулкана либо прекращается навсегда, либо он только "дремлет" в течение тысяч лет, на самом вулкане и в его окрестностях сохраняются процессы, связанные с остыванием магматического очага и называемые поствулканическими.

**Гейзеры** - это горячие источники, вода которых периодически фонтанирует и выбрасывается вверх на десятки метров. Свое название такие источники получили от Великого Гейзера в Исландии, струя которого 200 лет назад била вверх на 60 м каждые полчаса. Ряд гейзеров, несомненно, связан с вулканическими районами, например, в Исландии, на Камчатке, в Индонезии, Кордильерах Северной Америки, Японии и других местах. Высота фонтана у гейзеров, так же как и температура воды на выходе, сильно различается, но последняя обычно колеблется в пределах от +75 до +100° С. Характерной чертой гейзеров является их короткая жизнь, часто они "умирают" за счет обвалов стенок канала, понижения уровня грунтовых вод и т. д. Большое количество растворенных веществ в горячей воде гейзеров откладывается вокруг их устья, образуя скопления гейзеритов.

Каким образом действует гейзер? Наиболее удовлетворительный механизм его функционирования, предложенный еще в прошлом веке, заключается в том, что в трубообразном канале, заполненном водой, нижняя часть ее столба нагревается выше точки кипения. Однако вес столба воды предотвращает вскипание. Наконец, кипение все же начнется в каком-то месте и ряд расширяющихся пузырей вытолкнет часть воды из столба, что сразу же вызовет падение давления внизу столба воды, и мгновенно начнется бурное кипение. Процесс идет лавинообразно, пока вся вода не превратится в пар и он не вытолкнет вверх всю горячую воду. Затем канал вновь наполнится водой, она нагреется и процесс начнется сначала.

Геотермальная энергия - это важная сторона использования вулканического тепла. Электростанции, работающие на естественном перегретом паре, действуют в Италии (Лардерелло в Тоскане), Исландии (около Рейкьявика), Калифорнии, на Северном острове Новой Зеландии, в районе Паужетки на Южной Камчатке и в ряде других мест. Сочетание благоприятных для выработки электроэнергии условий - высокое давление пара, температура выше точки кипения воды, большой ее приток - встречается не так уж часто. Проблемы возникают и из-за очень быстрой коррозии металлических труб агрессивными горячими водами, которые к тому же откладывают на стенках труб карбонат кальция и кремнезем, закупоривая их. Горячие воды используются для обогрева жилищ, парников и теплиц.

Выходы вулканических газов на поверхность называются **фумаролами** (от лат. "фумо" - дым). Очень часто фумаролы приурочены к радиальным и кольцевым трещинам на вулканах. Фумарольные газы связаны как с первичными эманациями из магматического расплава, так и с нагреванием грунтовых вод и превращением их в пар. Фумаролы подразделяются на сухие высокотемпературные, кислые, щелочно-нашатырные, сернистые, или сероводородные (сульфатары, итал. "сульфур" - сера), углекислые (мофеты,



от итал. "мофетта" - место зловонных испарений). Знаменитые фумаролы вулкана Сольфатара около Неаполя действуют уже тысячи лет без изменения.

**Сольфатары** (от итал. solfo — сера) - испарения сернистого газа и паров воды с примесью углекислого газа, сероводорода и других веществ, выделяющиеся из трещин и каналов на стенках и дне вулканического кратера, а также на склонах вулканов. Температура сольфатар достигает 100-300°C. Это явление характерно для потухших или близких к этому вулканов; как и фумаролы и гейзеры, сольфатары являются примером вторичной вулканической активности.

**Мофеты** (фр. mofette) - трещины и отверстия в вулканических районах, выделяющие струи углекислого газа с примесью водяного пара и других газов (азота, водорода, метана). Температура выделяемых газов не превышает 100°C. Попадая в долину с мофетами животные задыхаются, поэтому такие места часто называют «долинами смерти». Тем не менее газ мофетов может быть использован в терапевтических целях для сухих спа процедур.

**Грязевой вулкан** — геологическое образование, представляющее собой отверстие или углубление на поверхности земли (сальза) либо конусообразное возвышение с кратером (грязевая сопка), макалуба, из которого постоянно или периодически на поверхность Земли извергаются грязевые массы и газы, часто сопровождаемые водой и нефтью. Вулканы подобного типа встречаются в основном в нефтеносных и вулканических областях, часто являются фумаролами, проходящими сквозь слои глины и вулканического пепла. Выделяющиеся вместе с грязью газы могут самовозгораться, образуя факелы.

Распространены в бассейнах Каспийского (Апшеронский полуостров, Западный Туркменистан и восточная Грузия), Чёрного и Азовского морей (Таманский и Керченский полуострова), на острове Сахалин (Южно-Сахалинский и Пугачевский грязевые вулканы), в Европе (Италия, Исландия).

дия), в Новой Зеландии и Америке. Крупнейшие грязевые вулканы имеют диаметр 10 км и высоту 700 м.

**Маар** — относительно плоскодонный кратер взрыва с жерлом без конуса, но окружённый невысоким валом из рыхлых продуктов извержения, представляющих собой горные породы, слагающие стенки жерла. Маары иногда заполнены водой. Диаметр маара колеблется от 200 до 3200 м, глубина - от 150 до 400 м. Маары образуются в результате одного взрыва, причиной которого является фреатическое извержение, когда грунтовые воды контактируют с разогретыми породами. Для них характерно незначительное развитие шлаковой постройки, отсутствие вытекающего из него лавового потока, короткий период извержения и большая сила взрыва. Один из мааров Камчатки диаметром 1,65 км, образовавшийся в кальдере вулкана Узон, заполнен водами озера Дальнее.

**Горячие источники**, или термы, широко распространены в областях современного и новейшего (плиоцен-четвертичного) вулканизма. Однако не все термы связаны с вулканами, так как с глубиной температура увеличивается и в районах с повышенным геотермическим градиентом циркулирующая атмосферная вода нагревается до высоких температур. Горячие источники вулканических областей, например в Йеллоустонском парке США, в Италии, Новой Зеландии, на Камчатке, на Кавказе, обладают изменчивым составом воды и разной температурой, поскольку грунтовые воды смешиваются в разной пропорции с вулканическими газами и по-разному реагируют с вмещающими породами, через которые они просачиваются на глубину. Воды бывают натриево-хлоридными, кислыми сульфатно-хлоридными, кислыми сульфатными, натриево- и кальциево-бикарбонатными и др. Нередко в термальных водах содержится много радиоактивных веществ, в частности радона. Горячие воды изменяют окружающие породы, откладывая в них окислы и сульфиды железа и изменяя их до глины, превращающейся в кипящую грязь, как, например, в районе

Паужетки на Камчатке, где известны многочисленные булькающие "котлы" с красноватой грязью температурой около  $+100^{\circ}$  С. Часто вокруг источников накапливаются отложения кремниевой накипи или туфа, а если воды содержат карбонат кальция, то откладывается известковый туф [9, 18, 26].

Однако извержения вулканов приносят Земле не только разрушения и катастрофы, но и пользу, так как оказывают определенное влияние на жизнь планеты.

Вулканические почвы – это не однородный слой земли, а объединение большого и разнообразного пласта типов пород: пепел, зола, туф, вулканический песок, пемза, базальт, гравий, лава. Вулканические почвы не очень плодородные, но довольно пористые и имеют хороший дренаж. В период извержения из вулкана вылетает пепел, который оседает на территории вокруг вулкана. Зола состоит из углекислого газа, диоксида кремния, серы, хлористого водорода и сероводорода. В пепле содержатся микро-частички полевого шпата и пироксена, где также присутствует магний, калий и железо. Благодаря этому почвы, находящиеся вокруг вулканов, обогащаются и становятся плодородными. В Италии самые высокие урожаи собирают именно в тех районах, которые приближены к Везувия.

Другой район с плодородной землей – это Гавайи. В XV-XVIII веках в этих местах выращивали сладкий картофель, что послужило тому, что гавайская культура и сельское хозяйство стали процветать [8].

Активность вулканов приводит к тому, что одни участки земной коры опускаются, другие, находящиеся на дне моря, поднимаются. В результате этого появляются новые острова. Например, Гавайская цепь островов была создана регулярными извержениями вулканов.

В Средиземном море, благодаря извержению вулканов, появились Ионические острова, острова Крит и Кипр, а в Карибском море – Антильские острова. Одним из последних появился безымянный вулканический остров близ архипелага Вавау, что в Королевстве Тонга.

Вулканические породы часто содержат в себе драгоценные металлы и самоцветы – агат, опал, обсидиан. Драгоценные камни выбрасываются на земную поверхность вместе с вулканической массой при формировании кимберлитовых трубок. После извержения вулкана люди получают строительные материалы. Вулканический пепел и пемза применяется в качестве составляющих при изготовлении цемента, а перлит добавляется в штукатурку. Закаленный вулканический пепел, который называется туф, является очень крепким и легким строительным материалом. Туф также добавляют в известь для получения бетона. А дробленый базальт используется в балласте при возведении защитных сооружений вдоль береговых линий.

В регулярном охлаждении планеты вулканы играют важную роль. В момент, когда диоксид серы и пепел взлетают высоко в воздух, они отражают солнечные лучи, снижая тем самым количество тепловой энергии, которая поглощается атмосферой – это называется глобальное затемнение. Этот процесс ученые изучают уже много десятилетий [30].

### **3.2.7. Последствия извержений вулканов**

В результате вулканической деятельности гибнут тысячи людей, наносится огромный ущерб хозяйству и имуществу населения. Гибель людей - результат как непосредственного воздействия вулканов (лавы, пепла, отравленных раскаленных газов), так и косвенных последствий (включая голод, падеж скота). Несмотря на негативный опыт человечества и современные знания о вулканах, в непосредственной близости от них проживают миллионы людей.

Поражающими факторами при извержении вулканов являются: ударная волна, летящие осколки, камни, деревья, части конструкций, пепел, вулканические газы (углекислый, сернистый, водород, азот, метан, сероводород, фтор), тепловое излучение, лава, движущаяся по склону со скоростью до 80 км/ч, имеющая температуру до 1000 °С и сжигающая все на сво-

ем пути. Вторичные поражающие факторы: цунами, пожары, взрывы, завалы, наводнения, оползни. Наиболее часто люди и животные в районах извержения вулканов гибнут от травм, ожогов верхних дыхательных путей, асфиксии (кислородного голодания), поражения глаз. Долгое время после этого среди населения наблюдается повышение заболеваемости бронхиальной астмой, бронхитами, обострение ряда хронических заболеваний. В районе стихийного бедствия устанавливается эпидемиологический надзор.

*Пепловые потоки*, представляющие собой раскаленную смесь взвешенного дисперсного материала и вулканических газов, перемещаются ветром с большой скоростью. Древнеримские города Помпеи и Геркуланум попали в зону действия таких потоков и были засыпаны пеплом во время извержения вулкана Везувий.

*Вулканические газы*, выделяемые вулканами любого типа, поднимаются в атмосферу и обычно не причиняют вреда, однако частично они могут возвращаться на поверхность земли в виде кислотных дождей. Иногда рельеф местности способствует тому, что вулканические газы (сернистый газ, хлористый водород или углекислый газ) распространяются близ поверхности земли, уничтожая растительность или загрязняя воздух. Они могут наносить и косвенный вред: так, содержащиеся в них соединения фтора захватываются пепловыми частицами, а при выпадении последних на землю заражают пастбища, вызывая тяжелые заболевания скота и загрязняя открытые источники водоснабжения.

Путем наблюдений удалось установить приблизительные размеры зон опасного воздействия вулканов. Лавовый поток распространяется на расстояние до 30 км. Раскаленные, а также кислотные газы представляют опасность в радиусе нескольких километров. До 400—500 км распространяются зоны выпадения кислотных дождей. Грязекаменные потоки во время таяния снегов в период извержения распространяются на расстояние в несколько десятков километров, иногда до 80—100 км.

Мероприятия по борьбе с извержениями вулканов состоят в изменении характера землепользования, строительстве дамб, отводящих потоки лавы, в бомбардировке лавового потока для перемешивания лавы с землей и превращения ее в менее жидкую массу и др. Тем не менее опыт борьбы с извержениями вулканов, потоками лавы практически отсутствует. В настоящее время невозможно точно предсказать как начало, так и интенсивность извержения любого вулкана.

Предупреждать о грозящей вулканической опасности и принимать меры по уменьшению последствий должны гражданские власти. Система оповещения населения может быть звуковой (сирены) или световой (например, как у подножья вулкана Сакурадзима в Японии, где мигающие сигнальные огни предупреждают автомобилистов о выпадении пепла). Устанавливаются также приборы, срабатывающие при повышенных концентрациях опасных вулканических газов, например, сероводорода. Для уменьшения вулканической опасности используются как сложные инженерные сооружения, так и совсем простые способы. Например, при извержении Миякедзима в Японии в 1985 г. успешно применялось охлаждение фронта лавового потока морской водой. Для защиты от грязекаменных потоков (лахаров) применяют оградительные насыпи и дамбы. В местах выпадения продуктов извержения сооружают разнообразные навесы и безопасные убежища.

Между вулканической деятельностью и землетрясениями существует взаимосвязь. Сейсмические толчки, как правило, обозначают начало извержений. При этом опасность представляют лавовые фонтаны, потоки горячей лавы и раскаленные газы. Взрывы вулканов могут повлечь оползни, обвалы, лавины, а в морях и океанах цунами.

Получив предупреждение о возможном извержении вулкана, своевременно покиньте опасную территорию. Если это невозможно, запаситесь источниками освещения и тепла с автономным питанием, водой, продукта-

ми питания на 3-5 суток; закройте все окна, двери и дымовые заслонки; переведите животных в закрытые помещения; для защиты дыхательных путей от пепла используйте марлевую повязку; наденьте защитные очки и одежду, чтобы защитить тело и голову от камней, пепла, ожогов; избегайте берегов рек и долин вблизи вулканов, старайтесь держаться возвышенных мест, так как возможно затопление и сход селевых потоков.

В современном мире не существует способов предотвращения извержений и каких-либо приспособлений для контроля активности вулканов, и именно поэтому тщательное их изучение является наиболее важным. Ведь только зная природу этого явления природы и понимая механизмы и закономерности его действия, ученые смогут с достаточной точностью предсказать время очередного извержения [1, 3].

## **4. ОПАСНЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ**

### **4.1. Оползни**

Экзогенные геологические опасные явления и процессы характерны для горных и пересеченных местностей и проявляются в виде таких явлений, как оползни, сели, обвалы, лавины.

Оползень — опасное геоморфологическое явление, смещение масс горных пород по склону под воздействием собственного веса и дополнительной нагрузки вследствие подмыва склона, переувлажнения, сейсмических толчков и иных процессов. Оползни возникают на склонах долин или речных берегов, в горах, на берегах морей и т.д. [2, 26]. Оползень - это движущаяся масса горных пород. Обычно состоит она из рыхлого грунта, который уже не способен выдерживать нагрузку собственного веса, из-за чего и происходит смещение. Данное геологическое явление очень опасно, поскольку подобные массы горных пород могут погребать под собой различные объекты (рис. 4.1).



а)

б)

Рис. 4.1. Оползни

Существует множество причин, из-за которых может возникать данное явление. Однако, стоит понимать, что на ровном месте оползень не образуется. Должны существовать подходящие условия, чтобы это стало возможным. Так, оползни часто образуются на различных склонах, берегах водоёмов, дне морей. Хотя могут наблюдаться и в других местах. Причём образоваться они могут сами собой, а могут и под внешним воздействием.

- Увлажнение и размытие горных пород дождевой водой является наиболее частой причиной оползней. Ведь в результате этого грунт становится более тяжёлым и подвижным. Вот и происходит его смещение под воздействием собственного веса.

- Подмывание берегов водоёмов также является часто причиной оползней. Особенно характерно это для рек, поскольку вода в них движется на высокой скорости.

- Размытие горных пород может происходить и изнутри. Ведь часто геологические объекты сложены чередующимися водоносными и водонепроницаемыми породами. Из-за чего подземные воды могут оказывать очень сильное влияние на грунт.

- Землетрясения - ещё одна причина образования явления. Вызывая смещения земного слоя, землетрясения провоцируют появление оползней, что ничуть не удивительно.



- Подобные смещения возникают и на дне морей или океанов. Вызываются они воздействием воды и различных процессов, происходящих в водоёме. Такие оползни являются самыми масштабными и сильными. Они могут стать причиной образования цунами, что крайне опасно.

- Излишняя нагрузка на горные породы также может вызывать их движение. В большинстве случаев происходит это в результате строительства и хозяйственной деятельности. Но в редких случаях даже вес небольшой группы людей может стать той последней каплей, которая спровоцирует оползень [39].

Методы борьбы с оползнями устанавливаются на основе тщательного изучения природных физико-геологических условий, выяснения основных причин неустойчивости и аналитических расчетов предельного равновесия рассматриваемых массивов грунта.

В практике в качестве основных противооползневых мероприятий применяются:

- организация стока поверхностных вод в зоне оползней и прилегающих к ней территорий;
- дренирование подземных вод путем сооружения различных дренажных систем;
- уменьшение внешних нагрузок;
- уположивание откосов и пригрузка их с помощью контрбанкетов;
- ограждение откосов и защита их от подмыва и размыва проточными водами рек или волнами морей, водохранилищ;
- зеленые насаждения по верху откоса и на оползневом откосе;
- искусственное закрепление масс оползневого тела;
- искусственные сооружения для удержания грунтовых масс. Такие мероприятия осуществляются: с помощью вертикальной планировки и производства земляных работ; путем устройства дренажных сетей; применением

агролесомелиоративных мер; с применением подпорных стен, волноломов, свай и др. [2, 15].

Для борьбы с оползнями с помощью вертикальной планировки и производства земляных работ выполняется уполаживание откосов и создание контрбанкетов. Уполаживание откосов преследует цель уменьшения крутизны оползневого склона, обеспечивающей его устойчивость. Уполаживание склона целесообразно как профилактическое мероприятие при наличии неактивизировавшегося оползня. Кроме того, целесообразность уполаживания склона определяется объемом земляных работ и характером грунтов (рис. 4.2).

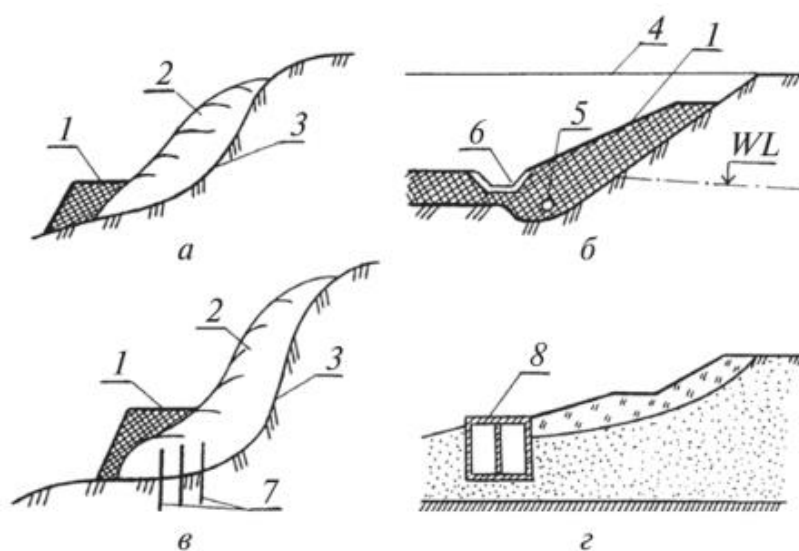


Рис. 4.2. Схемы вариантов, сдерживающих перемещение нижней части оползня:

*а, б* — контрфорс из грунта; *в* — контрфорс с забивкой удерживающих оползень свай; *г* — контрфорс в виде железобетонных ящиков, заполненных песком или щебнем; 1 — упорная призма; 2 — тело оползня; 3 — поверхность скольжения; 4 — первоначальная поверхность склона; 5 — дренаж; 6 — лоток водоотвода; 7 — сваи; 8 — железобетонный ящик.

Таким образом, благодаря контрбанкету увеличивается вес тела оползня в его нижней части и создается некоторый упор, противодействующий сползающей массе оползня.

Дренирование подземных вод также является одним из основных мероприятий по борьбе с оползнями. Для этого применяются различные дренажные системы и типы дренажей, которые позволяют производить полный или частичный перехват грунтового потока либо приводят к снижению его уровня.

Различают два вида дренажа оползневого склона: головной дренаж, перехватывающий грунтовый поток выше оползневого откоса, и откосный дренаж, предназначенный для осушения тела самого оползня.

Наиболее существенным является дренаж, прокладываемый вдоль верхней бровки склона и перехватывающий подземные воды, предотвращая их выход на оползневый склон.

Головной дренаж, решая задачу перехвата грунтового потока, предотвращает вынос частиц грунта из пластов оползневого откоса, осушает плоскость скольжения и обезвоживает массу оползня, что приводит к снижению фильтрационного давления, влияющего на устойчивость откоса.

В качестве головных дренажных систем применяются горизонтальные однолинейные или двухлинейные дренажи: трубчатые — при глубине водоносного слоя в 2—3 м; сплошные прорези (щели) — открытые глубиной 3—4 м и закрытые глубиной до 10—12 м (рис. 4.3), дренажные галереи, прокладываемые открытым способом; и штольни, сооружаемые закрытым способом, в водоносном грунте или ниже его (рис. 4.4).

Механическое сопротивление движению оползня также осуществляется с помощью подпорных стенок или свайных рядов (см. рис. 4.2, в 4.5).

Конструкции типа свай применяют, когда устройство упорных сооружений нецелесообразно по планировочным или другим соображениям.

В практике применяются деревянные, бетонные и железобетонные, а иногда и металлические сваи. Число свай определяется по нагрузке на сваю расчетом на опрокидывание и срез. Во избежание сотрясений склона при забивке сваи предварительно пробуриваются отверстия для каждой сваи диаметром, несколько меньшим ее расчетного.

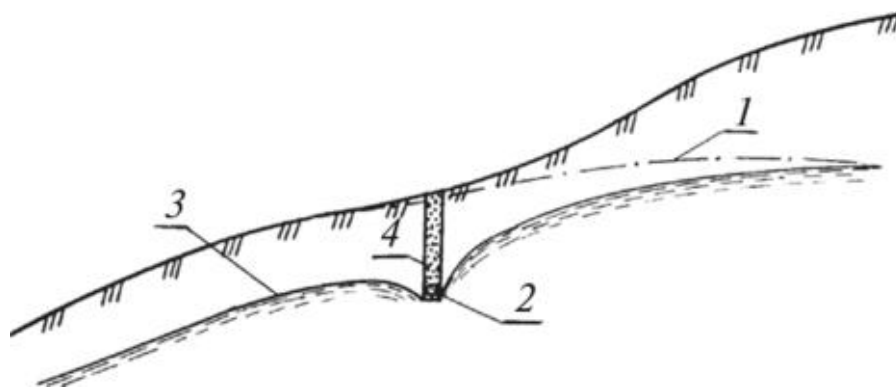


Рис. 4.3. Схема понижения уровня грунтовой воды на оползневом участке склона закрытой дренаж:

1 — уровень грунтовых вод до строительства дренажа; 2 — дрена; 3 — кривая депрессии; 4 — обратная засыпка траншеи с уплотнением

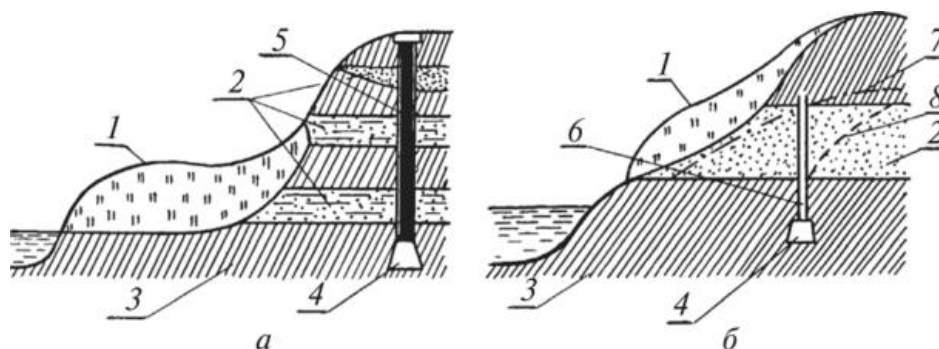


Рис.4.4. Схемы перехвата грунтовых вод (осушение откоса):

а — штольня с вертикальными дренами; б — штольня с забивными фильтрами; 7 — тело оползня; 2 — водоносные пласты; 3 — коренная порода; 4 — штольня; 5 — дренажный колодец; б — забивной фильтр; 7 — уровень грунтовых вод; 8 — кривая депрессии.

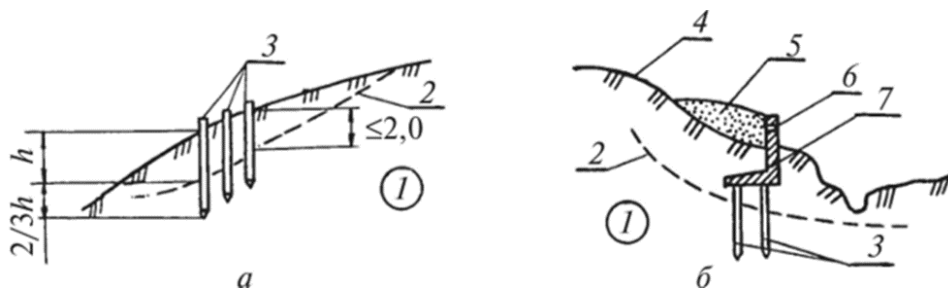


Рис. 4.5. Схемы свайных рядов, используемых для удержания оползня:

а — свайное поле; б — подпорная стена на сваях; 7 — коренная порода; 2 — плоскость скольжения; 3 — сваи; 4 — поверхность естественного рельефа; 5 — фильтрационная засыпка; 6 — подпорная стена; 7 — водовыпуск.

Сваи располагают в плане в шахматном порядке и заглубляют в несмещающийся грунт на глубину не менее 2 м.

Таким образом, все эти мероприятия являются дорогостоящими и трудоемкими в исполнении, поэтому они применяются на основе тщательного анализа причин, вызывающих развитие процесса сдвига, а выбор производят на основе технико-экономического сравнения вариантов. Методы расчета и проектирования соответствующих мероприятий рассматриваются в специальной литературе [15].

## 4.2. Обвалы

**Обвалы** – это отрыв и стремительное падение больших масс горных пород, их опрокидывание, дробление и скатывание на крутых и обрывистых склонах. Обвал происходит под влиянием процессов выветривания, движения подземных и поверхностных вод, подмыва или растворения породы, колебания почвы.

Чаще всего обвалы происходят в период дождей, таяния снега, при проведении взрывных и строительных работ. Разновидностью обвала является вывал — обрушение отдельных глыб и камней из грунтов на отвесных склонах.

Поражающим фактором обвала является падение тяжелых масс горных пород, способных повредить, сломать, раздавить даже прочные соору-

жения либо засыпать их грунтом, преградив доступ к ним. Другая опасность обвалов состоит в возможном запруживании рек и обрушении берегов озер, воды которых в случае прорыва могут стать причиной наводнений или, что еще опаснее, селевых потоков.

Для оценки обвалов используют объем обвалившихся горных пород. Исходя из объема, обвалы подразделяются: на очень малые (объемом менее  $5 \text{ м}^3$ ); малые ( $5-50 \text{ м}^3$ ); средние ( $50-1000 \text{ м}^3$ ); крупные (более  $1000 \text{ м}^3$ ).

Изредка в природных условиях наблюдаются гигантские обвалы, в результате которых обрушиваются миллионы и даже миллиарды кубических метров пород. Так, в 1911 г. на реке Муграб (Таджикистан) в горах Памира во время землетрясения произошел крупнейший обвал, названный Уссурийским. Его объем составил 2,2 млрд.  $\text{м}^3$ . В результате этого обвала образовалась огромная естественная плотина, перекрывшая Муграб, возникло Сарезское озеро длиной 5 км и шириной до 3,4 км, наибольшая глубина — 505 м. [13].

### 4.3. Сель

#### 4.3.1. Причины возникновения селей

**Сель** (от араб. سيل — «бурный поток»), или селевой поток — стремительный бурный поток воды с большим содержанием камней, песка, глины и других материалов [2]. Главной особенностью таких потоков служит высокая насыщенность обломочным материалом, которая составляет от 10 до 75% объема движущейся массы (рис. 4.6).



Рис. 4.6. Сель

Как правило, возникновение селей связано с ливневыми осадками, бурным таянием снегов или прорывами горных озёр. Сель — явление кратковременное (обычно оно длится несколько часов, реже — дней), характерное для малых водотоков длиной до 25—30 км и с площадью водосбора до 50—100 км<sup>2</sup>. Сель возникает в результате интенсивных и продолжительных ливней, бурного таяния ледников или сезонного снегового покрова, а также вследствие обрушения в русло больших количеств рыхлообломочного материала (при уклонах местности не менее 0,07—0,10). Решающим фактором возникновения может послужить вырубка лесов в горной местности — корни деревьев держат верхнюю часть почвы, что предотвращает возникновение селевого потока.

Иногда сели возникают в бассейнах небольших горных рек и сухих логов со значительными (не менее 0,10) уклонами тальвега и при наличии больших скоплений продуктов выветривания.

Свойства конкретного селевого потока зависят от его состава и плотности, которая может достигать средней плотности горных пород (2,5 т/м<sup>3</sup>). Характер движения воднокаменных селей ламинарный, т.е. аналогичен движению водных потоков: разные его слои движутся с разной скоростью, а распределение частиц по глубине неодинаково (обломки движутся в нижней части потока). Движение грязекаменных селей турбулентно: они однородны, имеют большую вязкость и движутся не по законам гидравлики, а как вязкопластичные смеси (бетонный раствор).

Для формирования селя в районах с сильно пересеченным горным рельефом достаточно суточного количества осадков 13–20 мм. На территориях с более низким рельефом требуется большее «вливание» осадков. Помимо форм рельефа на формирование селя сильно влияют дренажные свойства грунтов и источников их обводнения.

Грязекаменный материал составляет до 75% селя, поэтому его воздействие на встреченные препятствия одновременно имеет черты наводне-

ния (статическая нагрузка), внезапного водного потока (динамическая нагрузка) и камнепада или обвала (пульсационный характер).

По механизму зарождения различают эрозионные, прорывные и обвально-оползневые сели.

Скорость движения селевых потоков — в среднем до 5 м/с, в отдельных случаях может достигать 10—15 м/с, что обуславливает их большое разрушительное действие. На своем пути потоки прокладывают глубокие русла, которые в обычное время бывают сухими или содержат небольшие ручьи. Материал селей откладывается в зонах промежуточной аккумуляции, на конусах выноса, в межгорных котловинах и на предгорных равнинах [26].

Сели характеризуются продвижением его лобовой части в форме вала из воды и наносов или чаще наличием ряда последовательно смещающихся валов. Прохождение селя сопровождается значительными переформированиями русла.

Потенциальный селевой очаг — участок селевого русла или селевого бассейна, имеющий значительное количество рыхлообломочного грунта или условий для его накопления, где при определенных условиях обводнения зарождаются сели. Согласно "Руководству по изучению селевых потоков" [17], составленному для использования в системе Гидрометслужбы СССР, селевые очаги делятся на очаги локального и рассредоточенного селеобразования. Очаги локального селеобразования делятся на три типа: селевые рытвины, селевые врезы и скальные очаги.

*Селевой рытвиной* называют линейное морфологическое образование, прорезающее скальные, задернованные или залесенные склоны, сложенные обычно незначительной по толщине корой выветривания. Селевые рытвины отличаются небольшой протяженностью (редко превышают 500...600 м) и глубиной (редко более 10 м). Угол дна рытвин обычно более 15°.



*Селевой врез* представляет собой мощное морфологическое образование, выработанное в толще древних моренных отложений и чаще всего приуроченное к резким перегибам склона. Кроме древне-моренных образований селевые врезы могут формироваться на аккумулятивном, вулканогенном, оползневом, обвальном рельефе. Селевые врезы по своим размерам значительно превосходят селевые рытвины, а их продольные профили более плавные, чем у селевых рытвин. Максимальные глубины селевых врез достигают 100 м и более; площади водосборов селевых врез могут достигать более 60 км<sup>2</sup>. Объем грунта, выносимый из селевого вреза за один сель, может достигать 6 млн. м<sup>3</sup>.

Под *очагом рассредоточенного селеобразования* понимают участок крутых (35...55°) обнажений, сильно разрушенных горных пород, имеющих густую и разветвленную сеть борозд, в которых интенсивно накапливаются продукты выветривания горных пород и происходит формирование микроселей, объединяющихся затем в едином селевом русле. Они приурочены, как правило, к активным тектоническим разломам, а их появление обусловлено крупными землетрясениями. Площади селевых очагов достигают 0,7 км<sup>2</sup> и редко больше [9].

#### **4.3.2. Классификация селей**

*Сейсмогенные сели.* В результате землетрясений отколовшиеся фрагменты ледников или обвалившиеся массивы горных пород могут преградить путь рекам, образуя неустойчивые запрудные плотины. При прорыве такой плотины вода из неё сбрасывается не постепенно, а моментально, что способствует накоплению потоком высокой кинетической энергии.

*Лахары* — селевые потоки вулканического происхождения. В результате излияния лавы, выпадения горячего пепла или схода пирокластических потоков происходит быстрое таяние снежного покрова и ледников на склонах вулкана, а образовавшаяся вода смешивается с пеплом и горными поро-

дами. При извержении Везувия 79 года, под пеплом которого были похоронены Помпеи, город Геркуланум завалило трёхметровым слоем грязекаменной массы, принесённой лахаром. При раскопках обнаружено, что селевой панцирь Геркуланума значительно более плотный, чем пепловый слой Помпеи. Наибольшее количество жертв от лахаров было при извержении вулкана Невадо-дель-Руис в 1985 году.

*Связные и несвязные сели.* К связным относят грязекаменные потоки, в которых вода практически не отделяется от твёрдой части. Они обладают большим объёмным весом (до 1,5—2,0 т/м<sup>3</sup>) и большой разрушительной силой. К несвязным относят водокаменные потоки. Вода переносит обломочный материал и по мере уменьшения скорости откладывает его в русле или в области конуса выноса на предгорной равнине.

Типы селей по степени насыщенности наносами и их фракционному составу делят на грязевые, грязекаменные и водокаменные. Грязевые сели — смесь воды с мелкозёмом при небольшой концентрации камней, объёмный вес 1,5—2 т/м<sup>3</sup>. Грязекаменные сели — смесь воды, гальки, гравия, валунов различного размера, 1,7—2,4 т/м<sup>3</sup>. Водокаменные (наносоводные) сели — смесь воды с преимущественно крупными камнями, 1,1—1,6 т/м<sup>3</sup> [9].

### **4.3.3. Методы борьбы с селями**

Сели могут производить огромные разрушения. Борьба с селями ведётся путём закрепления почвенного и растительного покрова, строительства специальных гидротехнических сооружений.

По назначению, различают следующие виды противоселевых защитных сооружений:

А. Селезадерживающие: плотины бетонные, стальные, железобетонные и каменные: водосбросные, сквозные (глухие), сквозные сетчатые; плотины из грунтовых материалов (глухие).

Б. Селепропускные: каналы, селеспуски.

В. Селенаправляющие: направляющие и ограждающие дамбы, шпоры.

Г. Стабилизирующие: запруды грунтовые, каменные; габионные террасы; террасы-каналы; нагорные и водосбросные каналы; подпорные стены; дренажные устройства; агролесомелиорация.

Д. Селепредотвращающие: плотины для регулирования селеобразующего паводка; водосбросы на озерных перемычках.

Е. Организационно-технические [20].

### **Селезадерживающие сооружения**

Селезадерживающие сооружения, в зависимости от типа конструкции, должны аккумулировать селя полностью или его твердую составляющую, а в меженный и паводковый периоды должны обеспечивать транзит как взвешенных, так и донных наносов.

Выделяют следующие виды селезадерживающих сооружений:

- возвышающиеся над уровнем дна селевого русла (плотины, дамбы, запруды) и глубинные (котлованы-уловители, боковые площадки);

- одиночные и системные.

Селезадерживающие плотины, дамбы, запруды относятся к возвышающимся сооружениям и предназначены для остановки селя, аккумуляции в верхнем бьефе его твердой составляющей и организованного сброса жидкой составляющей и бытового стока реки. Конструкции селезадерживающих плотин могут быть сплошными и сквозными, жесткими и гибкими.

Сплошные селезадерживающие сооружения служат для полного задержания селя и постепенного отведения жидкой составляющей через водоотводные сооружения.

Для спуска в нижний бьеф бытового стока реки и водной составляющей наносоводных селей, сплошные селезадерживающие сооружения должны проектироваться с водопропускными сооружениями без затворов. При этом сброс воды должен обеспечиваться при всех возможных уровнях

заполнения верхнего бьефа наносами. Сбросной расход не должен превышать критического селеобразующего расхода, определяемого для участка ниже створа плотины.

Сплошные селезадерживающие сооружения рекомендуется выполнять из сборного или монолитного железобетона. Для предотвращения подмыва берегов, в центральной части необходимо предусматривать понижение отметки гребня плотины.

Конструкции жестких и гибких сквозных селезадерживающих сооружений, служат для частичного задержания селевого потока, а именно твердой составляющей. Сооружения этого типа не требуют устройства специальных сооружений для пропуска водной составляющей селя, а также мелких фракций наносов в нижний бьеф (рис. 4.7).

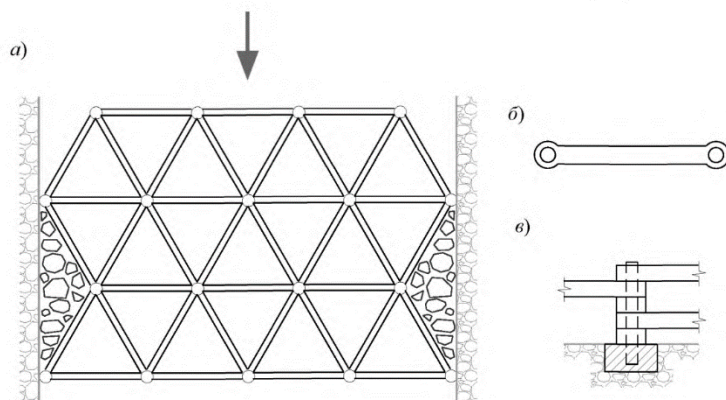


Рис. 4.7. Селезадерживающая плотина

Жесткие сквозные селезадерживающие сооружения могут быть представлены:

- стержневыми системами пространственного типа (например, из отдельных балок с отверстиями, собранных в равносторонние треугольники в разных параллельных плоскостях и скрепленных в единое сооружение пу-

тем вставки арматурного каркаса в отверстия балок с последующим омоноличиванием (рис. 4.8).



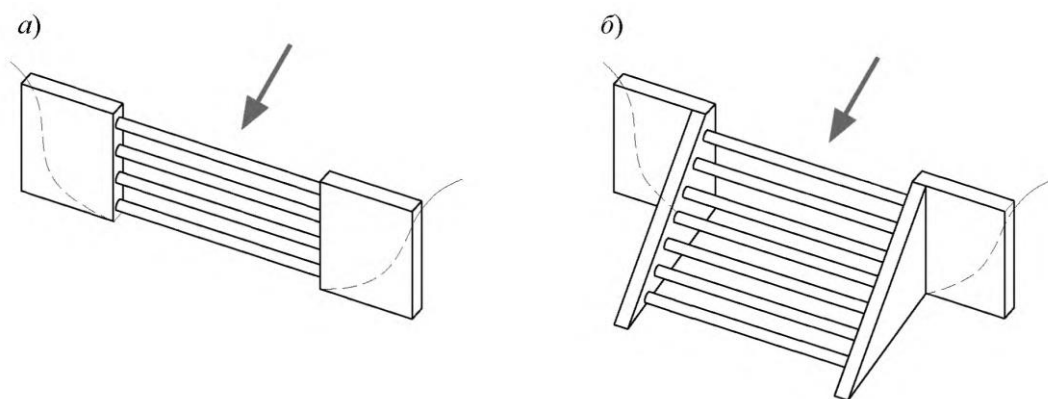
а – общий вид в плане; б – стержневой элемент; в – узел соединения элементов

Рис. 4.8. Жесткое сквозное селезадерживающее сооружение из стержневых элементов

- решетчатыми системами (например, из треугольных ферм, связанных между собой горизонтальными ригелями и тросами, заанкерованными в берега);

- комбинированными системами (например, с вертикальными или наклонными решетками, выполненными из параллельно расположенных горизонтальных металлических стержней, свободно входящих в опорные железобетонные береговые массивы (рис. 4.9), или в случае широкого русла

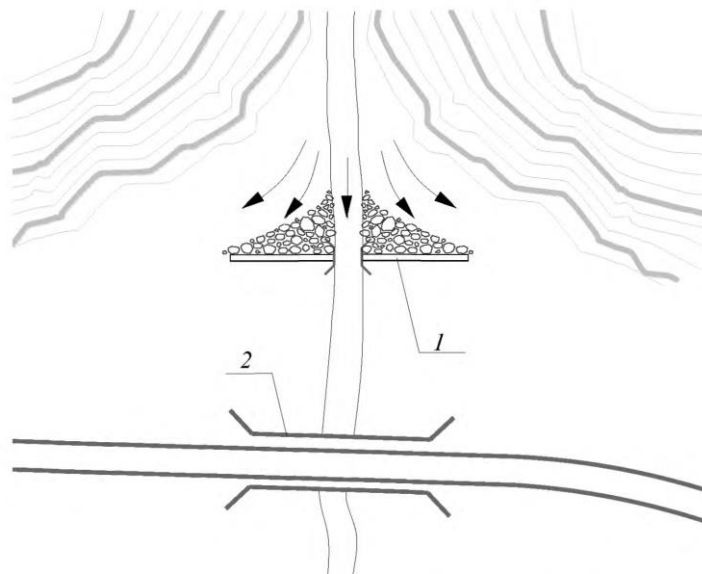
- промежуточные опоры);



а – с вертикальной решеткой; б – с наклонной решеткой

Рис. 4.9. Жесткое сквозное комбинированное селезащитное сооружение

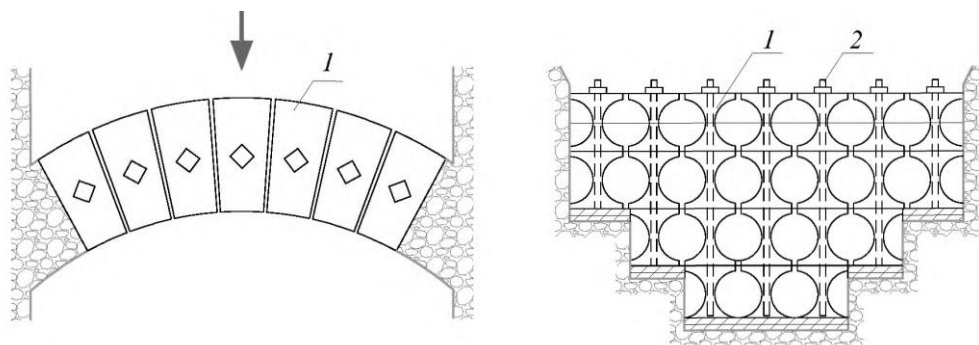
- системами дамб обвалования, не образующих селехранилищ (например, дамба обвалования, расположенная параллельно дороге выше по течению и выполняющая функцию торможения селя и задержания наносов крупных фракций перед дамбой (рис. 4.10).



1 – наносозадерживающая дамба обвалования;  
2 – мостовой переход через селевое русло

Рис. 4.10. Наносозадерживающая дамба обвалования

- арочными системами (например, из блоков клинообразной формы предварительно обжатых по всей высоте (рис. 4.11);



а – план; б – общий вид

1 – клинообразный блок; 2 – вертикальный стальной стержень

Рис. 4.11. Жесткое сквозное арочное селезащитное сооружение

Одним из инновационных решений в области защиты от селей стало внедрение сквозных заграждений из стальных стержней или сеток, которые позволили разделить общую задачу борьбы с селем на отдельные проблемы (рис. 4.12).



Рис. 4.12. Объемное стержневое сооружение

Гибкие селезадерживающие сооружения предназначены для улавливания твердых фракций селевого потока и гашения его энергии за счет упругопластических деформаций их конструкций.

Гибкие селезадерживающие сооружения целесообразно применять при сравнительно небольшой ширине селевого русла (обычно до 25 м). В зависимости от ширины и рельефа русла применяются сооружения с несущими канатами без стоек (с закреплением канатов анкерами на противоположных бортах русла), с несущими канатами и промежуточными и/или боковыми стойками (рис. 4.13-4.16).

Основными элементами гибкого селезадерживающего сооружения являются:

- улавливающая сетка - перехватывает твердые фракции селевого потока, претерпевая при этом упругие и/или пластические деформации;

- опорная конструкция - поддерживает в проектном положении улавливающую конструкцию, воспринимает и передает нагрузки на фундаменты; включает систему несущих канатов и стоек;
- соединительные и направляющие элементы, тормозные устройства;
- фундаменты - передают нагрузки от стоек и растяжек на естественное основание (рис. 4.13).

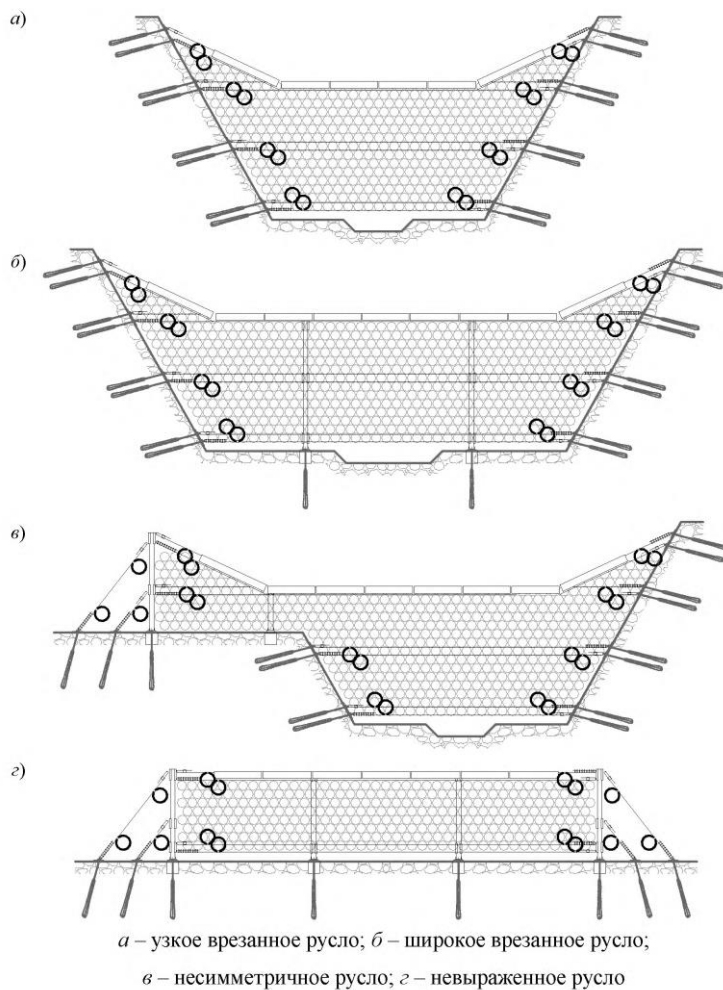


Рис. 4.13. Основные конструктивные схемы гибких селезадерживающих сооружений

К глубинному типу сооружений относятся котлованы-уловители и бочковые площадки (рис. 4.17-4.18), предназначенные для разгрузки движущегося селевого потока от крупных камней за счет уменьшения скорости потока.





Рис. 4.14. Противоселевой барьер в русле ручья Гренбах в Мерлигене



Рис. 4.15. Сквозное противоселевое заграждение на основе сетки

Котлованы-уловители представляют собой расширение и углубление русла. При проектировании котлованов-уловителей следует руководствоваться следующими положениями:

- продольная ось котлована должна быть продолжением продольной оси участка русла, расположенного выше по течению;

- уклон дна котлована рекомендуется уменьшать относительно уклона русла;



Рис. 4.16. Элементы сетки

- откосы котлована рекомендуется назначать тройными;
- глубина должна назначаться исходя из объема расчетного селя и процентного содержания крупных наносов в селевой массе (наиболее приемлемая около 10 метров);
- при устройстве котлована на открытой местности вынимаемый грунт рекомендуется располагать в виде отвалов по его берегам;

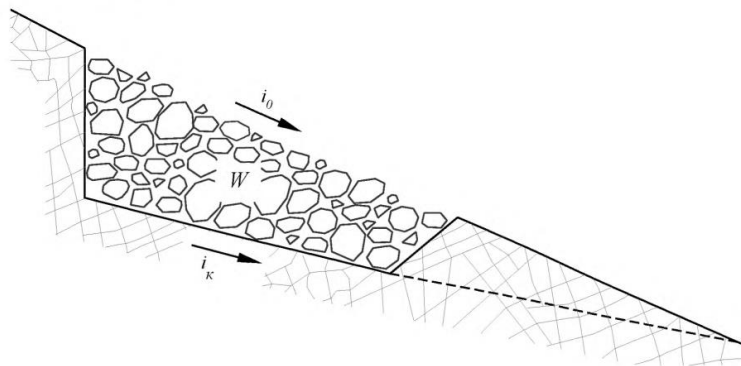
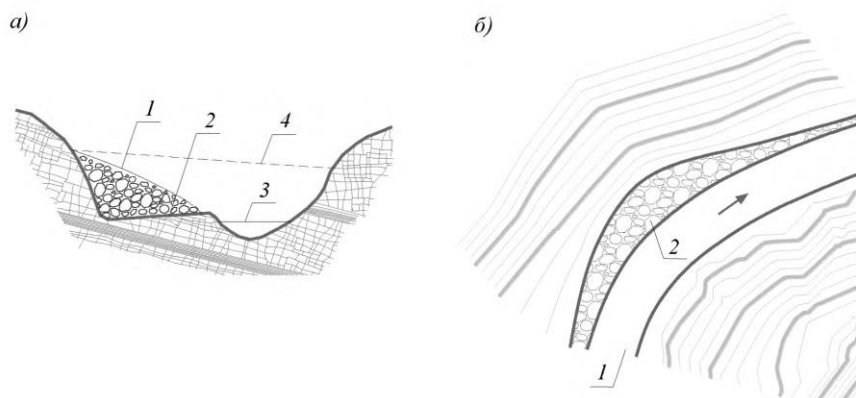


Рис. 4.17. Продольный разрез котлована-уловителя



*a* – поперечный профиль; 1 – селевые отложения;  
 2 – очертание боковой площадки до заполнения отложениями; 3 – горизонт  
 водного паводка; 4 – селевой горизонт;  
*б* – план; 1 – русло; 2 – площадка

Рис. 4.18. Боковая площадка

- для более равномерного распределения селевой массы в котловане рекомендуется оставлять одну-две перемычки, расположенные перпендикулярно продольной оси котлована

- расчетной емкостью котлована необходимо считать емкость котлована ниже дневной поверхности. Емкость, создаваемая за счет обвалования, считают дополнительной.

- бытовые расходы рекомендуется отводить специальными обводными каналами.

Одиночно расположенные сооружения относятся к пассивному типу защиты; системы противоселевых сооружений, расположенные на относительно протяженном участке - к пассивному и активному, т. к. по мере их заполнения происходит уполоаживание уклона русла [14].

**Селепропускные сооружения** предназначены для транзита селевых потоков под или над защищаемым объектом. Этот тип сооружений рекомендуется применять в том случае, если остановить селевой поток до подхода к защищаемому объекту не представляется возможным.

Селепропускные сооружения, по расположению относительно автомобильной дороги, подразделяются на: верховые (селеспуски); низовые (мосты, эстакады).

Селеспуск рекомендуется выполнять в узких и крутых ущельях и на других участках, где рельеф местности позволяет устроить продолжение селевого русла над автомобильной дорогой (рис. 4.19);

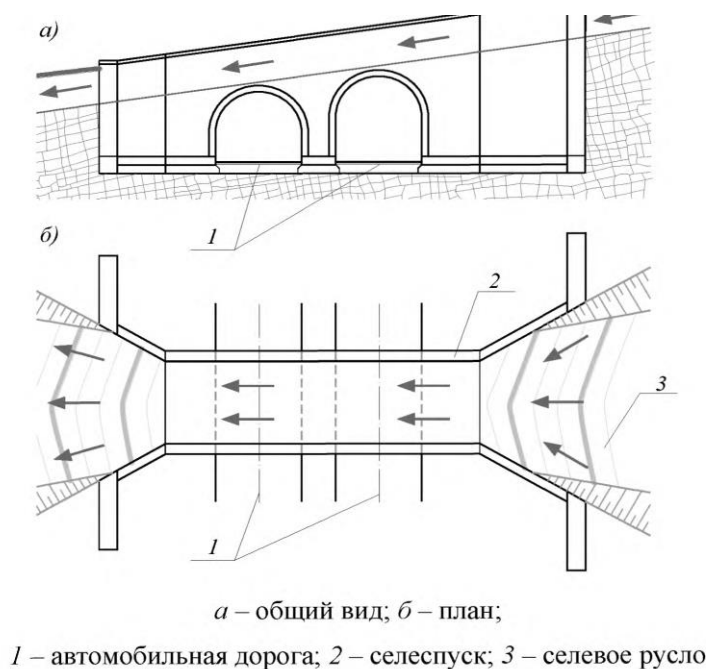


Рис. 4.19. Селеспуск над автомобильной дорогой

Эстакады и мосты - рекомендуется выполнять в местах возможного прохода мощных селевых потоков, а также где русло селевого водотока находится ниже уровня автомобильной дороги и позволяет осуществить пропуск селей под защищаемым объектом.

Технически наилучшим решением является устройство однопролетного моста. При необходимости устройства опор в русле, им придают обтекаемые формы.

Применение труб для пропуска селевых потоков не допускается.

Облицовка селепропускных сооружений должна хорошо сопротивляться истиранию. Рекомендуется применять конструкции сооружений,

позволяющие легко сменять облицовочные части (например, бетонные или железобетонные покрытия) [14].

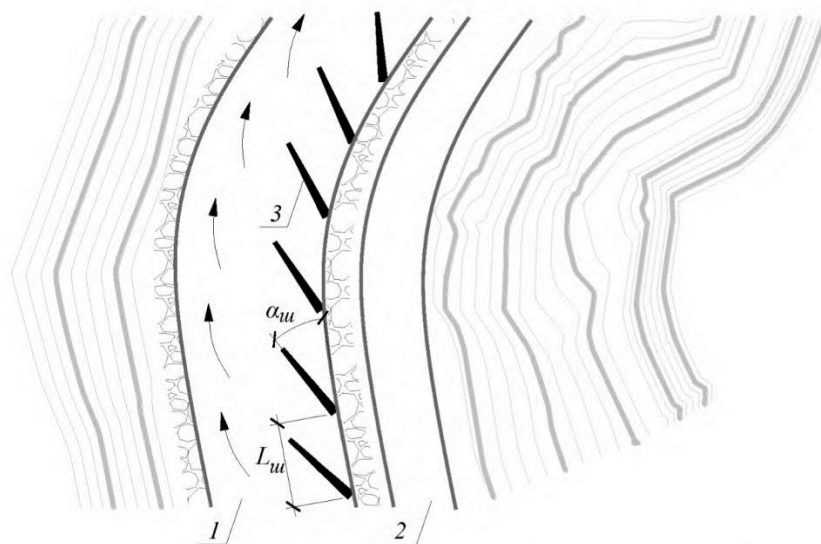
**Селенаправляющие (селеотбойные) сооружения** предназначены для направления потока селепропускное сооружение, а также для предотвращения подмыва защищаемой территории.

К этому типу сооружений относят направляющие и ограждающие дамбы, одевающие панели, шпоры.

Направляющие дамбы ограничивают подводящий участок русла и плавно сужают ширину поймы или лога до ширины селепровода.

Ограждающие дамбы «собирают» поток и не дают ему растекаться, тем самым защищая территорию от затопления.

Одевающие панели и шпоры выполняют функцию защиты берегов от размыва, путем укрепления легко эродируемых бортов более прочными материалами или отбрасыванием потока от защищаемой территории (рис. 4.20). Шпоры глухой или сквозной конструкции, рекомендуется применять при достаточной ширине поймы для односторонней защиты берегов от размыва наносоводными селями [14].



1 – селевое русло; 2 – защищаемая автомобильная дорога; 3 – шпоры

Рис. 4.20. Схема размещения шпор

Селепровод — гидротехническое сооружение для отвода селевых потоков от защищаемых объектов или зон, а также пропуска селя через трассы каналов, транспортные магистрали и другие коммуникации в селеопасных районах. Представляет собой канал или акведук с воронкообразной подходной частью, огражденной дамбами, с устройством устойчивого (против истирания) крепления (обычно из бетонных плит) на входе и выходе сооружения. Укрепленные участки, во избежание их подмыва и прорыва селевого потока под селепроводом, ограждаются глубокими шпорами.

Для защиты объектов и снижения возможных разрушений и потерь среди населения в селеопасном районе возводятся противоселевые сооружения, позволяющие:

1. задержать селевые выносы выше защищаемого объекта;
2. отвести селевой поток от защищаемого объекта или пропустить его через объект;
3. стабилизацию и защиту русла от размыва;
4. обеспечить снижение силы ударного воздействия селевого потока.

Задержание селевых выносов осуществляется путем устройства запруд, селезащитных плотин (дамб) или котлованов-наносоуловителей (рис. 4.21-4.22 а).

Запруды и селезащитные плотины предназначены для задержания выносов и больших объемов твердого стока, а также стабилизации и защиты русла. Они возводятся из камня, бетона, железобетона, металла в виде глухих или решетчатых стенок, перегораживающих русло. Наносоуловители предназначены для уменьшения скорости селевого потока, вследствие оседания твердой массы.

Для отвода селевого потока от объекта и его торможения возводятся селеотводящие сооружения (селерезы, стенки), селеспуски, селепропускные

сооружения, селенаправляющие и селеотбойные сооружения, тормозящие и другие простейшие сооружения (рис. 4.22 б, е, г, д).

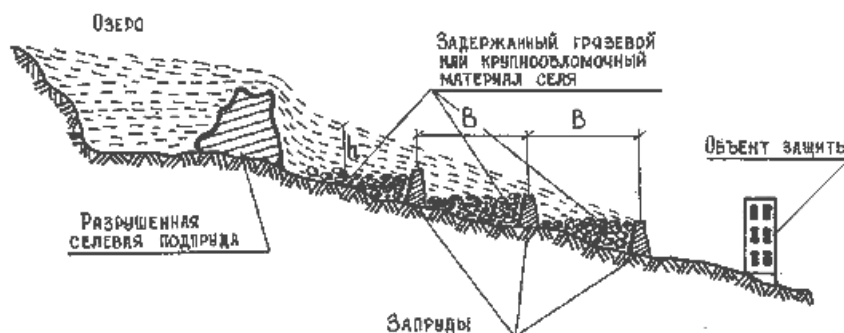


Рис. 4.21. Схема задержания селевых выносов и стабилизации русла:

$h$  — высота селевого потока;

$B$  — расстояние между запрудами, которое не должно превышать :

При  $h = 3—5$  м. и крупности обломков более 0,5 м. —  $B = 120$  м.;

При  $h = 1,5—3$  м. и крупности обломков до 0,4 м. —  $B = 60$  м.;

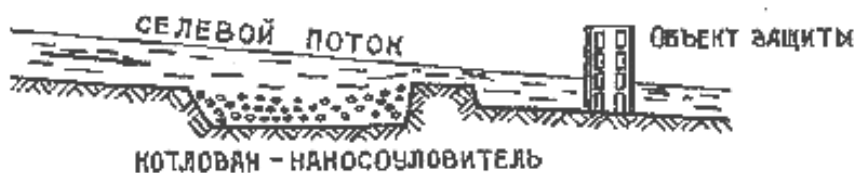
При  $h = 1, —1,5$  м. —  $B = 40$  м.

**Селеотводящие сооружения** (селерезы, стенки) предназначены для направления селевого потока в сторону от защищаемого объекта. Возводятся высотой  $H_{эф} = h + V^2 / (2g)$  (рис. 4.22 б).

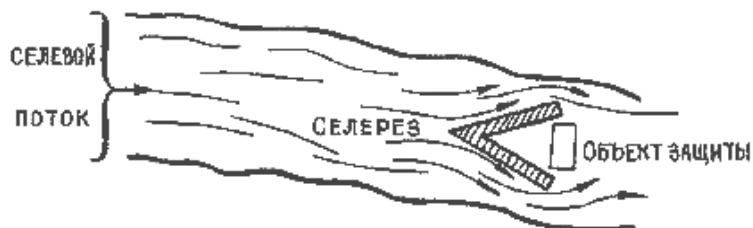
Селеспуски предназначены для переброски селей через защищаемые объекты (дороги, трубопроводы и т. д.) и представляют собой лоток, закрепленный на железобетонных рамах или каменноарочных опорах, продолжая селевой поток (русло) (рис. 4.22 в).

**Селепропускные сооружения** предназначены для пропуска селевых потоков под защищаемым объектом в виде бетонных лотков-быстротоков и каналов (рис. 4.22 д). При возведении селеспусков на одном уровне с защищаемым объектом их устраивают в виде канализированного русла. Такие сооружения наиболее эффективны при пропуске селевого потока через населенные пункты (рис. 4.22 г).

А) Наносоуловитель



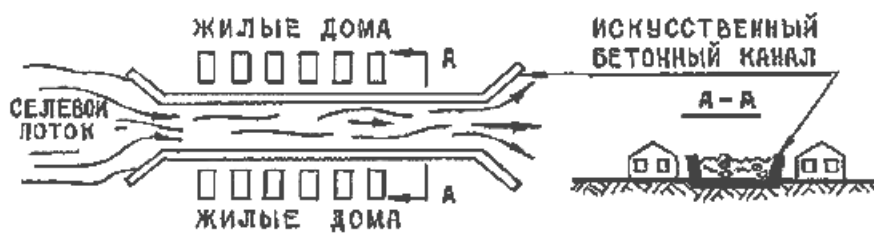
Б) Селерезы (план)



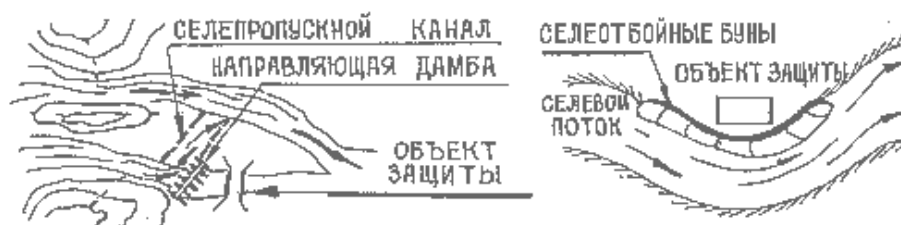
В) Селеспуск



Г) Канализированное русло селевого потока



Д) Селепропускной канал



Е) Селеотбойные буны

Рис. 4.22. Схемы противоселевых сооружений



Селенаправляющие (подпорные стенки, опояски, дамбы), селеотбойные (полузапруды, буны, шпоры) сооружения предназначены для защиты объектов, расположенных вдоль русел. Селенаправляющие сооружения в виде стенок устраиваются вдоль берега в местах его наиболее интенсивного размыва. Селеотбойные сооружения устанавливаются под углом  $25^\circ$  к оси потока, причем один конец сооружения закрепляют в защищаемый берег, что позволяет отклонить направление потока к противоположному берегу. Сооружения данного типа устраиваются из камня, железобетона или бревен.

Тормозящие сооружения (надолбы, земляные и каменные холмы) предназначены для уменьшения скорости селя на склонах с крутизной до  $15^\circ$ .

Простейшие сооружения (валы-канавы и террасы с широким основанием) устраивают в балках.

Валы-канавы располагают строго горизонтально на склонах крутизной не более  $10^\circ$ , иначе может произойти разрушение насыпного откоса. На склонах крутизной от  $10^\circ$  до  $30^\circ$  устраивают ступенчатые террасы с обратным уклоном  $4^\circ$ — $6^\circ$  и шириной 3,5—4,0 м.

Эффективность селезащитных сооружений может быть оценена по степени уменьшения эквивалентного давления на защищаемый объект. При этом предполагается, что само сооружение не будет разрушено или смыто под воздействием селевого потока. Поэтому при проектировании и строительстве селезащитного сооружения следует обеспечить его устойчивость к действующим нагрузкам, которые определяются также как на преграды защищаемых объектов.

Нагрузки на стенки лотков и горизонтальные поверхности селеспусков и селепропускных сооружений принимаются только по статической компоненте селевого давления (т. е. при коэффициенте бокового давления  $K_b = 1$ , как для жидкой среды). Давление на тормозящие сооружения в виде надолбов и холмов определяются с коэффициентами  $C=0,4$  и  $C=0,15$  соответственно [31].

**Селестабилизирующие сооружения** предназначены для предупреждения возникновения или развития селевых потоков путем уменьшения эродирующей способности (скорости) водного потока и исключения перестроения его в мощный сель.

Стабилизирующие сооружения по месту расположения могут быть русловыми (поперечные подпорные стены, системы запруд) и склоновыми (террасы-каналы, нагорные каналы, дренажи).

Поперечные подпорные стены (пороги) выполняют в виде стен, расположенных по ширине русла и опущенных на всю высоту в грунт. Этот тип сооружений применяют для повышения механической устойчивости потенциально опасных селевых массивов рыхлообломочных грунтов.

Запруды представляют собой выступающие над дном русла конструкции, расположенные перпендикулярно потоку. Переливаясь через гребень запруды, селевой поток расходует часть энергии, транспортирующая способность снижается, что способствует осаждению крупных каменных материалов. Конструкции запруд могут быть выполнены из каменной кладки, сборного или монолитного железобетона. Для обеспечения упругого удара селевой волны о напорную грань запруды рекомендуется с верховой стороны устраивать амортизационную засыпку из песка или гравия с заложением, соответствующим углу естественного откоса.

Ступенчатое террасирование склона представляет собой расположенные поперек склона с определенным шагом террасы. Этот вид селестабилизирующих мероприятий следует применять для борьбы с эрозией, уменьшения объема дождевого стока, а также стабилизации склона. Террасы могут быть выполнены с валами и без них.

Дренажные устройства выполняют функцию осушения потенциальных источников подпитки селевого потока.

Русловые стабилизирующие сооружения предусматривают в виде систем запруд (рис. 4.23) охватывающих все участки русел бассейна, в которых возможно образование селевых потоков [14].

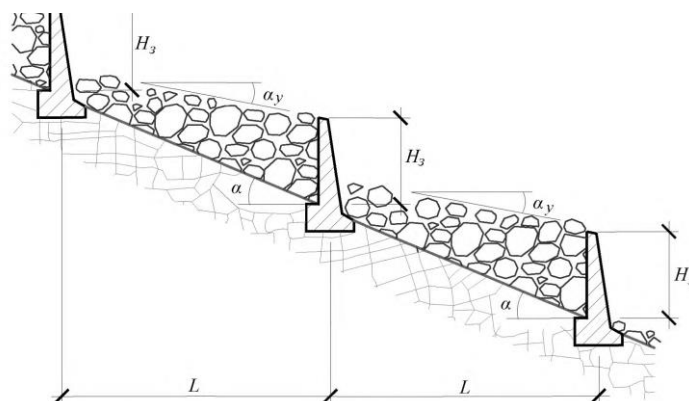


Рис. 4.23. Схема расположения стабилизирующих запруд на продольном профиле селевого русла

**Селепредотвращающие сооружения** предназначены для предупреждения возникновения селевых потоков путем регулирования величины расхода дождевого или гляциального паводка. Объем селеобразующего паводка аккумулируется в верхнем бьефе селепредотвращающего сооружения и затем постепенно сбрасывается в нижний бьеф, с величиной расхода не превышающей селеобразующего.

Селепредотвращающие сооружения рекомендуется применять в условиях, когда очаг образования дождевого или гляциального селя находится ниже очага формирования селеобразующего паводка.

Основными видами селепредотвращающих сооружений являются плотины и водосборы.

Плотины следует устраивать на участке, где рельеф между зонами образования водной составляющей и селевыми очагами, позволяет создать регулируемую емкость.

Водосбросы следует устраивать для предотвращения образования селевого потока вследствие прорыва озер. Тип водосброса (траншейный, си-

фонный, туннельный и др.) определяется строительными условиями и характером озерной перемычки.

Плотина должна быть оборудована выпуском воды, обеспечивающим автоматическое опорожнение регулирующей емкости с расходом, не превышающим селеобразующий, а также катастрофическим водосбросом [14].

Применение тех или иных способов борьбы определяют в зависимости от расположения защищаемого объекта в селевом бассейне, масштабов и повторяемости селей. Профилактические меры принимают для предупреждения появления селя или ослабления его действия ещё в самом начале процесса. Наиболее радикальным средством является лесонасаждение на селеопасных горных склонах. Лес регулирует сток, уменьшает массу воды, рассекает потоки на отдельные ослабленные струи. В зоне водосбора нельзя вырубать лес и нарушать дерновый покров. Здесь же целесообразно повышать устойчивость склонов террасированием, перехватывать и отводить воду нагорными канавами, земляными валами.

В руслах селей наибольший эффект дают запруды. Эти сооружения из камня и бетона, установленные поперек русла, задерживают селя и отбирают у него часть твёрдого материала. Полузапруды отжимают поток к берегу, который менее подвержен разрыву. Селеулавливатели применяют в виде котлованов и бассейнов, закладываемых на пути движения потоков; строят берегоукрепительные подпорные стенки, препятствующие размыву берегов русла и защищающие здания от ударной силы селя. Эффективны направляющие дамбы и селехранилища. Дамбы направляют поток в нужном направлении и ослабляют его действие.

На участках населённых пунктов и отдельных сооружений, расположенных в зоне отложения селевой массы, устраивают отводные каналы, направляющие дамбы, русло рек забирают в высокие каменные берега, ограничивающие растекание селевого потока. Для защиты дорожных со-

оружений наиболее рациональны селеспуски в виде железобетонных и каменных лотков, пропускающих сели над сооружениями или под ними [26].

#### 4.4. Снежные лавины

Лавина (нем. Lawine, от позднелатинского *labina* — оползень) — масса снега, падающая или соскальзывающая со склонов гор. Снежные лавины могут представлять большую опасность, вызывая человеческие жертвы (в частности, среди альпинистов, любителей горных лыж и сноубординга) и принося существенный ущерб народному хозяйству. Иногда снежные лавины несут катастрофические последствия (так, в феврале 1999 года лавина массой в 170 тыс. тонн полностью разрушила посёлок Гальтур в Австрии, вызвав гибель 30 человек, а в начале марта 2012 года серия лавин в Афганистане разрушила жилые дома и убила не менее 100 человек). Снежные лавины, в той или иной степени, распространены во всех горных районах России и в большинстве горных районов мира. В зимний период они являются основной природной опасностью гор.

Снег, выпадая в виде осадков, удерживается на склоне за счет силы трения (её величина зависит от целого ряда факторов, в том числе влажности снега, крутизны склона). Физика процесса проста - сход лавины происходит в тот момент, когда сила давления массы снега начинает превышать силу трения.

Наиболее благоприятны для лавинообразования склоны крутизной 25—45°, однако известны сходы лавин со склонов крутизной 15—18°. Считается, что склон 15° с глубиной снега 15 см может быть лавиноопасным при соблюдении ряда условий, например, оттепели, вследствие которой снег тает, затем мороза, вследствие которого образовывается ледяной склон, и завершает все сильный снегопад. В итоге формируется снежная масса лежащая на ледяном склоне и готовая сорваться вниз.

На склонах круче  $50^\circ$  снег не может накапливаться в больших количествах и скатывается небольшими дозами по мере поступления, однако полностью лавинобезопасным считается склон положе  $15^\circ$  или круче  $60^\circ$ .

Сход со склона скопившейся снежной массы обычно провоцируется климатическими причинами: резкой сменой погоды (в том числе перепадами атмосферного давления, влажности воздуха), дождями, обильными снегопадами, а также механическими воздействиями на снежную массу, включая воздействие камнепадов, землетрясений и т. п. Иногда, в силу установившегося относительного равновесия между действующей силой трения и силой давления, сход лавины может инициироваться незначительным толчком (например, звуком ружейного выстрела или давлением на снег одного человека — горнолыжника, сноубордиста). Объём снега в лавине может достигать до нескольких миллионов кубических метров. Однако опасными для жизни могут быть даже лавины объёмом около  $5 \text{ м}^3$ .

Существуют несколько классификаций лавин, например: по объёму, по рельефу лавиносбора и пути лавины (лотковая лавина, прыгающая лавина), по консистенции снега (сухая, влажная и мокрая лавины).

*Сухие лавины*, как правило, возникают вследствие невысокой сцепной силы между недавно выпавшей массой снега и нижележащей ледяной коркой. Скорость движения сухих лавин обычно составляет  $20\text{—}70 \text{ м/с}$  (до  $125 \text{ м/с}$ ) при плотности снега от  $0,02$  до  $0,3 \text{ г/см}^3$ . Сход лавины из сухого снега может сопровождаться образованием снеговоздушной волны, производящей значительные разрушения.

*Мокрые лавины* обычно возникают на фоне неустойчивых погодных условий, непосредственной причиной их схода является появление водяной прослойки между слоями снега разной плотности. Мокрые лавины движутся значительно медленнее сухих, со скоростью  $10\text{—}20 \text{ м/с}$  (до  $40 \text{ м/с}$ ) и имеют плотность  $0,3\text{—}0,4 \text{ г/см}^3$ . Более высокая плотность обуславливает

быстрое «схватывание» снежной массы после остановки, что затрудняет проведение спасательных работ.

Предупреждением возникновения лавин, опасных для населенных пунктов, туристических баз и различных коммуникаций, занимаются специализированные службы. В частности, в России эти функции возложены на противолавинные службы, действующие в системе Росгидромета. Для предотвращения появления опасных для человека лавин проводится комплекс специальных мероприятий по лавинной безопасности, который включает в себя активные и пассивные меры противолавинной защиты.

К активным методам противолавинной защиты относят мероприятия, направленные на инициирование схода лавин, чтобы последствия этого были минимальными. Для этих целей издавна применялась стрельба из артиллерийского орудия (причем как снарядом — в область нахождения опасной снежной массы, так и холостым выстрелом, с целью создания акустического воздействия, приводящего к преднамеренному сходу лавины). Издавна применяются методы простой «подрезки» снежных масс лыжами и обвала снежных козырьков, но, эти способы требуют хороших навыков и очень опасны. Современный путь предотвращения негативных последствий лавин — активная динамическая противолавинная защита, представляющая собой устройства, размещающиеся в местах наибольшего лавинообразования и управляемые дистанционно, которые позволяют воздействовать на снежные массы с целью искусственного схода лавины, с помощью сжатого воздуха или взрывов газовой смеси.

Пассивные меры противолавинной защиты направлены на удержание снега на склоне и недопущение схода лавин либо на направление сошедших лавин в безопасном направлении. К таким мерам относится возведение на склонах противолавинных барьеров (рис. 4.24), лотков, лавинорезов (рис. 4.25) и дамб. На линейных объектах, таких как автомобильные или железные дороги, сооружают лавинозащитные галереи (рис. 4.26) [35].



Рис. 4.24. Сетчатый противолавинный барьер



Рис. 4.25. Лавинорез (Сочи, 2013 г.)



Рис. 4.26. Лавинозащитная галерея

## 5. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ОПАСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ.



## НАВОДНЕНИЯ, ЗАЩИТА ОТ НАВОДНЕНИЙ

Наводнение — это значительное затопление местности в результате подъема уровня воды в реке, озере, водохранилище или море, наносящее материальный ущерб экономике, социальной сфере и природной среде.

Наводнения опасны сами по себе и к тому же провоцируют множество других природных бедствий – обвалы, оползни, сели. Одно из самых страшных наводнений произошло в 1887 г. в Китае, когда вода в р. Хуанхэ за считанные часы поднялась на высоту восьмизэтажного дома. В результате погибло около 1 млн. жителей этой речной долины.

По данным МЧС России, наводнения по повторяемости, площади распространения, суммарному среднегодовому ущербу занимают первое место в России среди известных стихийных бедствий. По числу человеческих жертв они занимают второе место после землетрясений.

На территории России наводнения угрожают почти 40 городам и нескольким тысячам других населенных пунктов. Повторяемость наводнений в среднем колеблется от одного раза в 5—10 лет до одного раза в 15—20 лет. Но есть города, где наводнения наблюдаются один раз в 2—3 года (Уфа, Орск, Курск и ряд других).

Возникают наводнения вследствие обильного и сосредоточенного притока воды при таянии снега и ледников, длительного выпадения интенсивных дождей в бассейнах рек, загромождения русел рек тающим льдом (заторов) или закупоривания русла реки внутренним, вновь образующимся льдом (зажор), нагона воды ветром в морских устьях рек.

Затопление водой местности, которое не сопровождается ущербом окружающей среде, называется разливом реки, озера или водохранилища.

Наводнения могут быть вызваны различными причинами, связанными с особенностями речного стока воды и его изменениями в различное время года. На сток воды в реках оказывают влияние таяние снега и льда, ливне-

вые осадки и нагонный ветер в устьях рек. В зависимости от этих причин различают несколько видов наводнений.

1. Наводнения, связанные со стоком воды во время половодья.

2. Наводнения, формируемые за счет паводка.

3. Наводнения, вызываемые большим сопротивлением, которое водный поток встречает в русле реки. Они происходят при заторах и зажорах льда в реке.

4. Наводнения, связанные с ветровым нагоном воды на берегах больших озер и в морских устьях крупных рек.

1. Наводнения, связанные со стоком воды во время половодья.

Половодье — это ежегодно повторяющееся в один и тот же сезон увеличение объема воды в реке, которое сопровождается выходом ее вод из берегов и затоплением поймы реки. Половодье равнинных рек в местах с умеренным климатом вызывается весенним снеготаянием (весеннее половодье). Половодье на реках, берущих начало высоко в горах, вызывается таянием снега и ледников в летнее время (летнее половодье). Этот вид наводнений отличается значительным и довольно длительным подъемом уровня воды в реке.

2. Наводнения, формируемые за счет паводка.

Паводок — это стремительное, кратковременное и неперiodическое поднятие уровня воды, возникающее в результате быстрого таяния снега, ледников, обильных дождей. Значительный паводок может вызвать наводнение. Этот вид наводнения характеризуется интенсивным, сравнительно кратковременным подъемом уровня воды.

3. Наводнения, вызываемые большим сопротивлением, которое водный поток встречает в русле реки. Они происходят при заторах и зажорах льда в реке.

Затор — это скопление льда в русле реки, ограничивающее ее течение. Затопы образуются обычно в конце зимы и в весенний период при

вскрытии рек. Чаще всего заторы образуются на реках, текущих с юга на север (Северная Двина, Печора, Лена, Енисей, Иртыш).

Зажор — это явление, сходное с затором льда, но оно наблюдается на реках в начале зимы. Зажоры образуются на реках в период формирования ледяного покрова. Зажор возникает из-за скопления в русле реки рыхлого льда и небольших льдин и вовлечения его под кромку образовавшегося ледяного покрова, что препятствует свободному течению воды и вызывает подъем уровня воды в реке вверх по ее течению. По частоте зажорных наводнений и величине подъема воды отмечаются реки Ангара и Нева.

4. Наводнения, связанные с ветровым нагоном воды на берегах больших озер и в морских устьях крупных рек. Такие наводнения возникают на наветренном берегу водоема, когда под воздействием на водную поверхность сильного ветра уровень воды поднимается [9].

Все вышеперечисленные виды наводнений в зависимости от их масштаба и наносимого материального ущерба подразделяются на низкие, высокие, выдающиеся и катастрофические.

Низкие (малые) наводнения наблюдаются в основном на равнинных реках. Частота их повторения примерно один раз в 5—10 лет. Эти наводнения наносят незначительный материальный ущерб и почти не нарушают жизни населения.

Высокие (большие) наводнения сопровождаются значительным затоплением, охватывают большие участки речных долин и нарушают жизнедеятельность населения. В густонаселенных районах наводнения нередко приводят к необходимости частичной эвакуации людей и наносят ощутимый материальный ущерб. Частота повторения больших наводнений примерно один раз в 20—25 лет.

Выдающиеся наводнения вызывают затопление обширных территорий, парализуют хозяйственную деятельность населения, наносят большой материальный ущерб. При этом возникает необходимость массовой эвакуа-

ции населения из зоны затопления. Такие наводнения отмечаются примерно один раз в 50—100 лет.

Катастрофические наводнения вызывают затопление обширных территорий в пределах одной или нескольких речных систем. В зоне затопления полностью парализуется жизнедеятельность человека. Такие наводнения приводят к огромным материальным убыткам и к гибели людей. Отмечаются примерно один раз в 100—200 лет.

Масштабы последствий наводнения зависят от высоты и продолжительности стояния опасных уровней воды, скорости водяного потока, площади затопления, времени года и плотности проживания населения на затопляемой местности [9].

**Защита от наводнений.** Для защиты от наводнений применяют меры, позволяющие уменьшить потери от них. 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.

Обязательным условием организации защиты от поражающих факторов и последствий наводнений является их прогнозирование. Для прогнозирования используется гидрологический прогноз – научно-обоснованное предсказание развития, характера и масштабов наводнений. В прогнозе указывают примерно и время наступления какого-либо элемента ожидаемого режима, например, вскрытия или замерзания реки, ожидаемый максимум половодья, возможную продолжительность стояния высоких уровней воды, вероятность затора льда и другое. Прогнозы делятся на краткосрочные – до 10-12 суток и долгосрочные – до 2-3 месяцев и более. Они могут быть локальными (для отдельных участков рек и водоемов) или территориальными,

содержащими обобщенные по значительной территории сведения об ожидаемых размерах и сроках явления.

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.

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. В водохранилищах регулируемого типа имеются затворы, которые закрываются, когда ниже по течению от них интенсивность паводка достигает критического уровня, а когда наводнение там прекращается, они вновь открываются. На выходе из водохранилища автоматического удержания паводка устраиваются водосбросные сооружения, которые достаточны для пропуска нормального расхода, но избыточный поток не пропускают. При паводке поток на выходе такого

водохранилища постоянны, а в остальное время он меньше и зависит от притока воды.

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, обычно за 15-25 дней до вскрытия реки. Заторы льда при толщине его скоплений не более 3-4 м. также ликвидируются с помощью речных ледоколов.

К пассивным мероприятиям относятся:

- Ограждение территорий дамбами (системами обвалования);
- Увеличение пропускной способности речного русла;
- Повышение отметок защищаемой территории,
- Агролесомелиорация.

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 появились значительно позднее насыпных дамб; они строятся из бетона и возводятся, как правило, в районах с развитой застройкой, где для насыпей просто не хватает места (рис. 5.1). 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 [32].



Рис. 5.1. Дамба обваловывания

Для защиты территории от затопления применяют два типа дамб обвалования - незатопляемые и затопляемые.

Незатопляемые дамбы следует применять для постоянной защиты от затопления городских и промышленных территорий, прилегающих к водохранилищам, рекам и другим водным объектам.

Затопляемые дамбы допускается применять для временной защиты от затопления сельскохозяйственных земель в период выращивания на них сельскохозяйственных культур, для формирования и стабилизации русел и берегов рек, регулирования и перераспределения водных потоков и поверхностного стока.

На меандрирующих реках в качестве средств инженерной защиты территории от затопления следует предусматривать руслорегулирующие сооружения:

- продольные дамбы, располагаемые по течению или под углом к нему и ограничивающие ширину водного потока реки;

- струенаправляющие дамбы - продольные, прямолинейные или криволинейные, обеспечивающие плавный подход потока к водопропускным отверстиям моста, плотины, водоприемника и другим гидротехническим сооружениям;

- затопляемые запруды, перекрывающие русло от берега до берега, предназначенные для полного или частичного перекрытия течения воды по рукавам и протокам;

- полузапруды - поперечные выправительные сооружения русла, обеспечивающие выправление течения и создание судоходных глубин;

- шпоры (короткие незатопляемые полузапруды), устанавливаемые под некоторым углом к течению, обеспечивающие защиту берегов от размыва;

- береговые и дамбовые крепления, обеспечивающие защиту берегов и откосов дамб от размыва и разрушения течением и волнами;

- сквозные сооружения, возводимые для регулирования потока воды в русле и наносов путем перераспределения расходов воды по ширине русла и создания у берегов замедленных (неразмывающих) скоростей течения [21].

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 водо-охранительных 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 [21].

В г. Казани для защиты города от подтопления водами Куйбышевского водохранилища был создан комплекс гидротехнических сооружений инженерной защиты.

Комплекс защитных сооружений в г. Казани был введен в строй в 1957 году в связи со строительством Куйбышевского гидроузла. Комплекс гидротехнических сооружений состоит из 11 дамб и плотин общей протяженностью 24 км, открытых и закрытых дрен общей протяженностью 19 км, естественных дрен (озеро Кабан, старая излучина реки Казанки, открытая и закрытая протоки Булак) общей протяженностью 12 км, 7 насосных станций общей производительностью 70 тыс. куб. м в час.

Дамбы и плотины имеют отметку гребня не ниже 58 м балтийской системы и защищают территорию города от подтопления водами Куйбышевского водохранилища.

Дрены служат для понижения уровня грунтовых вод, перехвата фильтрующих через защитные дамбы вод и доставки их к насосным станциям.

Насосные станции перекачивают грунтовые, дренажные и поверхностные ливневые воды, поступающие в водозаборные колодцы от дрен и ливневой канализации, в Куйбышевское водохранилище и в реку Казанку, а также регулируют уровень воды в озере Кабан и протоке Булак.

Регулирующим бассейном для ливневых и паводковых вод центральной части города являются озёра Нижний и Средний Кабан суммарной площадью 2 млн. кв. м, вмещающие 10 млн. куб. м воды. В заречной части города таким бассейном является старая излучина реки Казанки длиной 3,5 км [28].

Гораздо более мощные сооружения построены для защиты г. Санкт-Петербурга от наводнений [34]. Наводнения нарушают нормальные условия жизни в Санкт-Петербурге, затрудняют использование его приморских территорий, причиняют большой ущерб промышленности и городскому хозяйству. Они создают постоянную угрозу уничтожения памятников истории, культуры и искусства и представляют реальную опасность для жизни людей. Наводнения с периодичностью один раз в сто лет, с подъемом уровня на 3 м 45 см приводят к затоплению жилой застройки, множества памятников культуры, таких как Эрмитаж, Русский музей, Петропавловская крепость, Марсово поле, Мариинский, Меншиковский и другие дворцы, десятков мостов, декоративных оград, памятников и скульптур. Анализ данных по величине и частоте наводнений указывает на очевидную тенденцию к увеличению частоты наводнений в настоящее время.

Комплекс защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений — комплекс дамб и смежных гидротехнических сооружений (водопрпускных и судопропускных сооружений), протянувшийся поперёк Финского залива от Бронки до Сестрорецка (посёлок Горская), через остров Котлин, на котором находится город Кронштадт. Строительство велось с 1979 по 2011 год, стоимость проекта по состоянию на первую декаду августа 2010 года составила 87,3 миллиарда рублей.

Комплекс защитных сооружений предназначен для защиты акватории Невской губы и дельты Невы от сгонно-нагонных явлений, при которых фиксировался подъем воды до 4,2 метра выше ординара. Полная протяженность защитных сооружений 25,4 км. Комплекс рассчитан на защиту от

наводнений высотой до 4,55 метра, верхняя отметка волноотбойной стенки над средним многолетним уровнем воды — 7,5 м.

С каждым годом КЗС подтверждает свою эффективность. За 11 лет эксплуатации было предотвращено 30 нагонных наводнений, из них 13 особо опасных [34].

## **6. ОПАСНЫЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ**

### **6.1. Буря, ураган, тайфун, смерч, штормовой нагон, цунами**

К опасным метеорологическим явлениям (ОЯ) относятся явления погоды, которые интенсивностью, продолжительностью и временем возникновения представляют угрозу безопасности людей, а также могут нанести значительный ущерб отраслям экономики (табл. 6.1).

Критерии опасных гидрометеорологических явлений устанавливаются, исходя из климатических особенностей региона. Явления, не достигшие установленных критериев, называются неблагоприятными. Неблагоприятные метеорологические явления значительно затрудняют или препятствуют деятельности отдельных отраслей экономики.

*Таблица 6.1.*

Классификация опасных гидрометеорологических явлений

Наименование ОЯ	Характеристики и критерии или определение ОЯ
А.1 Очень сильный ветер	Ветер при достижении скорости при порывах не менее 25 м/с, или средней скорости не менее 20 м/с; на побережьях морей и в горных районах 35 м/с или средней скорости не менее 30 м/с.
А.2 Ураганный ветер (ураган)	Ветер при достижении скорости 33 м/с и более.

Наименование ОЯ	Характеристики и критерии или определение ОЯ
А.3 Шквал	Резкое кратковременное (в течение нескольких минут, но не менее 1 мин) усиление ветра до 25 м/с и более.
А.4 Смерч	Сильный маломасштабный вихрь в виде столба или воронки, направленный от облака к подстилающей поверхности.
А.5 Сильный ливень	Сильный ливневый дождь с количеством выпавших осадков не менее 30 мм за период не более 1 ч.
А.6 Очень сильный дождь (очень сильный дождь со снегом, очень сильный мокрый снег, очень сильный снег с дождем)	Выпавший дождь, ливневый дождь, дождь со снегом, мокрый снег с количеством не менее 50 мм, в ливнеопасных (селеопасных) горных районах – не менее 30 мм за период времени не более 12 ч.
А.7 Очень сильный снег	Выпавший снег, ливневый снег с количеством не менее 20 мм за период времени не более 12 ч.
А.8 Продолжительный сильный дождь	Дождь с короткими перерывами (не более 1 ч) с количеством осадков не менее 100 мм (в ливнеопасных районах с количеством осадков не менее 60 мм) за период времени более 12 ч, но не менее 48 ч, или 120 мм за период времени более 2 сут.
А.9 Крупный град	Град диаметром 20 мм и более.
А.10 Сильная метель	Перенос снега с подстилающей поверхности (часто сопровождаемый выпадением снега из облаков) сильным (со средней скоростью не ме-

Наименование ОЯ	Характеристики и критерии или определение ОЯ
	нее 15 м/с) ветром и с метеорологической дальностью видимости не более 500 м продолжительностью не менее 12 ч.
А.11 Сильная пыльная (песчаная) буря	Перенос пыли (песка) сильным (со средней скоростью не менее 15 м/с) ветром и с метеорологической дальностью видимости не более 500 м продолжительностью не менее 12 ч
А.12 Сильный туман (сильная мгла)	Сильное помутнение воздуха за счет скопления мельчайших частиц воды (пыли, продуктов горения), при котором значение метеорологической дальности видимости не более 50 м продолжительностью не менее 12 ч.
А.13 Сильное гололедно - изморозевое отложение	Диаметр отложения на проводах: гололеда – диаметром не менее 20 мм; сложного отложения или мокрого (замерзающего) снега – диаметром не менее 35 мм; изморози – диаметр отложения не менее 50 мм.
А.14 Сильный мороз	В период с ноября по март значение минимальной температуры воздуха достигает установленного для данной территории опасного значения или ниже его.
А.15 Аномально-холодная погода	В период с октября по март в течение 5 дней и более значение среднесуточной температуры воздуха ниже климатической нормы на 7 °С и более.
А.16 Сильная жара	В период с мая по август значение максимальной температуры воздуха достигает установлен-

Наименование ОЯ	Характеристики и критерии или определение ОЯ
	ного для данной территории или выше его.
А.17 Заморозки	Понижение температуры воздуха и/или поверхности почвы (травостоя) до значений ниже 0°C на фоне положительных средних суточных температур воздуха в периоды активной вегетации сельхозкультур или уборки урожая, приводящее к их повреждению, а также к частичной или полной гибели урожая сельхозкультур.
А.18 Аномально-жаркая погода	В период с апреля по сентябрь в течение 5 дней и более значение среднесуточной температуры воздуха выше климатической нормы на 7 °С и более.
А.19 Чрезвычайная пожарная опасность	Показатель пожарной опасности относится к 5-му классу (10 000 °С по формуле Нестерова).

К неблагоприятным метеорологическим явлениям относятся метеорологические явления, которые по своим характеристикам (интенсивности, продолжительности) не достигают критериев ОЯ, но значительно затрудняют деятельность отдельных отраслей экономики [33].

Основными признаками возникновения ураганов, бурь и смерчей являются: усиление скорости ветра и резкое падение атмосферного давления.

**Буря** – длительный, очень сильный ветер со скоростью более 20 м/с, наблюдается обычно при прохождении циклона и сопровождается сильным волнением на море и разрушениями на суше [19].

**Ураган** – это атмосферный вихрь больших размеров со скоростью ветра до 120 км/ч, а в приземном слое – до 200 км/ч. Ураган возникает, если поступающий тёплый влажный воздух приходит в

соприкосновение с областью холодного воздуха большого объёма, при этом область соприкосновения имеет значительную протяжённость. В результате процесс смешения воздушных масс и выделения тепла происходит в протяжённом объёме. Фронт урагана проходит по линии соприкосновений с поверхностью земли и перемещается в направлении, поперечном его средней линии. С обеих сторон этой линии происходит втягивание холодного воздуха,двигающегося над поверхностью земли с большой скоростью. При прохождении фронта происходит интенсивное перемешивание холодного воздуха, изначально находившегося над поверхностью земли, и пришедшего теплого воздуха, при этом осадки значительные и интенсивные. После прохождения фронта температура воздуха заметно повышается.

Ураган может захватить территорию в диаметре до нескольких сотен километров и способен перемещаться на тысячи километров. При этом ураганный ветер разрушает прочные и сносит легкие строения, опустошает засеянные поля, обрывает провода и валит столбы линий электропередачи и связи, повреждает транспортные магистрали и мосты, ломает и вырывает с корнями деревья, повреждает и топит суда, вызывает аварии на коммунально-энергетических сетях. Бывали случаи, когда ураганный ветер сбрасывал с рельсов поезда и валил фабричные трубы. Часто ураганы сопровождаются ливневыми дождями, которые вызывают наводнения [36].

**Тайфун** — «сильный ветер» от др.-греч. Τυφών — Тифон (мифическое чудовище, олицетворявшее бури и ветры) — разновидность тропического циклона, которая типична для северо-западной части Тихого океана. В центральной части тайфунов наблюдается наибольшее снижение давления воздуха на поверхности моря, достигающее 650 мм рт.ст.

Тропические циклоны представляют собой одну из самых серьезных угроз для жизни и имущества даже на этапе своего формирования. Они сопряжены со множеством опасностей, таких как штормовые нагоны, наводнения, экстремально сильные ветры, торнадо и молнии, которые сами по

себе могут вызвать неблагоприятные последствия для жизни и имущества. А в совокупности эти опасности взаимодействуют друг с другом и существенно увеличивают вероятность гибели людей и причинения материального ущерба.

Воздух в циклонах циркулирует против часовой стрелки в Северном полушарии и по часовой стрелке в Южном. Различают два основных вида циклонов — внетропические и тропические. Первые образуются в умеренных или полярных широтах и имеют диаметр от тысячи километров в начале развития, и до нескольких тысяч в случае так называемого центрального циклона. Среди внетропических циклонов выделяют южные циклоны, образующиеся на южной границе умеренных широт (средиземноморские, балканские, черноморские, южнокаспийские и т. д.) и смещающиеся на север и северо-восток. Южные циклоны обладают колоссальными запасами энергии; именно с южными циклонами в средней полосе России и СНГ связаны наиболее сильные осадки, ветры, грозы, шквалы и другие явления погоды.

Тропические циклоны образуются в тропических широтах и имеют меньшие размеры (сотни, редко — более тысячи километров), но большие барические градиенты и скорости ветра, достигающие до буревых. Для таких циклонов свойственен также т. н. «глаз бури» — центральная область диаметром 20—30 км с относительно ясной и безветренной погодой. Тропические циклоны могут в ходе своего развития превращаться во внетропические. Ниже 8—10° северной и южной широты циклоны возникают очень редко, а в непосредственной близости от экватора — не возникают вообще.

В среднем на Земле в год возникает 100-120 тропических циклонов. Число их кажется невероятно большим, но надо учесть, что многие из них возникают и исчезают в центральных областях океанов, так и не успевая, к счастью, дойти до побережий. Все они зафиксированы спутниковыми системами (рис. 6.1).



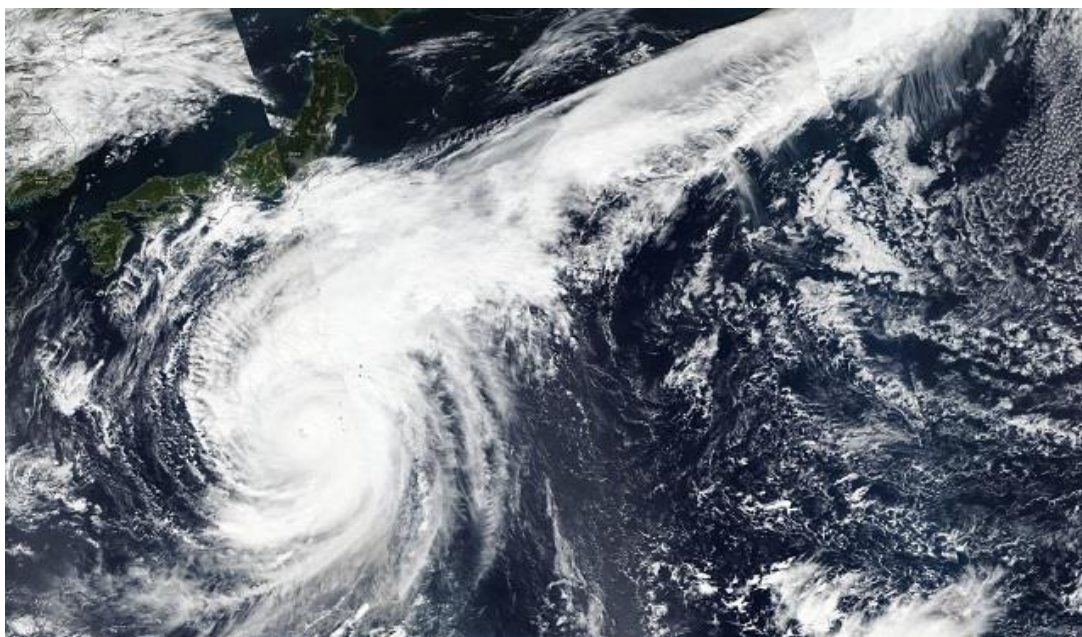


Рис. 6.1. Тайфун Хабибис (октябрь 2019 г.)

По данным ЮНЕСКО, от циклонов и наводнений с 1950 по 1970 г. погибли на Земле 300 000 человек. Губительная сила циклонов, тайфунов и ураганов - в колоссальной скорости ветра, который сильно воздействует на поверхность суши, вызывает сильное волнение моря. Разрушающая сила циклона обусловлена наличием низкого давления в его центре, в так называемом глазу циклона. Сопровождающие циклон ливневые дожди приводят к повышению уровня воды и вызывают наводнения.

Скорость ветра внутри циклона превышает 50 м/с, но зарегистрированы и рекордные скорости - более 100 м/с. Перепад давления между центральной и краевыми частями циклона достаточно высок. При прохождении циклона выпадают обильные осадки, иногда до 200 мм в сутки. Циклоны чаще всего перемещаются со скоростью 30-50 км/ч. В Атлантическом и Тихом океанах они вначале движутся на запад, затем поворачивают на север и северо-восток. Над сушей траектория прохождения циклона незакономерна. Они в этом случае получили название блуждающих циклонов [9].

В интересах общественной безопасности тропическим циклонам сильнее определенной интенсивности присваиваются личные имена.

В зависимости от места образования такое погодное явление называется по-разному:

в Карибском море, Мексиканском заливе, северной части Атлантического океана, восточном и центральном районах северной части Тихого океана его называют «ураганом»;

в северо-западной части Тихого океана его называют «тайфуном»;

в Бенгальском заливе и Аравийском море его называют «циклоном»;

в юго-западной части Тихого океана и юго-восточной части Индийского океана его называют «сильным тропическим циклоном»;

в юго-западной части Индийского океана его называют «тропическим циклоном».

Они сопровождаются экстремально сильными дождями, которые могут приводить к затоплению обширных территорий. Циклоны также приносят разрушительные и разорительные ветры: в самых интенсивных системах поверхностные ветры могут достигать скорости более 300 км/ч. Сочетание вызываемых ветром волн и низкого давления в зоне тропического циклона может спровоцировать прибрежный штормовой нагон — огромный объем воды, выбрасываемой на берег на высокой скорости и с колоссальной силой, которая может смывать на своем пути строения и наносить значительный ущерб прибрежной окружающей среде.

Воздействие тропического циклона и прогнозируемый ущерб зависят не только от скорости ветра, но и от таких факторов, как скорость движения, продолжительность сильного ветра, сумма осадков во время и после выхода на сушу, внезапное изменение траектории и интенсивности, структура (например, размер и интенсивность) тропического циклона, а также меры реагирования на бедствия, вызванные тропическими циклонами.

Для прогнозирования тропических циклонов метеорологи используют современные технологии, такие как спутники, метеорологические радиолокаторы и компьютеры, для отслеживания их развития. Тропические циклоны могут быть трудно прогнозируемыми, поскольку они могут внезапно ослабеть или изменить траекторию. Однако метеорологи используют передовые технологии и разрабатывают современные методы, например модели численного прогноза погоды, для прогнозирования динамики развития тропического циклона, включая его движение и изменение интенсивности, а также места, времени и скорости выхода на сушу. После этого национальные метеорологические службы соответствующих стран объявляют официальные предупреждения.

Ежегодно образуется порядка 80 тропических циклонов. Программа по тропическим циклонам ВМО предоставляет информацию об этих опасных явлениях, а Центр информации о суровой погоде ВМО дает рекомендации по тропическим циклонам в реальном времени.

Структура ВМО позволяет своевременно и широко распространять информацию о тропических циклонах. Благодаря международному сотрудничеству и координации, мониторинг тропических циклонов происходит все чаще, начиная с ранних стадий их образования. Координация деятельности на глобальном и региональном уровнях осуществляется ВМО через ее Программу по тропическим циклонам. Региональные специализированные метеорологические центры, чья деятельность сконцентрирована на тропических циклонах, и центры предупреждений о тропических циклонах, официально назначенные ВМО в качестве таковых, функционируют в рамках Программы по тропическим циклонам Организации. Их роль заключается в обнаружении, мониторинге, отслеживании и прогнозировании всех тропических циклонов в их соответствующих регионах. Эти центры в режиме реального времени предоставляют консультативную информацию и рекомендации национальным метеорологическим и гидрологическим службам.

К берегам российского Дальнего Востока тайфуны относит, как правило, после того, как их основной удар принимают на себя Корея, Япония и острова Рюкю. Наиболее подвержены тайфунам Курильские острова, Сахалин, Камчатский и Приморский край.

Тропические циклоны могут быть активны в течение недели и дольше, поэтому одновременно могут действовать несколько циклонов. Синоптики дают имена всем тропическим циклонам, чтобы избежать путаницы. Каждый год тропическим циклонам присваиваются имена по порядку латинского алфавита. Женские и мужские имена чередуются. Традиция присваивания имен штормам (тропическим циклонам) зародилась много лет назад, с тем чтобы помочь быстро идентифицировать штормы в предупреждающих сообщениях, поскольку предполагается, что имена запоминаются намного легче, чем цифры или технические термины [9].

**Смерч** – атмосферный вихрь, возникающий в грозовом облаке и распространяющийся вниз, часто до самой поверхности Земли в виде темного облачного рукава или хобота диаметром в десятки и сотни метров (рис. 6.2).

Внутри воронки воздух опускается, а снаружи поднимается, быстро вращаясь. Создаётся область сильно разреженного воздуха. В зависимости от интенсивности вихря скорость течения в нём может варьироваться, считается, что она превышает 18 м/с. Сам смерч перемещается вместе с порождающим его облаком. Это движение может давать скорости в десятки км/ч, обычно 20—60 км/ч.

В месте контакта основания смерчевой воронки с поверхностью земли или воды может возникать каскад — облако или столб пыли, обломков и поднятых с земли предметов или водяных брызг. При формировании смерча наблюдатель видит, как навстречу опускающейся с неба воронке с земли поднимается каскад, который затем охватывает нижнюю часть воронки. Обломки, поднявшись до некоторой незначительной высоты, не могут уже удерживаться потоком воздуха и падают на землю. Воронку, не соприкаса-

ясь с землёй, может окутывать футляр. Сливаясь, каскад, футляр и материнское облако создают иллюзию более широкой, чем есть на самом деле, смерчевой воронки.



Рис. 6.2. Смерч

Опасность для людей при таких природных явлениях заключается в разрушении дорожных и мостовых покрытий, сооружений, воздушных линий электропередачи и связи, наземных трубопроводов, а также поражении людей обломками разрушенных сооружений, осколками стекол, летящими с большой скоростью. Кроме того, люди могут погибнуть и получить травмы в случае полного разрушения зданий. При снежных и пыльных бурях опасны снежные заносы и скопления пыли («черные бури») на полях, дорогах и населенных пунктах, а также загрязнение воды.

Смерч может появляться во многих формах и размерах (начиная с верёвки, похожей на кнут или бич, и заканчивая ползающим по земле облаком). Большинство смерчей возникает в виде узкой воронки (от нескольких

десятков до нескольких сотен метров в поперечнике), с небольшим облаком мусора вблизи земной поверхности. Смерч может быть полностью скрыт стеной дождя или пыли.

Причины образования смерчей недостаточно изучены до сих пор. Можно указать лишь некоторые общие сведения, наиболее характерные для типичных смерчей.

Смерч может возникнуть при поступлении тёплого воздуха, насыщенного водяным паром, когда происходит соприкосновение тёплого влажного с холодным сухим «куполом», образовавшимся над холодными участками поверхности земли (моря). В месте соприкосновения происходит конденсация водяного пара, при этом образуются дождевые капли и выделяется тепло, локально нагревающее воздух. Нагретый воздух устремляется вверх, создавая зону разрежения. В эту зону разрежения втягивается близлежащий теплый влажный воздух облака и нижележащий холодный воздух, что приводит к лавинообразному развитию процесса и выделению значительной энергии. В результате этого образуется характерная воронка. Холодный воздух, затягиваемый в зону разрежения, ещё более охлаждается. Опускаясь вниз, воронка достигает поверхности земли, в зону разрежения втягивается всё, что может быть поднято воздушным потоком. Сама зона разрежения перемещается в сторону, откуда поступает больший объём холодного воздуха. Воронка двигается, причудливо изгибаясь, касаясь поверхности земли. Осадки при этом относительно небольшие.

Разрушения возникают вследствие локального выделения значительной энергии, накопленной при образовании водяного пара, а исходным источником энергии является излучение солнца.

С повышением температуры мирового океана объём водяного пара в атмосфере будет увеличиваться. Также будет увеличиваться континентальность климата, как следствие этого будет возрастать количество смерчей и ураганов, а также возрастать их сила.

При исчерпании объёмов холодного или тёплого влажного воздуха, мощность торнадо ослабевает, воронка сужается и отрывается от поверхности земли, постепенно обратно поднимаясь в материнское облако.

Время существования смерча различно и колеблется от нескольких минут до нескольких часов (в исключительных случаях). Скорость продвижения смерчей также различна, в среднем — 40—60 км/ч.

Наибольшее количество смерчей фиксируется на североамериканском континенте, в особенности в центральных штатах США. Вторым регионом земного шара, где возникают условия для формирования смерчей, является Европа (кроме Пиренейского полуострова), включая всю Европейскую территорию России, за исключением северных областей. Таким образом, смерчи в основном наблюдаются в умеренном поясе обоих полушарий, приблизительно с 60-й параллели по 45-ю параллель в Европе и 30-ю параллель в США. Также смерчи фиксируются на востоке Аргентины, ЮАР, западе и востоке Австралии и ряда других регионов, где также могут быть условия столкновения атмосферных фронтов.

В России формируется около 100—300 смерчей в год (не включая водные), из них 10-50 — со скоростью ветра более 50 м/с, 1-3 — со скоростью более 70 м/с. Сухопутные смерчи (особенно сильные) формируются, как правило, в начале лета. По времени — в районе 5-6 часов вечера. Больше всего смерчей регистрируется на европейской территории России. В Московской области, например, в среднем за год формируется около 7,5 смерча (в том числе 1,9 смерча со скоростью ветра более 50 м/с). Иногда смерчи проходят и непосредственно через населенные пункты, в том числе Москву (1904) и региональные центры: Нижний Новгород (1974), Иваново (1984), Владивосток (1997), Благовещенск (2011), Ханты-Мансийск (2012). Особенно разрушительными были смерчи в Ивановской и соседних областях в 1984 году, тогда погибли, по разным данным, от 69 до 400 человек [26].

**Штормовой нагон** — это аномальный подъем уровня воды в результате шторма. Основной причиной нагонов являются сильные ветры тропического циклона или мощные циклоны средних широт. Однако рельеф дна океана, приливы и отливы, волны и поступление пресной воды из рек также влияют на повышение уровня воды во время штормового нагона.

Высота штормового нагона может быстро расти: за считанные минуты уровень воды может вырасти от нескольких сантиметров до метра и выше. Нагон может преодолевать огромное расстояние вглубь суши. Во время урагана Айк в некоторых местах нагон продвинулся почти на 50 километров (30 миль) вглубь суши. Штормовой нагон может перемещаться по заливам и вверх по рекам — практически по любому водоему на берегу или вблизи него.

Штормовой нагон является одной из самых серьезных угроз для жизни и имущества во время ураганов и штормов как у береговой линии, так и на километры вглубь суши. Эвакуация в результате ураганов в первую очередь производится из-за опасности штормовых нагонов, которые за последнее столетие унесли миллионы жизней и нанесли ущерб, оцениваемый в сотни миллиардов долларов.

В последние годы совершенствование систем прогнозирования и предупреждения значительно сократило число погибших в результате штормового нагона. Однако даже при наличии самых эффективных систем предупреждения сохраняется вероятность гибели большого числа людей.

Плотность населения в прибрежных районах увеличивается, уровень моря повышается, а изменение климата, как ожидается, увеличит частоту и интенсивность экстремальных погодных явлений, вызывающих штормовые нагоны, — то есть жизнь и средства к существованию миллионов людей, живущих в низменных, густонаселенных районах, находятся под угрозой.

Дальнейшие наблюдения показывают, что в целом уровень штормовых нагонов в Европе, согласно прогнозам, возрастет в среднем примерно



на 15 % к 2100 году в рамках сценария с высокими уровнями выбросов и что изменение климата приведет к повышению уровня моря не только в связи с повышением уровня мирового океана, но и в связи с учащением штормовых явлений [9].

**Цунами** - это очень крупные волны, они возникают в океане и вызваны перемещением и колебанием океанского дна. Цунами распространяются довольно быстро, но в открытом океане они не представляют большой опасности. Дойдя до мелководного шельфа, высота волны увеличивается, вода превращается в движущуюся стену. Войдя в мелководный залив или в устье реки, волна еще больше увеличивается по высоте и, подобно гигантскому валу, обрушивается на берег. Особенно опасна такая волна для небольших и невысоких коралловых островов. Нередко волны цунами перекатываются через весь остров, сметая все на своем пути.

Цунами возникают не только от землетрясения океанского дна или сильного подводного извержения вулкана, но и от сильного штормового ветра. Высота волны бывает различной. По-видимому, самыми крупными были волны, возникшие после извержения вулкана Кракатау в 1883 г. Тогда высота волны составляла 36-40 м. Не менее разрушительные цунами возникают на побережье тропических областей после прохождения циклонов. В центре тропического циклона вода поднимается на 3-4 м, а у побережий ее высота увеличивается в 3-4 раза.

## **6.2. Опасные агрометеорологические явления**

Это опасное природное явление (ОЯ) - гидрометеорологическое или гелиогеофизическое явление, которое по интенсивности развития, продолжительности или моменту возникновения может представлять угрозу жизни или здоровью граждан, а также может наносить значительный материальный ущерб (табл. 6.2) [37].

Таблица 6.2.

## Опасные агрометеорологические явления в Республике Татарстан

Название ОЯ	Характеристики и критерии или определение ОЯ
Заморозки	Понижение температуры воздуха и /или поверхности почвы (травостоя) до 1 гр. мороза или ниже на фоне положительных средних суточных температур воздуха в периоды активной вегетации сельхозкультур или уборки урожая, приводящее к их повреждению, а также к частичной или полной гибели урожая сельхозкультур
Переувлажнение почвы	В период вегетации сельхозкультур в течение 20 дней (в период уборки в течение 10 дней) состояние почвы на глубине 10-12 см по визуальной оценке увлажненности оценивается как липкое или текучее; в отдельные дни (не более 20 % продолжительности периода) возможен переход почвы в мягкопластичное или другое состояние
Суховей	Ветер скоростью 7 м/с и более при температуре выше 25 °С и относительной влажности не более 30 %, наблюдающиеся хотя бы в один из сроков наблюдений в течение 3 дней подряд и более в период цветения, налива, созревания зерновых культур
Засуха атмосферная	В период вегетации сельхозкультур отсутствие эффективных осадков (более 5 мм в сутки) за период не менее 30 дней подряд при максимальной тем-

Название ОЯ	Характеристики и критерии или определение ОЯ
	<p>пературе воздуха выше 25 °С. В отдельные дни (не более 25 % продолжительности периода) возможно наличие максимальных температур ниже указанных пределов</p>
Засуха почвенная	<p>В период вегетации сельхозкультур за период не менее 3 декадных определений подряд запасы продуктивной влаги в слое почвы 0-20 см составляют не более 10 мм,</p> <p>или за период не менее 2 декадных определений подряд запасы продуктивной влаги в слое почвы 0-20 см составляют не более 10 мм, если в начале периода засухи запасы продуктивной влаги в слое 0-100 см были менее 50 мм</p>
Раннее появление или установление снежного покрова	<p>Появление или установление снежного покрова (в том числе временного) любой величины раньше средних многолетних сроков на 10 дней и более</p>
Промерзание верхнего (до 2 см) слоя почвы	<p>Раннее (на 10 дней и более раньше средних многолетних сроков) промерзание верхнего (до 2 см) слоя почвы продолжительностью не менее 3 дней</p>
Низкие температуры воздуха при отсутствии снежного покрова или при его высоте менее 5 см, приводящие к вымерзанию посевов озимых культур	<p>Понижение температуры воздуха ниже минус 25 °С при отсутствии снежного покрова или понижение температуры воздуха ниже минус 30 °С при высоте снежного покрова менее 5 см и/или понижение температуры на глубине узла кущения растений ниже критической температуры вымерзания (минус 15°С и ниже), приводящее к изреженности и/или</p>

Название ОЯ	Характеристики и критерии или определение ОЯ
МЫХ	полной гибели озимых культур
Сочетание высокого снежного покрова и слабого промерзания почвы, приводящее квыпреванию посевов озимых	Длительное (более 6 декад) залегание высокого (более 30 см) снежного покрова при слабо промерзшей (до глубины менее 30 см) или талой почве. При этом минимальная температура почвы на глубине 3 см удерживается от минус 1 °С и выше, что приводит к частичной или полной гибели посевов озимых культур
Ледяная корка	Слой льда на поверхности почвы (притертая ледяная корка) толщиной 2 см и более, залегающая 4 декады и более в период зимовки озимых культур

**Комплексы агрометеорологических явлений на территории Татарстана.** В период уборки урожая сельхозкультур в течение 7 дней и более: частые дожди (ежедневное количество осадков 1 мм и более при сумме осадков за этот период более 150% декадной нормы), повышенная влажность воздуха (среднесуточное значение относительной влажности воздуха 80% и более) [37].

## 7. ПОЖАРЫ

**Лесной пожар** — это стихийное, неуправляемое распространение огня по лесным площадям. Причины возникновения пожаров в лесу принято делить на естественные и антропогенные. Наиболее распространенными естественными причинами больших лесных пожаров на Земле обычно являются молнии. Размеры пожаров делают возможным их визуальное наблюдение даже из космоса.

В молодых лесах, в которых много зелени, вероятность возгорания от молнии существенно ниже, чем в лесах возрастных, где много сухих и больных деревьев. Таким образом, в природе ещё задолго до человека существовало своеобразное равновесие. Экологическая роль лесных пожаров заключалась в естественном обновлении лесов.

На сегодняшний день доля естественных пожаров (от молний) составляет около 7-8%, то есть возникновение большей части лесных пожаров связано с деятельностью человека. Таким образом, существует острая необходимость работы противопожарных служб, контроля над соблюдением пожарной техники безопасности.

Иногда пожары вызывают искусственно. Такие пожары принято называть управляемыми. Целью управляемых пожаров является: уничтожение пожароопасных горючих материалов, удаление отходов лесозаготовок, подготовка участков для посадки саженцев, борьба с насекомыми и болезнями леса и т. д., а также намеренный поджог леса с целью последующей его вырубki.

В зависимости от того, где распространяется огонь, пожары делятся на низовые, верховые и подземные.

При **низовом пожаре** сгорает лесная подстилка, лишайники, мхи, травы, опавшие на землю ветки и т. п. Скорость движения пожара по ветру 0,25—5 км/ч. Высота пламени до 2,5 м. Температура горения около 700 °С (иногда выше).

Низовые пожары бывают беглые и устойчивые:

- При беглом низовом пожаре сгорает верхняя часть напочвенного покрова, подрост и подлесок. Такой пожар распространяется с большой скоростью, обходя места с повышенной влажностью, поэтому часть площади остается незатронутой огнем. Беглые пожары в основном происходят весной, когда просыхает лишь самый верхний слой мелких горючих материалов.

- Устойчивые низовые пожары распространяются медленно, при этом полностью выгорает живой и мертвый напочвенный покров, сильно обгорают корни и кора деревьев, полностью сгорают подрост и подлесок. Устойчивые пожары возникают преимущественно с середины лета [2, 26].

**Верховой лесной пожар** охватывает листья, хвою, ветви, и всю крону, может охватить (в случае повального пожара) травяно-моховой покров почвы и подрост. Скорость распространения от 5—70 км/ч. Температура от 900 °С до 1200 °С. Развиваются они обычно при засушливой ветреной погоде из низового пожара в насаждениях с низкоопущенными кронами, в разновозрастных насаждениях, а также при обильном хвойном подросте. Верховой пожар — это обычно завершающаяся стадия пожара. Область распространения яйцевидно-вытянутая.

Верховые пожары, как и низовые, могут быть беглыми (ураганными) и устойчивыми (повальными):

- Ураганный пожар распространяется со скоростью от 7 до 70 км/ч. Возникают при сильном ветре. Опасны высокой скоростью распространения.

- При повальном верховом пожаре огонь движется сплошной стеной от надпочвенного покрова до крон деревьев со скоростью до 8 км/ч. При повальном пожаре лес выгорает полностью.

При верховых пожарах образуется большая масса искр из горящих ветвей и хвои, летящих перед фронтом огня и создающих низовые пожары за несколько десятков, а в случае ураганного пожара иногда за несколько сотен метров от основного очага [2, 26].

**Подземные пожары** в лесу чаще всего связаны с возгоранием торфа, которое становится возможным в результате осушения болот. Распространяются со скоростью до 1 км в сутки. Могут быть малозаметны и распространяться на глубину до нескольких метров, вследствие чего представляют дополнительную опасность и крайне плохо поддаются тушению. Торф мо-

жет гореть без доступа воздуха. Для тушения таких пожаров необходима предварительная разведка [15].

Решение лесопожарной проблемы связано с решением целого ряда организационных и технических проблем и в первую очередь с проведением противопожарных и профилактических работ, проводимых в плановом порядке и направленных на предупреждение возникновения, распространения и развития лесных пожаров.

Мероприятия по предупреждению распространения лесных пожаров предусматривают осуществления ряда лесоводческих мероприятий (санитарные рубки, очистка мест рубок леса и др.), а также проведение специальных мероприятий по созданию системы противопожарных барьеров в лесу и строительству различных противопожарных объектов.

Необходимо помнить, что лес становится негоримым, если очистить его от сухостоя и валежника, устранить подлесок, проложить 2-3 минерализованных полосы с расстоянием между ними 50-60 м, а надпочвенный покров между ними периодически выжигать. Следует преждевременно исполнять данные требования [15].

**Способы тушения лесного пожара.** Встречный пал (встречный огонь, отжиг) — способ тушения лесных пожаров, при котором пущенный навстречу огонь сжигает горючие материалы на пути основной стены огня. При этом способе тушения перед надвигающимся фронтом пожара выжигают лесную подстилку. Это увеличивает ширину препятствия, через которое мог бы произойти переброс огня или искр от основного пожара. Способ является наиболее эффективным при локализации и тушении верховых лесных пожаров, а также низовых лесных пожаров высокой и средней силы [2, 26].

Известен способ тушения лесных пожаров взрывом, основанный на применении шнурового заряда взрывчатого вещества, инициирующего средства и гибкого отражающего экрана. Отражающий экран и заряд взрывчатого вещества подвешиваются в пологе леса на пути распростране-

ния огня. Затем заряд взрывчатого вещества подрывают перед фронтом лесного пожара, прекращая тем самым его дальнейшее распространение. Данный способ имеет недостатки, которые снижают эффективность его использования, а именно: неполное использование энергии взрыва из-за того, что гибкий экран деформируется (а часто и рвется) под действием падающей ударной волны, в результате чего энергия частично рассеивается в пространстве и за экраном.

При использовании традиционных авиационных сливных средств пожаротушения в зону огня попадает незначительное количество сбрасываемого огнегасящего состава. Это объясняется экранированием зоны пожара восходящим конвективным потоком горячего воздуха, и, как следствие, не достигается необходимая точность группирования центров падения водяных масс по отношению к местоположению очага пожара. Авиационное средство пожаротушения АСП-500 локализует лесные пожары и подавляет зоны огневого шторма при техногенных авариях и катастрофах. АСП-500 обеспечивает стопроцентную доставку массы огнегасящего состава в зону пожара, кроме того, взрывной способ диспергирования состава создает дополнительный фактор пожаротушения — воздушную ударную волну.

Поскольку пожары, особенно длительные, значительно изменяют состав воздушной среды, существует опасение об их вреде для здоровья людей, а именно: возможен вред для органов дыхания и для системы кровообращения [26].

**Степной пожар** — стихийное, неконтролируемое распространение огня по растительному покрову степей. По механизму распространения огня схож с низовым лесным пожаром, но скорость распространения степного пожара выше, что обусловлено рядом факторов, а именно большей горючестью сухих степных трав и большей скоростью приземного ветра в степи. Наносит урон естественной среде (растительному покрову и животному



миру), может представлять опасность для людей и объектов экономики, хотя и в меньшей степени, чем лесной пожар.

В связи со значительно меньшей мощностью слоя горячей массы и принципиальной невозможностью перехода пожара в верховой, а также в связи с высокой проходимостью степей для пожарных автомобилей и другой спецтехники, тушение степных пожаров сопряжено с меньшими трудностями, чем тушение низового лесного пожара. Наиболее эффективной мерой предотвращения распространения степного пожара является создание минерализованных полос. В связи с тем, что при степном пожаре слой растительности сгорает полностью — возможность повторного возгорания уже выгоревших участков полностью исключена, необходимости окарауливания всей площади пройденной пожаром нет. Поэтому окарауливание проводят только вдоль границы пожарища.

Степные пожары способствуют ветровой эрозии степных почв, а также деградации травяного покрова. Выгоревшие участки быстро зарастают сорными растениями: полынью, ковылем, бурьяном. Основной причиной степных пожаров являются антропогенные факторы, в том числе пал травы. Молнии и другие естественные факторы сравнительно редко являются причиной степных пожаров.

Степные пожары характерны для весны, когда прошлогодняя трава высыхает после схода снега, а также конца лета и осени. В период интенсивной вегетации степные пожары практически не возникают.

Наиболее мощные степные пожары ежегодно происходят в Австралии и в Южной Америке. В России степные пожары характерны для южных степных районов Поволжья, Урала, Сибири. Наиболее катастрофические из них произошли в апреле 2015 в Сибирском федеральном округе на территории Хакасии, Бурятии, Забайкальского края. Тогда из-за неконтролируемого распространения палов травы по степям в условиях сильного ветра мно-

жество пожаров в населенных пунктах, самый крупный из которых почти полностью уничтожил село Шира [26].

## 8. ОПАСНЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

Космические ЧС — это опасности, угрожающие человеку из космоса. Прежде всего - это опасные космические объекты и космические излучения.

В настоящее время известны около 300 космических тел, которые могут пересекать орбиту Земли. Это в основном астероиды размером от 1 до 1000 км. Всего в Космосе обнаружено около 300 тысяч астероидов и комет.

Падения на землю космических тел могут вызвать гибель людей, разрушения объектов экономики, иногда тяжелые экологические последствия. Землетрясения возможны при столкновении крупных метеоритов, астероидов и комет с Землей. За историю Земли известны столкновения с космическими телами диаметром от 2 до 100 км, которых было более 10. Мелкие космические "пришельцы" выпадают на поверхность Земли постоянно в большом количестве, часть из них сгорает в атмосфере, остальные ежегодно увеличивают массу планеты на 3 -5 миллионов тонн [15].

В космосе существует большое количество опасных для жизни на Земле объектов и явлений. К ним относятся астероиды, кометы, метеориты, вирусы, заносимые данными объектами на землю, вспышки на Солнце и др. Все эти объекты и явления могут нанести ущерб планете Земля, изменить ее климат, загрязнить окружающую природную среду, привести к гибели людей, уничтожить города, страны, материки или даже всю планету.

**Астероиды** — это малые планеты, обращающиеся вокруг Солнца, в основном между орбитами Марса и Юпитера. Их диаметр колеблется в пределах 1—1000 км. В настоящее время их известно более 3000.

В 1801 году астроном Дж. Пиацци обнаружил звездоподобный объект, у которого от ночи к ночи менялись координаты. Так была открыта

первая из малых планет, которая получила имя Цереры в честь античной богини плодородия, считавшейся покровительницей Сицилии, следом за ней были открыты три малые планеты - Паллада (1802), Юнона (1804) и Веста (1807).

До конца XIX века было открыто более 400 малых планет, сейчас их известно свыше 3000. Каждый астероид, орбита которого подробно изучена, получает имя. Первые сто астероидов названы именами греческих и римских богинь. В настоящее время астероиды, как правило, называют женскими именами или им присваивают порядковые номера.

Некоторые астероиды обращаются вокруг Солнца по очень вытянутым орбитам, такие астероиды получили мужские имена. Дальше всего от Солнца обращается Гидальго, он уходит за орбиту Сатурна, ближе всего подходит к Солнцу Икар, его орбита пересекает орбиту ближайшей к Солнцу планеты - Меркурия. Преимущественное большинство астероидов имеет орбиты, лежащие между орбитами Марса и Юпитера. Встреча нашей планеты с небесными телами представляет серьёзную угрозу для всей биосферы, расчёты показывают, что удар астероида диаметром около 1 км может сопровождаться выделением энергии, в десятки раз превосходящий весь ядерный потенциал, имеющийся на Земле.

Чем больше и тяжелее астероид, тем большую опасность он представляет, однако и обнаружить его в этом случае гораздо легче. Наиболее опасным на данный момент считается астероид Апофис, диаметром около 300 м, при столкновении с которым может быть уничтожена целая страна [26].

**Комета:** по сравнению с астероидом это относительно небольшое небесное тело. Большинство комет движется вокруг Солнца по удлинённым эллипсам: при приближении к светилу под действием его тепла они выделяют газы, которые образуют светящуюся оболочку вокруг ядра — голову кометы, и развивают хвост, направленный в противоположную от солнца сторону. При удалении от Солнца хвост постепенно рассеивается.

Предположительно, долгопериодические кометы прилетают во внутреннюю Солнечную систему из облака Оорта, в котором находится огромное количество кометных ядер. Тела, находящиеся на окраинах Солнечной системы, как правило, состоят из летучих веществ (водяных, метановых и других газов), испаряющихся при подлёте к Солнцу.

На данный момент обнаружено более 400 короткопериодических комет. Из них около 200 наблюдалось в более чем одном прохождении перигелия. Многие из них входят в так называемые семейства. Например, большинство самых короткопериодических комет (их полный оборот вокруг Солнца длится 3—10 лет) образуют семейство Юпитера. Немного малочисленнее семейства Сатурна, Урана и Нептуна (к последнему, в частности, относится знаменитая комета Галлея).

Кометы, прибывающие из глубин космоса, выглядят как туманные объекты, за которыми тянется хвост, иногда достигающий в длину нескольких миллионов километров. Ядро кометы представляет собой тело из твёрдых частиц, окутанное туманной оболочкой, которая называется комой. Ядро диаметром в несколько километров может иметь вокруг себя кому в 80 тыс. км в поперечнике. Потoki солнечных лучей выбивают частицы газа из комы и отбрасывают их назад, вытягивая в длинный дымчатый хвост, который движется за ней в пространстве.

Яркость комет очень сильно зависит от их расстояния до Солнца. Из всех комет только очень малая часть приближается к Солнцу и Земле настолько, чтобы их можно было увидеть невооружённым глазом.

Многие из наблюдаемых нами метеоров («падающих звёзд») имеют кометное происхождение. Это потерянные кометой частицы, которые сгорают при попадании в атмосферу планет.

Ядро — твёрдая часть кометы, в которой сосредоточена почти вся её масса. Ядра комет на данный момент недоступны телескопическим наблюдениям, поскольку скрыты непрерывно образующейся светящейся материей.

По наиболее распространённой модели Уиппла ядро — смесь льдов с вкраплением частиц метеорного вещества (теория «грязного снежка»). При таком строении слои замороженных газов чередуются с пылевыми слоями. По мере нагревания газы, испаряясь, увлекают за собой облака пыли. Это позволяет объяснить образование газовых и пылевых хвостов у комет.

Однако согласно исследованиям, проведённым с помощью запущенной в 2005 году американской автоматической станции Deep Impact, ядро состоит из очень рыхлого материала и представляет собой ком пыли с порами, занимающими 80 % его объёма.

Кома — окружающая ядро светлая туманная оболочка чашеобразной формы, состоящая из газов и пыли. Обычно тянется от 100 тысяч до 1,4 миллиона километров от ядра. Давление света может деформировать кому, вытянув её в антисолнечном направлении. Кома вместе с ядром составляет голову кометы.

У ярких комет с приближением к Солнцу образуется «хвост» — слабая светящаяся полоса, которая в результате действия солнечного ветра чаще всего направлена в противоположную от Солнца сторону. Несмотря на то, что в хвосте и коме сосредоточено менее одной миллионной доли массы кометы, почти 99,9 % свечения, наблюдаемого при прохождении кометы по небу, происходит именно из этих газовых образований. Дело в том, что ядро очень компактно и имеет низкое альбедо (коэффициент отражения).

Хвосты комет различаются длиной и формой. У некоторых комет они тянутся через всё небо. Хвосты комет не имеют резких очертаний и практически прозрачны — сквозь них хорошо видны звёзды, — так как образованы из чрезвычайно разрежённого вещества (его плотность гораздо меньше, чем, к примеру, плотность газа, выпущенного из зажигалки). Состав его разнообразен: газ или мельчайшие пылинки, или же смесь того и другого. Состав большинства пылинок схож с астероидным материалом солнечной системы, что выяснилось в результате исследования кометы 81P/Вильда

космическим аппаратом «Стардаст». Человек может наблюдать хвосты комет только потому, что газ и пыль светятся. При этом свечение газа связано с его ионизацией ультрафиолетовыми лучами и потоками частиц, выбрасываемых с солнечной поверхности, а пыль просто рассеивает солнечный свет.

Исчерпывающее представление о кометах астрономы получили благодаря успешным «визитам» в 1986 г. к комете Галлея космических аппаратов «Вега-1» и «Вега-2» и европейского «Джотто». Многочисленные приборы, установленные на этих аппаратах, передали на Землю изображения ядра кометы и разнообразные сведения о её оболочке. Оказалось, что ядро кометы Галлея состоит в основном из обычного льда (с небольшими включениями углекислых и метановых льдов), а также пылевых частиц. Именно они образуют оболочку кометы, а с приближением её к Солнцу часть из них — под давлением солнечных лучей и солнечного ветра — переходит в хвост.

Размеры ядра кометы Галлея, как правильно рассчитали учёные, равны нескольким километрам: 14 — в длину, 7,5 — в поперечном направлении.

Массы комет в космических масштабах ничтожны — примерно в миллиард раз меньше массы Земли, а плотность вещества из их хвостов практически равна нулю. Поэтому «небесные гости» никак не влияют на планеты Солнечной системы. Например, в мае 1910 года Земля проходила сквозь хвост кометы Галлея, но никаких изменений в движении нашей планеты не произошло.

С другой стороны, столкновение крупной кометы с планетой может вызвать крупномасштабные последствия в атмосфере и магнитосфере планеты [26].

**Метеорит** — твердое тело космического происхождения, упавшее на поверхность Земли. Вес метеоритов составляет от нескольких граммов до нескольких килограммов. Крупнейший из найденных метеоритов — Гоба (вес 60 т). Следами падения крупных метеоритов (астероидов, комет) являются кратеры - астроблемы. На суше насчитывается около 1200 астроблем

диаметром 10-70 км, многие тысячи астроблем меньшего диаметра. Предполагается, что наибольший метеоритный кратер на Земле — Кратер Земли Уилкса (диаметр около 500 км). Явления, порождаемые при прохождении метеорными телами через атмосферу Земли, носят названия метеоров или, в общем случае, метеоритным дождём; особо яркие метеоры называют болидами.

Болид — очень яркий метеор с длинным светящимся хвостом; полет болида иногда сопровождается сильным звуком и заканчивается выпадением на землю метеорита.

Метеорное тело входит в атмосферу Земли на скорости от 11,2 до 72 км/с. На такой скорости начинается его разогрев и свечение. За счёт абляции (обгорания и сдувания набегающим потоком частиц вещества метеорного тела) масса тела, долетевшего до поверхности, может быть меньше, а в некоторых случаях значительно меньше его массы на входе в атмосферу. Например, небольшое тело, вошедшее в атмосферу Земли на скорости 25 км/с и более, сгорает почти без остатка. При такой скорости вхождения в атмосферу из десятков и сотен тонн начальной массы до поверхности долетает всего несколько килограммов или даже граммов вещества. Следы сгорания метеорного тела в атмосфере можно найти на протяжении почти всей траектории его падения.

Если метеорное тело не сгорело в атмосфере, то по мере торможения оно теряет горизонтальную составляющую скорости. Это приводит к изменению траектории падения: от часто почти горизонтальной в начале до практически вертикальной в конце. По мере торможения свечение метеорного тела падает, оно остывает (часто свидетельствуют, что метеорит при падении был тёплый, а не горячий).

Кроме того, может произойти разрушение метеорного тела на фрагменты, что приводит к выпадению метеоритного дождя. Разрушение некоторых тел носит катастрофический характер, сопровождаясь мощными взрывами, и нередко не остаётся макроскопических следов метеоритного

вещества на земной поверхности, как это было в случае с Тунгусским болидом. Предполагается, что такие метеориты могут представлять собой остатки кометы.

При соприкосновении метеорита с земной поверхностью на больших скоростях (порядка 2000-4000 м/с) происходит выделение большого количества энергии, в результате метеорит и часть горных пород в месте удара испаряются, что сопровождается мощными взрывными процессами, формирующими крупный округлый кратер, намного превышающий размеры метеорита, а большой объём горных пород испытывает импактный метаморфизм. Хрестоматийным примером этому служит Аризонский кратер.

При небольших скоростях (порядка сотен м/с) столь значительного выделения энергии не наблюдается, диаметр образующегося ударного кратера сравним с размерами самого метеорита. Основными внешними признаками метеорита являются кора плавления, регмаглипты и магнитность. Кроме того, метеориты, как правило, имеют неправильную форму (хотя встречаются и округлые или конусообразные метеориты).

Кора плавления образуется на метеорите при его движении через земную атмосферу, в результате которого он может нагреться до температуры около 1800°. Она представляет собой подплавленный и вновь затвердевший тонкий слой вещества метеорита. Как правило, кора плавления имеет чёрный цвет и матовую поверхность; внутри же метеорит более светлого цвета.

Регмаглипты представляют собой характерные углубления на поверхности метеорита, напоминающие отпечатки пальцев на мягкой глине. Они также возникают при движении метеорита сквозь земную атмосферу, как следствие абляционных процессов.

Метеориты обладают магнитными свойствами, причём не только железные, но и каменные. Объясняется это тем, что в большинстве каменных метеоритов имеются включения никелистого железа.

Метеориты по составу делятся на три группы:



Каменные	Железные	Железо-каменные
Хондриты	метеоритное железо	палласиты
ахондриты	мезосидериты	

Наиболее часто встречаются каменные метеориты (92,8 % падений). Они состоят в основном из силикатов. Железные метеориты состоят из железо-никелевого сплава. Они составляют 5,7 % падений. Железо-силикатные метеориты имеют промежуточный состав между каменными и железными метеоритами. Они сравнительно редки (1,5 % падений) [26].

В настоящее время известно и описано около 300 потенциально опасных для Земли космических тел. Их орбиты на своем пути пересекаются с орбитами планет, иногда это приводит к столкновению. Часть кратеров на планетах Солнечной системы и их естественных спутниках образовались в результате таких встреч.

Различают два типа космических катастроф: ударно-столкновительная (УСК), когда неразрушенные в атмосфере части ОКО сталкиваются с поверхностью Земли, и воздушно-взрывная (ВВК), при которой объект полностью разрушается в атмосфере. Возможны и комбинированные катастрофы. Следствием УСК является Аризонский метеоритный кратер диаметром 1,2 км, образовавшийся около 50 тыс. лет назад вследствие падения железного метеорита массой 10 тыс. т, а пример ВВК — Тунгусская катастрофа (метеорит диаметром 50 м, который, согласно одной из версий ученых, при столкновении с атмосферой от ricochetил от нее, а по другой — вошел в нее, но полностью разрушился).

Атмосфера в значительной степени предохраняет поверхность Земли от непосредственных столкновений с космическими телами, однако за свое существование наша планета претерпела много атак ОКО, некоторые из которых даже привели к изменению климата. По оценке ученых, глобальную катастрофу на планете может вызвать астероид, поперечник которого составляет порядка одного-двух километров. Падение в акваторию Мирового

океана астероида размером всего 100—200 м может привести к образованию цунами высотой до 500 м. Последствия воздействия такой волны трудно представить.

Столкновение Земли с ядром кометы — крайне маловероятное событие. Возможно, оно рассматривалось в 1908 г. как падение Тунгусского метеорита. При этом на высоте нескольких километров произошел мощный взрыв, воздушная ударная волна которого повалила лес на огромной площади.

Основное средство борьбы с астероидами и кометами, сближающимися с землёй, - это ракетно-ядерные технологии. В зависимости от размеров опасных космических объектов (ОКО) и используемых для их обнаружения информационных средств, располагаемое время на организацию противодействия может меняться - от нескольких суток, до нескольких лет [9].

В настоящее время в лабораториях ведущих космических держав разрабатывается система защиты от астероидов и комет, которая основана на двух принципах: изменении траектории опасного космического объекта или разрушении его на несколько частей. Поэтому на первом этапе подготовки системы защиты Земли от метеоритной и астероидной опасности, предполагается создать службу наблюдения за их движением с таким расчётом, чтобы обнаруживать объекты, размером около 1 км, за год-два до его подлёта к Земле. На втором этапе необходимо рассчитать его траекторию и проанализировать возможность столкновения с Землёй, Если вероятность велика, то необходимо принимать решение по уничтожению или изменению траектории этого небесного тела. Для этой цели можно использовать межконтинентальные баллистические ракеты с ядерными боеголовками. Современный уровень космических технологий позволяет создать такие системы перехвата [15].

## 9. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОПАСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

### 9.1. Эпизоотии

Массовое распространение инфекционных болезней среди людей, сельскохозяйственных животных или растений представляет прямую угрозу безопасности жизнедеятельности человека и может приводить к возникновению чрезвычайных ситуаций. Инфекционные болезни — это группа болезней, которые вызываются специфическими возбудителями (бактериями, вирусами, грибами). Характерными особенностями инфекционных болезней являются: заразность, т. е. способность передавать возбудителей от больного организма здоровому; стадийность развития (заражение, инкубационный период, течение болезни, выздоровление).

*Эпизо́отия* (греч. ἐπι — на, среди; ζῷον — животное) — широкое распространение инфекционной болезни среди одного или многих видов животных на значительной территории, значительно превышающее уровень заболеваемости, обычно регистрируемый на данной территории. Говоря доступным языком, эпизоотия — это «эпидемия у животных».

Эпизоотия является одним из факторов, сдерживающих рост популяции при её излишней плотности и слишком большой численности особей.

Сложившуюся в настоящее время эпизоотическую ситуацию по особо опасным болезням животных в целом можно охарактеризовать как стабильную, за исключением ситуации по африканской чуме свиней.

По данным международного эпизоотического бюро (МЭБ), а также по другим информационным источникам, эпизоотическая ситуация по особо опасным болезням животных на территориях целого ряда государств характеризуется как стабильно неблагоприятная, что обуславливает постоянную угрозу заноса возбудителей этих болезней на территорию Российской Федерации. К болезням, представляющим угрозу заноса их возбудителей на территорию России, относятся: ящур, оспа овец и коз, чума крупного рогатого скота и мелких жвачных, блютанг, губкообразная энцефалопатия

крупного рогатого скота, которые на территории России в данное время не регистрируются.

**Панзоотия** – это массовое одновременное распространение инфекционной болезни сельскохозяйственных животных с высоким уровнем заболеваемости на огромной территории с охватом целых регионов, нескольких стран и материков.

**Энзоотия** – это одновременное распространение инфекционной болезни сельскохозяйственных животных в определенной местности, хозяйстве или пункте, природные и хозяйственно-экономические условия, которых исключают повсеместное распространение данной болезни [15].

**Чума крупного рогатого скота** – инфекционное вирусное заболевание коров и некоторых других видов парнокопытных, включая африканских буйволов, антилоп, оленей, жирафов, гну и африканских бородавочников. Заболевание характеризуется лихорадкой, эрозией полости рта, диареей, лимфоидным некрозом и высокой смертностью, которая в зонах первичного поражения во время вспышек достигала 80—100%.

**Африканская чума свиней (АЧС)** – опасная вирусная болезнь домашних и диких свиней. Африканская чума свиней – африканская лихорадка, восточноафриканская чума, болезнь Монтгомери – высококонтагиозная вирусная болезнь свиней, характеризующаяся лихорадкой, цианозом кожи и обширными геморрагиями во внутренних органах. Относится к списку А согласно Международной классификации заразных болезней животных.

Вследствие того, что ни в России, ни в мире не разработано вакцин против этой болезни, единственным (помимо обычных неспецифических карантинных мер) способом предотвращения ее широкого распространения является тотальное уничтожение свинопоголовья в очагах инфекции. Поэтому экономические издержки при ликвидации очагов АЧС являются весьма значительными. Кроме прямых убытков, значимые потери в эконо-

мике неблагополучных территорий и угрожаемых зон возникают при введении ограничений и запрета на вывоз не только продуктов и сырья животного происхождения, но и растительного (включая зерно, комбикорма и др.). Для человека данное заболевание опасности не представляет.

В последние годы на территории Российской Федерации, которая в течение предыдущих 30 лет была благополучна по этой болезни, сложилась напряженная эпизоотическая ситуация. Необходимо отметить, сохраняется угроза его широкого распространения на территории нашей страны. Напряженность усугубляется сохранением возможности циркуляции вируса АЧС среди диких кабанов на обширных территориях Южного и Северо-Кавказского федеральных округов. Таким образом, в России существует природный резервуар АЧС и может вызвать заболевания домашних свиней.

**Классическая чума свиней (КЧС)** широко распространена в странах с развитым свиноводством. Очаги этого заболевания регистрируются и в странах, входящих в ЕС. Наиболее часто КЧС регистрируется в Германии, Болгарии и др. Россия стационарно неблагополучна по КЧС, случаи заболевания свиней на ее территории регистрируется ежегодно. Поэтому в стране на постоянной основе осуществляется поголовная вакцинация против КЧС в хозяйствах всех форм собственности. Оценка эффективности применяемых мер борьбы в России подтверждает обоснованность проведения поголовной профилактической вакцинации свиней как основного мероприятия в системе мер борьбы с КЧС. В случае возникновения очагов классической чумы свиней проводится ревакцинация против этой болезни, независимо от сроков предыдущей вакцинации, а в неблагополучном пункте неконцентрированную вакцину применяют в 10-кратной дозе. В случае возникновения КЧС в хозяйствах промышленного типа концентрированной вакциной вакцинируют всех клинически здоровых свиней.

В результате проводимых масштабных противоэпизоотических мероприятий в последние годы эпизоотическая ситуация по классической чуме свиней значительно улучшилась.

**Бешенство животных.** Бешенство – острая вирусная болезнь животных и человека, характеризующаяся признаками полиоэнцефаломиелита и абсолютной летальностью.

Эпизоотическая ситуация по бешенству в последние годы ухудшилась, увеличилось число неблагополучных пунктов, возросла заболеваемость животных, расширилась география этой болезни, в связи с чем значительно повысился риск заражения животных и людей. На территориях, где стационарно проявляется бешенство, вакцинации подвергаются все восприимчивые к болезни виды животных. Бешенство относится к природно-очаговым болезням всех видов млекопитающих. Основным источником заражения домашних животных и человека являются дикие плотоядные животные (лисы, волки, енотовидные собаки и др.). Из домашних животных чаще заражаются собаки и кошки. Сельскохозяйственные животные заражаются в меньшей мере, но количество заболевшего и павшего от бешенства крупного рогатого скота составляет от 500 до 700 голов в год. Исход болезни всегда летальный.

За счет средств федерального бюджета в субъекты Российской Федерации ежегодно поставляются антирабические вакцины и диагностические тест-системы. Ежегодной вакцинации против бешенства подлежат 3800,0 тыс. голов крупного рогатого скота, 8,0 тыс. голов лошадей, около 200 тыс. голов мелкого рогатого скота, вакцинации подвергается 3003,11 тыс. собак и кошек.

Существует постоянная угроза распространения бешенства дикими плотоядными животными на благополучные территории. Их миграция осуществляется из неблагополучных по бешенству территорий Украины, Белоруссии, Казахстана и других сопредельных государств, поэтому главным

звеном в борьбе с болезнью является вакцинопрофилактика бешенства именно среди диких плотоядных животных. Таким методом от бешенства избавились многие европейские государства (Германия, Франция, Великобритания и скандинавские страны), Эта длительная работа, и во многих странах она продолжалась в течение 8–10 лет.

**Ящур** – острое вирусное заболевание из группы зоонозов, характеризующееся интоксикацией и везикулезно-эрозивным (пузырьково-язвенным) поражением слизистых оболочек ротовой и носовой полости, а также кожи межпальцевых складок и околоногтевого ложа.

С 2007 г. территория России является благополучной по ящуру. Однако угроза заноса вируса ящура с территорий сопредельных государств, неблагополучных по этой болезни, сохраняется. В 2010 г. в государствах Восточной и Юго-Восточной Азии эпизоотическая ситуация по ящуру вновь обострилась – на территориях Китая, Монголии, Южной Кореи и Японии отмечены вспышки ящура типа О. В зону высокого риска заноса возбудителя ящура входят регионы России, граничащие с Китаем, Монголией, Казахстаном и республиками Закавказья. Эти регионы входят в буферную зону, в которой на постоянной основе осуществляется плановая вакцинация крупного и мелкого рогатого скота против ящура типов А, О и Азия-1.

Ежегодно ящур регистрируется на территориях 15–20 стран мира, причем заболевание вызывается разными типами вируса. Так, в последние два года в Южной Корее, Эквадоре, Палестине, Боливии, Турции, Израиле, Ливане, Казахстане, Великобритании регистрировались очаги ящура, вызванного вирусом типа О; в Иордании – типов О и А; в Китае и Вьетнаме – типа Азия-1; в Ботсване – типа SAT-1; в Намибии – типа SAT-2.

**Бруцеллез.** Наиболее неблагополучными по бруцеллезу крупного рогатого скота являются Астраханская область, Ставропольский край, Карачаево-Черкесская Республика и Республика Северная Осетия – Алания.

Вследствие непродуманных действий хозяйствующих субъектов по перемещению животных из других субъектов Российской Федерации это заболевание в 2009 г. было выявлено в Воронежской, Тамбовской, Челябинской областях, Республике Хакасия и Приморском крае, ранее благополучных по бруцеллезу.

Сохраняется напряженная эпизоотическая ситуация и по бруцеллезу мелкого рогатого скота. Из всех видов бруцелл возбудитель бруцеллеза мелкого рогатого скота наиболее опасен для человека. Для профилактики бруцеллеза применяют ряд вакцин. Оздоровление хозяйств от туберкулеза осуществляется методом систематических исследований (аллергическая проба и серологические исследования) животных с изоляцией больных и последующим их убоем.

Кроме указанных выше приоритетных задач, есть целый ряд других – иммунизация содержащейся в личных подсобных хозяйствах граждан домашней птицы против высокопатогенного гриппа H5N1 (с 2010 г. эти мероприятия проводятся не в масштабах страны, а лишь в зонах повышенного риска возникновения очагов этой инфекции, расположенных вдоль путей сезонных миграций диких водоплавающих птиц; это – некоторые субъекты Российской Федерации, входящие в Южный, Уральский и Сибирский федеральные округа, а также Приморский край Дальневосточного федерального округа); мониторинговые исследования эпизоотической ситуации по высокопатогенному гриппу птиц и губкообразной энцефалопатии крупного рогатого скота; мероприятия по диагностике туберкулеза, сапа, лейкоза крупного рогатого скота, болезни Ньюкасла, листериоза, блютанга, инфекционного эпидидимита баранов, инфекционной анемии лошадей, хламидиозов сельскохозяйственных животных; диагностике и специфической профилактике сибирской язвы, лептоспироза, оспы овец и коз, некробактериоза северных оленей, рожи свиней, болезни Ауески и других [15].



**Сибирская язва** – особо опасная инфекционная болезнь животных и человека. Болезнь у животных протекает сверхостро, остро и подостро, а у свиней - бессимптомно, в основном в локальной ангинозной форме. Болезнь у человека чаще всего проявляется как инфекция наружных покровов и лишь изредка осложняется сибиреязвенным сепсисом; вместе с тем может развиваться и первичная генерализованная инфекция, проявляющаяся в легочной или кишечной форме.

**Туберкулёз** – широко распространённое в мире инфекционное заболевание человека и животных, вызываемое различными видами микобактерий или иначе палочками Коха. Туберкулёз обычно поражает лёгкие, реже затрагивая другие органы и системы, передаётся воздушно-капельным путём при разговоре, кашле и чихании больного.

**Африканский сап** - заразная хроническая болезнь однокопытных жив. (гл. обр. лошадей), характеризующаяся гнойным воспалением кожи, подкожной клетчатки, поверхностных лимфатических сосудов, желез и слизистой оболочки носовой перегородки, поражающая гл. обр. ноги, грудь, шею животных.

Многие болезни возбуждают бактерии и вирусы и вызывают массовую гибель скота. Опасность такой эпидемии в том, что она быстро распространяется. Поэтому главной задачей является вовремя определить болезнь и принять надлежащие меры, чтобы не допустить огромных потерь. К наиболее опасным и распространённым видам относят: чуму КРС, сибирскую язву, ящур, бешенство, бруцеллёз у крупного рогатого скота, африканский сап.

Возникновение эпизоотии возможно лишь при наличии комплекса взаимосвязанных элементов, представляющих собой так называемую эпизоотическую цепь:

- источник возбудителя инфекций (больное животное или животное-микробоноситель);

- факторы передачи возбудителя инфекции (объекты не живой природы) или живые переносчики. Наряду с инфекциями часто контактного характера (как мыт, белый понос, чума КРС и т.д.) имеются передаваемые зараженной почвой (сибирская язва), питьевой водой (сап), кормами, посторонними предметами, а также переносимые насекомыми (бубонная чума грызунов, бешенство) распространяется исключительно посредством укусов больными животными;

- восприимчивые животные.

Проанализировав ветеринарную ситуацию на национальном и международном уровнях и оценив опасность эпизоотии на основе информации местных, региональных, иностранных или международных специализированных служб, компетентные национальные органы принимают решение о защитных мероприятиях и методах лечения, необходимых для остановки распространения заразной болезни и ее ликвидации, если это возможно. Ответственность за выполнение мероприятий возлагается на региональные и местные органы власти, которые взаимодействуют со специалистами и владельцами животных на местах. Мероприятия по реагированию могут быть изложены следующим образом:

- владельцы скота сообщают местному ветеринару о каждом случае болезни животных. Ветеринар, в свою очередь, передает эту информацию в региональную и национальную ветеринарные службы.

- контроль или запрещение перемещения животных, при необходимости выдача специальных сертификатов о месте отправки и назначения.

- введение карантина по решению ветеринарной службы. Карантин может распространяться не только на животных, но и на владельцев, ветеринаров, продавцов и других лиц, которые могут распространить болезнь.

- принятие решений о вакцинации не заболевшего скота.

- убой зараженного скота. Туши должны уничтожаться способами, исключающими опасность распространения болезни. Разделка туш и захо-

ронение проводятся в исключительных случаях и только в местах, определенных властями во избежание заражения подземных вод и рек.

- дополнительные мероприятия, касающиеся органических материалов, вакцины, молока, мяса, продажи продуктов, средств транспортировки и т. д., могут вводиться по рекомендациям ветеринарной службы.

- перед отменой карантина все помещения, где содержались больные животные, должны быть тщательно очищены и продезинфицированы.

При массовых инфекционных заболеваниях обязательно существует эпидемический (эпизоотический) очаг. В зоне очага осуществляется комплекс мероприятий, направленных на локализацию и ликвидацию болезни. Основными из этих мероприятий в эпидемиологическом и эпизоотическом очагах являются:

- выявление больных и подозрительных по заболеванию; усиленное медицинское и ветеринарное наблюдение за зараженными, их изоляция, госпитализация и лечение;

- санитарная обработка людей (животных);

- дезинфекция одежды, обуви, предметов ухода;

- дезинфекция территорий, сооружений, транспорта, жилых и общественных помещений;

- установление противоэпидемического режима работы лечебно-профилактических и других медицинских учреждений;

- обеззараживание пищевых отходов, сточных вод и продуктов жизнедеятельности больных и здоровых людей;

- санитарный надзор за режимом работы предприятий жизнеобеспечения промышленности и транспорта;

- строгое соблюдение санитарно-гигиенических норм и правил, в том числе тщательное мытье рук с мылом и дезинфицирующими средствами, употребление только кипяченой воды, прием пищи в определенных местах, использование защитной одежды (средств индивидуальной защиты);

- проведение санитарно-просветительной работы.

Режимные мероприятия проводятся в форме обсервации или каранти-на в зависимости от вида возбудителя болезни.

К специфическим противоэпизоотическим мероприятиям относятся вынужденный убой животных и утилизация их трупов [15].

## 9.2. Эпифитии

Эпифитотии - распространение инфекционной болезни растений на значительные территории (хозяйство, район, область) в течение определен-ного времени. В виде эпифитотии обычно проявляются ржавчина и головня хлебных злаков, фитофтороз картофеля, парша яблони, увядание хлопчат-ника, шютте снежное и обыкновенное и другие инфекционные заболевания.

В прошлом эпифитотии причиняли большой ущерб. Известны значи-тельные потери урожая картофеля от фитофтороза в 40-х гг. 19 в. в Ирлан-дии, подсолнечника — от ржавчины в 60-х гг. 19 в. в России, пшеницы — от стеблевой ржавчины в Амурской области в 1923. С повышением культу-ры земледелия, с разработкой методики прогнозирования массовых заболе-ваний растений, применением эффективных мер борьбы с ними эпифитотии стали более редкими.

Обычно эпифитотии возникают из отдельных очагов болезни при благоприятных условиях (накопление и способность к быстрому распро-странению инфекционного начала, погодные факторы, способствующие размножению возбудителя и развитию болезни, достаточное количество восприимчивых растений). Фитопатогенные микроорганизмы распростра-няются из мест резервации и заражают большое число растений. В резуль-тате образования нескольких генераций возбудителя создаются новые укрупнённые очаги болезни, расширяется район (зона) поражения, возника-ет эпифитотии. В зависимости от типа болезни, особенностей возбудителя, растения-хозяина и внешних факторов эпифитотии развиваются быстро или

медленно, с периодическими вспышками при благоприятных условиях. Изучением различных сторон эпифитотического процесса занимается сравнительно молодая область науки — эпифитотиология. Установление связи развития эпифитотии с теми или иными факторами позволяет ослабить их влияние. Например, изменения в популяции возбудителя болезни и растения-хозяина, обуславливающие возникновение эпифитотии, учитываются при обосновании прогнозов болезни, выведении устойчивых к инфекционным болезням сортов сельскохозяйственных культур и их размещении в севооборотах. Меры борьбы с эпифитотии зависят от особенностей болезни [15, 25].

Эпифитотию на виноградниках (например, милдью, оидиума, серой гнили и др.) могут вызывать фитопатогенные грибы, обладающие огромной плодовитостью, т. к. они очень легко отшнуровывают пропогативные споры вегетативным путем. По данным французского исследователя Миллярде, на участке, пораженном милдью, спустя 26 часов на стеклах, смазанных вазелином, было обнаружено 32 тыс. конидий на  $1 \text{ см}^2$  (и каждая из них способна дать еще 6—8 аскоспор). Важным критерием способности возбудителя вызывать эпифитотию является скорость смены генерации, а также продолжительность периода спороношения и время, необходимое для прорастания и образования спор (для возникновения эпифитотии обычно требуется 3-4 генерации). Эпифитотический потенциал патогена определяется также легкостью распространения инфекции — способностью попадать в воздушные течения, в связи с чем эпифитотию в первую очередь способны вызывать грибы, у которых споры образуются на поверхности растения. В возникновении эпифитотии важное значение имеют метеорологические факторы, влияние которых проявляется в воздействии на возбудителя (его плодовитость, скорость спорообразования, число генераций), а также предрасположенность растений к заболеванию, например, появление микротрещин на ягодах, вызываемое резким изменением влажности, способствует

эпифитотическому развитию серой гнили. Угрозу эпифитотии увеличивает монокультура, т. к. крупные однородные популяции растения-хозяина являются идеальным плацдармом для распространения болезни. Важное значение имеет восприимчивость сортов: восприимчивые растения быстрее и сильнее заболевают и являются при этом мощным источником инфекции. При непринятии своевременных и эффективных мер к лечению растений развивающаяся эпифитотия может стать причиной ослабления растений, снижения их продуктивности, ухудшения качества продукции и неустойчивости растений к воздействию неблагоприятных факторов среды [15, 27].

**Стадии эпифитотии.** Массовое поражение культурных растений болезнью – это ступенчатый процесс. Различают три стадии эпифитотии:

Подготовительная (предэпифитотийная). На будущей площади поражения накапливаются изменения, которые становятся причинами возникновения эпифитотии. Стадия характеризуется ускоренным ростом микроорганизмов или увеличением популяции вредителей. Рост этот при способствующей ему погоде может выражаться в огромных цифрах. Например, плазмодара витикола (грибок, поразивший в XIX веке французские виноградники) за сутки покрывает 32 000 зооспор 1 см<sup>2</sup>.

Вспышка. На этой стадии происходит массовое одномоментное заражение большого количества растений. В результате они погибают, что приводит к ощутимым потерям урожая. Это высшая степень развития эпифитотии, ее кульминация.

Депрессия. На этой стадии заболевание постепенно затухает, площадь пострадавших территорий сокращается. Происходит это во многом за счет развития устойчивости культуры к конкретной болезни.

Эпифитотия может быть местной, когда фитопатоген накапливается на ограниченной территории и проявляется в течение нескольких лет. Это явление носит название энфитотии.

Если растения поражаются в нескольких странах и даже на целых континентах, эпифитологи говорят о панфитотии. Примерами здесь могут служить массовый графтиоз ильмовых, который в начале века попал из Азии в Голландию, поразил европейские вязаи и проник в Северную Америку, а также корневая губка, разрушающая хвойные породы стран северного полушария Земли.

Среди способов борьбы с такими явлениями выделяют уничтожение крыс и насекомых на территории посевов, опрыскивание, рытье защитных канав, опыление. Важны в этом деле и превентивные меры: эпифитологи составляют кратко- и долгосрочные прогнозы по конкретным районам [15].

Гибель и болезни растений могут явиться следствием неправильного применения различных химических веществ, например, гербицидов, дефолиантов, десикантов, которые в определенных дозах используются для уничтожения сорняков и дикорастущих кустарников при освоении новых земель, удаления или подсушивания листьев сельскохозяйственных растений перед уборкой, а так же как стимуляторы роста и созревания. Большой вред сельскому хозяйству наносят растения-паразиты, полностью или частично живущие за счет питательных веществ других растений. Они снижают урожайность сельскохозяйственных культур или вообще уничтожают их. Например, цветковые растения-паразиты снижают урожай подсолнечника, томатов, сарго, табака и др. Саранча наносит ни с чем несравнимый ущерб сельскому хозяйству во многих странах Африки, Азии и Ближнего Востока. Ее налетам подвержено почти 20% поверхности земного шара. Саранча, передвигаясь со скоростью 0,5-1,5 км/ч, уничтожает на своем пути буквально всю растительность. Так, в 1958 г. одна лишь стая уничтожила в Сомали за день 400 тыс. т зерна. Под тяжестью оседающих стай саранчи ломаются деревья и кустарники. Личинки саранчи питаются по 20-30 раз в день. Серьезными вредителями сельского хозяйства являются грызуны (сурки, суслики, серые полевки, пеструшки и др.). Во время массовых размножений их

численность может резко возрастать в 100-200 раз. Это увеличенное число грызунов требует огромного количества пищи, которой и становятся сельскохозяйственные культуры, особенно зерновые.

Вспышки распространения биологических вредителей происходят постоянно. Большой вред лесонасаждениям наносит сибирский шелкопряд. От него в Восточной Сибири погибли сотни тысяч гектаров хвойной тайги, прежде всего кедровой. В 1835 г. гусеницы дубового заболотника погубили 30 тыс. дубов в Беженском лесу в Германии. Чрезвычайно вредят постройкам, растительности и продовольствию термиты. Известен случай уничтожения термитами г. Джонстауна на о. Святой Елены.

Основными действиями, направленными на предотвращение заболеваний растений, являются дератизация, дезинсекция, биологическая, химическая и механическая борьба с вредителями сельского и лесного хозяйства (опрыскивание, опыление, окружение канавами очагов распространения вредителей) [15].

## **10. ПРОБЛЕМЫ ПРОГНОЗА, ПРОФИЛАКТИКИ И ЗАЩИТЫ ЛЮДЕЙ И МАТЕРИАЛЬНЫХ ЦЕННОСТЕЙ ОТ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ**

До недавнего времени усилия многих стран по «уменьшению опасности» стихийных бедствий были направлены лишь на ликвидацию их последствий, оказание помощи пострадавшим, организацию технических и медицинских услуг, поставку продуктов питания и т. п. Однако устойчивая тенденция к увеличению частоты катастрофических событий и размера связанного с ними ущерба делает эти мероприятия все менее эффективными.

При выработке концепции «борьбы с катастрофами» важно понимать, что человек не в состоянии приостановить или изменить ход эволюционных трансформаций планеты – он может только с некоторой долей вероятности



прогнозировать их развитие и иногда оказывать влияние на их динамику. Поэтому в настоящее время специалисты считают приоритетными новые задачи: предупреждение природных катастроф и смягчение их негативных последствий.

Центральное место в стратегии борьбы со стихией занимает проблема оценки *риска*, т. е. вероятности катастрофического события и величины ожидаемых человеческих жертв и материальных потерь.

Рассматриваемая проблема включает ряд фундаментальных научных задач, таких как:

- прогноз опасных природных процессов и явлений,
- моделирование механизма их развития,
- оценка безопасности людей и устойчивости инфраструктуры к действию разрушительных процессов,
- разработка методов управления рисками.

Центральное место в современной стратегии борьбы с природными угрозами занимает разработка научных технологий оценки природных рисков. Оценка рисков позволяет решать комплекс жизненно важных проблем устойчивого развития общества, а именно:

- разрабатывать нормативные документы и законодательные акты по регулированию хозяйственного использования территорий,
- вести целенаправленное инвестирование мероприятий по снижению угроз от опасных природных явлений,
- планировать создание системы предупреждения и реагирования на природные опасности (мониторинг, силы мобильного реагирования).

Процедура по оценке рисков включает выполнение ряда последовательных операций, а именно:

- идентификацию опасности,
- прогнозирование опасности,
- оценку уязвимости,

- оценку риска.

Риск-анализ начинается с идентификации природных опасностей и их оценки.

Необходимо определить вероятность проявления (или повторяемость) той или иной опасности определенного энергетического класса для взятой территории за заданный интервал времени.

Степень воздействия природной опасности на людей и объекты инфраструктуры оценивается показателем их *уязвимости*. Для людей это снижение способности выполнять свои функции вследствие гибели, потери здоровья или увечья; для объектов техносферы – уничтожение, разрушение или частичное повреждение объектов.

Различают несколько видов уязвимости: физическую, экономическую, социальную и экологическую.

Зная вероятность проявления природной опасности и величину возможной уязвимости можно оценить природный риск для изучаемой территории.

Получаемый таким образом количественный показатель природного риска – это вероятностная величина, характеризующая возможную гибель и увечье людей, а также возможные материальные потери (экономический ущерб) в результате развития отдельных видов (дифференцированный риск) или нескольких видов опасностей (интегральный риск).

Там, где нет людей и объектов экономики, даже при очень высоком уровне природной опасности природный риск равен нулю (если не считать экологические ущербы), и, наоборот, в густонаселенных районах с очень насыщенной инфраструктурой, даже не очень интенсивные природные явления могут давать высокие величины природных рисков.

Прогнозирование чрезвычайных ситуаций и оценка возможных последствий – это метод ориентировочного выявления и оценки обстановки, складывающейся в результате стихийных бедствий, аварий и катастроф.

Для составления прогнозов используются различные статистические данные, а также сведения о некоторых физических и химических характеристиках окружающей среды:

– для прогнозирования землетрясений в сейсмоопасных зонах изучают изменения химического состава природных вод, наблюдают за изменением уровня воды в колодцах, определяют механические и физические свойства грунта, а также наблюдают за поведением животных.

– прогнозирования влияния скрытых очагов пожара (подземных или торфяных) на возможность возникновения лесных пожаров используется фотосъемка в инфракрасной части спектра, осуществляемая с самолетов или космических аппаратов.

С момента предсказания чрезвычайной ситуации проверяют и приводят в готовность системы оповещения населения, а также аварийно-спасательные службы, разворачивают системы наблюдения и разведки, нейтрализуются особо опасные производства и объекты (химические предприятия, атомные электростанции), проводится частичная эвакуация населения.

В целях повышения качества и оперативности подготовки прогнозов возникновения и развития чрезвычайных ситуаций, мониторинга обстановки, складывающейся на территории Российской Федерации, а также осуществления поддержки принятия решений в кризисных ситуациях, в МЧС России первоочередное внимание уделяется развитию и внедрению новых информационных технологий.

Одним из последних достижений в направлении повышения эффективности работы системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций является внедрение в практику деятельности региональных центров системы автоматизированного краткосрочного прогноза природно-техногенных чрезвычайных ситуаций. Следует отметить, что оправданность прогнозов, рассчитанных этими системами, составляет не менее 70%.

Идея интеграции информационных ресурсов и автоматизированных систем мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций и создание единого тематического информационного пространства лежат в основе создания Национального центра управления в кризисных ситуациях единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и гражданской обороны, организация которого осуществляется в соответствии с поручением Президента Российской Федерации [15].

Регулировать развитие большинства природных опасностей – весьма сложная задача. Многие природные явления, такие как, например, землетрясения и извержения вулканов, вообще не поддаются прямому управлению. Но имеется многолетний положительный опыт воздействия человека, в частности, на некоторые гидрометеорологические явления.

Так, в научных организациях Росгидромета были разработаны технологии внесения активных реагентов в облачные поля при помощи ракетной, авиационной и наземной техники с целью искусственного увеличения и перераспределения атмосферных осадков, рассеивания туманов в окрестностях аэропортов, предотвращения градобития сельскохозяйственных культур. Стало возможным регулирование атмосферных осадков во время техногенных катастроф. Так, после взрыва на Чернобыльской атомной электростанции в 1986 г. был предотвращен дождевой смыв продуктов радиационного загрязнения в речную сеть.

Значительно чаще превентивные меры осуществляются косвенным образом, путем повышения устойчивости и защищенности по отношению к природным опасностям и самих людей, и инфраструктуры. Среди наиболее важных мер по снижению их уязвимости рациональное использование земель, тщательная инженерная подготовка объектов инфраструктуры и защита территорий, на которых они размещаются, организация средств предупреждения и экстренного реагирования.

Участки внешне однородной территории с разнообразными геоморфологическими, гидрогеологическими, ландшафтными и другими условиями реагируют на природные воздействия неодинаково. Например, в низинных участках, сложенных слабыми водонасыщенными грунтами, интенсивность сейсмических колебаний может оказаться в несколько раз выше, чем на соседнем участке, сложенном скальными породами.

Очевидно, что для снижения уязвимости и повышения безопасности необходимо строго обоснованно и ответственно подходить к выбору земельных участков для строительства населенных пунктов, промышленных и гражданских объектов, элементов жизнеобеспечивающих систем и т. д. Для решения этой задачи проводится *инженерно-геологическое районирование* территории, которое заключается в выявлении участков с одинаковыми или близкими геологическими характеристиками и их ранжировании по степени пригодности для хозяйственного освоения и устойчивости к воздействию природных и техногенных опасностей.

Для сейсмоопасных территорий составляется также карта *сейсмического микрорайонирования*. Ее основное назначение – выделять зоны различной сейсмической опасности (балльности) с учетом всех факторов, влияющих на распространение в геологической среде упругих волн. Например, при участии Института геоэкологии им. Е. М. Сергеева РАН было проведено подобное зонирование Имеретинской низменности на территории Адлерского района, где возводится комплекс сооружений для Олимпийских игр 2014 г.

Для регулирования атмосферных осадков разработаны авиационные технологии: распыляемый реагент вызывает коагуляцию облачного аэрозоля в дождевые капли. Внесение активного вещества осуществляется средствами малой авиации (вверху). Наземные устройства для рассеяния низкой облачности и туманов включают генератор ледяных кристаллов на сжижен-

ном азоте. Генераторные системы могут быть как стационарными, так и мобильными (внизу)

Процедура анализа риска заключается в вычислении ожидаемых потерь при проявлении природной опасности на основе ее количественной оценки и определения величины уязвимости реципиентов риска (людей и объектов). В случае, когда рассчитанный уровень риска оказывается неприемлемым (критерии приемлемости пока очень субъективны), осуществляют *управление риском*, т. е. выполняют мероприятия по его снижению. Одни из них непосредственно воздействуют на развивающиеся опасные природные явления, другие способствуют уменьшению уязвимости техносферы и повышению безопасности людей

Нередко возникает необходимость использовать заведомо непригодные для строительства земли, например, участки морских побережий и долин рек, склонов гор, территории с закарстованными и просадочными грунтами. В этом случае проводят превентивные инженерные мероприятия, направленные на повышение устойчивости территорий и защиту самих сооружений: возводят сплошные стены и дамбы, строят дренажные системы и водосбросы, производят поднятие территории с помощью отсыпки грунта, укрепляют грунты путем их уплотнения, цементации и армирования.

Недавний пример крупномасштабного защитного гидротехнического строительства – возведение защитной дамбы, которая перекрыла часть Финского залива и устье Невы. Потребность в подобном сооружении была велика, так как практически ежегодно за счет ветрового нагона из Балтийского моря воды Невы поднимались выше 1,5 м – уровня, в расчете на который проектировался Санкт-Петербург. Это приводило к затоплению отдельных районов города. Законченная в 2009 г., дамба выдерживает подъем воды свыше 4 м, что полностью избавляет жителей от угрозы наводнения.

Однако защита территории и даже рациональный выбор участка под строительство не являются достаточными условиями безопасности. Основ-

ная причина гибели людей в природных катастрофах связана с обрушением жилых и промышленных зданий.

Мониторинг – важнейшее звено системы прогнозирования и предупреждения. Прогностический мониторинг предназначен для организации регулярных наблюдений за аномальными явлениями природы или геоиндикаторами, отражающими их развитие. Проведение такого мониторинга в течение длительного времени позволяет создавать банки данных и временные ряды наблюдений, анализ которых дает возможность выяснять закономерности динамики опасного процесса, моделировать причинно-следственные связи его развития и предсказывать возникновение экстремальных ситуаций.

Для смягчения последствий от «мгновенно» развивающихся катастрофических процессов (например, землетрясений) в случае отсутствия надежных методов их прогнозирования целесообразно применять так называемый охранный мониторинг. Он настраивается на экстремальную фазу катастрофического события и позволяет без вмешательства человека автоматически принимать срочные меры по минимизации последствий опасного процесса за считанные секунды до наступления критического момента.

Чаще всего по сигналу охранной мониторинговой системы осуществляется отключение объекта от энергообеспечивающих систем (газ, электричество), оповещение персонала и др. Такие системы устанавливаются на особо ответственных и опасных объектах, прежде всего на атомных станциях, нефтеперерабатывающих заводах, морских платформах нефтедобычи, насосных станциях химических продуктопроводов и т. п.

Примером охранного мониторинга может служить система сейсмической безопасности, основанная на применении *акселерометров* (измерителей величины ускорения) сильных движений. Она была разработана в Институте геоэкологии им. Е. М. Сергеева РАН и установлена на нефтедобывающих платформах, расположенных на шельфе о. Сахалин. Анализ пока-

заний приборов с помощью специального алгоритма дает возможность различать колебания объекта, вызванные сейсмическими и иными причинами. Поэтому система подает тревожный сигнал только тогда, когда уровень заданной пороговой интенсивности превышен, и не реагирует на другие сотрясения. Так исключается возможность «ложной тревоги».

В последние десятилетия наметились опасные тенденции в развитии природных процессов, во многом обусловленных ростом численности населения и экономики земной цивилизации. Необратимый рост числа катастрофических событий, в том числе техноприродного происхождения, выдвигает в качестве важного государственного приоритета оценку природных рисков и разработку методов борьбы с ними.

Эффективное управление рисками опирается на современный уровень знаний о природных явлениях, системную организацию наблюдений за опасными процессами, адекватную культуру хозяйственной деятельности и принятие ответственных управленческих решений на разных уровнях власти. Стратегию управления рисками следует осуществлять во всех проектах и инвестиционных программах, связанных со строительством, образованием, социальным обеспечением, здравоохранением.

Подверженность и уязвимость являются ключевыми определяющими факторами риска стихийных бедствий и их последствий в случае возникновения риска. Например, тропический циклон может иметь весьма различные последствия в зависимости от того, где и когда он вызывает оползень. Аналогичным образом волна тепла может иметь весьма различные последствия для различных групп населения в зависимости от их уязвимости. Экстремальные воздействия на антропогенные, экологические или физические системы могут быть результатом отдельных экстремальных метеорологических или климатических явлений. Экстремальные воздействия могут также являться результатом неэкстремальных явлений, когда подверженность и уязвимость бывают высокими, или сочетания явлений или их воздействий.



Например, засуха в сочетании с экстремальной жарой или низкой влажностью может повысить риск стихийного пожара.

Экстремальные и неэкстремальные метеорологические или климатические явления оказывают влияние на уязвимость к будущим экстремальным явлениям, являясь причиной изменения сопротивляемости, способности к преодолению воздействия или адаптационной способности. В частности, совокупные воздействия стихийных бедствий на местном или субнациональном уровнях могут существенным образом затронуть возможные средства к существованию и ресурсы, а также возможности общества и отдельных сообществ для подготовки к будущим стихийным бедствиям и реагированию на них. Изменение климата ведет к изменениям в частоте, интенсивности, пространственных масштабах, продолжительности и сроках экстремальных метеорологических и климатических явлений, и его результатом могут быть беспрецедентные экстремальные метеорологические и климатические явления. Изменения в экстремальных явлениях могут быть связаны с изменениями в среднем значении, дисперсии или форме распределений вероятности или же всех этих показателей. Некоторые из климатических экстремальных явлений (например, засухи) могут являться результатом соединения метеорологических или климатических явлений, которые не являются экстремальными, если рассматривать их отдельно друг от друга. Многие экстремальные метеорологические и климатические явления по-прежнему являются результатом естественной изменчивости климата. Естественная изменчивость будет являться важным фактором в формировании будущих экстремальных явлений в дополнение к воздействию антропогенных изменений в климате [23].

**Закономерности природных катастроф.** Природные катастрофы имеют свою специфику генезиса, которая коренным образом отличается от техногенных явлений и процессов, протекающих повседневно. Отсюда — своя специфика мониторинга, на основе которого проводится прогноз.

Здесь важно как можно раньше предсказать ЧС, поскольку заблаговременность прогноза определяет возможность минимизации человеческих жертв и материальных потерь. Например, катастрофическое наводнение на р. Амур в 2013 г. было предсказано в июне, заблаговременно (более чем за месяц до события) по данным мониторинга синоптических процессов. Это позволило, хотя бы частично, соорудить защитные дамбы, эвакуировать население, привлечь спасательные службы и средства. В конечном итоге с учетом высочайшего подъема уровня воды (более 8 м) удалось обойтись без человеческих жертв. Поэтому для организации качественных прогнозов необходимо знать сущность геолого-геофизических процессов, которые познаются на основе мониторинга.

Несмотря на глубокие различия, все рассматриваемые природные катастрофы подчиняются следующим общим закономерностям.

1. Для каждого вида может быть установлена специфическая пространственная приуроченность. У каждого вида катастрофы существуют свои геофизические причины, определяющие их преимущественное возникновение в тех или иных районах Земли.

Не только землетрясения и вулканические извержения, но также оползни, обвалы, лавины и сели связаны с районами активной тектоники, горообразовательной деятельности. Участки береговой линии океанов, открытые для прихода волн, возбужденных на его дне, могут являться районами опасности цунами. Речные наводнения, связанные с сезонным таянием снега и льда, а также с катастрофическими ливнями, — паводки и половодья — характерны для равнинных и горных рек. При определенных объемах влаги или льда и формах русел рек (резкое сужение или смена направления) происходит выход вод на пойму или создаются заторы, приводящие к резкому подъему уровней вод и затоплению территорий или разрушению ограждающих дамб. Как правило, территориальная приуроченность поло-

водий и паводков выражена не только в пространстве, но и во времени, что обусловлено цикличностью геофизических процессов.

2. Независимо от источника зарождения и продолжительности — от нескольких минут (снежные лавины, землетрясения, обвалы и др.) до нескольких часов (сели), дней (оползни) и месяцев (наводнения) — все природные катастрофы характеризуются значительной мощностью и поражающей способностью.

На совершение любой, в том числе и разрушительной, работы требуются затраты энергии, которые происходят тремя разными путями.

В транзитивных и деструктивных катастрофах совершается переход с более высокого энергетического уровня на более низкий уровень. Выделяющийся избыток энергии, превращается в тепло, но по ходу процесса эта энергия затрачивается на формирование поражающих факторов. Таковы землетрясения, обвалы, лесные пожары, часть наводнений.

Для структурирующих катастроф энергетика совсем иная. Здесь источником разрушения служит чаще всего тепловая энергия. Следуя второму закону термодинамики, тепло без заметных потерь нельзя превратить обратно в механическую или электромагнитную энергию. Поэтому необходимы структура или устройство, в общем виде называемые тепловой машиной. В природных катастрофах тепловые машины создаются сами по себе, за счет самоорганизации среды. Тепловая машина тайфуна с нагревателем в виде теплового океана и холодильником в верхних слоях атмосферы устроена так, что буквально всасывает тепло из океана, превращая значительную часть тепловой энергии в механическую. Многие разрушающие структуры образуются проще, например, струйное течение в атмосфере или цунами. Однако и здесь всегда вначале часть энергии расходуется внутри системы на создание структуры, а затем уже происходит выделение энергии структуры в виде разрушения сложившейся природной обстановки.

3. Чем больше интенсивность природного явления, тем реже оно повторяется с той же силой.

Например, катастрофические паводки или половодья 1—3% обеспеченности происходят с вероятностью 1—3 раза за столетие (иногда реже, а иногда — наоборот). Здесь очень важен период наблюдений. Так, по своим параметрам Амурское наводнение превышает расходы 1% обеспеченности. Это свидетельствует, что реальное событие должно быть охвачено более длительными наблюдениями. Существующая система гидрометеорологических наблюдений в России действует немногим более 100 лет. Чем более длительную историю имеют те или иные наблюдения, тем выше их ценность. Крупные извержения вулканов и землетрясения в наблюдаемых пунктах происходят реже, чем опасные гидрологические явления, однако их предсказание — весьма непростая задача.

Для измерения энергии многих природных явлений используется величина, названная магнитудой. Впервые это понятие для оценки величины землетрясений и определялось как логарифм отношения максимальных амплитуд данного землетрясения к амплитуде таких же волн некоторого стандартного землетрясения. В последующем эту величину использовали для оценки других природных катастроф. Так, магнитуда вулканических извержений определяется по объему извергнутого вещества, цунами — средней высотой волны, оползня и снежной лавины — объемом смещения горной породы или снега.

4. При всей неожиданности природной катастрофы ее возможное проявление может быть предсказано с большей или меньшей надежностью.

Анализ зависимости разрушительного эффекта стихийного бедствия от его размаха, продолжительности и (или) интенсивности геологических и гидрометеорологических процессов позволяет с различной степенью надежности предсказать его возможное проявление или последствия. Так, обильные осадки могут спровоцировать интенсивные оползневые смеще-

ния. В меньшей степени это относится к заблаговременности прогноза, которая является не менее важной информацией, чем интенсивность чрезвычайного явления.

5. Стихийные явления могут возникать во взаимодействии друг с другом, т.е. в парагенетической связи. При этом происходят они гораздо чаще и с большей разрушительной силой.

Примером такой парагенетической связи стихийных бедствий может служить природная катастрофа, произошедшая в Гармском районе Таджикистана. В результате землетрясения силой 9—10 баллов 10 июля 1949 г. в этом районе получили большое развитие обвальные и оползневые процессы на склонах хребта Тахти. Образовались земляные лавины и селевые потоки семидесятиметровой толщины, со скоростью 30 м/с пронесшиеся по ущелью. Каменная лавина промчалась через поселок Хаит, похоронив его, пересекла пойму реки Яхрыч и выплеснулась на правый борт долины, растекаясь тремя языками. Объем каменной и грунтовой массы обвала, по подсчетам разных исследователей, составил от 380 до 500 млн м<sup>3</sup>. Общая площадь разрушительных сейсмогравитационных и селевых явлений — 1500 км<sup>2</sup>. Объем селевого потока — 145 млн м<sup>3</sup>. При этом основные последствия катастрофы были вызваны не землетрясением, а оползнями, обвалами, земляными лавинами и селями.

6. Воздействие человека на природную среду без учета экологических взаимодействий, с нарушением технологии строительства инженерных коммуникаций, без возведения специальных сооружений, предназначенных для защиты объектов от стихийных явлений, способствует активизации и усилению природных катастроф. Ярким примером может служить наводнение в г. Крымске в 2011 г. Создание искусственных линейных сооружений на пути движения ливневых осадков привело к их скоплению в естественных понижениях. При достижении критической величины сформировалась

паводочная волна, которая привела к затоплению больших площадей городской территории и гибели 140 человек.

Рассматривая антропогенную деятельность в связи с ее влиянием на природные процессы, необходимо отметить следующие основные положения:

- она может их активизировать или замедлять, а иногда вызывать такие явления, которые не были свойственны природе данной территории, т.е. в целом человек влияет на степень активности природных процессов;
- она не является фактором, вызывающим в природе новые, не встречавшиеся раньше стихийные бедствия;
- механизм ее влияния зависит от конкретных природных условий и типа процесса;
- она может влиять на природные процессы непосредственно или косвенно, быстро или медленно [15].

Несмотря на научно-технический прогресс, рост экономики, защищенность людей и материальной сферы от опасных природных явлений не возрастает, а систематически снижается. Исходя из мировых статистических данных, ежегодный прирост погибших от природных катастроф на Земле составляет 4,3%, пострадавших — 8,6%, а величины ущерба - 10,4%. Учитывая, что мировой валовой продукт растет меньшими темпами (3,6%), рост природных опасностей следует рассматривать как глобальный процесс, который будет во многом определять возможность перехода общества на стратегию устойчивого развития.

Интенсивное развитие экономики приводит к появлению техногенно-природных опасностей, являющихся принципиально новыми или медленно развивающимися существующими природными процессами, активизированными хозяйственной деятельностью человека. Среди техногенно-природных процессов наибольшую опасность представляют наведенная сейсмичность, подтопление, опускание поверхности Земли.

Проблема природных опасностей и связанные с ней социальные и материальные потери определяются не только природными условиями территорий, но и социально-экономическим положением проживающих там народов. Наибольшие социальные потери наблюдаются в слабо развитых странах, где высокая численность населения и его слабая защищенность являются причиной массовой гибели и огромных страданий людей при развитии природных катастроф. В экономически развитых странах смертельных исходов значительно меньше, однако развитие опасных явлений здесь сопровождается огромными материальными потерями [15].

## Заключение

Представленный в учебном пособии материал показывает, что на современном этапе развития цивилизации получение знаний о природных катастрофах и разработка мероприятий по их предупреждению и ликвидации последствий становятся все более актуальными и имеют большое практическое значение. Их разработка должна опираться на комплексные исследования всех компонентов гео- и экосистем, проведение постоянного мониторинга, особенно на территориях, подверженных действию опасных природных процессов, применением новых методов прогноза наступления опасных природных явлений с использованием современных математических методов, включая моделирование, широкое использование ГИС, результатов космического зондирования земной поверхности.

В глобальном аспекте необходим контроль над динамикой глобального изменения климата, концентрациями парниковых газов в атмосфере, токсикантов в окружающей среде. Избежать природных катастроф, особенно спровоцированных деятельностью человека, может всесторонняя оценка воздействия намечаемой деятельности на окружающую среду, своевременное проведение мероприятий по инженерной защите территорий.



## Список использованных источников

1. Апродов, В.А. Вулканы / В.А. Апродов. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2007. – 384 с.
2. Безопасность жизнедеятельности: Учебник для вузов, 2-е изд./ Под ред. Михайлова Л.А. – СПб.: Питер, 2012. – 461 с.
3. Безопасность жизнедеятельности: учебник/ коллектив авторов; под ред. И.В. Свитнева. – М.: КНОРУС, 2019. – 406 с.
4. Васильев Ю.М., Чарыгин М.М. Общая и историческая геология. – М.: Недра, 1968. – 448 с.
5. Влодавец В.И. Вулканы Земли/ В.И. Влодавец. – М.: Просвещение, 2008. – 243 с.
6. ГОСТ Р 22.0.02-94. Безопасность в ЧС. Термины и определения. – М.: Госстандарт России, 1994. – 16 с.
7. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2020 году» – М.: МЧС России. ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2021. – 264 с.
8. Гущенко И.И. Извержения вулканов мира/ И.И.Гущенко. – М.: Инфра - М, 2008. – 106 с.
9. Злобин Т. К. Геодинамические процессы и природные катастрофы: учебное пособие / Т. К. Злобин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Южно-Сахалинск: СахГУ, 2014. – 232 с.
10. Информационный бюллетень Государственного научного учреждения «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – СОСНЫ» Национальной академии наук Беларуси. – 2011. – № 1-2. – С. 1-10.
11. Королев В.А. Инженерная защита территорий и сооружений: учебное пособие/ В.А. Королев. – М.: ИД КДУ, 2013. – 470 с.

12. Малышев А.И. Жизнь вулкана. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. – 262 с.
13. Михайлов Л. А., Соломин В. П., Михайлов А. Л., Старостенко А. В. и др. Безопасность жизнедеятельности: Учебник для вузов / — СПб.: Питер. — 302 с.
14. ОМД 218.2.052- 2015. Проектирование и строительство противоселевых сооружений для защиты автомобильных дорог. – М.: Росавтодор. 2015. – 84 с.
15. Опасные природные процессы: учебник/ М. В. Бедило, А. Г. Заворотный, А. Н. Неровных [и др.] / 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2020. – 308 с.
16. Постановление Правительства РФ № 304 от 21.05.2007 "О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера".
17. РД 52.30.238-89 Руководство селестоковым станциям и гидрографическим партиям. Выпуск 1. Организация и проведение работ по изучению селей. - Госкомгидромет СССР. – М.: Гидрометеиздат, 1990 год. – 198 с.
18. Ритман А. Вулканы и их деятельность// Земля и Вселенная. – 2009. – №1 – С. 23-27.
19. Русин И.Н. Стихийные бедствия и возможности их прогноза. Учебное пособие. – СПб.: изд. РГГМУ, 2003 – 140 с.
20. СНиП 2.01.15-90 Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения проектирования/ Госстрой СССР. – М. Арендное производственное предприятие ЦИТП, 1991. – 32 с.
21. СП 104.13330.2016 свод правил «Инженерная защита территории от затопления и подтопления». – М.: Стандартинформ, 2017. – 25 с.
22. Тормозов Н.А., Кожевникова Н.Ю. Землетрясение как смертоносная природная катастрофа// Молодежь и наука. – 2021, 4. – С. 1-15.

23. Управление рисками стихийных бедствий: Процессы разработки, осуществления и оценки стратегий, политики/ Доклад Рабочих групп I и II МГЭИК, 2012. –32 с.

24. ФЗ №68 «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» от 21.12.1994.

### **Материалы интернет-сайтов**

25. Академик: электронные словари и энциклопедии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dic.academic.ru/> дата обращения - 5.11.21).

26. Википедия: свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения 24.06.2022).

27. Виноград: информационный ресурс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vinograd.info/spravka/slovar/epifitotiya.html> (дата обращения - 5.11.21).

28. Интернет издание. Автор публикации Г.Тютрин [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pandia.ru/text/77/491/40809.php> (дата обращения - 13.08.2022).

29. Киберпедия: информационный ресурс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberpedia.su/3xd7c.html> (дата обращения 26.06.2022).

30. Мир вулканов: информационный ресурс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.world-volkanos.ru/polza-vulkanov.php> (дата обращения 26.06.2022).

31. Музей гидроэнергетики: учебно-производственный информационный центр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.hydrmuseum.ru/ru/encyclopedia/glossary/selenapravlyayushchie-sooruzheniya/> (дата обращения 28.06.2022).

32. Российское информационное агентство Новости [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ria.ru/20090403/166938177.html> (дата обращения 12.11.21).

33. Сайт гидрометцентра России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://meteoinfo.ru/hazards-definitions> (дата обращения 13.08.2022).

34. Сайт дирекции комплекса защитных сооружений г. Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dambaspb.ru/> (дата обращения 13.08.2022).

35. Сайт МЧС России. Главное управление по магаданской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://49.mchs.gov.ru/deyatelnost/poleznaya-informaciya/0rekomendacii-naseleniyu/chs-prirodnogo-haraktera/snezhnye-laviny> (дата обращения - 5.11.21).

36. Сайт МЧС России. Главное управление по магаданской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://45.mchs.gov.ru/deyatelnost/poleznaya-informaciya/rekomendacii-naseleniyu/chs-prirodnogo-haraktera/uragan-burya-smerch> (дата обращения - 5.11.21).

37. Сайт ФГБУ «Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Республики Татарстан» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tatarmeteo.ru/ru/agrometeorologia/agro-oja-rt.html> (дата обращения - 5.11.21).

38. Энциклопедия Кругосвет: универсальная научно-популярная энциклопедия [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://www.krugosvet.ru/enc/Earth\\_sciences/geologiya/ZEMLETRYASENIYA.html](https://www.krugosvet.ru/enc/Earth_sciences/geologiya/ZEMLETRYASENIYA.html) (дата обращения 24.06.2022).

39. Naturae.ru: информационный ресурс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://naturae.ru/stati-o-prirode/prirodnye-yavleniya/opolzen.html> (дата обращения 28.06.2022).

40. Sciencedebate2008: научно-популярное периодическое издание [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sciencedebate2008.com/izverzheniya-vulkanov/> (дата обращения 26.06.2022).