

Министерство образования и науки Российской Федерации
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

О. С. Власова

ОПАСНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ



Учебное пособие

Волгоград. ВолгГАСУ. 2014



© Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный
архитектурно-строительный университет», 2014

УДК 614.8:551(075.8)8
ББК 68.9(2Рос)я73
В581

Р е ц е н з е н т ы:

Н. В. Мензелинцева, доктор технических наук, профессор кафедры инженерной графики, стандартизации и метрологии Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета;

И. П. Михнев, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем и математического моделирования Российской академии народного хозяйства и государственной службы

*Утверждено редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

Власова, О. С.

В581 **Опасные природные процессы [Электронный ресурс] : учебное пособие /**
О. С. Власова ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. — Электронные текстовые и графические данные (12,0 Мбайт). — Волгоград : ВолгГАСУ, 2014. — Учебное электронное издание сетевого распространения. — Систем. требования: PC 486 DX-33; Microsoft Windows XP; Internet Explorer 6.0; Adobe Reader 6.0. — Официальный сайт Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Режим доступа: <http://www.vgasu.ru/publishing/on-line/> — Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-98276-677-9

Материал, изложенный в учебном пособии, направлен на формирование знаний о природных стихийных явлениях, уяснение методов их прогнозирования и моделирования их последствий, определение превентивных защитных мероприятий и способов защиты.

Для студентов направления «Техносферная безопасность» (профиль «Защита в чрезвычайных ситуациях») 3-го курса очной формы обучения.

Для удобства работы с изданием рекомендуется пользоваться функцией Bookmarks (Закладки) в боковом меню программы Adobe Reader.

УДК 614.8:551(075.8)
ББК 68.9(2Рос)я73

ISBN 978-5-98276-677-9



© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет», 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРА.....	5
1.1. Понятие о чрезвычайных ситуациях.....	5
1.2. Классификация чрезвычайных ситуаций природного характера.....	7
2. ОПАСНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЛИТОСФЕРЕ.....	9
2.1. Землетрясения.....	9
2.1.1. Внутреннее строение Земли. Сейсмические волны.....	9
2.1.2. Магнитуда землетрясений.....	12
2.1.3. Шкалы интенсивности землетрясений.....	14
2.1.4. Методы прогноза землетрясений.....	15
2.1.5. Оценка последствий землетрясений.....	17
2.2. Извержение вулканов.....	18
2.2.1. Геологическое строение и геодинамика вулканов.....	18
2.2.2. Виды вулканических извержений.....	20
2.2.3. Типы вулканов.....	22
2.2.4. Методы прогноза извержений вулканов.....	24
2.2.5. Грязевой вулканизм.....	25
2.3. Склоновые процессы.....	26
2.3.1. Общая характеристика и причины склоновых процессов.....	26
2.3.2. Сели.....	27
2.3.2.1. Природа селей.....	27
2.3.2.2. Основные виды селевых потоков.....	28
2.3.2.3. Формирование селей.....	29
2.3.2.4. Прогнозирование селей.....	31
2.3.2.5. Оценка последствий схода селей.....	31
2.3.3. Оползни.....	36
2.3.3.1. Формирование оползневых процессов.....	36
2.3.3.2. Классификация оползней.....	39
2.3.3.3. Прогнозирование оползней.....	42
2.3.3.4. Борьба с оползнями.....	43
2.3.4. Обвалы и осыпи.....	45
2.3.5. Снежные лавины.....	46
2.3.5.1. Общая характеристика и причины схода снежных лавин.....	46
2.3.5.2. Физическая сущность лавинообразных процессов.....	49
2.3.5.3. Методика расчета основных параметров лавин.....	51
2.3.5.4. Методы прогноза схода снежных лавин.....	53
2.3.6. Абразия берегов.....	56
2.3.7. Пыльные и песчаные бури.....	57
2.3.8. Курумы.....	58
3. ОПАСНЫЕ ПРОЦЕССЫ В АТМОСФЕРЕ.....	60
3.1. Атмосферные вихри.....	60
3.1.1. Циклоны и ураганы.....	60
3.2.1. Шквальные бури и смерчи (торнадо)	63
3.2. Экстремальные осадки и снежно-ледниковые явления.....	65
3.3. Грозы и градобития.....	66
3.4. Экстремальные температуры воздуха.....	68
4. ОПАСНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ.....	69
4.1. Наводнения.....	69
4.2. Цунами.....	72
5. ПРИРОДНЫЕ ПОЖАРЫ.....	75

6. МАССОВЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ ЛЮДЕЙ, ЖИВОТНЫХ И РАСТЕНИЙ.....	83
6.1. Источники, причины и пути распространения инфекционных заболеваний.....	83
6.2. Наиболее опасные инфекционные заболевания людей.....	86
6.2.1. Чума.....	86
6.2.2. Холера.....	86
6.3. Мероприятия по борьбе с распространением инфекционных заболеваний животных.....	87
6.4. Поражения сельскохозяйственных растений болезнями и вредителями.....	89
Библиографический список.....	91

1. ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРА

1.1. ПОНЯТИЕ О ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Чрезвычайное событие — это происшествие техногенного, экологического и природного происхождения, заключающееся в резком отклонении от нормы протекающих процессов или явлений и оказывающее значительное отрицательное воздействие на жизнедеятельность человека, функционирование экономики, социальную сферу и природную среду.

Последствия чрезвычайного события выражаются в потерях, ущербе и остаточных поражающих и других неблагоприятных факторах.

Чрезвычайная ситуация (ЧС) — это состояние, при котором в результате возникновения источника чрезвычайной ситуации на объекте, определенной территории или акватории нарушаются нормальные условия жизни и деятельности людей, возникает угроза их жизни и здоровью, наносится ущерб имуществу населения, народному хозяйству и окружающей природной среде.

Под **источником чрезвычайной ситуации** понимают опасное природное явление, аварию или техногенное происшествие, широко распространенную инфекционную болезнь людей, сельскохозяйственных животных и растений, а также применение современных средств поражения, в результате чего может возникнуть чрезвычайная ситуация.

Конкретная характеристика зоны (региона), в которой сложилась чрезвычайная ситуация, установленная на определенный момент времени и содержащая сведения о состоянии и последствиях чрезвычайного события, задействованных и необходимых людских и материальных ресурсах, объемах проведенных работ и др., называется **обстановкой в районе чрезвычайной ситуации**.

Природная чрезвычайная ситуация — это обстановка на определенной территории или акватории, сложившаяся в результате возникновения источника природной чрезвычайной ситуации, что может повлечь или повлекло за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей и/или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Причиной опасного природного явления или процесса может стать: землетрясение, вулканическое извержение, оползень, обвал, сель, карст, просадка в лессовых грунтах, эрозия, цунами, лавина, наводнение, подтопление, затоп, штормовой нагон воды, сильный ветер, смерч, пыльная буря, суховей, сильные осадки, засуха, заморозки, туман, гроза, природный пожар.

Природные чрезвычайные ситуации различают по характеру источника и масштабам. Каждое стихийное бедствие имеет свою физическую сущность, только ему присущие причины возникновения, движущие силы, характер и стадии развития, свои особенности воздействия на окружающую среду. Тем не менее всем стихийным бедствиям присущи и некоторые общие черты: большой пространственный размах, значительное влияние на окружающую среду, сильное психологическое воздействие на человека.

Знание причин возникновения и характера ЧС позволяет:

предотвратить некоторые из них или ослабить силу их разрушительного воздействия;

заблаговременным принятием соответствующих мер конкретно и действительно ликвидировать последствия ЧС;

определить правильное, разумное поведение населения.

В борьбе с ЧС большое значение имеет проведение предупредительных работ в целях предотвращения или значительного уменьшения размеров ущерба от стихийного бедствия, а также получение необходимой информации.

Время наступления и масштабы крупных природных катастроф трудно предсказать, особенно это касается гидрометеорологических явлений — наводнений, заморозков, ураганов и др.

Существенное влияние на природные катастрофы оказывают внезапные эндогенные и экзогенные процессы на Земле.

Эндогенные процессы — это глубинные процессы, источники которых находятся в недрах планеты. Эндогенные силы поднимают отдельные участки земной коры и способствуют образованию крупных форм рельефа — мегаформ и макроформ. Главный источник энергии эндогенных процессов — внутренняя теплота в недрах Земли. Эти процессы вызывают движение магмы, вулканическую деятельность, землетрясения, медленные колебания земной коры.

Экзогенные процессы — это процессы, происходящие на поверхности Земли. Экзогенные силы разрушают, преобразуют земную кору, переносят рыхлые и растворимые продукты разрушения, осуществляемого водой, ветром, ледниками. Разрушительные действия экзогенных процессов опасны для человека. К таким явлениям относятся, например, селегрязекаменные потоки и оползни, которые приводят к разрушению различных построек, нанося ущерб хозяйству и унося жизни людей. Среди экзогенных процессов необходимо также отметить выветривание, в результате которого происходит выравнивание рельефа.

Наиболее часто встречающиеся опасные явления, исходящие из космоса, — это магнитные бури и падения метеоритов.

1.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРА

В качестве основания для систематизации чрезвычайных ситуаций могут выступать:

сущность и характер базовых явлений и процессов, важнейшие признаки проявления (типы и виды);

характер поражающих факторов или источников опасности (тепловые, химические, радиационные, биологические и т. д.);

место возникновения;

главные причины возникновения (погодные, геофизические и др.);

интенсивность протекания;

масштабы воздействия (поражения);

характер воздействия на основные объекты поражения (разрушение, затопление и др.).

Все ЧС невоенного характера классифицируются следующим образом:

1) по сфере возникновения:

природные;

техногенные;

экологические;

2) ведомственной принадлежности:

произошедшие в строительстве;

промышленности (атомная энергетика, металлургия, машиностроение и т. д.);

жилищной и коммунально-бытовой сфере;

сфере обслуживания населения;

на транспорте — подземном, воздушном, водном (речном, морском), наземном (железнодорожном, автомобильном, трубопроводном, канатно-подвесном);

в сельском хозяйстве;

лесном хозяйстве; системе Министерства обороны;

3) масштабу возможных последствий:

локальные (частные, объектовые);

местные;

территориальные;

региональные;

национальные (федеральные);

глобальные (трансграничные).

Наибольшую практическую ценность имеет классификация природных ЧС по характеру лежащих в ее основе базовых явлений и процессов (например, явления в литосфере), типам (например, геофизические опасные явления) и видам (например, землетрясение) с одновременным учетом общего характера последствий (табл. 1).

Классификация ЧС природного характера

Группа ЧС	Тип ЧС	Вид ЧС
Явления в литосфере	Геофизические опасные явления	Землетрясения. Извержение вулканов
	Геологические опасные явления	Оползни, сели, обвалы, осыпи, лавины. Склоновый смыв. Просадка лессовых пород. Просадка (провал) земной поверхности в результате карста. Абразия, эрозия
	Природные пожары	Лесные пожары. Пожары степных и хлебных массивов. Торфяные пожары. Подземные пожары горючих ископаемых
Явления в атмосфере	Метеорологические и агрометеорологические опасные явления	Бури (9—11 баллов). Ураганы (12—15 баллов). Смерчи, торнадо. Шквалы. Вертикальные вихри. Крупный град. Сильный дождь, ливень. Сильный снегопад. Сильный гололед. Сильный мороз. Сильная жара. Сильный туман. Засуха. Суховей. Заморозки
Явления в гидросфере	Морские гидрологические опасные явления	Тропические циклоны (тайфуны). Цунами. Сильное волнение (5 баллов и более). Сильное колебание уровня моря. Сильный тягун в портах. Ранний ледяной покров и припай. Напор льдов, интенсивный дрейф льдов. Непроходимый (труднопроходимый) лед. Обледенение судов и портовых сооружений
	Гидрологические опасные явления	Высокие уровни воды (наводнения). Половодье. Дождевые паводки. Затопления и заборы. Ветровые нагоны. Низкие уровни воды. Ранний ледостав и появление льда на судоходных водоемах и реках
	Гидрогеологические опасные явления	Низкие уровни грунтовых вод. Высокие уровни грунтовых вод
Биологические явления	Биологические повреждения в литосфере, гидросфере, атмосфере	Появление микро- и макроорганизмов, обусловленное биоповреждениями объектов техногенного характера
	Инфекционная заболеваемость людей	Единичные случаи экзотических и особо опасных инфекционных заболеваний. Групповые случаи опасных инфекционных заболеваний. Эпидемия. Пандемия
	Инфекционная заболеваемость сельскохозяйственных животных	Единичные случаи экзотических и особо опасных инфекционных заболеваний. Энзоотии
	Поражение сельскохозяйственных растений болезнями и вредителями	Прогрессирующая эпифитотия. Болезни сельскохозяйственных растений невыявленной этиологии. Массовое распространение вредителей растений

2. ОПАСНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЛИТОСФЕРЕ

2.1. ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

2.1.1. Внутреннее строение Земли. Сейсмические волны

Для лучшего понимания опасных природных явлений необходимо иметь представление о форме, размере и внутреннем строении нашей планеты.

Как мы знаем, Земля является лишь одним из многих миллионов космических тел во Вселенной. Важнейшим отличием Земли от других планет является то, что она одна из немногих, а возможно и единственная, на которой природные условия позволяют существовать животному и растительному миру, а следовательно, и человеку. Наличие жизни на нашей планете возможно главным образом потому, что температуры на поверхности Земли способствуют нахождению воды в жидком состоянии, что является обязательным условием для жизни. На других планетах температура или очень высокая, или очень низкая, там нет воды в жидкой фазе, поэтому невозможно развитие любой формы жизни.

По форме Земля представляет собой сжатый сфероид (эллипсоид вращения), сплюснутый на полюсах. Сплюснутость Земли объясняется центробежными силами, возникающими при ее вращении. Они влияют на глобальную картину распределения ветров в атмосфере, течений в океанах и потоков вязкого вещества в недрах Земли.

Размеры Земли: экваториальный радиус — 6378 км, полярный радиус — 6356 км, длина окружности по экватору — 40 000 км.

Более 70 % поверхности планеты покрыто океанами, а в Южном полушарии океаны занимают почти 85 % общей поверхности (рис. 1).



Рис. 1. Океаны и материки земного шара

Никто не может совершить путешествие к центру нашей планеты, чтобы познакомиться с ее строением, но сейчас мы многое знаем о внутреннем строении (рис. 2). Земли благодаря приборам, регистрирующим волны, которые возникают во время землетрясений.

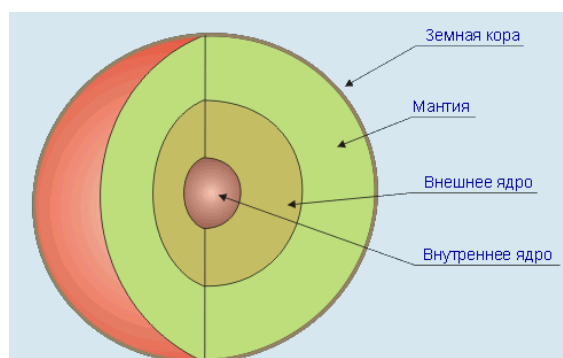


Рис. 2. Внутреннее строение Земли

Ежегодно нашу планету сотрясает не менее десятка сильных разрушительных землетрясений. В процессе самого слабого из них высвобождается энергия, которая в тысячу раз превышает энергию взрыва атомной бомбы. Волны, возникающие в результате толчков и распространяющиеся через толщу Земли, называются **сейсмическими волнами**. Их путь искривляется из-за различных характеристик ее внутренних слоев и таким образом они показывают характер слоев планеты, через которые проходят (рис. 3). Записав волны с помощью сейсмографов, можно изучить их и на основе этого составить картину внутреннего строения Земли. Фактически, сейсмографы просвечивают Землю словно рентгеном, хотя иногда они видят ее как бы сквозь затемненное стекло.

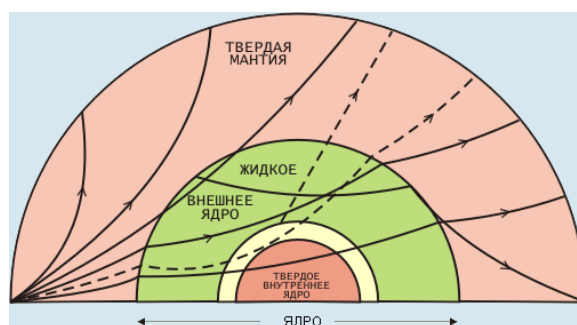


Рис. 3. Прохождение сейсмических волн через толщу Земли

От очага или места разрыва земной коры расходятся волны упругих колебаний во всех направлениях внутри и по поверхности Земли. Для большинства землетрясений с глубиной очага не более 70 км упругие волны возникают в результате разлома участка земной коры — относительного перемещения ее блоков (рис. 4). Другими словами, напряжение в горной породе на данном участке превышает предел прочности на разрыв, и поэтому в породе образуется трещина, появляется разлом, который приводит к образованию сейсмических волн.

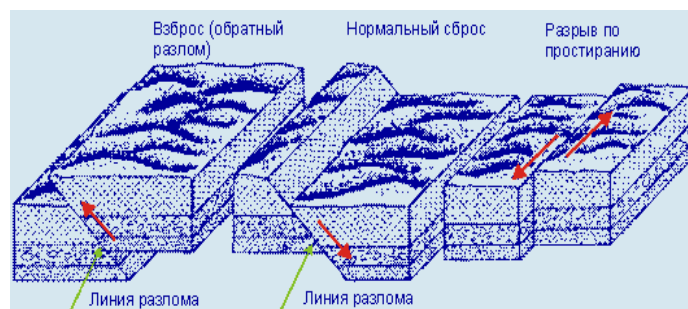


Рис. 4. Перемещение блоков земной коры

В результате перемещений блоков земной коры возникают сейсмические волны трех основных типов (рис. 5):

1. Волна сжатия — растяжения, или *P*-волна. Она представляет собой звуковую волну. Когда такая волна (ее еще называют продольной) в стадии сжатия достигает сейсмической станции, порода в зоне станции сжимается, и грузик сейсмографа отклоняется в направлении движения волны или от эпицентра землетрясения. И наоборот, когда такая волна проходит станцию в стадии растяжения, земная поверхность расширяется, и грузик сейсмографа движется по направлению к эпицентру. Эти направления регистрируются сейсмографом. Из всех сейсмических волн продольная волна самая быстрая и поэтому используется для регистрации первичного толчка *P*. Продольные волны, как и звуковые, могут распространяться в твердой породе и в жидкости.

2. Волна сдвига, или *S*-волна. Она аналогична световой волне или поперечным колебаниям струны, также ее называют поперечной волной. Частица материала всегда перемещается поперечно по отношению к направлению распространения волны. Внутренние поперечные волны распространяются со скоростью, которая составляет примерно 0,6 от скорости продольной волны *P*, и появляются позднее в качестве второй наиболее заметной группы волн. Поэтому они используются для регистрации вторичного толчка *S*.

Скорость распространения продольных и поперечных волн зависит от плотности и упругости горных пород, через которые они проходят. Стандартные скорости распространения *P*-волны в граните и воде составляют 5,5 и 1,5 км/с соответственно, в то время как скорость *S*-волны в тех же породах составляет примерно 3,0 и 0 км/с соответственно (последнее значение равно нулю, потому что модуль сдвига жидкостей равен нулю).

3. Поверхностная волна, или *L*-волна. В ней заключается большая часть волновой энергии, она называется поверхностной, поскольку распространяется вблизи поверхности Земли.

Поверхностные волны бывают двух типов. Наиболее быстрая — это волна сдвига, известная как волна Лява (*Lq*), названная так в честь физика, который разработал ее теоретическую концепцию, или как *G*-волна, названная в честь сейсмолога Гутенберга, который обнаружил и исследовал наличие этой волны на сейсмограммах. Движение частицы поперечно направлению распространения волны и происходит только в горизонтальной плоскости. В этой волне нет вертикальной составляющей.

Вторым типом поверхностной волны является волна Рэлея (Lr), названная именем физика, который разработал ее теоретическую концепцию. Она прибывает вскоре после поверхностной волны сдвига, так как ее скорость составляет 0,92 от скорости этой волны. В волне Рэлея частица грунта совершает возвратное движение по эллиптической орбите в вертикальной плоскости вдоль направления распространения волн.

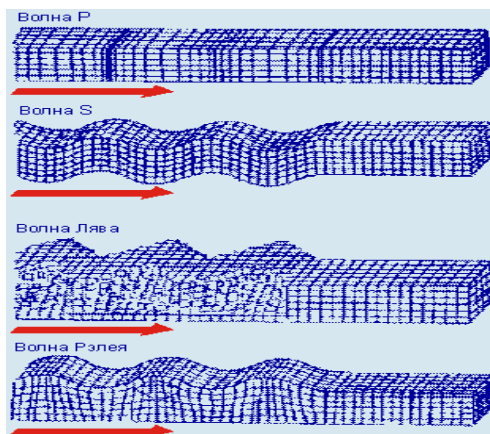


Рис. 5. Слои сейсмических волн Земли

Скорость продольных и поперечных волн определяется формулами

$$v_P = \sqrt{K + 4,3 \frac{\mu}{\rho}},$$

$$v_S = \sqrt{\rho \mu},$$

где K — модуль всестороннего сжатия; μ — модуль сдвига; ρ — плотность среды.

2.1.2. Магнитуда землетрясений

Область возникновения подземного удара, т. е. очаг землетрясения, представляет собой некоторый объем в толще земли, в пределах которого происходит процесс высвобождения накапливающейся длительное время энергии. В центре очага условно выделяется точка, именуемая **гипоцентром**. Проекция гипоцентра на поверхность земли называется **эпицентром** (рис. 6). Вокруг эпицентра располагается область наибольших разрушений, возникающих в результате землетрясения.

Одной из главных характеристик землетрясения является энергия, излучаемая при сейсмическом толчке в форме упругих волн. Энергия сейсмических волн — **магнитуда** — может составлять до сотен тысяч миллионов кВт/ч (10^{20}). Американский ученый Ч. Рихтер для характеристики энергии землетрясения в качестве эталона (точки отсчета) предложил принять такую энергию, при которой на расстоянии 100 км от эпицентра стрелка сейсмографа стандартного типа отклоняется на 1 мкм, т. е. энергия землетрясения

определяется как десятичный логарифм отношения амплитуды сейсмических волн, замеренных на каком-либо расстоянии от эпицентра, к эталону. Изменение отношения на 10 единиц соответствует изменению значения интенсивности колебания грунта на поверхности земли на 1 балл.

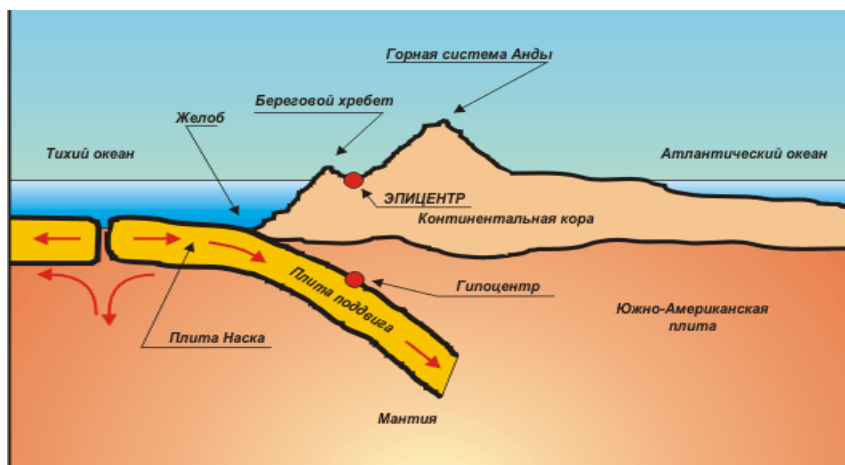


Рис. 6. Разрез вдоль Южной Америки и характерное расположение гипоцентра и эпицентра

Для количественной оценки величины землетрясений применяют шкалу магнитуд M , которая позволяет сравнивать между собой разные землетрясения. Магнитуда характеризует величину землетрясения в его очаге, т. е. в глубине земли, и вычисляется на основании измерений сейсмических колебаний на сейсмических станциях. В России наиболее употребительной для измерения величины сильных землетрясений является магнитуда, вычисляемая по поверхностным волнам на основе соотношения

$$M = \lg\left(\frac{A}{T}\right) + B \lg \Delta \varepsilon,$$

где A , T — амплитуда и период колебаний в волне соответственно; B , ε — константы, зависящие от условий расположения станции наблюдения; Δ — расстояние от станции наблюдения до эпицентра землетрясения.

Шкала магнитуд позволяет узнать относительную силу землетрясения. Для определения физических свойств сейсмического источника рассчитывают также общую энергию E излученных очагом упругих (сейсмических) волн. В первом приближении энергия пропорциональна произведению квадрата амплитуды волны A , отнесенной к периоду T , на длительность t прохождения волны через точку регистрации:

$$E = c \left(\frac{A}{T}\right)^2 t,$$

где c — сила измерения.

При вычислениях учитывают геометрическое расхождение и поглощение энергии на пути от очага до станции наблюдения.

Увеличение магнитуды на 2 единицы соответствует увеличению энергии в 1000 раз. Для получения примерного линейного соотношения между энергией и магнитудой можно воспользоваться логарифмом энергии

$$\lg E = aM + b,$$

где a и b — коэффициенты, значения которых, согласно мировой практике, принимаются равными 1,5 и 11,8 соответственно.

Обобщенную зависимость между длиной разрыва и магнитудой можно представить формулой

$$\lg L = cM + d.$$

2.1.3. Шкалы интенсивности землетрясений

Интенсивность I сейсмических колебаний грунта на поверхности Земли измеряется в баллах. В разных пунктах наблюдения она различна, тогда как магнитуда у толчка только одна. Для оценки интенсивности используются соответствующие шкалы — MSK, Росси — Фореля, модифицированная шкала Меркалли и др.

Все шкалы интенсивности делятся на два принципиально разных типа:

макросейсмические — построенные на основании обследования разрушений различного типа сооружений;

инструментальные — созданные на основе регистрации параметров сейсмических колебаний соответствующими приборами.

В России применяется 12-балльная шкала. Колебания интенсивностью до 4 баллов не приводят к разрушениям; колебания в 5 и 6 баллов ощущаются населением и приводят к появлению отдельных трещин в постройках; 7-балльное землетрясение может характеризоваться как сильное и приводить к разрушениям. Катастрофические землетрясения интенсивностью в 11 и 12 баллов приводят к практически полному разрушению сооружений и изменению рельефа местности.

Площадь разрушений S зависит от магнитуды M землетрясения. Например, площадь разрушения 7-балльной зоны S_7 при очаге землетрясения на глубине 40 км в зависимости от магнитуды M растет следующим образом:

M	5	6	7	8
$S_7, \text{км}^2$	100	500	3000	20 000

Количество человеческих жертв при землетрясениях зависит от ряда факторов: времени начала землетрясения, магнитуды, глубины очага, степени удаления от населенных пунктов, типа построек и их качества, наличия в зоне землетрясения взрыво- и пожароопасных объектов, водохранилищ и плотин и др. Основной причиной гибели людей является обрушение зданий.

Последствия землетрясения определяются его интенсивностью (табл. 2). Сейсмическая опасность при землетрясениях определяется как интенсивными колебаниями грунта, так и вторичными факторами, среди которых: лавины, оползни, обвалы, опускание и перекосы земной поверхности, разжижение грунта, наводнения при разрушении и прорыве плотин и защитных дамб, а также пожары.

*Последствия землетрясения в зависимости от его интенсивности
(по международной шкале Меркалли)*

Балл	Интенсивность землетрясения	Характеристика последствий
1	Незаметное	Отмечается только сейсмическими приборами
2	Очень слабое	Отмечается сейсмическими приборами. Ощущается только отдельными людьми, находящимися в состоянии полного покоя
3	Слабое	Ощущается лишь небольшой частью населения
4	Умеренное	Распознается по легкому дребезжанию и колебанию предметов, посуды и оконных стекол, скрипу дверей и стен
5	Довольно сильное	Под открытым небом ощущается многими, внутри зданий — всеми. Общее сотрясение здания, колебание мебели. Маятники часов останавливаются. Трещины в оконных стеклах и штукатурке. Пробуждение спящих
6	Сильное	Ощущается всеми. Картины падают со стен. Отдельные куски штукатурки откалываются
7	Очень сильное	Повреждения (трещины) в стенах каменных домов. Антисейсмические, деревянные и плетневые постройки остаются невредимыми
8	Разрушительное	Трещины на крутых склонах и на сырой почве. Памятники сдвигаются с места или опрокидываются. Дома сильно повреждаются
9	Опустошительное	Сильное повреждение и разрушение каменных домов. Старые деревянные дома несколько кривятся. Трещины в почве, иногда до метра шириной. Оползни и обвалы со склонов. Разрушение каменных построек. Искривление железнодорожных рельсов
10	Уничтожающее	Широкие трещины в поверхностных слоях земли. Многочисленные оползни и обвалы. Каменные дома почти совершенно разрушаются. Сильное искривление и выпучивание железнодорожных рельсов
11	Катастрофа	Изменения в почве достигают огромных размеров. Многочисленные трещины, обвалы, оползни. Возникновение водопадов, подпруд на озерах, отклонение течения рек. Ни одно сооружение не выдерживает
12	Сильная катастрофа	Изменения в почве достигают огромных размеров. Многочисленные трещины, обвалы, оползни. Возникают отклонения в течении рек, ни одно сооружение не выдерживает

2.1.4. Методы прогноза землетрясений

Методы прогноза землетрясений основываются на наблюдении за аномалиями геофизических полей, измерении значений этих аномалий и обработке полученных данных.

Различают несколько методов прогноза землетрясений:

1. Метод оценки сейсмической активности. Месторасположение и число толчков различной магнитуды может служить важным индикатором приближающегося сильного землетрясения. Часто сильное землетрясение со-

проводится большим числом слабых толчков. Выявление и подсчет землетрясений требует большого числа сейсмографов и соответствующих устройств для обработки данных.

2. Метод измерения движения земной коры. Географические съемки с помощью триангуляционной сети на поверхности Земли и наблюдения со спутников из космоса могут выявить крупномасштабные деформации на ней. Точная съемка ведется с помощью лазерных источников света. Повторные съемки требуют больших затрат времени и средств, поэтому измерения проводят один раз в несколько лет.

3. Метод выявления опускания и поднятия участков земной коры. Вертикальные движения поверхности Земли можно измерить с помощью точных нивелиров (на суше или море), мореографов (в море). Поднятие и опускание участков земной коры, как правило, свидетельствует о наступлении сильного землетрясения.

4. Метод измерения наклонов поверхности. Для измерения вариаций угла наклона земной поверхности используются специальные приборы — наклономеры. Сеть наклономеров устанавливают около разломов на глубине 1...2 м и ниже, измерения указывают на изменения наклонов незадолго до возникновения землетрясения.

5. Метод измерения деформации горных пород. Для измерения деформации горных пород бурят скважину и устанавливают в ней деформографы, фиксирующие величину относительного смещения двух точек.

6. Метод определения уровня воды в колодцах и скважинах. Уровень грунтовых вод перед землетрясением часто повышается или понижается из-за изменений напряженного состояния горных пород. Уровень воды в скважинах вблизи эпицентра часто испытывает стабильные изменения: в одних скважинах он становится выше, в других — ниже.

7. Метод оценки изменения скорости сейсмических волн. Скорость сейсмических волн зависит от напряженного состояния горных пород, через которые волны распространяются, а также от содержания воды и других физических характеристик. При землетрясениях образуются различные типы сейсмических волн. Наибольший интерес среди этих волн представляют продольная P и поперечная S волны. Установлено, что перед сильным землетрясением наблюдается резкое уменьшение отношения скоростей волн P и S , что может явиться признаком, подтверждающим возможность землетрясения.

8. Метод регистрации изменения геомагнитного поля. Земное магнитное поле может испытывать локальные изменения из-за деформации горных пород и движений земной коры. С целью измерения малых вариаций магнитного поля используют специальные приборы — магнитометры.

9. Метод регистрации изменения земного электросопротивления. Одной из причин изменения электросопротивления горных пород может стать изменение напряженности горных пород и содержания воды в земле, что, в свою очередь, может быть связано с возможностью возникновения землетрясения.

Измерения электросопротивления проводятся с помощью электродов, помещаемых в почву на расстоянии нескольких километров друг от друга, при этом измеряется электрическое сопротивление толщии земли между ними.

10. Метод определения содержания радона в подземных водах. Радон — это радиоактивный газ, присутствующий в грунтовых водах и воде скважин. Период его полураспада составляет 38 сут, он постоянно выделяется из земли в атмосферу. Перед землетрясением происходит резкое изменение количества радона, выделяющегося из воды глубоких скважин.

11. Метод наблюдения за поведением животных, птиц, рыб. Необычное поведение многих живых существ объясняется тем, что они гораздо более чувствительны к звукам и вибрациям, чем человек.

2.1.5. Оценка последствий землетрясений

Для принятия решения по ликвидации последствий землетрясений важно правильно оценить эти последствия.

Оценка разрушений зданий и сооружений на территории населенного пункта проводится на основании:

определения характеристик степеней разрушения;

оперативного построения изосейст, в том числе на основе сейсмического микрорайонирования;

определения зоны средней балльности и балльности для различных зданий и сооружений.

При оценке, а также прогнозировании характера и степени разрушения зданий и сооружений рассматриваются три типа объектов, являющихся элементами застройки:

точечные — характеризуются размерами в плане (длина и ширина), каждый из которых меньше ширины зоны средней балльности;

площадные — характеризуются размерами в плане (длина и ширина), каждый из которых превышает ширину зоны средней балльности;

протяженные — характеризуются размерами в плане (длина и ширина), один из которых значительно превышает другой и превышает ширину зоны средней балльности.

При выборе типа наземного здания используется следующая классификация зданий по этажности: малоэтажные (высотой до 4 этажей); многоэтажные (от 5 до 8 этажей); повышенной этажности (от 9 до 25 этажей); высотные (более 25 этажей).

Для оценки последствий землетрясений определяют параметры поражающих факторов.

Интенсивность землетрясения вычисляется по формуле

$$I_6 = 1,5M - 3,51g\sqrt{R^2 + h^2} + 3,$$

где I_6 — интенсивность землетрясения, баллы (балльность базисной изосейсты); M — магнитуда; R — эпицентрального расстояние, км; h — глубина очага, км.

Расстояние от эпицентра, где возможно возникновение землетрясения определенной интенсивности, определяется с помощью зависимости

$$R = h\sqrt{10^{0,57(I_0 - I_6)} - 1},$$

где I_0 — максимальная интенсивность землетрясения (в эпицентре):

$$I_0 = 1,5M - 3,5lg + 3.$$

В случаях отсутствия изосейст, полученных на основе микрорайонирования, или уточнения полученных результатов путем учета инженерно-геологических условий территории застройки населенного пункта недостающие изосейсты и балльность для конкретных зданий и сооружений, находящихся в зонах с инженерно-геологическими условиями, отличающимися от окружающей местности, могут быть получены по формуле

$$I = I_6 - (\Delta I_6 - \Delta I),$$

где I — искомая балльность изосейсты или местонахождения здания или сооружения; I_6 — балльность базисной изосейсты, проходящей по территории с известными инженерно-геологическими условиями; ΔI_6 — приращение балльности в известных инженерно-геологических условиях по сравнению с гранитом; ΔI — приращение балльности по сравнению с гранитом за счет изменения инженерно-геологических условий местности, по которой проходят недостающие изосейсты, или где находятся конкретные здания или сооружения.

Время наступления главной фазы землетрясения (прихода поверхностных сейсмических волн), при которой здания и сооружения получают определенные степени разрушения, вычисляется по формуле

$$T_{г. ф} = \frac{h}{v_{rm}} + \frac{R}{v_{rm}},$$

где v_{rm} — средняя скорость распространения поверхностных волн:

$$v_{rm} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i v_{ri}}{\sum_{i=1}^n I_i},$$

где I_i и v_{ri} — протяженность и скорость распространения поверхностных сейсмических волн соответственно на i -м участке с одинаковым типом грунта.

2.2. ИЗВЕРЖЕНИЕ ВУЛКАНОВ

2.2.1. Геологическое строение и геодинамика вулканов

Вулкан (от лат. *vulcanus* — огонь, пламя) — геологическое образование, возникающее над каналами и трещинами в земной коре, по которым на земную поверхность извергается лава, пепел, горячие газы, пары воды и обломки горных пород.

Фактически ядром многих горных образований являются батолиты. Шток аналогичен батолиту, но значительно меньше по размеру. Когда магма пробивает себе путь между горными породами, она образует пластовые структуры — **силлы**.

Когда расплавленная порода — **магма** — давит на вышележащие пласты породы, образуется грибообразная форма залегания магматических пород — **лакколлит**. Когда она прорывается сквозь существующие пласты под углом, образуются так называемые **дайки**.

Магма, которая извергается на поверхность земли, называется **лавой**. Она достигает поверхности через жерла вулканов или щели в земле — **трещины**.

Породы, которые образуются в результате охлаждения и застывания магмы под землей, называются **интрузивными породами**. **Эффузивные породы** — это затвердевшая лава на земной поверхности (рис. 7).

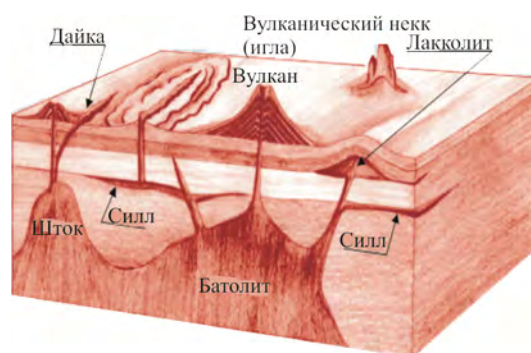


Рис. 7. Распределение интрузивных и эффузивных пород

Любая магма, поднимающаяся к поверхности, — это сложная система, состоящая из жидкости, газа и твердых кристаллов минералов. Лава из больших трещин может затопить значительные площади, растекаясь иногда на много километров.

Большинство вулканических эффузивных пород образуется на дне океана. Они становятся новой корой, рождающейся в зоне срединно-океанических хребтов. Огромное количество лавы извергается через трещины или жерла вулканов в зоне границ раздвига. Иногда вулканы на дне океанов увеличиваются и поднимаются над поверхностью воды в виде островов.

Много вулканов возникает в зоне границ надвига. На рис. 8 показано, как одна океаническая плита уходит под другую. Опускающаяся кора расплавляется в астеносфере, а образующаяся при этом магма поднимается вверх. Она образует вулканы на островах, называемых **островными дугами**.

Гора, образующаяся в процессе ряда вулканических извержений, называется **вулканическим конусом**. Она состоит из лавы, вулканического пепла и пород. Обычно конус имеет внутренний центральный канал и жерло, через которое вулканическое вещество поднимается вверх. В самом верху конуса находится чашеподобное углубление — **кратер**. Форма вулкана зависит от характера извержения и типа вулканического вещества, извергающегося из конуса (рис. 9).

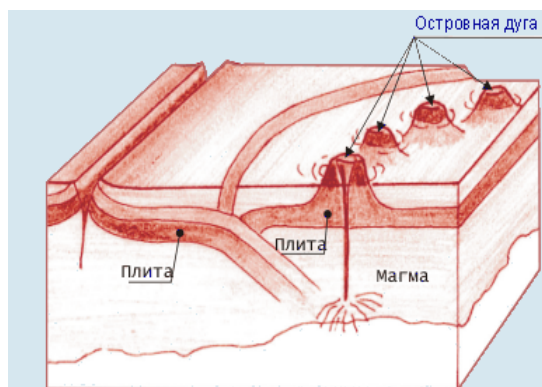


Рис. 8. Образование островной дуги в результате надвига одной океанической плиты на другую

Шлаковый конус (рис. 9, *а*) образуется, когда при извержении вылетают в основном камни и пепел, а лавы выделяется мало. При извержениях невзрывного типа с легко вытекающей лавой образуются щитовые конуса (рис. 9, *б*). Чередующиеся извержения с выбросом пыли, пепла и камней с последующим спокойным излиянием лавы создают конусы смешанного типа (рис. 9, *в*). Вулканические купола (рис. 9, *г*) образуются при быстром извержении лавы, но такой вязкой, что она почти не растекается. Поэтому иногда для обозначения такого типа вулканов используются термины «экструзивный конус» или «конус набухания».

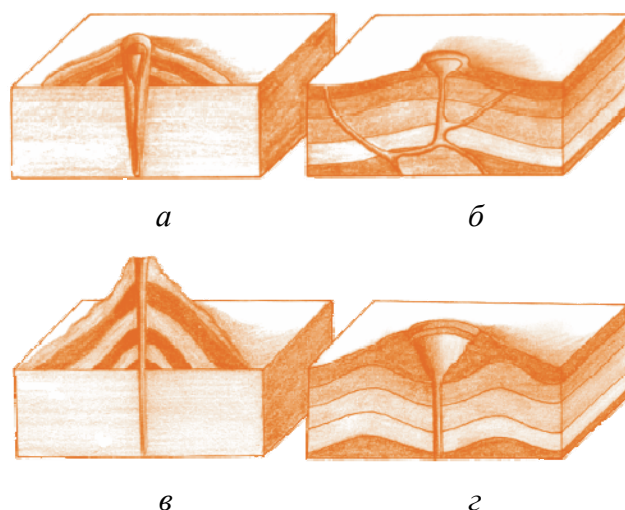


Рис. 9. Формы вулканов: *а* — шлаковый (пепловый) конус; *б* — щитовидный конус; *в* — конус смешанного типа; *г* — вулканический купол

2.2.2. Виды вулканических извержений

Все вулканические извержения можно классифицировать на невзрывные и взрывные.

Невзрывные вулканические извержения обычно вызываются магмой, богатой железом и магнием, которая является относительно жидкой и легко пропускает газы через себя.

Взрывные вулканические извержения очень сильны и вызываются магмой, богатой кремнием и не такой жидкой. Взрывные извержения сопровождаются

выбросом большого количества обломочного материала в форме вулканического пепла, пирокластическими и грязевыми потоками, которые стекают по склонам вулкана.

Обломки пород всех размеров, извергаемые в воздух над вулканом, часто в виде вертикальной колонны, которая достигает верхнего слоя стратосферы, называют **тефрой**. Большие куски породы обычно вновь падают на вулкан или вблизи него, небольшие фрагменты переносятся ветром и падают на расстоянии от вулкана, которое зависит от размера и плотности частиц, высоты извержения и скорости ветра. Извержение большого количества тефры приводит к образованию значительного слоя пепла. Пространственное распределение накапливающегося пепла имеет наибольшую толщину прямо с подветренной стороны вулкана и истончается с удалением от него. Тефра может стать причиной гибели людей и больших разрушений на значительных расстояниях от вулкана из-за образования покрывала на поверхности земли и загрязнения атмосферы абразивными частицами и коррелирующими кислотами. Находящиеся недалеко от вулкана люди могут получить травмы или погибнуть, вдыхая воздух, насыщенный тефрой.

Горячие обломки и газы могут выбрасываться по боковой траектории от извергающегося вулкана и быть исключительно опасными. Взрывы через побочные (паразитические) кратеры обычно вызывают незначительные отложения (не более 1...2 м) у жерла побочного канала. Толщина отложений быстро уменьшается по мере удаления от источника. Обычно они не простираются далее нескольких километров от жерла, но иногда могут достигать и 25 км. Побочные взрывы опасны для людей в основном из-за своей высокой температуры, каменных обломков и скорости выброса, которая не позволяет убежать от опасности или спрятаться в надежном месте. Ущерб строениям наносится, как правило, в результате ударов и высокой скорости «ветра». Также такие взрывы могут вызывать пирокластические потоки, стекающие вниз по склонам, воздействие которых аналогично воздействию потоков из основного жерла вулкана.

Вулканические обломки меньше 7 см называются **лапилли** (от лат. lapillus — шарик, маленький камень). Очень интересны капли базальтового расплава, застывшие в воздухе в виде причудливых маленьких (не более 1...2 см) черных стекловатых полумесяцев, груш и других фигур.

Палящая вулканическая туча представляет собой смесь раскаленных газов и тефры, поражающее действие которой обусловлено образующейся при ее возникновении ударной волной (ветром у краев тучи), распространяющейся со скоростью до 40 км/ч, и валом жара (до 1000 °С). Кроме того, сама туча может передвигаться с большой скоростью (90...200 км/ч).

Вулканические газы — это смесь сернистого и серного окислов, сероводорода, хлористоводородной и фтористоводородной кислот в газообразном состоянии, а также углекислого и угарного газов в больших концентрациях, смертельно опасных для человека. Места выходов вулканических газов на поверхность называют **фумаролами** (от лат. fumus — дым). Температура газов в них колеблется от 40...50 до 1000 °С.

Нередко фумаролы выделяют «холодный» газ с температурой около 100 °С и ниже. Такие выделения называют **мофеттами** (от фр. mofette — испарение). Для их состава характерен углекислый газ. Скапливаясь в понижениях, он представляет смертельную опасность для всего живого: вдыхая его, можно сразу же погибнуть от удушья.

Выделение газов может продолжаться десятки миллионов лет, даже после того как вулкан перестал выбрасывать лаву и пепел. Резкие колебания климата обусловлены изменением теплофизических свойств атмосферы за счет ее загрязнения вулканическими газами и аэрозолями. При крупнейших извержениях вулканические выбросы распространяются в атмосфере над всей планетой. Примесь углекислого газа и силикатных частиц может создавать парниковый эффект, ведущий к потеплению земной поверхности; большинство же аэрозолей в атмосфере приводит к похолоданию. Конкретный эффект извержения зависит от химического состава, количества выброшенного материала и расположения его источника.

Пирокластические потоки — это массы горячих сухих обломков породы, которые движутся как жидкость. Их подвижность объясняется горячим воздухом и другими газами, смешанными с обломками. Пирокластические потоки часто образуются, когда большие массы горячих обломков породы извергаются на склоны вулкана. Они могут двигаться вниз по склону со скоростью до 160 км/ч и стремятся заполнить днища долин. Тучи горячей пыли обычно поднимаются над основным руслом этого потока и покрывают близлежащие районы, особенно с подветренной стороны. Из-за высокой подвижности пирокластические потоки могут распространяться на 25 и более км от вулкана. Самый серьезный ущерб они наносят в результате быстрого движения основного потока горячих обломков породы, которые разрушают и сжигают все на своем пути, а также сопутствующих туч горячего пепла и газа, которые распространяются на значительные расстояния от основного потока и могут вызвать удушье и ожоги легких и кожи.

Жидкие вулканические продукты — это, прежде всего, сама магма, изливающаяся в виде лавы. Форма, размеры, особенности внутреннего и внешнего строения лавовых потоков зависят от характера магмы. Чаще всего наблюдаются потоки базальтовых лав. Первоначально нагретые до 1000...1200 °С, они сохраняют текучесть даже при 700 °С. Базальтовые «реки» текут со скоростью до 40...50 км/ч. Выходя на ровное место, они растекаются на обширной площади.

2.2.3. Типы вулканов

Классификация вулканов производится по условиям их возникновения и по характеру вулканической деятельности.

В зависимости от условий возникновения различают следующие типы вулканов:

1. Вулканы в зонах субдукции. **Зона субдукции** — линейно протяженная зона, вдоль которой происходит погружение одних блоков земной коры под дру-

гие. Верхние слои Земли ведут себя как твердые, пригнанные друг к другу плиты, которые сидят на теле Земли и имеют возможность перемещаться — раздвигаться, сдвигаться или скользить одна относительно другой. Существует семь крупных плит, которые расположены вдоль срединно-океанических хребтов, пересекающих почти каждый из океанов, и по активным краям континентов, совпадая с поясами сейсмической активности. У срединно-океанических хребтов силами, возникающими за счет тепловой конвекции, плиты раздвигаются, и на их границах накапливается лава, которую приносят восходящие конвекционные потоки. При этом океаническое дно затягивается вниз, образуя подводную впадину, а континентальный материал, состоящий из более легких пород, не погружается, а надвигается поверху на океаническую плиту. Образуется зона субдукции, т. е. зона подвига океанической плиты под материковую. Накопленная на границах материковых плит магма устремляется к земной поверхности, что приводит к вулканическим извержениям и образованию вулканов.

2. Вулканы в рифтовых зонах. **Рифтовая зона** — линейно вытянутая зона, возникающая в связи с ослаблением земной коры и выпучиванием границы между корой и мантией Земли.

3. Вулканы в зонах крупных разломов. Во многих местах земной коры имеются разрывы. Когда породы по обе стороны от разрыва смещены настолько, что отдельные ее слои не соответствуют друг другу, разрыв земной коры переходит в разлом. Такие разломы могут возникать как на материках, так и на дне океанов. В районах разломов происходит медленное накопление тектонических сил, что может привести к внезапному сейсмическому взрыву с вулканическими проявлениями.

4. Вулканы зон «горячих точек». В отдельных областях под океаническим дном в земной коре образуются так называемые горячие точки, где сосредоточивается особенно высокая тепловая энергия (например, из-за высокой концентрации радиоактивных веществ). В этих зонах горные породы расплавляются и в виде базальтовой лавы выходят на поверхность.

В связи с вулканической деятельностью необходимо отметить такие явления, как термальные источники и гейзеры. **Термальные источники** — это минеральные или пресные горячие источники, распространенные в областях современного или совсем недавнего вулканизма (например, в Исландии, Италии, на Гавайских островах, Кавказе, Камчатке и во многих других районах). Атмосферные воды, проникая в глубину, нагреваются внутренним теплом вулкана, смешиваются с вулканическими газами и выходят на поверхность в виде минеральных источников. Вокруг таких источников возникают причудливые наросты кремниевого или известкового туфа — **травертины**.

В местах, где находятся современные вулканы или где есть следы их извержения, встречаются периодически фонтанирующие источники — **гейзеры**. Некоторые камчатские гейзеры, например Первенец, один раз в 10...15 мин фонтанируют на высоту 15 м, а гейзер Великан — на высоту 30 м, причем столб пара достигает 100...120 м. Когда гейзер молодой, интервалы между фонтанированием малы. Со временем они становятся все больше, напор воды уменьшается, и наконец гейзер умирает.

2.2.4. Методы прогноза извержений вулканов

Современные вулканические пояса западной части Тихого океана протягиваются с северо-запада на юго-восток от берегов Северного Ледовитого океана до Новой Зеландии. Эти структуры связаны с глубоким разломом, по которому происходит либо надвиг континентальной окраины на дно Тихого океана, либо подвиг океанической плиты под континентальные окраины Азиатского континента. Этот разлом контролируется поясом глубокофокусных землетрясений с очагами (гипоцентрами) до глубин 700 км. Знание глубинного и геологического строения западно-тихоокеанских вулканических поясов дает возможность не только выявить закономерности состава извергаемого вулканического (горнопородного) материала (базальты, андезиты, толеиты или их разновидности в любом сочетании) и типы вулканического процесса (эксплозивный, центральный, щитовой, трещинного извержения и др.), но и найти связи между вулканизмом и теми или иными полезными ископаемыми в районах завершеного вулканического процесса.

Строение верхней мантии под вулканами изучается сейсмологическими методами и методами сейсмической трехмерной томографии по данным регистрации землетрясений. Под каждым вулканом на достаточно больших глубинах существуют первичные очаги магматических расплавов, от которых магма поднимается вверх по так называемым магмоводам, образуя по мере своего вертикально продвижения систему уровневых магмоотстойников.

Прогноз извержений вулканов основан на двух группах методов:

1. Изучение жизни самого вулкана. Некоторые вулканы извергаются с определенными интервалами времени, другие свое пробуждение знаменуют звуковыми эффектами. Знание таких особенностей вулканов может помочь в прогнозировании извержений.

2. 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, верным признаком готовящегося извержения.

Надежным является метод прогноза вулканических извержений на основе измерения изменений наклонов земной поверхности вблизи вулкана: по скорости нарастания изменений можно вычислить примерное время извержения.

Новый метод прогноза извержений — аэрофотографирование вулканов в инфракрасных лучах, позволяющее определить нагревание земной поверхности и подъем горячих расплавов.

Поведение воды в кратере также может служить показателем готовящегося извержения. Иногда перед извержением вода закипает, а иногда меняет свой цвет (становится бурой или красноватой). Также перед извержением часто увеличивается концентрация серосодержащих газов и паров хлористоводородной кислоты, в то время как проценты водяных паров уменьшаются.

2.2.5. Грязевой вулканизм

Грязевой вулканизм не относится к числу природных катастрофических явлений, так как его действие локально и не связано с каким-либо серьезным ущербом, наносимым окружающей среде. Тем не менее изучение этого явления в контексте природных опасностей представляет большой интерес, поскольку пространственное распределение грязевых вулканов имеет четкую приуроченность к зонам, где происходят активные тектонические процессы и, как следствие, наблюдается повышенная сейсмическая опасность. Кроме того, грязевые вулканы являются индикаторами потенциальной нефтегазоносности территории.

Во всех случаях явления грязевого вулканизма возникают в передовых и межгорных прогибах, в районах относительно слабонапряженного предгорного рельефа, где накопились мощные (сотни и тысячи метров) толщи преимущественно глинистых пород.

Грязевые вулканы — это, как правило, сравнительно небольшие пологие сопки, возвышающиеся над местностью на 2...3 м, но иногда их высота достигает 50...60 м (рис. 10). Конус грязевого вулкана сложен продуктами его извержения — **брекчией**, в которой удается различить отдельные потоки. На вершине такого вулкана расположен кратер (один или несколько) диаметром 0,5...3 м. В некоторых случаях грязевой вулкан не образует возвышения в рельефе, а представляет собой поле высохшей грязи, становящейся зыбкой и жидкой по мере приближения к жерлу — **грифону**. В своем поверхностном выражении грязевые сопки демонстрируют большое разнообразие видов и являются своего рода моделями магматических вулканов.



Рис. 10. Грязевой вулкан

По характеру извержений и консистенции выбрасываемой грязи различают густые и жидкие вулканы. Густые образуют конус определенной высоты, их извержения характеризуются более или менее регулярной периодич-

ностью, которая может составлять от 2—3 до 6—8 лет. В периоды покоя сопочная брекчия высыхает и может закупоривать жерло, но при этом возможно продолжение слабого выделения газов по трещинам. При следующем извержении образовавшаяся пробка взламывается взрывным образом, а вырвавшаяся вместе с разжиженной грязью струя газа иногда самовозгорается. Бурная стадия извержения продолжается несколько минут, более спокойное излияние грязи может продолжаться и несколько суток. В жидких сопках извержения происходят спокойнее, как излияния из переполняющегося сосуда. В периоды же покоя таких сопков в кратере происходит пульсирующее выделение газовых пузырей.

Состав продуктов извержения свидетельствует о связях грязевых вулканов с нефтяными и газонефтяными залежами. В составе газов преобладает метан, также наблюдается небольшое количество углекислоты и сернистых газов. Сопочные воды являются в основном гидрокарбонатно-хлоридно-натриевыми и близки к типичным нефтяным водам.

Твердая составляющая выбросов грязевых вулканов представляет собой измельченные частицы окружающих и подстилающих пород, которые вместе с водой и газами образуют сопочную грязь, превращающуюся впоследствии в сопочную брекчию. Жидкая грязь содержит незначительное количество твердых единиц (4...6 %), тогда как в твердой их содержание возрастает (40...50 %). Помимо глинистого тонкодисперсного вещества, в сопочной грязи часто содержится некоторое количество более крупных обломков щебенки, обычно сходных по составу с более твердыми и хрупкими породами самой продуктивной толщи, но иногда и породами, покрывающими эту толщу.

2.3. СКЛОНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

2.3.1. Общая характеристика и причины склоновых процессов

Склоны — участки поверхности с углами наклона, превышающими 1° . Они занимают не меньше $3/4$ площади суши. Чем круче склон, тем значительнее составляющая силы тяжести, стремящаяся преодолеть силу сцепления частиц пород и сместить их вниз. Силе тяжести помогают или мешают особенности строения склонов: прочность пород, чередование слоев различного состава и их наклон, грунтовые воды, ослабляющие силы сцепления между частицами пород.

Обрушение склона может быть вызвано **отседанием** — отделением от склона крупного блока породы. Отседание типично для крутых склонов, сложенных плотными трещиноватыми породами (например, известняками).

К склоновым процессам относятся различного рода передвижения масс грунта и снега, происходящие за счет силы тяжести: обрушения, камнепады, оползни, смещения курумов, снежные лавины, подвижка ледников и др. Общее условие начала смещения материала вниз по склону — достижение такого состояния, при котором сдвигающее усилие (составляющая сила тяжести, параллельная склону) оказывается больше удерживающих сил.

Причины склоновых процессов делятся на три группы:

1. Увеличение сдвигающего усилия, уменьшение удерживающих сил, дополнительный внешний импульс вследствие возрастания массы смещающегося слоя (роста высоты снежного покрова при снегопаде или метели — для схода лавин; утяжеления грунта за счет промачивания дождями — для соответствующих видов оползней; антропогенной нагрузки склонов — также для оползней и некоторых других подобных процессов).

2. Увеличение сдвигающего усилия, вызванное изменением угла склона (в результате речного подмыва, абразии и т. п.), уменьшение удерживающих сил на подошведвигающегося слоя вследствие ее «смазки» водой (при дождях, снеготаянии, утечках из оросительных каналов и водопроводов, подтоплении и затоплении подножия склона и т. д.).

3. Всевозможные сотрясения (сейсмические толчки, рудничные взрывы и т. д.) как дополнительные внешние импульсы, обычно приводящие к обрушениям.

Оползень может быть почти или вовсе неподвижен в течение многих лет и испытать несколько периодов краткосрочной активизации, когда скорость его движения достигает десятков метров в час.

2.3.2. Сели

2.3.2.1. Природа селей

Сель (от араб. «сайль» — бурный поток) — это стремительный русловой поток, внезапно возникающий в бассейнах небольших горных рек с наклоном русла $6...20^\circ$, включающий большое количество обломочного материала (не менее $10...15\%$ по объему) и имеющий плотность, в $1,5...2$ раза превышающую плотность воды. Селевой поток движется в виде волны с высотой фронта до $20...40$ м и со скоростью до $20...30$ м/с ($10...100$ км/ч). Он оказывает давление на препятствие силой до десятков тонн на квадратный метр.



Рис. 11. Последствия схода селевого потока

Селевые потоки характеризуются резким подъемом уровня воды, волновым движением, кратковременностью действия ($1...3$ ч), значительным эрозивно-аккумулятивным разрушительным эффектом (рис. 11). Они могут

проходить путь длиной в километры, реже — несколько десятков километров, при этом образуют конусы шириной в десятки и длиной в сотни метров при толщине разовых отложений обычно до 5 м (редко до 10 м).

Потенциальный селевой очаг — участок селевого русла или селевого бассейна, имеющий значительное количество рыхлообломочного грунта или характеризующийся наличием условий для его накопления, где при определенных условиях обводнения зарождаются сели.

Селевые очаги делятся на селевые рытвины, врезы и очаги рассредоточенного селеобразования.

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

Селевой врез — мощное морфологическое образование, выработанное в толще древних моренных отложений и, как правило, приуроченное к резким перегибам склона. Кроме того, селевые врезы могут формироваться на аккумулятивном, вулканогенном, оползневом или обвальном рельефе. По своим размерам они значительно превосходят селевые рытвины, их продольные профили более плавные. Максимальные глубины селевых врезов составляют 100 м и более, площади водосборов — более 60 км². Объем грунта, выносимый из селевого вреза за один сель, может достигать 6 млн м³.

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. Площади селевых очагов достигают обычно не более 0,7 км².

2.3.2.2. Основные виды селевых потоков

В зависимости от состава селеобразующих пород селевые потоки бывают нескольких видов:

водно-каменные — в составе которых преобладает крупнообломочный материал с преимущественно крупными камнями, в том числе валунами и скальными обломками (объемный вес потока 1,1...1,5 т/м³); формируются в основном в зоне плотных пород;

водно-песчаные и водно-пылеватые — в составе которых преобладает песчаный и пылеватый материал; возникают в основном в зоне лессовидных и песочных почв во время интенсивных ливней, смывающих огромное количество мелкозема;

грязевые — формируются в районах распространения пород преимущественно глинистого состава и представляют собой смесь воды и мелкозема при небольшой концентрации камня (объемный вес потока 1,5...2,0 т/м³);

грязекаменные — характеризуются значительным содержанием в твердой фазе глинистых и пылеватых частиц с явным их преобладанием над каменной составляющей потока (объемный вес потока $2,1 \dots 2,5 \text{ т/м}^3$);

каменно-грязевые — потоки с преобладанием крупнообломочного материала, а не с грязевой составляющей.

водно-снежно-каменные — переходный тип между собственно селем, в котором транспортирующей средой является вода, и снежной лавиной.

2.3.2.3. Формирование селей

Источниками твердого питания селей могут быть: ледниковые морены (несортированные смеси обломочного материала самого разного размера) с рыхлым заполнением или без него; русловые завалы и загромождения, образованные предыдущими селями; древесно-растительный материал.

Источниками водного питания селей являются: дожди и ливни; ледники и сезонный снежный покров (в период таяния); воды горных озер.

Непосредственными причинами зарождения селей служат ливни, интенсивное таяние снега и льда, прорыв водоемов, реже — землетрясения, извержения вулканов. Несмотря на разнообразие причин, механизмы зарождения селей могут быть сведены к трем главным типам — эрозионному, прорывному и обвально-оползневому.

Формирование селей происходит в селевых водосборах, наиболее распространенной формой которых в плане является грушевидная, с водосборной воронкой и веером ложбинных и долинных русел, переходящих в основное русло.

Селевой водосбор состоит из трех зон, в которых формируются и протекают селевые процессы:

селеобразования — зона, где происходит питание водой и твердым материалом;

транзита — зона движения селевого потока;

разгрузки — зона массового отложения селевых выносов.

Катастрофические сели могут образовываться при землетрясениях. В отдельных случаях (при извержении вулканов), когда происходит совместное формирование жидкой и твердой составляющих селевых потоков, образуются вулканогенные сели.

В настоящее время к естественным причинам формирования селей добавились антропогенные факторы, например бессистемная вырубка лесов на горных склонах, деградация наземного и почвенного покрова нерегулярным выпасом скота и др.

Техногенными причинами селей являются: неправильно организуемые отвалы отработанной горной породы горнодобывающими предприятиями; массовые взрывы горных пород или прокладка железных и автомобильных дорог и других сооружений; отсутствие рекультивации земель при строительстве и взрывных работах в карьерах по добыче полезных ископаемых; переполнение искусственных водоемов и нерегулируемый выпуск воды из ирригационных каналов, проходящих по горным склонам; повышенная зага-

зованность воздуха отходами промышленных предприятий, губительно действующая на почвенно-растительный покров.

В зависимости от фактора возникновения выделяют несколько классов селей (табл. 3)

Т а б л и ц а 3

Классификация селей на основе факторов возникновения

Класс	Фактор формирования	Особенности распространения и режима
Зонального проявления	Климатический (изменчивость гидрометеорологических элементов)	Распространены повсеместно, носят зональный характер. Сход селей систематический; пути схода относительно постоянны
Регионального проявления	Геологический (активные эндогенные процессы)	Распространены только в областях наибольшей тектонической активности. Сход селей эпизодический; пути схода непостоянны
Антропогенные	Хозяйственная деятельность (нарушение устойчивости горных ландшафтов)	Развиваются в областях наибольшей хозяйственной нагрузки на горный ландшафт. Характерно возникновение новых селевых бассейнов с эпизодическим, реже систематическим сходом селей

По составу переносимого твердого материала принято различать:

грязевые потоки, представляющие собой смесь воды и мелкозема при небольшой концентрации камней (объемный вес потока $1,5 \dots 2,0 \text{ т/м}^3$);

грязекаменные потоки, состоящие из воды, мелкозема, гальки, гравия, небольших камней; попадают и крупные камни, но их немного: они то выпадают из потока, то вновь начинают двигаться вместе с ним (объемный вес потока $2,1 \dots 2,5 \text{ т/м}^3$);

водо-каменные потоки, представляющие собой смесь воды с преимущественно крупными камнями, в том числе валунами и скальными обломками (объемный вес потока $1,1 \dots 1,5 \text{ т/м}^3$).

По характеру движения в русле селевые потоки бывают:

связными — состоят из воды, глинистых и песчаных частиц; раствор имеет свойства пластичного вещества; поток как бы представляет единое целое и в отличие от водного потока не следует изгибам русла, а разрушает и выпрямляет их или переваливает через препятствие;

несвязными (текущими) — движутся с большой скоростью; отмечается постоянное соударение камней, их обкатывание и истирание; поток следует изгибам русла, подвергая его разрушению в разных местах.

Кроме того, сели классифицируются по объему перенесенной твердой массы или, иначе говоря, по мощности. На этом этапе различают следующие виды селей:

мощные — с выносом к подножью гор более 100 тыс. м^3 материалов; случаются один раз в 5—10 лет;

средней мощности — с выносом 10...100 тыс. м^3 материалов; случаются один раз в 2—3 года;

маломощные — с выносом менее 100 тыс. м³ материалов; случаются ежегодно, иногда несколько раз в год.

Селевые потоки разной мощности оказывают различное воздействие на здания и сооружения (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

Типы селевых потоков и их воздействие на сооружения

Тип селевого потока	Характер воздействия	Суммарный объем выноса, м ³
Маломощный (I)	Небольшие размывы, частичная забивка отверстий водопропускных сооружений	Менее $1 \cdot 10^4$
Среднемощный (II)	Сильные размывы, полная забивка отверстий водопропускных сооружений, повреждение и снос строений без фундамента	$1 \cdot 10^4 \dots 1 \cdot 10^5$
Мощный (III)	Большая разрушительная сила, снос мостовых ферм, разрушения опор мостов, каменных строений, дорог	$1 \cdot 10^5 \dots 1 \cdot 10^6$
Катастрофический (IV)	Разрушение целых строений, участков дорог вместе с полотном и сооружениями, погребение сооружений под наносами	Более $1 \cdot 10^6$

2.3.2.4. Прогнозирование селей

Целью прогнозирования последствий схода селевых потоков является оценка возможного ущерба, выяснение данных о возможных объектах воздействия, т. е. о том, какие населенные пункты, объекты и участки дорог могут быть в опасности. Прогнозирование селевых явлений включает в себя прогнозирование селей как в пространстве, так и во времени, а также прогнозирование значений их основных характеристик.

По заблаговременности прогнозы селеопасности подразделяются на сверхдолгосрочные (до 3 месяцев), долгосрочные (3—4 недели), краткосрочные (1—3 дня), а также оперативные, определяющиеся временем добегания селевой волны до объекта. Наиболее достоверными являются краткосрочные и оперативные прогнозы.

Метод прогнозирования дождевой селеопасности (дождевых селей) базируется на метеорологическом прогнозе количества осадков для рассматриваемой горной территории. Прогноз включает данные о времени T_0 начала выпадения дождя, его продолжительности $T_{\text{п}}$ и ожидаемой высоте слоя осадков $H_{\text{п}}$, а также сведения о степени увлаженности водосбора.

2.3.2.5. Оценка последствий схода селей

Селевой поток представляет большую опасность из-за значительной скорости продвижения (до 15 м/с) и большой разрушительной силы: его давление на препятствие достигает 12 т/м^2 .

Одним из основных условий возникновения селей на территории России является высокая норма дождевых осадков, которые могут смывать продук-

ты разрушения горных пород и вовлекать их в движущийся поток. Для большей части городов нашей страны реальна угроза регулярного схода маломощных селей и периодически возникающая (один раз в 2—3 года) угроза схода селевых потоков средней мощности. Конус выноса таких селей не затрагивает большей части территории жилой застройки самих городов, однако нельзя исключать и возможность возникновения более мощных селевых потоков. Основную угрозу они представляют для небольших населенных пунктов, расположенных непосредственно в зоне конуса их выноса.

Поражающее действие селевого потока обусловлено:

непосредственным ударным воздействием селевой массы на человека;
обтюрацией дыхательных путей жидкой составляющей, приводящей к механической асфиксии и аспирации массы тела;
разрушением зданий, сооружений и других объектов, в которых могут находиться люди;
разрушением систем жизнеобеспечения.

Основными характеристиками селевого потока, которые определяют выбор и эффективность мероприятий по защите населения, являются время прихода головы селя в данный район и средняя глубина селя в объеме выносов.

При оценке поражающего действия селя необходимо учитывать:

прогнозируемое время начала схода селя;
время прихода головы селя;
продолжительность схода селя;
объем селевого потока;
плотность селевой массы;
скорость продвижения селя;
глубину селевого потока;
суммарное (эквивалентное) давление селевого потока;
линейные размеры сечения селя в различных створах.

Прогнозируемое время начала схода селя определяется на основе краткосрочных и оперативных прогнозов. Краткосрочные прогнозы составляются, как уже отмечалось, на 1...3 сут по результатам анализа гидрологической и метеорологической обстановки в селеопасном районе. Этого времени достаточно для организации и проведения соответствующих защитных мероприятий.

Время прихода головы селя является расчетным и может быть определено исходя из скорости селевого потока и расстояния от сигнального створа до защищаемого объекта. Это время составляет несколько десятков минут, реже — несколько часов. Параметр может быть включен в качестве показателя при формировании расчетных вариантов воздействия.

Продолжительность схода селя является расчетным параметром и может быть оценена через объем и максимальный расход прорывного паводка (водной составляющей селевого потока). Продолжительность селей колеблется от нескольких десятков минут до нескольких часов. Большинство зарегистрированных селей имели продолжительность 1...3 ч. Иногда сели могут проходить волнами (по 10...30 мин) с промежутками в несколько десятков минут.

Плотность селевой массы зависит от состава твердой фракции селя. Она составляет не менее 100 кг/м^3 воды. При плотности горной породы $2,4 \dots 2,6 \text{ г/см}^3$ плотность селевого потока составляет $1,07 \dots 1,1 \text{ г/см}^3$. Это минимальная плотность, она колеблется от $1,2 \text{ г/см}^3$ (низковязкие селевые потоки) до $1,9 \text{ г/см}^3$ (грязекаменные сели высокой вязкости).

Скорость продвижения селя зависит от характеристик селевого русла, состава селевой массы и глубины потока. Диапазон изменения средней скорости характерных для России селевых потоков лежит в пределах от $2 \dots 3$ до $7 \dots 8 \text{ м/с}$. Максимальная средняя скорость потока редко превышает $14 \dots 16 \text{ м/с}$. Максимальная поверхностная скорость потока может превышать среднюю в $1,5 \dots 2$ раза.

Глубина селевого потока варьируется в следующих пределах: для катастрофического селя она составляет 10 м и более, мощного — $3 \dots 5 \text{ м}$, среднего — $2,5 \dots 3 \text{ м}$, маломощного — $1,5 \dots 2,5 \text{ м}$. Максимальная глубина потока (до разрушения русла) превышает указанные значения в $1,5 \dots 2$ раза.

Значения основных параметров схода селя представлены в табл. 5.

Т а б л и ц а 5

Характеристика селевых процессов

Основные параметры селя	Диапазон возможных значений
Объем (мощность), м^3	От 1,0 тыс. до 100 млн и более
Максимальный расход потока, $\text{м}^3/\text{с}$	От нескольких десятков до 2000
Скорость движения, м/с	$2 \dots 10$
Продолжительность, ч	$1 \dots 8$
Высота вала головы, м	$2 \dots 25$
Структурный состав (доля твердого материала в объеме потока), %	$10 \dots 70$
Плотность, т/м^3	$1,1 \dots 2,5$
Ширина, м	$3 \dots 150$
Глубина, м	$1,5 \dots 15$
Длина русла	От нескольких десятков метров до нескольких десятков километров
Максимальная сила удара, т/м^2	$5 \dots 12$
Повторяемость	От нескольких раз в год до одного раза в 30—50 лет
Максимальные размеры в поперечнике крупнообломочных включений, м	$1 \dots 10$
Вязкость (для связных потоков), П	От трех до нескольких сотен
Предельная крутизна прекращения движения, град.	$2 \dots 5$
Расход, $\text{м}^3/\text{с}$	$30 \dots 800$
Размер крупных включений, м	$3 \dots 4$
Масса включений, т	$200 \dots 300$

Установлены критические значения параметров жидких сред для оценки последствий их воздействия на людей. При плотности менее $1,1 \text{ г/см}^3$, глубине потока менее $1,5 \text{ м}$ и средней скорости менее $2,5 \text{ м/с}$ вероятность выжи-

вания взрослого человека достаточно высока. Однако параметры реальных селевых потоков превышают эти величины в несколько раз. В результате возможна массовая гибель и тяжелые поражения населения, попавшего в зону прохождения селя. С большой долей вероятности можно предположить, что все население, находящееся на открытой местности в зоне прохождения селя, а также в зданиях, сооружениях и на возвышенностях на уровнях ниже его максимальной глубины, погибнет.

С увеличением глубины селя прямо пропорционально возрастает его статическое давление на объект, при возрастании его скорости возрастает динамическое давление, в прямой зависимости от плотности селевого потока находится суммарное давление на объект. Поэтому целесообразнее не рассматривать каждый отдельный параметр, а выбрать интегральный, учитывающий все перечисленные. В качестве такого параметра предлагается использовать суммарное давление селевого потока (эквивалентное давление на плоскости). Начальным импульсом соударения фронта селя с объектом при таком допущении пренебрегают.

Для оценки последствий воздействия селевого потока на различные объекты можно воспользоваться табл. 6.

Т а б л и ц а 6

Воздействие селевых потоков на различные объекты

Объект	Степень воздействия в зависимости от суммарного давления селя, кг/см ²			
	Полное разрушение	Сильное повреждение	Среднее повреждение	Слабое повреждение
Деревянные здания	0,3...0,45	0,18...0,3	0,12...0,2	0,09...0,12
Кирпичное малоэтажное бескаркасное здание с перекрытием из железобетонных элементов	0,68...1,0	0,53...0,7	0,3...0,53	0,2...0,3
То же, многоэтажное	0,53...0,68	0,4...0,53	0,23...0,4	0,15...0,23
Здание из сборного железобетона	0,6...0,9	0,45...0,6	0,3...0,45	0,15...0,30
Здание с легким металлическим каркасом или бескаркасной конструкции	0,75...1,05	0,5...0,75	0,3...0,45	0,15...0,30
Здание со стальным и железобетонным каркасом	0,90...1,50	0,75...0,9	0,8...0,75	0,45...0,81
Склад (навесы из железобетонных элементов)	1,50...1,60	0,6...0,75	0,46...0,6	0,30...0,45
Водонапорная башня	0,90...0,98	0,6...0,90	0,3...0,60	0,15...0,30

Для оценки всех перечисленных выше и принятых к рассмотрению показателей с целью выявления граничных значений, приводящих к изменению уровня защиты населения, рассмотрим вначале временные показатели воздействия поражающих факторов селя, так как именно лимит времени в основном определяет возможность реализации эффективного комплекса соответствующих мероприятий.

Прогнозируемое время начала схода селевого потока и прихода его головы в рассматриваемую зону поражения меньше времени на организацию и проведение любого из возможных защитных мероприятий:

$$T_{\text{прог}} + T_{\text{сх}} < \min (T_{\text{з. н}i}), i = 1 \dots N,$$

где $T_{\text{прог}}$ — время оперативного прогноза схода селя; $T_{\text{сх}}$ — время схода селевого потока от сигнального створа до зоны проведения защитных мероприятий; $T_{\text{з. н}i}$ — время на организацию и проведение i -го комплекса защиты населения; N — общее количество комплексов защиты населения.

Данное соотношение реализуется, если нет оперативного прогноза относительно начала схода селя, а время прихода головы селевого потока меньше времени оповещения населения и времени движения до ближайшего незатапливаемого участка местности, здания, сооружения или времени ухода с затапливаемой селом территории.

Прогнозируемое время начала схода селевого потока и прихода его головы достаточно для укрытия населения на незатапливаемых участках местности и объектах:

$$T_{\text{прог}} + T_{\text{прих}} > T_{\text{укр. з. с}},$$

где $T_{\text{прих}}$ — время прихода головы селя; $T_{\text{укр. з. с}}$ — время на укрытие населения в (на) неразрушаемых зданиях, сооружениях и на незатапливаемых участках местности.

Это соотношение реализуется при отсутствии оперативного прогноза и условии, что время схода головы селевого потока позволяет разместить население в ближайших объектах и поместить на возвышениях.

Прогнозируемое время схода селевого потока и прихода его головы к населенному пункту достаточно для организации и проведения мероприятий по выводу населения из опасной зоны, если суммарное время прихода селя больше, чем требуется для самостоятельного выхода населения из опасной зоны, но недостаточно для организации его вывоза транспортом:

$$T_{\text{прог}} + T_{\text{прих}} > T_{\text{эв. пеш.}}$$

Прогнозируемое время прихода головы селя достаточно для организации и проведения мероприятий по эвакуации населения из опасной зоны автотранспортом:

$$T_{\text{прог}} > T_{\text{эв. авт.}}$$

Данное соотношение реализуется при наличии оперативного или кратковременного прогноза схода селевого потока. Анализ расчетных показателей, определяющих интенсивность воздействия селя, позволяет выделить следующие варианты воздействия:

1) суммарное давление селевого потока превышает критическое для устойчивости зданий и сооружений, служащих населению укрытием:

$$P > P_{\text{кр}};$$

2) суммарное давление селевого потока не превышает критическое для зданий и сооружений, используемых в целях укрытия населения:

$$P < P_{кр}.$$

Воздействия селя, имеющего плотность потока меньше $\rho = 1,1 \text{ г/см}^3$, не рассматриваются, так как чрезвычайная ситуация, вызванная сходом селя с такой характеристикой, анализируется при рассмотрении проблем, связанных с катастрофическим затоплением. Расчетные показатели (площадные характеристики селя) учитываются при определении времени прихода головы селевого потока к рассматриваемому объекту. В качестве последнего показателя используется глубина селевого потока: она превышает уровень укрытия населения в зданиях, на незатапливаемых участках местности ($h > h_{кр}$) и не превышает критической отметки ($h < h_{кр}$).

Ширина селевого потока и дальность его продвижения, не отраженные при выборе расчетных вариантов воздействия, косвенно учитываются при определении времени прихода головы селевого потока.

2.3.3. Оползни

2.3.3.1. Формирование оползневых процессов

Оползень — это смещение на более низкий уровень части горных пород, слагающих склон, в виде скользящего движения, в основном без потери контакта между движущимися и неподвижными породами, под влиянием силы тяжести. Движение оползня начинается вследствие нарушения равновесия склона и продолжается до достижения нового состояния равновесия.

Оползень перемещается вниз по склону, образно говоря, единым телом. Его подошва сползает по насыщенному водой слою, если склон состоит из пере-слаивающихся пород, или по трещине. Поверхность скольжения обычно имеет вогнутую форму. Фронтальная (передняя) часть оползня сминается в складки, в ней образуются бугры и валы, а тыловая часть, соскользнувшая и оторвавшаяся от склона, обнажает, как правило, вертикальную стенку, так называемый надоползневый уступ. Простые оползни, которые вызваны однократным скольжением массы пород, наблюдаются редко.

Скорости движения оползней различны. Если они невелики, т. е. оползень движется от вершины до основания склона десятки лет, то растущие на нем деревья постепенно приспосабливаются к нарастающему перекосу поверхности и искривляются. При быстром движении скорость оползней составляет от нескольких метров в сутки до сотен метров в минуту. Оползни следует отличать от обвалов. Обвал — это почти мгновенное событие, происходящее в течение секунд (будет рассмотрено далее).

Перемещения значительной массы породы, вызванные оползнями, зачастую приводят к катастрофическим последствиям и приобретают характер стихийного бедствия (рис. 12). Оползни могут разрушать отдельные объекты и подвергать опасности населенные пункты, губить сельскохозяйственные

угодья, создавать опасность при эксплуатации карьеров, повреждать коммуникации, туннели, трубопроводы, телефонные и электрические сети, угрожать водохозяйственным сооружениям (плотинам).

На месте обрыва оползня остается **оползневой цирк** — чашеобразное углубление с уступом в верхней части — стенкой срыва. При движении оползень может толкать перед собой рыхлые породы, из которых у подножья склона образуется оползневый вал. Нижние части склона покрываются буграми или ступенями. В рыхлых породах чаще всего случаются мелкие поверхностные оползни — **оплывины**.



Рис. 12. Оползень в Тайване

На образование оползней оказывают влияние климатический, гидрогеологический, сейсмотектонический, антропогенный и другие факторы, а также абсолютная высота, экспозиция склона, удаленность от зон региональных тектонических разрушений.

С увеличением абсолютной высоты в горах возрастает количество выпадающих осадков, а температура воздуха снижается, поэтому повышается вероятность образования оползней. На абсолютные высоты от 800 до 1000 м приходится 9,2 % всех оползней, от 1000 до 1700 м — 90,9 %.

Нарушение равновесия пород на каком-либо участке склона или откоса, являющееся причиной оползня, может быть вызвано следующими причинами:

- увеличением крутизны склона в результате подмыва водой;
- ослаблением прочности пород при выветривании или переувлажнении осадками и подземными водами;
- воздействием сейсмических толчков;
- строительством и хозяйственной деятельностью, проводимыми без учета геологических условий местности.

Оползни могут происходить на всех склонах, имеющих с крутизну 19° и более. Однако на трещиноватых глинистых грунтах они могут начаться и при крутизне склона $5...7^\circ$. Для этого необходимо лишь избыточное увлажнение горных пород, так как в этом случае уменьшаются силы сцепления между мельчайшими частицами глины, в результате чего массивы гли-

нистых пород теряют прочность. На берегах морей оползни энергично развиваются после сильных штормов, когда волны подрезают берег.

Оползни могут сходить в любое время года, однако, как правило, оползневые смещения приурочены к определенным сезонам. Так, большинство из них возникает в весенне-летний период (май—июнь), который характеризуется благоприятными условиями увлажнения склонов гор, а также в период с сентября по май (из-за обильного выпадения осадков и незначительного их испарения).

Аналогично воздействуют на глинистые породы и подземные воды. Иногда они, вымывая рыхлые отложения (например, пески), приводят к неустойчивости толщи пород, расположенных выше, и эти породы сползают. Примерно так образуются оползни в районе Волгограда, особенно весной, когда уровень воды в реке поднимается. Вода накапливается в слое песка, наклоненном к берегу и лежащем на глинистой толще. Когда уровень паводковых вод уменьшается, вода уходит из песчаного пласта, унося с собой частицы песка, в совокупности составляющего по массе тысячи тонн. После этого сцепление лежащей выше толщи глин с пластом песка уменьшается, и глины ползут в Волгу.

Главное в предупреждении оползней — не нарушать естественные условия равновесия, сложившиеся за сотни лет в конкретном месте. Если оползень уже начал двигаться, необходимо отвести от него воду, для чего создаются специальные канавы, валы и другие дренажные сооружения. Можно делать и подземные водостоки, которые также отведут воду, циркулирующую в породах на некоторой глубине. Иногда оползневое тело, как гвоздями, «прибивают» к склону большими бетонными сваями — шпильками, закрепляя его. Кроме того, чтобы остановить оползень, можно уменьшить крутизну опасного склона, срезав его верхнюю часть, а можно и заморозить грунт. Иногда в теле оползня сооружают штольню и зажигают там какое-либо горючее вещество. Тогда от жары глина высыхает, становится прочной и создает жесткий барьер, предотвращающий оползание.

К основным характеристикам оползней относят: влажность и объем; тип пород; скорость движения по склону; смещение; максимальную длину по склону.

Основу оползня могут составлять различные породы — от глинистых масс до скальных. Наиболее опасными с точки зрения образования оползней являются лессовые породы.

Оползни, вызванные изменением природных условий, не начинаются внезапно. Первоначальным признаком оползневых подвижек служит появление трещин на поверхности земли, разрывов дорог и береговых укреплений, смещение деревьев и др. С максимальной скоростью оползни движутся в начальный период, затем их скорость замедляется.

Оползни, вызванные хозяйственной деятельностью человека, связаны с перегрузкой оползневых склонов насыпями и различными инженерными сооружениями, утечкой воды из водопроводных коммуникаций, закрытием выходов подземных вод и др. Очень опасны для устойчивости берегов суточные колебания в нижних бьефах ГЭС и зимний расход воды из водохранилищ.

Объем пород, смещаемых при оползнях, колеблется в больших пределах — от нескольких сот до многих миллионов кубических метров.

Деформация земной массы при оползнях достигает 100...1200 м вдоль склона и 80...180 м вглубь массива.

К особому виду оползней, характерному для области многолетней мерзлоты, относятся **каменные глетчеры** — естественные скопления обломочного материала и льда, обладающие самостоятельным движением под действием силы тяжести, распространенные в горноледниковом поясе в 20...40 % долин (рис. 13). Естественные каменные глетчеры с их большой массой (ширина — десятки метров, длина — сотни метров, толщина — до 20...30 м) и постоянным, хотя и медленным движением могли бы представлять угрозу для любых сооружений, оказавшихся на их пути.



Рис. 13. Каменный глетчер

2.3.3.2. Классификация оползней

По влажности оползни бывают: сухими, не содержащими влаги; слабо-влажными, содержащими немного несвободной воды, делающей грунт пластичным и текучим; влажными, содержащими достаточно воды, чтобы частично обладать текучестью; очень влажными, содержащими достаточно воды для жидкого течения на голых склонах.

По механизму оползневого процесса выделяются оползни: сдвига; вязко-пластические; гидродинамического выноса; внезапного разжижения; сложные (комбинированные).

По мощности оползневого процесса (по массе горных пород, вовлекаемой в процесс) оползни бывают: малыми — до 10 тыс. м³; средними — 11...100 тыс. м³; крупными — 101...1000 тыс. м³; очень крупными — свыше 1000 тыс. м³.

Оползни, образующиеся на естественных склонах и в откосах выемок, подразделяют на несколько групп (табл. 7).

Характеристика оползней, образующихся на естественных склонах и в откосах выемок

Тип	Характеристика	Причины образования	Характеристика места (условия) образования
Структурные	Однородные связные глинистые породы (глины, суглинки, глинистые мергели)	Чрезмерная крутизна склона (откоса); перегрузка верхней части склона различными отвалами и инженерными сооружениями; нарушение целостности пород склона траншеями, нагорными канавами или оврагами; подрезка склона у его подошвы; увлажнение подошвы склона	Искусственные земляные сооружения с крутыми откосами; выемки, образующиеся в однородных глинистых грунтах на водораздельных участках возвышенности; глубокие разрезы для открытой разработки месторождений полезных ископаемых; насыпи, отсыпанные такими же породами при переувлажнении почвенно-растительного слоя и глинистых пород, залегающих у дневной поверхности
Контактные (соскальзывающие)	Связные глинистые породы, залегающие в виде пластов с хорошо выраженными плоскостями напластования (глины, суглинки, мергели, неплотные известняки, некрепкие глинистые сланцы, лесс, лессовидные суглинки и др.).	Чрезмерно крутое падение слоев; перегрузка склона отвалами или различными земляными сооружениями; нарушение целостности пород на склоне траншеями или нагорными канавами; подрезка склона; смачивание плоскостей напластования (контактов) подземными водами	Естественные склоны возвышенностей и долин рек (на косогорах); откосы выемок, состоящих из слоистых пород, у которых падение слоев направлено в сторону склона или к выемке
Срезающие (скальвающие)	Связные глинистые породы, залегающие в чередовании с пластами и линзами водоносного песка	Те же, что у контактных оползней, но в условиях более глубоких нарушений горных пород тектоникой и трещинами	Склоны возвышенностей и долин рек, сложенные слоистыми породами, залегающими горизонтально или с уклоном в сторону, противоположную склону
Структурно-пластические (оползни выдавливания)	Связные глинистые породы, залегающие в чередовании с пластами и линзами водоносного песка	Неравномерная разгрузка горных пород, залегающих над пластическими глинами (на каналах, в выемках, долинах рек, на берегах морей и озер); перегрузка склонов (откосов) отвалами и сооружениями; увлажнение грунтов в основании склонов (откосов)	В основании плотных пород залегают мягкие пластичные глины; в верхней части склона на поверхности земли (оползневые террасы — уступы с глубокими трещинами); у подошвы склона (выдавленные породы взбугриваются в виде отдельных холмов или сплошного вала)

Тип	Характеристика	Причины образования	Характеристика места (условия) образования
Суффозионно-структурные	Связные глинистые породы, залегающие в чередовании с пластами и линзами водоносного песка	Вынос пылеватых и песчаных частиц породы подземными водами; спады приливов и отливов морей; интенсивное оттаивание коры зимнего промерзания; прорыв пород водоносного горизонта, цементированных солями, выделяющимися из подземных вод у дневной поверхности склонов; обводнение песчаных пород на склоне из-за атмосферных осадков и хозяйственных вод	На склонах возвышенностей или в откосах выемок, сложенных плотными глинами или тяжелыми суглинками и моренными глинами, залегающими в чередовании с пластами и линзами водоносного песка
Суффозионно-пластические		Те же, что и при образовании суффозионно-структурных оползней; интенсивное выветривание горных пород на склонах с образованием усадочных трещин на поверхности земли; увлажнение и разупрочнение горных пород при промерзании и оттаивании	Такая же, что и у суффозионно-структурных; смещение земляных масс происходит, как правило, при слабо выраженной поверхности отрыва смещающейся массы от основного массива земли
Суффозионно-просадочные		Вынос подземными водами пылеватых и песчаных частиц из основания (подошвы) лессовых пород	Такая же, что и у просадочных оползней
Оползни в земляных плотинах и автодорожных насыпях встречаются редко. Оползни железнодорожных насыпей — искусственных земляных сооружений — наиболее часто встречаются на Северном Кавказе, являются причиной ограничения скорости движения поездов и перерывов в железнодорожном движении	Чрезмерная крутизна склона, а также отсутствие на поверхности склона или основания насыпи (при отсутствии уступов) и обильное увлажнение поверхности основания протекающими водами (при отсутствии водоотводов)	Насыпи, отсыпанные на болотах или в заболоченных поймах рек. Оползневые деформации насыпей выражаются в отрыве одной части насыпи от другой, оседании ее по очень крутой поверхности скольжения и выдавливании из-под нее мягких илистых грунтов основания. Выдавленный грунт распределяется у подошвы оползневого откоса насыпи в виде бугра или продольного вала	

2.3.3.3. Прогнозирование оползней

Используют несколько видов прогноза оползней:

долгосрочный — на годы;

краткосрочный — на месяцы, недели;

экстренный — на часы, минуты.

Теоретический прогноз оползней достаточно сложен. Его проводят специалисты оползневых станций (по данным многолетних наблюдений), он носит только вероятностный характер. Алгоритм вероятностного прогноза возникновения нового оползня на естественном склоне в заданном районе и в заданный период времени T состоит из двух основных этапов:

1. Получение исходных данных. Для этого:

1.1. Определяют среднюю годовую величину коэффициента устойчивости склона в настоящее время (т. е. на начало периода T), под которым понимают отношение суммарного сопротивления сдвигу вдоль какой-либо потенциальной поверхности скольжения к сумме сдвигающих усилий вдоль этой поверхности:

$$K_{\text{ср}}^{\text{н}} = \frac{\sum C_i \Delta l_i}{\sum \tau_i \Delta l_i},$$

где C_i — сопротивление сдвигу на i -м участке; Δl_i — абсолютная деформация; τ_i — касательная напряжения.

1.2. Рассчитывают среднюю скорость необратимых изменений коэффициента устойчивости склона (за год в настоящее время) и ее прогноз на период T :

$$K_{\text{ср}} = f(T).$$

1.3. Определяют зависимость амплитуды A обратимых колебаний коэффициента устойчивости склона от показателей F соответствующих факторов:

$$A = f(\sum F).$$

1.4. Рассчитывают среднюю величину годовой амплитуды $A_{\text{ср}}$ отрицательного отклонения коэффициента устойчивости склона и вероятной максимальной ее величины A_{max} за период T .

2. Анализ данных. Для этого:

2.1. Определяют возможность оползня; конечная средняя годовая величина коэффициента устойчивости склона в конце прогнозируемого периода T составит

$$K_{\text{ср}}^{\text{н}} = K_{\text{ср}}^{\text{н}} - T \Delta K_{\text{ср}}.$$

При $K_{\text{ср}}^{\text{н}} - A_{\text{max}} > 1$ оползень маловероятен; $K_{\text{ср}}^{\text{н}} - A_{\text{max}} < 1$ — оползень возможен; $K_{\text{ср}}^{\text{н}} - A_{\text{ср}} < 1$ — вероятность оползня очень велика.

2.2. Рассчитывают вероятное время смещения оползня $T_{оп}$ (количество лет от начала прогнозируемого периода), т. е. наиболее вероятно смещение оползня в период от $(K_{ср}^H - A_{max} - 1) / \Delta K_{ср}$ до $(K_{ср}^H - A_{ср} - 1) / \Delta K_{ср}$.

2.3.3.4. Борьба с оползнями

Большую часть потенциальных оползней можно предотвратить, если своевременно принять необходимые меры. Среди различных мероприятий особенно важное значение имеют контроль и прогнозирование оползневых процессов. Они необходимы для обеспечения:

- расположения объектов в безопасных местах;
- своевременного предупреждения возникновения новых оползней;
- предотвращения опасного объема и скорости смещения уже существующих оползней;
- выявления необходимости борьбы с оползнями;
- возможности эксплуатации объектов без укрепления склона.

Для предотвращения возникновения оползней следует организовать контроль за состоянием склонов и соблюдением специального противооползневого режима, а также проводить комплекс противооползневых мероприятий с учетом гидрогеологических условий и характеристики оползневого участка. Необходимые для этого данные наносят на крупномасштабные карты, на которых указывают: устойчивость склонов; возможность производства земляных работ; гидрогеологические условия района; возвышенности и косогоры; места расположения стоков, дренажных бассейнов, затопляемых участков и распределение подземных вод. На эти же карты наносят места прошлых оползней и районы возможного оползания. К карте прилагается пояснительная записка с подробным описанием оползневого района (участка).

В пределах участков, где возможно возникновение оползней, организуется постоянное наблюдение для выявления причин возникновения оползневых перемещений, изучения их динамики и разработки комплекса противооползневых мероприятий. Наблюдение ведется специально назначенными постами из состава работников оползневых станций, в задачу которых входит контроль: за колебаниями уровней воды в колодцах, дренажных сооружениях, буровых скважинах, реках, водохранилищах и озерах; режимом подземных вод; скоростью и направлением оползневых подвижек; выпадением и стоком атмосферных осадков.

Противооползневые мероприятия разделяются на две группы — пассивные и активные.

Пассивные противооползневые мероприятия включают меры охранно-ограничительного характера:

- запрещение подрезки оползневых склонов и устройства на них всякого рода выемок;
- недопущение различного рода подсыпок (как на склонах, так и над ними) в пределах угрожающей полосы;

запрещение строительства на склонах и на указанной полосе сооружений, прудов, водоемов и объектов с большим водопотреблением без выполнения конструктивных мероприятий, полностью исключающих утечку воды в грунт;

запрещение взрывов и горных работ вблизи оползневых участков;

запрещение устройства водонепроницаемых пластырей в зоне выплывания грунтовых вод;

охрана древесно-кустарниковой и травянистой растительности;

запрещение неконтролируемого полива земельных участков, а иногда и их распашки;

запрещение устройства водопроводных колонок и постоянного водопровода без устройства канализации;

недопущение сброса на оползневые склоны ливневых, талых, сточных и других вод;

залесение оползневых территорий.

Активные противооползневые мероприятия предполагают устройство специальных инженерных сооружений:

подпорных конструкций (для предотвращения оползневых процессов);

подпорных стенок (на сравнительно небольших оползнях, на склонах при нарушении их устойчивости в результате подрезки и подмывок);

контрбанкетов, своим весом препятствующих смещению земляных масс (у подошвы действующего или потенциального оползня);

свайных рядов (для укрепления оползневых склонов в период временной стабилизации оползней, имеющих относительно малую (до 4 м) мощность смещенного тела; бетонные, железобетонные и стальные сваи располагают в шахматном порядке в несмещаемой породе на глубину 2 м);

сплошных свайных или шпунтовых рядов (устанавливаются реже других удерживающих сооружений вследствие их высокой стоимости).

Борьба с оползнями основана на обеспечении устойчивости склона.

Общими противооползневыми мероприятиями для оползней всех видов являются:

отвод поверхностных вод, притекающих к оползневому участку со стороны (устройство нагорных канав);

отвод атмосферных вод с поверхности оползневого участка;

разгрузка оползневых склонов (откосов), террасирование склонов;

посадка деревьев и кустарников в комплексе с посевом многолетних дернообразующих трав.

спрямление русел рек и периодически действующих водотоков, подмывающих основание оползневых склонов;

берегоукрепление (с помощью бунтов, донных волноломов, струенаправляющих устройств, защитных лесонасаждений и др.) в основании подмываемых оползневых склонов;

отсыпка (намыв) земляных (песчаных, гравийных, каменных) контрбанкетов у основания оползневых склонов.

2.3.4. Обвалы и осыпи

Горные обвалы, осыпания и камнепады — частые явления во всех странах мира. Их масштабы бывают грандиозными, а последствия — трагическими. Они способны вызвать крупные завалы или обрушения автомобильных и железных дорог, стать причиной разрушения населенных пунктов и уничтожения лесов, способствовать образованию катастрофических затоплений и гибели людей (рис. 14, 15). Такие катастрофы нередко происходят при землетрясениях в 7 и более баллов, когда рушатся крутые горные склоны, образующие с горизонтом углы более $45...50^\circ$.



Рис. 14. Камнепад в горной местности



Рис. 15. Обвал в горной местности

На крутых (30° и более) склонах распространены **камнепады** — случаи движения одиночных камней или их небольших групп, которое происходит в форме неоднократных «прыжков» со скоростью $40...60$ м/с ($150...200$ км/ч). Причинами падения камней служит выдувание или вымывание из-под них мелкозема, сталкивание их языками оползающего грунта, а также процессы намерзания и таяния под ними льда.

Обвал — это отрыв и падение больших масс пород на крутых и обрывистых склонах гор.

Обвалы отличаются от камнепадов не просто большим объемом, а сплоченностью облака обрушивающегося материала, что меняет характер его движения. В движение вовлекается воздух, тело обвала приобретает обтекаемую (каплевидную) форму, обволакивается попутным воздушным потоком (воздушная волна) и проходит большое расстояние.

Скорость движения обвалов на отдельных участках пути может достигать 90 м/с (300 км/ч), а длина пути — многих километров. Причиной крупных обвалов являются землетрясения. Горный склон как бы вскипает и приходит в движение. Масса из камней и земли несется вниз, разделяясь на потоки. Они сливаются с потоками с противоположного склона и устремляются вниз по долине, обогащаясь водой и мелкоземом.

Обвалы происходят в результате ослабления сцепления горных пород под воздействием выветривания, подмыва, растворения, а также силы тяжести и тектонических явлений. Их образованию способствует геологическое строение местности, наличие на склонах трещин и дробление горных пород. Обвалы могут также происходить в речных долинах и на морских побережьях.

В 80 % случаев обвалы связаны с антропогенной деятельностью человека. В нашей стране ведутся масштабные геолого-разведочные работы. Они сопровождаются закладкой различных горных выработок: буровых скважин, канав, штолен, карьеров. В условиях горного и холмистого рельефа геолого-разведочные работы вызывают активное проявление оползневых явлений, эрозии и др. Площадь земель, нарушенных при разработке полезных ископаемых, в России исчисляется миллионами гектаров и ежегодно увеличивается еще на десятки тысяч. Эрозия, дефляция, оползни, обвалы, осыпи проявляются при эксплуатации открытых разработок, особенно глубоких. Просадки и другие побочные процессы наблюдаются при добыче полезных ископаемых подземным способом. Грандиозные обвалы происходят в горах, где они нередко запруживают реки. Выше подобных плотин реки разливаются в подпрудные озера (например, озеро Рица на Западном Кавказе).

Осыпание — процесс, отличающийся от обвала величиной и скоростью: он происходит постепенно, по мере разрушения (выветривания) пород на склонах. Падают преимущественно мелкие обломки. В нижней части склонов образуются **осыпи** — конусовидные скопления упавших обломков.

2.3.5. Снежные лавины

2.3.5.1. Общая характеристика и причины схода снежных лавин

Обвалы снега, которые могут происходить на склонах с углом 25° и более и с относительной высотой 20...40 м и более, при толщине снежного покрова более 30...40 см над поверхностью микрорельефа, называются **снежными лавинами** (рис. 16). Их скорость достигает нескольких десятков метров в секунду, объем — миллиона кубических метров, давление на препятствие — 100 т/м^2 (давление 3 т/м^2 разрушает деревянные постройки, 100 т/м^2 — каменные здания), толщина лавинных завалов на дне долин составляет 30...50 м.



Рис. 16. Сход снежной лавины

В результате схода лавин гибнут люди, уничтожаются материальные ценности, парализуется работа транспорта, блокируются целые районы, могут возникать наводнения (в том числе прорывные) с объемом подпруженной водоема до нескольких миллионов кубометров воды. Высота прорывной волны в таких случаях достигает 5...6 м. Кроме того, лавинная активность приводит к накоплению селевого материала, так как вместе со снегом выносятся каменная масса, валуны и мягкий грунт.

Особенно крупные лавины происходят в горах, где сила удара снежной лавины о препятствие может достигать десятков тонн на один квадратный метр, объем — миллионы кубометров, повторяемость в наиболее активных очагах — 10—15 лавин в год, число лавинных очагов на 1 км длины долины — 10—20.

Сходы лавин также возможны на уступах морских и речных террас. Лавиноопасными могут быть и различные техногенные склоны — борта карьеров, откосы над дорожными выемками и др.

Существуют определенные лавинообразующие факторы:

- высота старого снега;
- состояние подстилающей поверхности;
- величина прироста свежевypавшего снега;
- плотность снега;
- интенсивность снегопада;
- оседание снежного покрова;
- метелевое перераспределение снежного покрова;
- температурный режим воздуха и снежного покрова.

Формирование лавин происходит в **лавинном очаге** — участке склона и его подножья, в пределах которых происходит движение лавины. Лавинные очаги принято делить на зоны зарождения (лавиносбора), транзита (лотка), остановки (конуса выноса) лавины.

К основным параметрам лавинного очага относят:

- разность максимальной и минимальной высот склона в пределах лавинного очага;
- площадь лавинного сбора, его длину и ширину;
- количество лавинных очагов;
- средние углы лавиносбора и зоны транзита;
- сроки начала и окончания лавиноопасного периода.

При длине открытого склона горы 100...500 м создаются классические условия образования снежной лавины — начала движения определенной скорости. В зависимости от характера этого движения различают несколько типов лавин (табл. 8).

Т а б л и ц а 8

Классификация снежных лавин по характеру движения

Тип лавины	Особенности
Лотковая	Движение по фиксированному руслу
Склоновая	Отрыв и движение по всей поверхности склонов
Прыгающая	Свободное падение с уступов склонов
Пластовая	Движение по поверхности нижележащего слоя снега
Грунтовая	Движение по поверхности грунта

До 70 % лавин обусловлены снегопадами и сходят или во время снегопадов, или в течение 1...2 сут после их прекращения. Обильные снегопады, а также землетрясения силой 5...6 баллов и более являются причинами формирования катастрофических лавин.

По частоте схода (повторяемости) различают лавины: систематические — сходят каждый год или один раз в два-три года; спорадические — сходят один-два раза в 100 лет и реже, место схода трудно определить.

В отдельных районах за зиму и весну систематические лавины могут сходить по 15—20 раз.

Диапазон основных физических характеристик снежных лавин представлен в табл. 9.

Т а б л и ц а 9

Основные характеристики снежных лавин

Показатель	Значение
Масса m , т	До 10^7
Объем V , м ³	До 10^7
Скорость движения v , м/с:	
сухих лавин	10...20
мокрых лавин	20...100
Динамическое давление p_n , МПа	До 2
Дальность выброса L_{\max} , м	До 2000
Повторяемость, ед./год	0,01...20
Плотность лавинного снега ρ , т/м ³ :	
сухих лавин	0,2...0,4
мокрых лавин	0,3...0,8
Высота фронта лавины $H_{\text{л}}$, м	До 10
Площадь сечения лавинного потока S , м ²	До 10^3
Коэффициент лавинной активности площади (отношение лавиноактивности площади к суммарной)	0,3...1,0

Показатель	Значение
Коэффициент поражения дна долины (отношение поражаемой длины дна долины ко всей длине на данном участке)	0,2...1,0
Объем лавинных завалов на дне долин и дорогах, м ³	До 10 ⁷

Дальность выброса лавины, т. е. расстояние, которое она может преодолеть при наиболее благоприятных условиях, зависит от высоты ее падения. Высота (или мощность) лавинного потока чаще всего составляет 10...15 м. Интервал времени между сходами первых и последних лавин в данном районе характеризует потенциальный период лавинообразования.

Водонасыщенные лавинные потоки подобны гидравлическим потокам. Их действие рассчитывается так же, как действие воздухонасыщенной жидкости или селевой массы. Возможность достижения лавиной объекта оценивают по дальности выброса. Принято различать максимальную дальность выброса L_{\max} (определяемую расчетом для наиболее неблагоприятных условий) и наиболее вероятную $L_{\text{ср}}$ (среднегодовую, определяемую по данным наблюдений).

Повторяемость схода лавин (особенно внутрисезонную) необходимо учитывать при планировании и выполнении работ в лавиноопасных районах.

Для разработки мер защиты от лавин требуются разнообразные знания о распространении и геометрии лавинных очагов, генетических типах, повторяемости и многих других характеристиках лавин. Источником таких знаний являются прямые наблюдения в экспедициях или на снеголавинных станциях.

2.3.5.2. Физическая сущность лавинообразных процессов

Снежный покров имеет внутреннее сцепление и сцепление с подстилающей поверхностью. Силы сцепления удерживают его на склоне, а та часть силы тяжести снежного покрова, которая направлена параллельно склону, стремится сдвинуть его вниз. Под ее воздействием снежный покров сползает по склону. Когда эта сила становится больше сил сцепления, происходит обрушение покрова. Непосредственной причиной обрушения могут стать уменьшение одной или обеих сил сцепления, увеличение толщины, а следовательно, и веса снежного покрова или комбинация этих событий, вызываемых различными метеорологическими причинами. Критическая высота снежного покрова h , при которой происходит его обрушение, зависит от внутреннего сцепления снега C , объемной массы снега γ , коэффициента внутреннего трения в снеге $\text{tg } \varphi$ и угла наклона склона α :

$$h = \frac{C}{\gamma \cos \alpha (\sin \alpha - \text{tg } \varphi \cos \alpha)}$$

При наклоне $\alpha = 34...45^\circ$ критическая высота сухого снежного покрова, имеющего некоторое внутреннее сцепление и сцепление с подстилающей поверхностью, измеряется несколькими дециметрами. Она возрастает до бесконечности при углах наклона около 20° . Если же силы сцепления уменьшаются

(что бывает при намокании снега), снежный покров не может удержаться и на более пологих склонах. Поскольку топографические условия накопления снежного покрова различны, а его высота и физико-механические характеристики изменяются во времени, смещения снега по уклону также разнообразны.

Участки склонов, с которых обрушиваются лавины, называются **лавино-сборами**. Большинство лавиносборов — это различные понижения, в которых снега накапливается больше, чем на выпуклых участках склонов. Высота верхней кромки крупных лавиносборов над дном долин измеряется многими сотнями метров, а их площадь — десятками гектаров.

Геоморфологическая классификация лавиносборов включает эрозионные врезы, денудационные воронки, кары с плоским дном или деформированные эрозией. Очаги лавин с лавиносборами этих типов имеют общую черту: пути лавин в них проходят по выраженным руслам — **лоткам**. Поэтому такие очаги называют лотковыми. К этой группе относят также плоские (нерасчлененные) лавиноопасные склоны. Шероховатость их поверхности зависит от геологических условий. С увеличением шероховатости поверхности лавиносборов повторяемость лавин снижается, так как высота снежного покрова, необходимого для их образования, должна превышать высоту неровностей микрорельефа не менее чем на 30...40 см.

Лавиносборы различных типов имеют разную площадь и угол наклона поверхности. С увеличением угла наклона их повторяемость возрастает, объемы уменьшаются. При прочих равных условиях объемы лавин зависят от величины площади лавиносбора, на которой создаются единые условия для срыва снежного пласта. Они определяются геометрией лавиносбора и отражаются в распределении на его поверхности зон различной высоты покрова (большей в понижениях) и различных напряжений в снежной толще (растягивающие напряжения на выпуклых элементах рельефа, сжимающие — на вогнутых), вследствие чего в каждом лавиносборе проявляются участки преимущественного срыва лавин.

В малом лавиносборе с простейшей геометрией лавины часто сходят сразу со всей его поверхности. В большом лавиносборе и лавиносборе со сложной геометрией срыв лавины, сходящей сразу со всей поверхности, — редкое явление. Такие лавиносборы делятся на ряд участков преимущественного срыва лавин. На каждом отдельном участке критические значения высоты снежного покрова и площади срыва зависят от его физико-механических свойств и существенно изменяются под влиянием метеорологических условий. Определение этих значений является важнейшей частью оперативного прогноза времени схода лавин.

Обрушение лавин с плоских склонов происходит широким фронтом. В лавинных очагах иных типов обрушивающаяся масса концентрируется в канале, в результате чего существенно возрастает ее скорость и дальность выброса. Лавины из тяжелого влажного снега движутся в виде четко ограниченных потоков. Лавина, образованная из мягкой, легко разрушающейся снежной доски или рыхлого сухого снега, представляет собой снеговоздушное облако, толщина которого (при прочих равных условиях) больше, чем толщина лавин из других типов снега, и измеряется десятками метров.

Мокрые лавины называют текучими, сухие — пылевыми. Существенно турбулизированные сухие лавины отличаются тем, что практически весь снег движется во взвешенном состоянии. Промежуточный (смешанный) тип движения наблюдается у сухих лавин из снежной доски, состоящих из относительно плотного нижнего и пылевого верхнего слоя. Перед достаточно быстрыми сухими лавинами со взвешенным или промежуточным типом движения образуется область значительного сжатия воздуха — **воздушная волна сжатия**. Особо легкий верхний слой сухой лавины может продолжать свое движение после остановки ее основной массы. Такое явление называют **снеговоздушным потоком (волной)**. При практическом рассмотрении воздушная волна сжатия и снеговоздушная волна обычно объединяются под общим (первым или вторым) названием.

Характерные значения скорости движения, плотности и давления лавин на перпендикулярное их пути препятствие на участке наибольшего разгона приведены в табл. 10.

Т а б л и ц а 10

Значения скорости движения, плотности и давления лавин с разным типом движения

Тип лавины	Скорость, м/с	Плотность, г/см ³	Давление, 10 ⁴ Па
Из сухого снега, пылевые со взвешенным характером движения	30...70* (125**)	0,02...0,15	25
Из сухого снега, с текучим нижним и взвешенным верхним слоями (данные для нижнего слоя)	20...40* (60**)	0,05...0,30	18 (110)
Из мокрого снега, текучие	10...20* (30...40**)	0,30...0,40	8

Примечание: * — характерные значения; ** — максимальные значения.

Давление воздушной волны в момент наибольшего разгона лавины может достигать $0,5 \cdot 10^4$ Па, давление снеговоздушной волны на участке, расположенном сразу за фронтом остановившегося плотного тела лавины, — $0,5 \dots 1,0 \cdot 10^4$ Па. Разрушительные характеристики лавин таковы: давление 10^4 Па — разрушаются деревянные и легкие каменные постройки; $10 \cdot 10^4$ Па — вырываются с корнем взрослые деревья; $100 \cdot 10^4$ Па — повреждаются или разрушаются наиболее прочные, в том числе бетонные, здания.

2.3.5.3. Методика расчета основных параметров лавин

Основными параметрами, которые необходимо знать при планировании режима деятельности, а также защитных мероприятий в лавиноопасных горных районах, являются:

- количество и площадь лавинных очагов;
- сроки начала и окончания лавиноопасного периода;
- объем лавин (средний и максимальный);
- скорость движения, дальность выброса и сила удара лавин;
- высота лавинного потока.

Количество и площадь лавинных очагов определяются на топокарте масштабом 1 : 25 000 или 1 : 50 000 по рельефу местности. К лавинообразующему рельефу относятся все участки горных склонов крутизной 15...60°, свободные от леса. Если выше границы леса имеется лавинообразующий рельеф, то весь этот участок также является лавиноопасным.

Сроки начала и окончания лавиноопасного периода определяют в соответствии с прогнозом по периоду залегания устойчивого снежного покрова на основании данных метеостанций, а также с учетом того, что на южных склонах снег сходит в среднем на две недели раньше, а на северных — на две недели позже, чем на дне долины. Кроме того, необходимо учитывать и наличие вертикального градиента — примерно 6—7 дней на 200...250 м подъема. Максимальный и средний объем лавин, м³, определяют по формулам

$$W_{\text{л, макс}} = S_{\text{лп}} H_{\text{сп, макс}},$$

$$W_{\text{л, ср}} = K_0 S_{\text{лп}} H_{\text{сп, ср}},$$

где $S_{\text{лп}}$ — лавиноактивная площадь, м²; $H_{\text{сп, макс}}$ и $H_{\text{сп, ср}}$ — многолетняя максимальная и средняя высоты снежного покрова в очаге соответственно, м; K_0 — коэффициент, зависящий от типа очага и конкретных климатических условий.

Для определения скорости лавины в заданной точке ее пути на профиле восстанавливается вертикальный отрезок от поверхности пути до пересечения с наклонной прямой, затем в соответствии с масштабом построения измеряется длина этого отрезка h_c , м. Скорость лавины рассчитывается по формуле

$$v_{\text{л}} = \sqrt{2gh_c},$$

где g — ускорение свободного падения, м/с².

Сила удара лавины на 1 м² поверхности неподвижного жесткого препятствия, расположенного перпендикулярно к направлению ее движения, определяется следующим образом:

$$P_y = \rho_{\text{лс}} v_{\text{л}}^2 = 2\rho_{\text{лс}} gh_c,$$

где $\rho_{\text{лс}}$ — плотность лавинного снега, для лавины из свежесвыпавшего снега принимается равной 300 кг/см³, из старого снега — 400 кг/см³, из мокрого снега — 500 кг/см³.

Если поверхность препятствия образует с направлением движения лавины угол β , то расчет ведется по формуле

$$P_y = \rho_{\text{лс}} v_{\text{л}}^2 \sin \beta.$$

Нагрузка лавины на тормозящее препятствие (стволы деревьев, столбы и др.) при обтекании его лавиной определяется формулой

$$P_y = \rho_{\text{лс}} \frac{v_{\text{л}}^2}{2} S_n,$$

где S_n — площадь проекции обтекаемой части препятствия на плоскость, перпендикулярную направлению движения лавины (табл. 11).

Зависимость площади снегосбора от крутизны склона

Средняя крутизна склона, град.	Площадь снегосбора бассейна, га						
	1	2	5	10	20	30	40 и более
25	26	25	23	19	18	17	17
30	27	26	24	22	20	19	19
35	29	28	26	25	24	23	22
40	31	30	29	27	26	26	25
45	33	33	32	31	30	30	29

При косом ударе лавины о сооружение, кроме нормальной составляющей, появляется касательная составляющая от сил трения, величина давления которой определяется следующим образом:

$$F_{\text{тр}} = f_{\text{тр}} P_{\text{л}},$$

где $f_{\text{тр}}$ — коэффициент трения снега о материал сооружения, принимается равным 0,3; $P_{\text{л}}$ — нормальное давление, Па.

При расчете нагрузки на крышу сооружения следует учитывать также массу лавинного снега и принимать величину давления по формуле

$$P_{\text{л}} = \rho_{\text{лс}} H_{\text{фл}} \cos \alpha_{\text{к}},$$

где $\rho_{\text{лс}}$ — плотность лавинного снега, кг/м³; $H_{\text{фл}}$ — высота фронта лавины, м; $\alpha_{\text{к}}$ — угол наклона крыши сооружения к горизонту.

Формула для определения высоты фронта лавины имеет вид

$$H_{\text{фл}} = \frac{v_{\text{л}}^2}{2g \cos \alpha},$$

где α — угол наклона склона на подходе лавины к сооружению:

$$\alpha = \alpha_{\text{к}} + \beta.$$

Если удар лавины приходится на вогнутую поверхность с радиусом закругления r , то давление лавины рассчитывается следующим образом:

$$Q_{\text{л}} = \rho_{\text{лс}} H_{\text{фл}} g \left(\frac{v_{\text{л}}^2}{gr} + \cos \frac{\pi S_g}{180r} \right),$$

где S_g — длина дуги на закруглении.

В этом случае сила трения на 1 м² крыши равна

$$F_{\text{тр1}} = f_{\text{тр}} Q_{\text{л}}.$$

Стоит отметить, что, кроме удара лавинного снега, сооружение испытывает удар воздушной волны, идущей впереди фронта лавины.

2.3.5.4. Методы прогноза схода снежных лавин

Среди всего многообразия методов прогноза лавин известны упрощенные и расчетные методы.

Упрощенные методы прогноза лавин основаны на изучении: внешнего состояния снежного покрова;

данных стратиграфии (раздел геологии, занимающийся определением относительного геологического возраста осадочных горных пород) снежного покрова;

данных о резких переменах погоды и синоптических ситуациях, предшествующих и сопутствующих сходу лавин.

Расчетные методы прогноза лавин основаны на данных, получаемых в ходе непосредственных наблюдений за метеорологическими явлениями и изменениями в снежной толще. Возникновение лавин начинается не сразу после перемены погоды, а спустя некоторый промежуток времени, необходимый для изменения соотношения сил внутри снежной толщи. Данный промежуток времени позволяет оценить эти изменения. Для лавин, обусловленных и влиянием метеорологических факторов, и процессами, происходящими внутри снежной толщи при таянии, заблаговременность прогноза должна быть большей.

Теоретической основой для расчетных методов прогнозов схода лавин является уравнение устойчивости снежного покрова на склоне. Формула расчета критической мощности снежного покрова для лотковых лавин имеет следующий вид:

$$H_{\text{спкр}} = \frac{C_{\text{сд}}}{\gamma_{\text{сп}} (\sin \alpha - f_{\text{тр}} \cos \alpha)}, \quad (1)$$

где $C_{\text{сд}}$ — сопротивление сдвигу; $\gamma_{\text{сп}}$ — объемный вес снежного покрова; α — угол наклона склона; $f_{\text{тр}}$ — коэффициент внутреннего трения.

Существует несколько расчетных методов, каждый из которых предназначен для прогноза лавин, характеризующихся теми или иными условиями образования:

связанных со снегопадами и метелями;

связанных с оттепелями;

возникающих при выпадении дождя на снежный покров, весеннем снеготаянии и радиационных оттепелях;

возникающих при резком понижении температуры;

возникающих при совокупном воздействии нескольких факторов.

Прогноз лавин, обусловленных снегопадами, основан на уравнении (1). Зная величину $H_{\text{спкр}}$, время наступления лавиноопасного периода от начала снегопада можно определить по формуле

$$T_{\text{лп}} = \frac{H_{\text{спкр}}}{i_{\text{сп}}},$$

где $i_{\text{сп}}$ — интенсивность нарастания снежного покрова, м/ч; или из уравнения

$$T_{\text{лп}} = \frac{C_{\text{сд}}}{i_{\text{сп}} \gamma_{\text{сп}} (\sin \alpha - f_{\text{тр}} \cos \alpha)}.$$

Величины $i_{\text{сп}}$, $\gamma_{\text{сп}}$, $C_{\text{сд}}$, $f_{\text{тр}}$ определяются экспериментально в типичном для данного района лавиносборе и на типичной высоте.

Дальнейшее упрощение методики прогнозирования возможно при использовании зависимостей вида

$$T_{\text{лп}} = F(i_{\text{сп}})$$

или

$$T_{\text{лп}} = F(R),$$

где R — интенсивность осадков, мм/мин.

Для прогноза метелевых лавин прогноза также можно использовать уравнение (1).

Для районного прогноза используют следующие зависимости:

$$T_{\text{лп}} = F(v);$$

$$T_{\text{лп}} = F(m),$$

где v — скорость ветра, м/с; m — величина метелевого переноса, г/(см² · мин).

Прогноз лавин, связанных с оттепелями, возможен для целого района. В общем виде уравнение для определения начала лавиноопасного периода в это случае имеет вид

$$T_{\text{лп}} = F(t_{\text{от}}^{\circ}, \Delta t_{\text{от}}^{\circ}, T_{\text{от}}),$$

где $t_{\text{от}}^{\circ}$ — максимальная температура за время оттепели; $\Delta t_{\text{от}}^{\circ}$ — интенсивность повышения температуры во время оттепели; $T_{\text{от}}$ — продолжительность оттепели.

Все эти параметры оказывают влияние на величину $C_{\text{сд}}$ из уравнения (1). Для прогнозирования лавин, обусловленных выпадением осадков в виде дождя, время наступления опасного периода от момента начала осадков можно рассчитать по формуле

$$T_{\text{лп}} = \frac{0,1H_{\text{в}}\beta_{\text{в}}}{R},$$

где $H_{\text{в}}$ — запас воды в снежном покрове; $\beta_{\text{в}}$ — содержание свободной воды в снежном покрове до начала дождя; R — интенсивность осадков (при этом делается допущение, что интенсивность дождя не изменяется).

Когда причиной схода лавины является резкое понижение температуры, величина сдвигающего усилия $\tau_{\text{сд}}$, возникающего в результате охлаждения снежного покрова, выражается формулой

$$\tau_{\text{сд}} = \frac{\alpha_{\text{сж}} E \Delta \theta}{4(1 - \mu)},$$

где $\alpha_{\text{сж}}$ — коэффициент температурного сжатия снежного покрова; E — модуль нормальной упругости; $\Delta \theta$ — градиент температуры охлаждающей толщи снега; μ — коэффициент бокового расширения снежного покрова.

Суммируя величину $\tau_{сд}$ и составляющую силы тяжести, действующую поперек склона, получают суммарную силу, стремящуюся сдвинуть снежный пласт. Сравнение этой величины с суммой сил, удерживающих снежный покров на склоне, дает представление о его устойчивости.

В реальных условиях лавина нередко возникает в результате сочетания ряда факторов, например снегопада и оттепели. Тогда время ее возникновения будет зависеть не только от мощности старого снежного покрова, поэтому критическая мощность снежного покрова $H_{спкр}$ составит

$$H_{спкр} = H_{ст} + T_{лп} i_{сп}.$$

Время начала лавиноопасного периода определяется по формуле

$$T_{лп} = \frac{C_{сд}}{i_{сп} \gamma_{сп} (\sin \alpha - f_{тр} \cos \alpha)} - \frac{H_{ст}}{i_{сп}}.$$

Принимая $C_{сд}$, $\gamma_{сп}$, $f_{тр}$ и α постоянными, получаем

$$T_{лп} = (i_{сп} H_{ст}),$$

а в случае дождя

$$T_{лп} = F(R, H_{ст}).$$

2.3.6. Абразия берегов

Абразия — это процесс разрушения и сноса суши морским прибоем. Данная проблема актуальна также и для крупных озер и водохранилищ.

Волны, ударяясь о берег, непрерывно его подтачивают, подмывают, тем самым сглаживая все выступы и неровности. В результате образуется более или менее широкая подводная волноприбойная терраса. По мере того как море проникает далее вглубь разрушаемой им суши, возрастает ширина этой террасы, и вследствие трения о ее поверхность уменьшается живая сила волн. Если уровень моря повышается относительно прилегающего берега, разрушительная работа волн проникает дальше вглубь материка, и ширина абразионной террасы возрастает, достигая иногда 10...20 км. При длительном повышении своего уровня (или опускании суши) море может далеко проникнуть вглубь материка (такое явление называют трансгрессией) или затопить обширные площади. Вновь поднявшаяся над уровнем моря часть суши, которая подверглась действию морской абразии, представляет собой слабо покатую в сторону моря абразионную равнину (платформу).

Интенсивность абразии зависит от степени волнового воздействия, т. е. бурности водоема. Важнейшим условием, предопределяющим абразионное развитие берега (рис. 17), является относительно крутой угол исходного откоса (больше 0,01) прибрежной части дна моря или озера. Абразия создает на берегах абразионную террасу — **бенч** и абразионный уступ — **клиф**. Образующиеся при этом в результате разрушения горных пород песок, гравий, галька могут вовлекаться в процессы перемещения наносов и служить мате-

риалом для образования береговых аккумуляторных форм. Часть материала сносится волнами и течениями к подножию абразионно-подводного склона, образуя прислоненную аккумуляторную террасу. По мере расширения абразионной террасы абразия постепенно затухает (так как расширяется полоса мелководья, на преодоление которой расходуется энергия волн) и при поступлении наносов может смениться аккумуляцией (рис. 18).



Рис. 17. Абразионный берег



Рис. 18. Процесс абразионного развития берега и образования подводной террасы

Набегающие на берег волны ударяют в него с силой до 70 т/м^2 , смывают рыхлый материал и перемещают его вдоль берега. Постепенно вырабатывается подводная терраса, ограниченная со стороны берега абразионным уступом. Скорость абразии (отступления прибрежного уступа) и продолжительность периода выработки равновесного профиля зависят от прочности пород, слагающих берег, энергии волн, их направления и повторяемости. Энергия волн пропорциональна квадрату их высоты; основной объем абразии выполняют крупнейшие волны. В реальных условиях добавляются эффекты приливных и нагонных колебаний уровня моря, его длительных изменений, гашения волнения морскими льдами, изменения объемов обломочного материала, поступающего с суши, и т. д.

2.3.7. Пыльные и песчаные бури

Пыльная (песчаная) буря — разновидность суховея, отличающаяся сильным ветром, переносящим на большие расстояния огромные массы частиц почвы и песка.

Пыльные и песчаные бури засыпают сельскохозяйственные угодья, здания, сооружения, дороги и другие объекты слоем пыли и песка, достигающим нескольких десятков сантиметров. Поднимаемая высоко в воздух песчаная пыль затрудняет полеты самолетов. При этом площадь, на которой выпадает пыль или песок, может составлять сотни тысяч, а иногда и миллионы квадратных километров. Выпадая на воду океана, пыль погружается в его глубины и осаждается на океаническом дне.

В разгар пыльной бури воздух бывает так насыщен пылью, что видимость ограничивается тремя-четырьмя метрами. После такой бури нередко

там, где зеленели всходы, расстилается пустыня. Песчаные бури не редкость на бескрайних просторах Сахары, величайшей пустыни мира. Обширные пустынные области, где также случаются песчаные бури, есть в Аравии, Иране, Средней Азии, Австралии, Южной Америке и других районах мира.

В результате пылевых бурь огромные массы песка и пыли вздымаются в тропосферу — наиболее «беспокойную» часть атмосферы, где постоянно дуют сильные ветры на разных высотах (верхняя граница тропосферы в экваториальной зоне находится на высоте примерно 15...18 км, а в средних широтах — 8...11 км). Они перемещают по Земле колоссальные массы песка, который может перетекать под действием ветра наподобие воды. Встречая небольшие препятствия на своем пути, он образует величественные холмы — **дюны** и **барханы**. Они имеют самую разнообразную форму и высоту. В Сахаре известны дюны, высота которых достигает 200...300 м. Эти гигантские волны песка на самом деле перемещаются на несколько сотен метров в год, медленно, но неуклонно наступая на оазисы, засыпая пальмовые рощи, колодцы, поселения.

2.3.8. Курумы

Курумы внешне представляют собой россыпи грубообломочного материала в виде каменных плащей и потоков на склонах гор, имеющих крутизну меньше угла естественного откоса грубообломочного материала (от 3 до 35...40°). Морфологических разновидностей курумов очень много, что связано с природой их образования. Общей же их особенностью является характер укладки грубообломочного материала — достаточно однородный размер обломков. Кроме того, в большинстве случаев поверхность обломков либо покрыта мхом или лишайником, либо просто имеет так называемую черную корку загара. Это свидетельствует о том, что поверхностный слой обломков не склонен к перемещениям в виде скатывания. Отсюда, по-видимому, и название «курумы», что в переводе с древнетюркского означает «баранье стадо»: скопление камней по внешнему виду напоминает стадо баранов. В литературе распространено множество синонимов этого термина — «каменный поток», «каменная река», «каменное море» и др.

Формирование курумов происходит в суровых климатических условиях, главным из которых является амплитуда колебаний температуры воздуха, способствующая выветриванию скальных пород. Еще одно условие — наличие на склонах скальных пород, устойчивых к дезинтеграции, но трещиноватых, дающих при выветривании крупные отдельности (глыбы, щебень). Кроме того, существенное влияние на формирование курумов оказывает обилие атмосферных осадков, которые формируют мощный поверхностный сток, промывающий грубообломочный чехол.

Важнейшей чертой курумов, предопределяющей их опасность, является их строение в разрезе. Именно оно обуславливает их геодинамические и инженерно-геологические особенности, т. е. опасность курумов при взаимодействии с различными инженерными объектами.

Строение курумов в разрезах многообразно и определяется размером обломков, характером их обработки и сортировкой в вертикальном разрезе, наличием гольцового льда или мелкозема, его соотношением с частью разреза, находящегося в многолетнемерзлом состоянии, и другими факторами. Однако при обобщении деталей строения выделено несколько основных типов разрезов, которые соответствуют определенным условиям курумообразования и отражают специфику процессов, происходящих в той или иной части грубообломочного материала.

В соответствии с сочетанием особенностей строения и механизмов движения элементы курумных склонов подразделены на четыре группы по степени опасности при инженерно-геологическом освоении:

- безопасные — создание дорог не приводит к отрицательным последствиям;
- сравнительно безопасные — все неблагоприятные последствия легко устраняются в процессе обычных работ дорожно-эксплуатационной службы;
- опасные — дороги, построенные на таких элементах курума, могут испытывать существенные просадки, размываться, заваливаться грубообломочным материалом, что временно нарушает возможность нормального движения транспорта;
- крайне опасные — участок дороги может быть полностью разрушен в результате катастрофических инженерно-геологических явлений, связанных с протаиванием или размывом ледогрунтового слоя в основании полотна дороги.

3. ОПАСНЫЕ ПРОЦЕССЫ В АТМОСФЕРЕ

3.1. АТМОСФЕРНЫЕ ВИХРИ

В порядке уменьшения энергии и размеров к опасным атмосферным вихрям относят циклоны, тайфуны, шквалы, смерчи (торнадо). Они зарождаются вокруг мощных восходящих потоков теплого влажного воздуха (циклоны и тайфуны — над океанами), быстро вращаются против часовой в Северном и по часовой стрелке в Южном полушариях, при этом смещаются вместе с окружающей воздушной массой. По пути, в благоприятных условиях подпитки влагой, они могут усиливаться, но раньше или позже теряют энергию и гаснут.

3.1.1. Циклоны и ураганы

Циклон — общее название вихрей с пониженным давлением в центре (рис. 19). Это вихревое движение вызывается сочетанием двух сил:

контрастом между низким давлением в центре или осью атмосферного давления и повышенным давлением вокруг него;

силой Кориолиса, которая представляет собой стремление любого движущегося тела на Земле или на ее поверхности отклоняться в сторону из-за вращения Земли.

В Северном полушарии отклонение, вызванное силой Кориолиса, идет вправо от направления движения, а в Южном — влево. Сочетание этих двух сил образует **циклоническую модель**.



Рис. 19. Циклон

Особенности систем низкого давления способствуют усилению разрушительных сил центра циклонов. На движущийся над земной поверхностью воздух оказывают влияние рельеф местности и встречающиеся на его пути предметы. Например, непосредственно на земной поверхности и близ нее существует сила трения, которая заставляет потоки воздуха завихряться внутрь к области низкого давления. Это создает циклонические формы. Они компенсируются воздушными потоками, поднимающимися вверх из центра области низкого давления. Эти восходящие потоки на высоте охлаждаются, что увеличивает влажность воздуха. Таким образом, в любом регионе низкого давления возникают облака и высокая влажность, являющиеся характерной чертой всех атмосферных вихрей.

Обычно циклоны делят на две основные категории — среднеширотные и тропические (тайфуны).

Среднеширотные циклоны могут формироваться как над сушей, так и над водой. Иногда их связывают с волнами или возмущениями вдоль полярных фронтов: они движутся с преобладающими ветрами с запада на восток. Для циклонов средних широт характерен диаметр порядка 1000 км (максимум — 4000 км), существуют они до трех-четырех недель, за которые проходят расстояния до 10 тыс. км, в том числе до 5...7 тыс. км над сушей со скоростью 30...40 км/ч (редко до 100 км/ч).

Тропические циклоны встречаются над теплыми тропическими океанами, в стадии формирования обычно движутся на запад с потоком пассатов, а после окончания формирования изгибаются к полюсам. Тропический циклон, достигший необычной силы, называется **ураганом**, если он рождается в Атлантическом океане или примыкающих к нему морях; **тайфуном** — если в Тихом океане или его морях; **циклоном** — если в регионе Индийского океана.

Тропические циклоны отличаются от среднеширотных меньшими размерами, меньшим давлением в центре, большим запасом влаги, более сильными ветрами. Скорость в 75 % тропических циклонов достигает штормовой, в 10...40 % — ураганной. Диаметр зоны с ураганскими скоростями ветра в атлантических тропических циклонах составляет 20...150 км, в тихоокеанских — 20...200 км, редко до 300 км; диаметр зоны штормовых ветров и ливней — 100...400 км, максимум до 600 км в атлантических, 200...900 км и до 1500 км в тихоокеанских циклонах.

В тайфуне диаметром 700 км ежесекундно выделяется энергия, эквивалентная взрыву пяти атомных бомб хиросимского типа, а за сутки — эквивалентная той, которую выработала бы Братская ГЭС за тысячелетие. Тропические циклоны смещаются со скоростью 400...700 км/сут, существуют 5—15 дней, максимум — до 5 недель, проходят за это время до 15...20 тыс. км, в том числе над сушей до 500 км, реже до 2000...2500 км, максимум — до 4000 км (от Мексиканского залива до берегов Канады). В Северной Америке и Евразии разрушительные ураганы могут проникать до 60°, а иногда и до 70° с. ш. Продолжительность штормовых и ураганских ветров над некоторой точкой побережья составляет от немногих часов до 4 сут.

Пути движения тропических циклонов с ураганным ветром определяются вращением Земли и местными условиями. Вращение Земли придает им вид параболы, всегда открытой на восток. Двигается циклон как единое целое, независимо от его системы ветров, при этом движение определяется движением центра циклона.

Проявлением циклонов являются также зимние метели. Крупные скопления снега, сопровождаемые сильным ветром, могут затруднить или парализовать движение автотранспорта.

Под **ураганом** понимают ветер большой разрушительной силы и значительной продолжительности. Это атмосферные вихри больших размеров со скоростью ветра до 120 км/ч, а в приземном слое — до 200 км/ч.

Возникновение ураганов связано с некоторой неустойчивостью атмосферы, обусловленной притоком теплого влажного воздуха, восходящее движение которого приводит к конденсации влаги в верхних слоях атмосферы и образованию центра урагана. Считается, что возникновение урагана связано с наличием области низкого давления, а его поддержание — с некоторым постоянным источником энергии, который представляет влажный воздух, поднимающийся над водной поверхностью. Выделяющееся при конденсации воды тепло питает ураганы энергией.

Разрушительное действие ураганов определяется в основном энергией скорости ветра, т. е. скоростным напором g , пропорциональным произведению плотности атмосферного воздуха ρ на квадрат скорости v^2 воздушного потока:

$$g = 0,5\rho v^2.$$

Разрушительная способность ураганов выражается в условных баллах и зависит от скорости ветра (табл. 12)

Т а б л и ц а 12

Зависимость степени опасности атмосферных вихрей от скорости ветра

Баллы	Скорость ветра, м/с	Степень разрушений
0	18...32	Слабая
1	33...49	Умеренная
2	50...69	Значительная
3	70...92	Сильная
4	98...116	Опустошительная

Наивысшая зарегистрированная скорость ветра в урагане — более 80 м/с (280 км/ч), а вычисленная по величине разрушений — до 110 м/с (400 км/ч). Наивысшая измеренная скорость ветра в смерче — 115 м/с (420 км/ч), а рассчитанная по разрушениям — более 300 м/с (1000 км/ч). Для достижения столь высоких скоростей ветра необходимы особые местные условия (например, для ураганов — прохождение над возвышенностями).

3.2.1. Шквальные бури и смерчи (торнадо)

Шквальные бури и смерчи (торнадо) — это вихри, возникающие в теплое время года на мощных атмосферных фронтах, но иногда и при особо интенсивной местной циркуляции.

Шквал — это горизонтальный вихрь под краем наступающей полосы мощных кучево-дождевых облаков. Ширина шквала отвечает ширине атмосферного фронта и достигает сотен километров. Скорость движения воздуха в вихре складывается со скоростью движения фронта и местами достигает ураганной (до 60...80 м/с). Так образуются шквальные бури или штормы. Их ширина — несколько километров, редко до 50 км, длина пути — 20...200 км, редко до 700 км, длительность в каждой точке пути — от нескольких до 30 мин. Они сопровождаются мощными ливнями и грозами.

Смерч — это восходящий вихрь, состоящий из чрезвычайно быстро вращающегося воздуха, а также частиц влаги, песка, пыли и других взвесей. По форме он представляет собой воронку, свисающую из кучево-дождевого облака.

Смерчи, называемые в Северной Америке **торнадо**, — это мощные сконцентрированные вихри с вертикальной осью вращения, порождаемые грозовыми облаками высотой до 12...15 км. Процесс образования смерча протекает иногда лишь за 20...30 мин и начинается с появления восходящей струи теплого влажного воздуха, порождающей особо крупное и высокое грозовое облако. Из него начинается выпадение дождя и града в кольце вокруг восходящей струи. В определенный момент завеса дождя закручивается в спираль в форме цилиндра или конуса, касающегося земли.

В полном развитии смерч достигает земли и движется по ней, принося большие разрушения. Это наименьшая по размерам и наибольшая по скорости вращения форма вихревого движения воздуха. Цилиндр (конус) стремится расшириться вследствие центробежной силы, что создает пониженное давление в трубке. Для поддержания смерча необходимо продолжение подачи влажного воздуха вверх (что облегчается пониженным давлением в трубке) и определенная плотность вращающейся стенки дождя и града.

Основная составляющая смерча — его воронка, которая представляет собой спиральный вихрь. По сути, это мелкомасштабный ураган. Внутренняя полость воронки, составляющая в поперечнике от нескольких метров до сотен метров, обладает резко пониженным давлением. В стенках смерча движение воздуха направлено по спирали вверх и достигает скорости 200 м/с, именно здесь происходит подъем и перенос различных предметов и материалов. Ширина стенок смерча также колеблется от нескольких метров (у плотных смерчей) до сотен метров (у расплывчатых). У очень тонких смерчей ширина всей воронки не превышает 3 м, а ширина стенок измеряется десятками сантиметров.

В горизонтальном сечении смерч представляет ядро, окруженное вихрем, причем имеются точки всасывания, которые движутся вокруг ядра и способны приподнимать железнодорожные вагоны массой до 13 т. Этот эффект соответствует скорости ветра порядка 100 м/с. В пределах смерча имеются

также сильные нисходящие потоки, способные вдавливать в грунт отдельные доски на глубину до 45 см. Средняя скорость движения центра смерча относительно земли составляет 27 м/с.

Опасность смерча обусловлена огромной скоростью вращения его стенок и перепадом давления от нормального с внешней стороны трубки до половины нормального внутри нее, на расстоянии в несколько метров, которыми измеряется толщина стенки. Удар вращающейся стенки (давление достигает десятков тонн на 1 м²) способен разрушить капитальное строение. Восходящий поток воздуха (со скоростью до 70...90 м/с) способен поднять и перенести на значительные расстояния людей, животных, автомашины; «бомбардировка» поднятыми смерчем предметами опасна для прочных крыш. Перепад давления вызывает «взрывы» зданий, к которым прикасается смерч. Кроме того, большая разность давления между периферией и внутренней частью воронки в связи с возникновением огромной центробежной силы вызывает эффект мощного всасывания всего, что находится на пути смерча.

Смерчи могут отсасывать водоемы (например, пруды-охладители при АЭС). Зафиксирован случай, когда смерч, пересекавший р. Рейн, создал на несколько мгновений в речной воде траншею глубиной до дна (до 7 м), шириной 80 м и длиной 600 м, захватив из реки не менее 300 тыс. т воды.

В практических целях используется классификация интенсивности смерчей Фудзиты — Пирсона, сходная с шкалой Бофорта (табл. 13).

Т а б л и ц а 13

Шкала Фудзиты — Пирсона

Класс	Максимальная скорость ветра, м/с	Длина пути, км	Ширина пути, м	Характер разрушений
0	18...32	До 16	До 160	Соответствуют 8—10 баллам по шкале Бофорта
1	33...49			Соответствуют 10—12,2 баллам по шкале Бофорта
2	50...69			Соответствуют 12,2—12,5 баллам по шкале Бофорта
3	70...92	16...51	160...510	Серьезные: некоторые здания разрушены полностью, перевернуты автомобили и железнодорожные поезда, большинство деревьев вырвано с корнем
4	93...116	51...160	510...1600	Опустошительные: от домов остались груды обломков, сильно разрушены стальные конструкции, автомобили и поезда отброшены в сторону, с деревьев сорвана кора, в воздухе летают крупные предметы
5	117...142	161...507	1600...5070	Потрясающие: сильно повреждены железобетонные конструкции, в воздухе летают предметы размером с автомобиль
6	Более 142	Более 507	Более 5070	Невообразимые, в том числе вторичные — от падающих тяжелых предметов

3.2. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ОСАДКИ И СНЕЖНО-ЛЕДНИКОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Экстремальное количество и продолжительность выпадения осадков представляют опасность для людей и различных объектов и являются причиной других опасных чрезвычайных ситуаций.

Интенсивные ливни приводят к наводнениям, селям и оползням в горах, вызывают эрозию почвы. Несвоевременные и затяжные дожди вредоносны для урожая.

Фронтальные ливневые дожди длятся от нескольких часов до 4 сут, с перерывами до двух-трех недель, охватывают территории площадью до сотен тысяч квадратных километров. При тропических циклонах интенсивность ливней превышает 150 мм/сут, достигая 500...800 мм/сут. Чаще всего ливень длится 5...10 ч. За 10...20 ч может выпасть годовая норма осадков. В районах, где эта норма особенно велика (например, на Филиппинах она составляет 2000...3000 мм), интенсивные ливни могут превысить ее в течение 60...70 ч. Наибольшая часовая интенсивность может быть близка к суточной, хотя чаще составляет 1/3—1/4 от суточной.

Экстремально малое количество осадков влечет засуху, опасность лесных пожаров, обмеление рек и, как следствие, трудности для судоходства, водоснабжения и т. д.

Интенсивные снегопады парализуют движение транспорта, вызывают повреждения деревьев, ЛЭП и зданий под снеговой нагрузкой, сход снежных лавин в горах. При выпадении в обычно бесснежных районах или в теплое время года они наносят ущерб сельскому хозяйству.

В результате снегопадов на поверхности земли образуется *снежный покров* — временный или устойчивый. Устойчивый снежный покров распространяется в районах со средней температурой самого холодного месяца 0 °С и ниже, неустойчивый снежный покров и редкие снегопады возможны при средней температуре этого месяца +10...12 °С. Названным условиям отвечают почти две трети площади суши, причем приблизительно на одной четверти снежный покров держится не менее четырех месяцев в году. Области с многолетней мерзлотой, подземными льдами и наледями занимают около 1/7 суши, акватории с морскими льдами и айсбергами — 1/4 поверхности морей и океанов.

Из-за снеговых нагрузок могут ломаться крыши домов, деревья, особенно в районах, где снегопады редки и сильны (юг США, Турция и другие страны Средиземноморья). Средние многолетние из максимальных за зиму снеговых нагрузок могут превышать 250 кг/м², нагрузки от разовых снегопадов — 100 кг/м². Экстремальные величины этих показателей в районах вблизи внешней границы области устойчивого снежного покрова превышают норму вдвое. Здесь редкие интенсивные снегопады способны вызвать чрезвычайные ситуации комплексного характера (снеговые нагрузки, паводки снеготаяния, в горах — лавины, активизация оползней и т. п.). Такие снегопады случаются раз в несколько лет или десятилетий, длятся до 2...4 сут, охватывают площадь в сотни и тысячи квадратных километров.

Снежные и ледяные корки образуются при налипании снега и намерзании капель воды на различные поверхности. Налипание мокрого снега, опасное для линий связи и электропередачи, происходит при снегопадах и температуре воздуха $+1\dots-3$ °С и ветре $10\dots20$ м/с. Диаметр отложений снега на проводах достигает 20 см, вес — $2\dots4$ кг на 1 м. Провода рвутся не столько под тяжестью снега, сколько от ветровой нагрузки.

Во время метели (вьюги) происходит перенос снега сильным ветром над поверхностью земли. Количество переносимого снега определяется скоростью ветра, а участки аккумуляции снега — его направлением. В процессе метельного переноса снег движется параллельно поверхности земли, при этом его основная масса переносится в слое высотой менее 1,5 м. Рыхлый снег поднимается и переносится ветром при скорости $3\dots5$ м/с и более (на высоте 0,2 м). Различают низовые (при отсутствии снегопада), верховые (при ветре лишь в свободной атмосфере) и общие метели, а также метели насыщенные, т. е. переносящие предельно возможное при данной скорости ветра количество снега, и ненасыщенные. Последние наблюдаются при нехватке снега или при большой прочности снежного покрова. Твердый расход насыщенной низовой метели пропорционален третьей степени скорости ветра, а верховой метели — первой. При скорости ветра до 20 м/с метели относятся к слабым и обычным, при скорости $20\dots30$ м/с — к сильным, при скорости более 30 м/с — к очень сильным и сверхсильным (фактически это уже штормы и ураганы). Слабые и обычные метели длятся до нескольких суток, более сильные — до нескольких часов.

3.3. ГРОЗЫ И ГРАДОБИТИЯ

Гроза — это атмосферное явление, при котором в мощных кучево-дождевых облаках и между ними и землей возникают сильные электрические разряды — молнии, сопровождаемые громом. При грозе выпадают интенсивные ливневые осадки, приводящие к наводнениям, нередко град, наблюдается сильный ветер, часто шквалистый.

Внутримассовые грозы возникают при конвекции над сушей преимущественно в послеполуденные часы, а над морем — в ночные.

Фронтальные грозы наблюдаются на атмосферных фронтах, т. е. на границах между теплыми и холодными воздушными массами.

Грозы возникают в мощных кучевых облаках с вершинами на высотах $7\dots15$ км, где наблюдаются температуры ниже $-15\dots20$ °С, и состоят из смеси переохлажденных капель и кристаллов. Потенциальная энергия грозового облака превышает $10^{13}\dots10^{14}$ Дж, т. е. равна энергии взрыва термоядерной мегатонной бомбы. Электрические заряды грозового облака падающей молнии составляют $10\dots100$ Кл и разнесены на расстояния до 10 км, а электрические токи достигают до 100 А. Напряженность электрического поля внутри грозового облака равна $(1\dots3)10^5$ Вт, а эффективная электропроводность в 100 раз меньше, чем в окружающей атмосфере. Средняя продолжитель-

ность одного грозового цикла составляет 30 мин, но иногда перед холодным фронтом образуется целый ряд мощных гроз, длящихся часами и сопровождаемых смерчами и шквалами.

Последствия от удара молнии зависят от разряда между слоями атмосферы и землей. При этом может пострадать электротехническое оборудование. На равнинной местности грозовой процесс, как правило, включает образование молний, направленных от облака к земле. Предельное напряжение пробоя, вызывающее образование ионизированного канала, составляет около $3 \cdot 10^6$ В/м. Лавинный заряд — ступенчатый лидер — движется вниз ступеньками по 50...100 м, пока не достигает земли. Когда до земной поверхности остается примерно 100 м, молния «нацеливается» на какой-либо возвышающийся предмет. Разряды могут достигать 80 Кл и иметь силу тока от нескольких единиц до 200 кА. Обычно сила тока быстро нарастает за первые 10...20 мс, а в следующие 200...300 мс происходит ее снижение до 20 % от амплитудной величины. Ступенчатый лидер переносит вниз отрицательный заряд, однако иногда может переносить и положительный, при этом время нарастания, а затем уменьшения тока более продолжительно; максимальное значение заряда достигает 200 Кл, тока — 218 кА.

Вспышки невидимых и неслышимых молний при отдаленной грозе, освещающих изнутри облака, называются **зарницами**.

Особый вид молнии — шаровая. **Шаровая молния** — это своеобразное электрическое явление, природа которого еще не выявлена. Она имеет форму светящегося шара диаметром 20...30 см, движется по неправильной траектории и обладает большой удельной энергией. Длительность ее существования — от нескольких секунд до минут, а ее исчезновение может сопровождаться взрывом, вызывающим разрушения и человеческие жертвы, или происходить беззвучно.

Удары молнии обладают термическими и электродинамическими воздействиями, поэтому приводят к опасным последствиям, связанным, прежде всего, с действием электромагнитного и светового излучения. Наибольшие разрушения вызывают удары молнии в наземные объекты при отсутствии токопроводящих путей между местом удара и землей. От электрического пробоя в материале образуются узкие каналы, в которые устремляется ток молнии. Из-за очень высокой температуры часть материала интенсивно испаряется со взрывом. Это приводит к разрыву или расщеплению объекта, пораженного молнией, и воспламенению горючих элементов.

При грозах серьезный ущерб могут нанести интенсивные градобития.

Град — это атмосферные осадки в виде шариков льда и смеси льда и снега, выпадающие во время прохождения холодного фронта или во время грозы. Небольшие градины представляют собой простые структуры, образующиеся, когда поверхность снежных комочков тает и основа замерзает или же покрывается водяными капельками, которые затем замерзают. Таким образом, у градин твердое внешнее покрытие и мягкая сердцевина. Крупные градины диаметром 1,2...12,5 см представляют собой более сложные структуры. Обычно они состоят из чередующихся слоев твердого и мягкого льда.

Как правило, град выпадает из мощных кучево-дождевых облаков при грозе и ливне. Частота выпадения града различна: в умеренных широтах он случается 10...15 раз в год, у экватора на суше, где более мощные восходящие потоки, — 80...160 раз в год.

Выпадение града приводит к серьезным разрушениям, а в некоторых случаях — к человеческим жертвам. Опасность интенсивных градобитий определяется диаметром (массой) градин и размерами поражаемой площади — так называемых **градовых дорожек**. Диаметр градин увеличивается вместе со скоростью и высотой поднятия грозных облаков.

3.4. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА

Экстремальные температуры воздуха устанавливаются при необычайно продолжительном сохранении ясной антициклонической погоды, а в поясе умеренного климата и в субтропиках также при вторжении масс холодного воздуха из более высоких широт. Все эти события отражают те или иные отклонения интенсивности атмосферной циркуляции от нормы. В их повторяемости проявляется 11-летняя и иная климатическая ритмичность.

Экстремальная жара в любом климатическом поясе устанавливается при летнем антициклоне, необычном по местоположению или продолжительности. Она ведет к иссушению, росту пожароопасности в лесах, степях, на торфяниках, к обмелению судоходных рек на территориях протяженностью более сотни километров и на период от одной до нескольких недель.

Экстремальные морозы в умеренном поясе также устанавливаются при антициклонической погоде, причем температура на возвышенных и котловинных участках может различаться. Морозы парализуют жизнь городов, губительно воздействуют на посевы, увеличивают вероятность технических аварий (при температуре ниже -30°C увеличивается ломкость деталей машин). В мире среднегодовой ущерб морозов и снегопадов занимает пятое место после ущерба от ураганов, наводнений, землетрясений и засух.

4. ОПАСНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

4.1. НАВОДНЕНИЯ

Под **наводнением** понимают значительное затопление местности водой в результате подъема ее уровня в реке, озере, водохранилище или море и их разлива выше обычного горизонта, которое причиняет материальный ущерб, наносит урон здоровью населения, приводит к гибели людей (рис. 20).



Рис. 20. Наводнение

Причинами наводнений являются:

половодье и паводки, т. е. подъем уровня воды весной от таяния снегов и осенью вследствие ливневых дождей;

скопление льда при ледоходах, уменьшающих площадь сечения реки;

интенсивное таяние снежного покрова и ледников, расположенных высоко в горах;

ветра, дующие с моря (нагонные наводнения).

Кроме того, затопления могут возникать в результате образования завалов или перемычек на реках во время землетрясений, горных обвалов или схода селевых потоков, при воздействии гравитационных волн подводного землетрясения, а также при прорыве плотин.

Наводнение, характерное для равнинных рек, называют половодьем. **Половодье** — это ежегодно повторяющийся в один и тот же сезон значительный и довольно длительный подъем уровня воды в реке.

Наводнение, характерное для рек с максимальным стоком, обусловленным выпадением интенсивных дождей, называют паводками. Иными словами, **паводок** — это интенсивный, сравнительно кратковременный подъем уровня воды.

Под **уровнем воды** понимается высота ее поверхности в водоеме над условной горизонтальной плоскостью сравнения, называемой **нулем поста**. Высоту этой плоскости отсчитывают от уровня моря. В устьевых участках рек, впадающих в моря, уровень воды измеряется над **ординаром** — средним многолетним уровнем в данном пункте. Сумма двух величин — уровня воды на посту и отметки нуля поста — представляет собой **абсолютную отметку уровня** — превышение поверхности воды в реке над поверхностью моря.

Расходом воды называется количество воды, м³, протекающей через замыкающий створ реки за 1 с. Графическая зависимость между расходом и уровнем воды называется **кривой расходов**, а график изменения расхода воды во времени — **гидрографом стока**.

Наводнения также могут возникать вследствие заторов и зажоров, происходящих на реках.

Затор — загромождение русла реки льдом во время ледохода. Затопы случаются только на реках, текущих с юга на север, так как южные участки реки освобождаются ото льда раньше, чем северные, и начавшийся ледоход встречает на своем пути препятствие в виде ледостава.

Зажор — скопление внутриводного льда, образующего ледяную пробку и вызывающего дополнительный подъем уровня воды. В отличие от затора зазор состоит из скопления рыхлого ледового материала — комьев шуги, частиц внутриводного льда, обломков заберегов, небольших льдин.

Ливневые наводнения являются наиболее распространенным типом наводнений. Они возникают в результате обильных осадков и возможны повсеместно (даже в пустынях), кроме Арктики и Антарктики, но наиболее часты и сильны в районах с муссонным климатом, между 40° с. ш. и 40° ю. ш. Ливневые наводнения изменяются по характеру в зависимости от конкретных условий погоды и стока. Особенно резкое (до стократного) увеличение максимальных расходов относительно среднегодовых происходит в аридных районах (поскольку среднегодовые расходы малы) и районах с малой водопоглощающей способностью грунтов, в горах с большой долей скальных поверхностей, областях распространения многолетней мерзлоты. Особо быстрое повышение расходов создается при относительно кратких грозных ливнях, когда месячная норма осадков выпадает за немногие часы. Но они охватывают относительно небольшие водосборы (площадью до 1000 км²) и опасны в основном для городов.

Завальные и прорывные наводнения менее регулярны, чем ливневые наводнения. Они случаются в горных районах и связаны с оползнями и обвалами (преимущественно сейсмогенными), а также и подвижками ледников.

Нагонные наводнения вызываются действием штормовых и ураганных ветров, поэтому для них время упреждения исчисляется с момента получения (объявления) штормового предупреждения, т. е. от нескольких часов до суток.

При наводнениях, вызываемых подводными землетрясениями (реже извержениями подводных или островных вулканов), возникают гигантские волны — цунами. Скорость их распространения 400...800 км/ч. С приближением к берегу крутизна переднего фронта цунами может достигать 15...30 м.

Помимо различных быстропротекающих наводнений, сопровождающихся высокими уровнями воды, к опасным гидрологическим явлениям относятся также медленные изменения уровня океана и бессточных озер. Уровень Мирового океана в последние 100 лет поднимается со скоростью 0,5...2,5 мм/год (в отдельные десятилетия — до 5,5 мм/год) вследствие повышения температуры (объемного расширения) воды и сокращения водозапаса на суше в ледниках. В итоге в разных районах уровень моря изменился в среднем в пределах 20...30 см. Это изменение не слишком ощутимо человеком, за исключением таких случаев, как постепенное затопление Венеции.

В каждом районе возможны разные типы наводнений, причем сильные и катастрофические возникают обычно при совпадении двух и более факторов (например, снеготаяние плюс ливни, ливни плюс прорыв плотин и т. п.). Это позволило разработать классификацию наводнений с учетом масштабов их распространения и повторяемости (табл. 14).

Т а б л и ц а 14

Классификация наводнений в зависимости от их масштабов

Класс	Масштабы	Повторяемость (годы)
Низкие (малые)	Наносят незначительный ущерб, охватывая небольшие прибрежные территории и почти не нарушая ритм жизни населения. Затопляется менее 10 % сельскохозяйственных угодий, расположенных в низких местах	5...10
Высокие	Наносят ощутимый материальный и моральный ущерб, охватывают большие земельные участки речных долин, затапливают 10...15 % сельскохозяйственных угодий. Существенно нарушают хозяйственный и бытовой уклад жизни населения. Приводят к частичной эвакуации людей	20...25
Выдающиеся (сильные)	Наносят большой материальный ущерб, охватывая речные бассейны. Затапливают 50...70 % сельскохозяйственных угодий и некоторые населенные пункты. Парализуют хозяйственную деятельность и резко нарушают бытовой уклад жизни населения. Приводят к необходимости массовой эвакуации населения и материальных ценностей из зоны затопления и защиты важных хозяйственных объектов	50...100

Класс	Масштабы	Повторяемость (годы)
Катастрофические	Наносят огромный материальный ущерб и приводят к гибели людей, охватывая громадные территории в пределах одной или нескольких речных систем. Затопливают 70 % сельскохозяйственных угодий, множество населенных пунктов, промышленных предприятий и инженерных коммуникаций. Полностью парализуют хозяйственную и производственную деятельность, временно изменяют жизненный уклад населения	100...200

4.2. ЦУНАМИ

Одним из наиболее опасных морских гидрологических явлений природного происхождения является цунами, что в переводе с японского языка, означает «высокая волна в заливе» (рис. 21).



Рис. 21. Цунами

Цунами — это длинные морские волны, которые возникают в результате подводных землетрясений, а также вулканических извержений или оползней на морском дне. Кроме того, цунами возможны при обрушении берегов.

Источник цунами — это место на дне океана, где произошло подводное землетрясение, оползень или извержение вулкана.

Для образования цунами необходимо вертикальное смещение морского дна, хотя выявлено и множество случаев возникновения цунами при эпицентре толчка на суше. Как правило, цунами возникает при подводных землетрясениях с магнитудой более 7 баллов. Энергия цунами обычно составляет 1...10 % энергии вызвавших их землетрясений.

В настоящее время считается, что цунами образуется во время резкого вертикального движения горных пород вдоль разлома при сильном землетрясении, как показано на рис. 22.

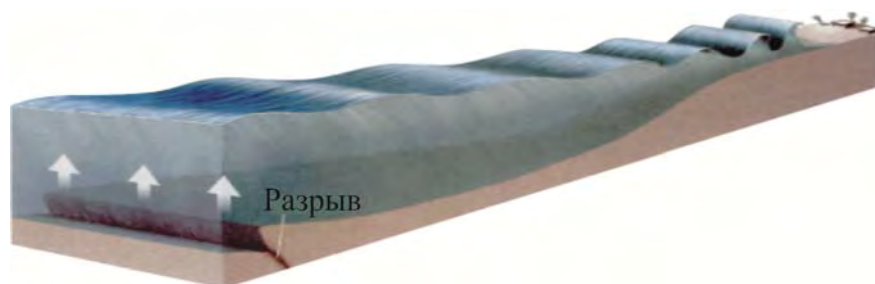


Рис. 22. Образование цунами при вертикальном движении океанического дна

Во время подводных землетрясений механизм генерации цунами следующий. Когда начинается землетрясение, имеет место значительное перемещение океанической коры, также может произойти резкое повышение или понижение дна океана. Если это происходит, поверхность моря над зоной деформации океанического дна подвергается аналогичной деформации, но если деформация океанического дна постоянна, то деформация поверхности таковой не является.

Образовавшись в каком-либо месте, цунами может пройти несколько тысяч километров, почти не уменьшаясь. Высота волн цунами — от нескольких сантиметров до нескольких метров. Однако, достигнув мелководья, волна резко замедляется, ее фронт вздымается и обрушивается с огромной силой на сушу. Над отмелями волна тормозится до скорости порой лишь 50 км/ч, ее высота увеличивается до 10...20 м, фронт разворачивается параллельно берегу.

Высота крупных цунами у побережья составляет 5...20 м, а иногда и 40 м, вулканогенных — до 100 м. В узких заливах происходит дальнейший рост волны. Волна цунами может быть не единственной: очень часто это серия волн с интервалом в 1 ч и более. Самая высокая волна называется главной.

Основными характеристиками цунами являются магнитуда, интенсивность на конкретном побережье и скорость движения.

За *магнитуду цунами* принят натуральный логарифм амплитуды колебаний уровня воды, м, измеренный стандартным мореграфом у береговой линии на расстоянии 3...10 км от источника цунами.

Интенсивность цунами приближенно равна натуральному логарифму от высоты, м, подъема воды при цунами на конкретном участке побережья. Она характеризует энергию, выделившуюся в конкретной точке, которая находится на любом расстоянии от источника.

Скорость движения цунами определяет время добегания волны от источника до любого побережья и в зависимости от глубины моря может быть равной 100...1000 км/ч.

Для характеристики опасности цунами принимается шкала интенсивности К. Ииды и А. Имамуры (табл. 15).

Шкала интенсивности цунами К. Инды и А. Имапуры

Балл	Характеристика	Высота волны, м	Последствия	Повторяемость в мире
0	Слабое	До 1	—	Несколько раз в год
1	Умеренное	До 2	Заметное затопление плоских берегов	Два раза в год
2	Сильное	2...4, тах — до 6	В прибрежной полосе длиной в десятки км частичное разрушение легких и повреждение прочных зданий, повреждение набережных. Легкие суда выбрасываются на берег или уносятся в море. Побережье покрывается плавучими обломками. Значительное число жертв	Один раз в год
3	Очень сильное	4...8, тах — до 10...20	В прибрежной полосе длиной до 400 км полное разрушение легких и значительное повреждение прочных зданий, сильный смыв почв с полей. Повреждение всех судов, кроме самых больших. Много жертв	Один раз в два года
4	Разрушительное	8...16, тах — до 30	В прибрежной полосе длиной 500 км сильное повреждение или разрушение всех построек, уничтожение садов. Сильное повреждение крупнейших судов. Много жертв	Один раз в десять лет

5. ПРИРОДНЫЕ ПОЖАРЫ

Природный пожар — это неконтролируемый процесс горения, стихийно возникающий и распространяющийся в природной среде. Основными видами природных пожаров являются лесные, торфяные и степные.

Лесной пожар — это неконтролируемое горение растительности, стихийно распространившееся на лесную площадь, окруженную негорящей территорией (рис. 23). В лесную площадь, по которой распространяется пожар, входят открытые лесные пространства (вырубки, гари и др.). Именно лесные пожары представляют наибольшую опасность для людей и сельскохозяйственных животных.



Рис. 23. Лесной пожар

Под **чрезвычайной лесопожарной ситуацией** понимается обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате возникновения источника природной чрезвычайной ситуации — лесного пожара (лесных пожаров), который может повлечь или повлечет за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей и/или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Территория, в пределах которой в результате стихийных бедствий, аварий или катастроф, неосторожных действий людей возник и распространился пожар, называется **зоной пожара**. Пространство, примыкающее к зоне горения и заполненное дымом, называется **зоной задымления**.

Кромкой пожара называют непрерывно продвигающуюся по горючему материалу полосу горения, на которой основной горючий материал сгорает с максимальной интенсивностью и образует вал огня.

Фронт пожара — наиболее быстро распространяющаяся в направлении ветра огневая кромка. Кромка огня,двигающаяся против ветра, называется **тылом пожара**, а перпендикулярно ветру — **флангами пожара**.

Горение — физико-химический процесс с выделением тепла, света. Для возникновения горения необходимо наличие: горючего материала, окислителя и источника зажигания. Лесными горючими материалами являются растения, их морфологические части и растительные остатки разной степени разложения.

К основным причинам возникновения лесных пожаров можно отнести: деятельность человека, грозовые разряды, самовозгорания торфяной крошки и сельскохозяйственные палы в условиях жаркой погоды или в пожароопасный сезон, т. е. период с момента таяния снегового покрова в лесу до появления полного зеленого покрова или наступления устойчивой дождливой осенней погоды.

Экономический ущерб народному хозяйству от лесных пожаров делится на прямой и косвенный. Прямой ущерб складывается из потерь древесины, а косвенный проявляется в потерях сельскохозяйственных угодий, нарушении коммуникаций и т. п.

Все лесные пожары представляют чрезвычайную опасность, поскольку к началу их локализации они успевают охватить большие площади, и средств борьбы с ними не хватает. При этом возникает угроза уничтожения огнем населенных пунктов и объектов народного хозяйства, расположенных в лесных массивах, а также сильного задымления и загазованности населенных пунктов, удаленных от лесных массивов.

Зона отдельных пожаров — это район, на территории которого пожары возникают на отдельных участках и в отдельных зонах. Такие пожары рас-средоточены по району, поэтому есть возможность быстрой организации их массового тушения с привлечением имеющихся сил и средств.

Зона массовых и сплошных пожаров — это территория, где возникло так много возгораний и пожаров, что невозможно нахождение в ней соответствующих подразделений (формирований) без проведения мероприятий по локализации или тушению, а ведение спасательных работ практически исключено. Такие зоны возникают при сплошной застройке лесного массива, большого количества горючих материалов и др.

Особая форма сплошного пожара — **огненный шторм**, характеризующийся наличием возможных потоков, возникших в результате горения большого количества материалов и образовавших конвекционный поток (столб), к которому устремляются воздушные массы со скоростью более 15 м/с.

Образование огненного шторма возможно при следующих условиях:
наличии застройки или растекании горючих жидкостей на площади не менее 100 га;

относительной влажности воздуха менее 30 %;

наличии определенного количества сгораемых материалов на соответствующей площади (в пересчете на древесину 200 кг/м² на площади 1 км²).

Зона пожаров и тления в завалах характеризуется сильным задымлением и продолжительным (свыше 2 сут) горением в завалах. Работа соответствующих пожарных подразделений ограничивается в связи с той опасностью для жизни людей, которую представляет тепловая радиация и выделение токсичных продуктов сгорания.

Опасным задымлением на открытой местности считается такое, при котором видимость не превышает 10 м. Концентрация оксида углерода в воздухе около 0,2 % вызывает смертельные отравления в течение 30...60 мин, а 0,5...0,7 % — в течение нескольких минут.

Причиной гибели людей может стать общее повышение температуры задымленной среды. Вдыхание продуктов сгорания, нагретых до 60 °С, даже при 0,1%-м содержании оксида углерода в воздухе, как правило, приводит к смертельным исходам.

В зависимости от характера возгорания и того, в каких элементах леса распространяется огонь, пожары подразделяются на низовые, верховые и подземные (почвенные).

Слабым почвенным (подземным) является пожар, у которого глубина прогорания не превышает 25 см, средним — 25...50 см, сильным — более 50 см.

Особенности крупных лесных пожаров:

возникают во время засушливых периодов, чаще всего при сильном ветре;

проходят на фоне массовой вспышки малых и средних пожаров;

продолжаются несколько суток;

распространяются с высокой скоростью;

характер горения на кромке отличается большим разнообразием;

легко преодолевают различные преграды и препятствия (минерализованные полосы, дороги, реки);

вызывают сильную задымленность обширных районов, затрудняющую действия авиационных и наземных сил тушения.

Низовые лесные пожары развиваются при сгорании хвойного подлеска, мертвого (опавшая хвоя, листья, кора, а также валежник, пни) и живого надпочвенного покрова (мхи, лишайники, трава, кустарники). Фронт низового пожара продвигается при сильном ветре со скоростью до 1 км/ч, высота пламени достигает 1,5...2 м.

Низовые лесные пожары могут быть беглыми и устойчивыми.

Беглые низовые пожары характеризуются горением лесной подстилки, порубочных остатков, растительного покрова, коры нижней части деревьев, обнаженных корней, кустарника и подроста. В зависимости от силы ветра их скорость колеблется от нескольких сотен метров до 1,5 км/ч; высота пламени

зависит от характера горючих материалов и достигает 0,1...2,0 м; основное горение — пламенное.

Устойчивые низовые пожары распространяются медленно. Они отличаются полным сгоранием живого и мертвого надпочвенного покрова; горение — беспламенное. При таких пожарах горит не только почвенный покров, лесной хлам, подлесок и подрост, но и деревья с низко опущенными сучьями. Надпочвенный покров сгорает полностью; участков, не тронутых огнем, внутри пожара не остается. Более глубоко и сильно обгорают кора и обнаженные корни деревьев.

Верховые лесные пожары имеют место при сгорании надпочвенного покрова и полосы древостоя. Они возникают из низовых как дальнейшая стадия их развития, причем низовой огонь — составная часть верхового пожара. Как и низовые, они имеют ярко выраженную кромку, которая в тыловой части представляет собой низовой огонь, а при ветре еще и тыл, фланги и фронт, продвигающийся в виде верхового огня.

Скорость распространения верховых лесных пожаров достигает 25 км/ч. Обычно они развиваются из низовых пожаров в густых хвойных лесах, когда засуха сочетается с ветром. Верховые пожары, как и низовые, также могут быть беглыми и устойчивыми.

Устойчивые верховые пожары возникают, когда огонь движется сплошной стеной от надпочвенного покрова до крон деревьев со скоростью до 8 км/ч, при этом кроны деревьев сгорают по мере продвижения кромки низового пожара. При таких пожарах образуется большая масса искр и воспламененного материала, летящая перед фронтом огня. Огонь, если нет ветра, распространяется в толще горючего материала (торфа), который частично или полностью сгорает до минерального слоя; деревья тоже могут сгорать полностью или частично, травяной покров иногда сохраняется и может желтеть.

Беглые верховые пожары характеризуются отрывом горения по пологу от кромки низового пожара, при этом огонь распространяется со скоростью до 25 км/ч. При верховом беглом пожаре в условиях сильного ветра горят кроны деревьев хвойных пород; огонь распространяется скачками, с огромной скоростью, образуя длинные, вытянутые вперед языки пламени; скорость распространения беглого пожара по ветру достигает 8...25 км/ч. Распространение горения может опережать продвижение кромки низового пожара. Это происходит за счет переноса ветром горящих искр и головней и образования новых очагов горения впереди фронта пожара.

Подземные (почвенные) лесные пожары также являются дальнейшей стадией развития низового пожара. Они возникают на участках с мощным слоем подстилки (более 20 см) или с торфяными почвами. Огонь переходит в почву обычно у стволов деревьев. Горение происходит медленно, беспламенно. При сгорании корней деревья беспорядочно падают, образуя завалы. Глубина прогорания при сильном подземном пожаре составляет более 0,5 м, среднем — до 0,5 м и слабом — до 0,25 м.

Степень пожарной опасности участков леса определяется на основе табл. 16.

Т а б л и ц а 16

Шкала оценки лесных участков по степени опасности возникновения пожаров

Класс пожарной опасности	Объект возгорания (тип леса, категория насаждений)	Наиболее вероятный вид пожара, условия и продолжительность периода его возможного возникновения	Степень пожарной опасности
5	Хвойные молодняки. Сосняки. Захламленные вырубки	Низовые пожары в течение всего пожароопасного сезона, верховые — на участках с наличием древостоя	Высокая
4	Сосняки с наличием соснового подроста или подлеска	Низовые пожары возможны в течение пожароопасного периода. Верховые в периоды пожарных максимумов	Выше средней
3	Сосняки-черничники	Низовые и верховые пожары — в период летнего пожарного максимума, пожары в кедровниках — в периоды весеннего и осеннего максимумов	Средняя
2	Сосняки и ельники, смешанные с лиственными породами	В период пожарных максимумов	Ниже средней
1	Ельники, березняки, осинники, ольховники	Только при особо неблагоприятных условиях	Низкая

Торфяной пожар — это неконтролируемый процесс дымного горения торфа в местах его образования, добычи и хранения. **Торф** — молодое геологическое образование, зарождающееся в результате отмирания болотной растительности при избыточном количестве влаги и недостаточном доступе воздуха. Скопление торфа на определенной площади в виде однородных или различных по характеру и мощности слоев называется **торфяной залежью**.

Под воздействием температуры, влажности и других причин торф постепенно разлагается. Чем выше степень его разложения, тем больше он подвержен возгоранию. Возгорание торфа возможно в течение всего года, но чаще всего это происходит во второй половине лета, когда торф высыхает.

Торф горит медленно, на всю глубину залегания; в выгоревшие места проваливается почва, техника, люди, дома. Характерной особенностью торфяных пожаров является беспламенное горение торфа с накоплением большого количества тепла. Огонь пожара на поверхности почвы, как правило, отсутствует, лишь кое-где пробивается наружу и вскоре исчезает, но зато выделяется стелющийся дым.

Основными причинами торфяных пожаров являются: самовозгорание торфа в результате саморазогрева; попадание на него искр от источников огня и работающих машин; грозовые разряды и др. Процесс самовозгорания торфа имеет четыре периода изменения температуры, занимающие по времени период до года, при которых температура внутри торфяной залежи поднимается до 60 °С и выше.

Серьезную опасность в пожарном отношении представляет и торф, хранящийся в штабелях по месту добычи. Разогреваясь, он превращается в сухую перистую массу — **полукокс**, которая при соприкосновении с кислородом воздуха самовозгорается. При этом образуются отдельные скрытые очаги горения, обнаруживаемые по выделяющемуся дыму. Скорость выгорания торфа в безветренную погоду или при слабом ветре составляет примерно $0,18 \text{ кг/м}^2$.

Скорость распространения торфяного пожара небольшая — несколько метров в сутки. На такие пожары не влияют ни суточные изменения погоды, ни ветер. Они могут длиться месяцами, даже в дождь и снег. При скорости ветра 3 м/с и выше нередко происходит разбрасывание горящих торфяных частиц по ветру на значительное расстояние, что вызывает распространение пожара.

Форма развития торфяного пожара может быть различной: чаще круговой и угловой, редко прямоугольной. Торфяной пожар характеризуется высокой температурой в зоне горения и сильной задымленностью.

В развитии торфяного пожара можно выделить три периода

- 1) возгорание торфа (малая площадь очага, небольшая скорость горения, низкая температура и слабая задымленность);
- 2) интенсивное горение, нарастание скорости и температуры горения;
- 3) период высокой температуры горения, сильной задымленности и большой площади распространения.

Степные (полевые) пожары — это пожары, возникающие на открытой степной местности с сухой растительностью. При сильном ветре фронт огня перемещается со скоростью до 25 км/ч . Если горят хлебные посевы, то огонь распространяется медленно.

По интенсивности различают слабые, средние и сильные лесные пожары. Интенсивность горения зависит от состояния и запаса горючих материалов, уклона местности, времени суток и особенно силы ветра.

Скорость распространения пожара под влиянием теплового излучения (радиации) пламени увеличивается, когда фронт пожара движется вверх по склону. По скорости распространения огня низовые и верховые пожары делятся на устойчивые и беглые. Скорость распространения слабого низового пожара не превышает 1 м/мин , среднего — $1...3 \text{ м/мин}$, сильного — свыше 3 м/мин . Слабый верховой пожар имеет скорость до 3 м/мин , средний — до 100 м/мин , а сильный — свыше 100 м/мин .

Средняя скорость перемещения подземного пожара невелика и составляет $0,1 \text{ м/мин}$, а иногда и меньше. Высота слабого низового пожара $0,5 \text{ м}$, среднего — $1,5 \text{ м}$. Если высота низового пожара не превышает $1,5 \text{ м}$, то его считают сильным.

Конфигурация любых крупных пожаров неустойчива и зависит от направления и силы ветра, наличия участков с горючим материалом, водных рубежей, т. е. носит вероятностный характер. В районах лесных пожаров возникают обширные зоны задымления, резко снижается видимость, нередко случаи отравления людей и животных окисью углерода. Природные пожары могут стать причиной чрезвычайной ситуацией, особенно когда они парализуют коммуникации и затрагивают населенные пункты.

Приведем краткое описание распространения пожара с использованием модели, в которой принято два механизма, определяющих развитие пожара: тепловая радиация и разброс горящих частиц.

Определяющими параметрами развития пожара на большой площади является средняя линейная скорость его распространения в преобладающем направлении и скорость выгорания материалов в зависимости от скорости приземного ветра при определенной влажности материалов. Обычно для расчетов принимают среднее значение их влажности в зависимости от относительной влажности воздуха.

На основе анализа параметров реальных пожаров на больших площадях (горение древесных материалов, деревянных зданий и т. п.) получена формула определения линейной скорости распространения пожара при условии, что его фронт уже сформировался и занимает 5...6 м (время от начала пожара 10 мин):

$$v_{л} = 0,55v^{0,7},$$

где v — скорость ветра, м/с.

Линейную скорость распространения пожара по нормали к направлению ветра рассчитывают в зависимости от его скорости (фланговое развитие пожара) по формуле

$$v_{фл} = 0,488 \cdot v^{0,37}.$$

Среднюю линейную скорость распространения фронта пожара при ветре рассчитывают следующим образом:

$$v = 3,333K_r C v^n,$$

где K_r — плотность распределения горючих материалов, $0 < K_r < 0,9$; C и n — коэффициенты, зависящие от продолжительности пожара (времени развития с момента возникновения) при скорости ветра 0,5...20 м/с:

t , мин	$t < 10$	$10 < t < 20$	$20 < t < 30$	$t > 60$
n	0,7	0,73	0,76	0,84
C	0,55	0,72	0,84	0,87

В полевых условиях горение торфа происходит на поверхности расстила или караванов с медленным углублением в залежь или караван. Если ветра нет или он слабый, торф горит медленно. Однако уже при скорости ветра более 3 м/с горящие частицы торфа переносятся по направлению ветра на значительные расстояния. Линейная скорость распространения горения, м/с, и дальность переброски горящих частиц, м, определяются по эмпирическим формулам

$$v_{л} = \frac{(v - 2,5)^2}{8,88},$$

$$L = \frac{(v_{л} - 4)^2}{4}.$$

Эти формулы справедливы для фрезерного торфа влажностью до 31 % и скорости ветра 4...14 м/с.

В результате пожаров на торфяных полях получена эмпирическая формула для определения линейной скорости распространения горения по направлению ветра:

$$v_{\text{л}} = \frac{v - 4}{24,6}.$$

При оценке эффективности мероприятий по защите населения от теплового воздействия необходимо определить зону теплового воздействия пожара и значения тепловых потоков у очага. За дальнюю границу зоны теплового воздействия принята интенсивность теплового потока 3500 Вт/м. Пребывание человека в зоне теплового воздействия приводит к ожогам различной степени тяжести. Теплодоза, получаемая за время нахождения в различных зонах теплового воздействия, выражается величиной

$$T_d = \sum_{k=1}^i g_k t_k,$$

где i — количество участков с различными значениями тепловых потоков, в которых будет находиться население при осуществлении его защиты; $g_k t_k$ — значения тепловых потоков и времени пребывания населения в k -й зоне.

Токсодоза, получаемая человеком за время пребывания в зоне загазованности, выражается величиной

$$T = \sum_{k=1}^n c_k t_k,$$

где n — количество участков с различными значениями концентрации, на которых будет находиться население; $c_k t_k$ — значения концентрации продуктов сгорания и время пребывания населения в k -й зоне соответственно.

6. МАССОВЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ ЛЮДЕЙ, ЖИВОТНЫХ И РАСТЕНИЙ

6.1. ИСТОЧНИКИ, ПРИЧИНЫ И ПУТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНФЕКЦИОННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Инфекционные заболевания — это болезни, вызванные живыми возбудителями. Из бесчисленного количества микроорганизмов, населяющих Землю, свойством вызывать болезни обладают только патогенные (болезнетворные) виды.

Процесс взаимодействия патогенного микроба с животным (растительным) организмом в сложных условиях внешней среды называется **инфекцией**. Иными словами, под инфекцией понимают проникновение патогенного микроба в организм и его размножение в организме.

Патогенность — это способность микроорганизма размножаться в тканях макроорганизма и, преодолевая его защитные функции, вызывать заболевание. Данное свойство связано с наличием у болезнетворных микробов факторов патогенности, к числу которых относятся инвазионность, токсикогенность и способность образовывать капсулу.

Инвазионность — это способность патогенных микробов проникать в организм и распространяться в его тканях. Она обуславливается различными ферментами, вырабатываемыми микроорганизмом.

Под **токсикогенностью** понимается способность патогенных микробов образовывать ядовитые для макроорганизма вещества — **токсины**. Токсин, выделяемый живым микробом, получил название **экзотоксина**, а токсин, освобождающийся при разрушении микроба, — **эндотоксина**.

Некоторые микробы после проникновения в организм способны образовывать **капсулу** — специальную защитную оболочку.

Существование патогенного микроба как вида в природе определяется его способностью переходить из одного организма в другой. При этом очередной переход и, следовательно, новое заражение и заболевание наступают до того, как закончится время нахождения возбудителя в предшествующем организме или переносчике. Такую непрерывную цепь следующих друг за другом заражений и заболеваний, или бактерионосительства, принято называть **эпидемическим процессом** или **эпидемией**.

Эпидемический процесс может возникнуть и развиваться только при наличии трех обязательных условий: источника инфекции, путей передачи инфекции и восприимчивого к заболеванию коллектива.

Инфекционные болезни, свойственные только человеку, называются **антропонозами**, свойственные человеку и животным, — **зоонозами**. Заболевания, связанные с дикими животными, относят к природным зоонозам, а заболевания, связанные с домашними животными, — к домашним зоонозам. При некоторых зоонозах (туляремия и др.) человек, легко заражаясь от животного, сам является своеобразным «тупиком» инфекции. В таких случаях заражение человека от человека не наблюдается, хотя теоретически эта возможность не исключена.

Передача некоторых инфекционных заболеваний (бешенства, мягкого шанкра, гонореи, венерических болезни и др.) происходит без участия объектов внешней среды, путем прямого контакта больного организма со здоровым. В виде редкого исключения посредством прямого контакта могут передаваться и некоторые другие болезни, хотя в этих случаях речь идет о меньшем эпидемиологическом значении.

Пути распространения инфекции весьма разнообразны.

Контактно-бытовым путем инфекции передаются через предметы быта (посуду, белье, книги и др.), предметы ухода за больными и предметы производства (например, при обработке животного сырья — волос, шкуры и др.). Это основной путь распространения инфекции при заражении наружных покровов, реже — при кишечных инфекциях, особенно при неудовлетворительной санитарной обстановке и несоблюдении необходимых гигиенических правил в быту и на производстве.

Воздушным путем распространяются такие инфекционные болезни, как грипп, туберкулез, дифтерия, скарлатина, корь, эпидемический паротит и многие другие. По легкости передачи инфекции воздух занимает первое место. Возбудитель, выделившийся из организма больного или носителя с капельками слизи, быстро попадает в дыхательные пути здорового человека (воздушно-капельная инфекция), оседает на окружающих предметах, распространяется с пылью, поднимающейся в воздух (воздушно-пылевая инфекция). Пылевым способом могут передаваться заболевания, возбудители которых переносят высушивание, в частности туберкулез. Кроме того, воздух легко может быть заражен и искусственным путем.

Заражение через воду происходит при использовании инфицированной воды для питья, бытовых и хозяйственных надобностей, при купании. Особенно большую опасность представляет заражение воды в водопроводах и больших емкостях. К числу инфекционных болезней, распространяемых водным путем, относятся холера, брюшной тиф, лептоспирозы и т. д.

Пищевой путь также нередок в распространении инфекционных болезней. Патогенные микробы в пищевые продукты могут попадать через грязные руки больного или носителя, при мытье пищевых продуктов в инфицированной

воде, во время перевозки на случайном транспорте, разделке пищевых продуктов на грязных столах, инфицировании их мухами, грызунами и т. д.

Заражение через почву занимает особое место в передаче инфекции. С одной стороны, почва служит местом временного пребывания возбудителей ряда заболеваний (сибирской язвы, столбняка и др.), а с другой — играет специфическую роль в распространении таких видов глистов, как аскариды, анкилостомиды, власоглав. Яйца этих глистов приобретают способность вызывать заражение только после «созревания» в почве.

Трансмиссивный путь связан с передачей инфекционных болезней посредством членистоногих (насекомых и клещей). Каждый живой переносчик передает, как правило, определенного возбудителя. Значительно реже одна и та же инфекционная болезнь распространяется несколькими переносчиками. Перенос возбудителей членистоногими может быть механическим и специфическим. Механические переносчики (главным образом мухи) переносят возбудителей на лапках, крыльях и других частях тела, а также в содержимом кишечника. В организме специфических переносчиков возбудитель болезни проходит цикл размножения (накопления) или определенный цикл развития (например, половой цикл развития малярийного паразита в теле комара). В силу этого переносчик становится заразным спустя некоторое время после питания кровью больного.

В ряде случаев, например при клещевом энцефалите, вирус может передаваться потомству клеща. Поэтому насекомые и особенно клещи являются не только переносчиками инфекции, но часто ее хранителями (резервуаром) в природе. Сам механизм передачи инфекции отличается у различных переносчиков. Так, комар и москит вносят инфекцию человеку при укусе со слюной, вошь выделяет возбудителей сыпного тифа с фекалиями, которые втираются в кожу при расчесах, и т. д.

Массовое распространение одноименных инфекционных заболеваний называется **эпидемией**. Отдельные группы заболеваний связаны между собой общими источниками инфекции или общими путями распространения (например, водная эпидемия брюшного тифа и холеры, туляремийная эпидемия «мышинного» или водного происхождения и т. д.).

Пандемией называется необычайно сильная эпидемия, охватывающая большое число людей на территории, выходящей за границы одного государства. Постоянное наличие какого-либо инфекционного заболевания на определенной территории называется **эндемией**.

При оценке степени распространения заболеваний среди животных пользуются сходной терминологией. Понятиям эпидемии, пандемии, эндемии соответствуют такие термины, как **эпизоотия**, **панзоотия** и **энзоотия**.

Стоит отметить, что многие животные — носители инфекции — обитают только в определенных климатических зонах и вне их не встречаются. С этим тесно связано распространение, например, чумы в пустынно-степных районах, туляремии — в поймах рек и озер, клещевого энцефалита — в таежных местностях и т. д.

6.2. НАИБОЛЕЕ ОПАСНЫЕ ИНФЕКЦИОННЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ ЛЮДЕЙ

6.2.1. Чума

Чума передается воздушно-капельным путем, однако заразится ей можно и от выделений больных, при снятии шкурки и разделки туш грызунов и других животных. Инкубационный период составляет шесть дней (1—6 дней в исключительных случаях и до 8—10 дней у привитых). При любой клинической форме чумы начало заболевания внезапное, острое.

Основные признаки чумы, развивающиеся через сутки после заражения: сильный озноб, быстрое повышение температуры до 38...40 °С, резкая головная боль, головокружение, раннее нарушение сознания, бессонница, бред, рвота. В некоторых случаях больные находятся в состоянии беспокойства, возбуждения, тогда как в других наблюдается заторможенность, оглушенность. Лицо покрасневшее, одутловатое, затем становится осунувшимся, его черты заостряются; глаза окружены темными кругами; язык обложен («натерт мелом»). Отмечается сухость слизистых полости рта, миндалины могут быть увеличены. Нарушается работа сердечно-сосудистой системы.

Кожная и кожно-бубонная чума встречаются сравнительно редко. При кожной форме, переходящей в кожно-бубонную, на теле человека появляются язвы и фурункулы. Язвы кровоточат, заживают медленно, образуя рубцы.

6.2.2. Холера

Холера передается водным, пищевым и контактным путем, при этом источником инфекции является больной человек. Инкубационный период составляет до пяти дней. При легком течении холеры жидкий стул и рвота могут быть однократными; обезвоживание почти не выражено; самочувствие удовлетворительное, однако больные жалуются на сухость во рту и повышенную жажду, за медицинской помощью не обращаются, поэтому их выявление затруднительно. Без бактериологического исследования зачастую невозможно отличить холеру от желудочно-кишечных заболеваний другого характера. Продолжительность болезни — один-два дня.

При среднетяжелом течении холеры наблюдаются характерные признаки: острое начало, выражающееся появлением обильного стула (иногда ему может предшествовать рвота), который становится более частым (15—20 раз в сутки). Затем нарастает обезвоживание организма; возникают судороги отдельных групп мышц; голос становится сиплым. Больные начинают жаловаться на сухость во рту, жажду, недомогание, слабость, у них отмечается посинение губ, снижается упругость кожи.

Тяжелое течение холеры характеризуется выраженной степенью обезвоживания и нарушением гемодинамики. У больных наблюдается частый, обильный водянистый стул, рвота, выраженные судороги мышц, слабый частый пульс. Отмечается падение артериального давления, одышка, посинение кожных покровов, уменьшение или прекращение выделения почками

мочи. Черты лица заострившиеся, глаза и щеки впалые, голос сиплый. Резко снижается упругость кожи, кожная складка не расправляется; пальцы ног и рук становятся морщинистыми, язык — сухим. Урчание в животе, легкая болезненность в околопупочной области. Больные жалуются на слабость, неутолимую жажду. Потеря жидкости достигает 8...10 % от веса тела больного, а в совокупности с болевым дефицитом приводит к развитию состояния, известного как алгид, когда артериальное давление падает вплоть до исчезновения. Пульс отсутствует, резкая одышка. Выражено общее посинение кожных покровов. Судороги мышц конечностей, живота, лица. Температура тела снижается до 35,5 °С. Объем стула уменьшается до прекращения. В крови увеличивается число красных и белых кровяных клеток.

6.3. МЕРОПРИЯТИЯ ПО БОРЬБЕ С РАСПРОСТРАНЕНИЕМ ИНФЕКЦИОННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЖИВОТНЫХ

Эпизоотия — это одновременное прогрессирующее во времени и пространстве в пределах определенного региона распространение инфекционной болезни среди большого числа одного или многих видов сельскохозяйственных животных, значительно превышающее обычно регистрируемый на данной территории уровень заболеваемости.

Эпизоотии, как и эпидемии, могут носить характер настоящих стихийных бедствий. Так, в 1996 г. в Великобритании свыше 500 тыс. голов сельскохозяйственных животных заразилось чумой крупного рогатого скота. Это вызвало необходимость уничтожения и утилизации останков больных животных. Страна прекратила экспорт мясных изделий, что поставило ее животноводство на грань разорения. Кроме того, потребление мяса в Европе значительно уменьшилось, что привело к дестабилизации европейского рынка мясных изделий.

Панзоотия — это массовое одновременное распространение инфекционной болезни сельскохозяйственных животных, для которого характерен высокий уровень заболеваемости на огромной территории с охватом целых регионов, нескольких стран или даже материков.

Энзоотия — это одновременное распространение инфекционной болезни сельскохозяйственных животных в определенной местности (хозяйстве или пункте), природные и хозяйственно-экономические условия которой исключают возможность повсеместного распространения данной болезни.

Как только человек стал одомашнивать диких животных, возникла проблема их защиты от инфекционных заболеваний. На данный момент ветеринарной медицине известны методы профилактики и способы лечения многих инфекционных болезней животных, тем не менее ежегодно в мире от инфекций они гибнут миллионами.

Эпизоотический процесс — непрерывный процесс возникновения и распространения инфекционных болезней сельскохозяйственных животных, развивающийся при наличии механизмов передачи, источников возбудителя и восприимчивого поголовья.

Эпизоотическая обстановка — состояние распространенности инфекционных болезней сельскохозяйственных животных на конкретной территории в определенный промежуток времени.

Эпизоотологическая карта — образно-знаковая модель территории, в обобщенной формализованной форме отражающая динамику нозоареалов инфекционных болезней и влияние различных социально-экономических и ветеринарно-санитарных условий на интенсивность эпизоотического процесса.

Экономический ущерб от эпизоотий — ущерб, который складывается из стоимости павших и вынужденно убитых сельскохозяйственных животных, потерь их продуктивности, затрат на карантинные и лечебные мероприятия, потерь от передержки и сокращения или прекращения реализации сельскохозяйственных животных и продуктов животного происхождения.

Противоэпизоотические мероприятия — комплекс плановых мероприятий, направленных на предупреждение, обнаружение и ликвидацию инфекционных болезней сельскохозяйственных животных, предусматривающих обезвреживание и ликвидацию источников возбудителя инфекционной болезни и факторов передачи возбудителя, повышение общей и специфической устойчивости сельскохозяйственных животных к поражению патогенными микроорганизмами.

Государственная ветеринарная служба — система организаций и учреждений ветеринарного профиля, осуществляющих комплекс противоэпизоотических мероприятий на территории Российской Федерации, республик в ее составе, в отдельных административно-территориальных образованиях, отраслях народного хозяйства, на предприятиях, транспорте, государственных границах и в вооруженных силах.

Пограничный контрольный ветеринарный пункт — учреждение государственной ветеринарной службы, организуемое на государственной границе или на пограничных железнодорожных станциях, автострадах, в морских и речных портах, аэропортах, международных почтамтах для осуществления ветеринарно-санитарного надзора при экспорте и импорте животных, сырых животных продуктов, сырья животного происхождения и фуража, а также ветеринарного контроля за выполнением мероприятий по предотвращению заноса из-за рубежа инфекционных болезней животных.

Ветеринарное свидетельство — документ, удостоверяющий эпизоотическое благополучие перевозимых сельскохозяйственных животных, кормов, продуктов и сырья животного происхождения.

Санитарно-защитная зона — свободная от жилых построек территория вокруг фермы, животноводческого комплекса, предприятия или учреждения биологического профиля, на которой запрещен проезд транспорта, а также выпас и водопой животных.

К наиболее опасным и распространенным видам инфекционных заболеваний животных относятся африканский сап, энцефалит, ящур, чума, туберкулез, грипп, сибирская язва, бешенство. Возникновение эпизоотии возможно лишь при наличии комплекса взаимосвязанных элементов, представляю-

щих собой так называемую **эпизоотическую цепь**, которая состоит из источника возбудителя инфекции (больного животного), факторов передачи возбудителя инфекции (объектов неживой природы) или живых переносчиков (восприимчивых к болезни животных). Характер эпизоотии и длительность ее течения зависят от механизма передачи возбудителя инфекции, сроков инкубационного периода, соотношения больных и восприимчивых животных, условий их содержания и эффективности противоэпизоотических мероприятий. Проведение последних в значительной мере предотвращает развитие эпизоотии.

При угрозе или возникновении эпизоотии организуется **ветеринарная разведка** — комплекс мероприятий, направленных на выявление вида возбудителя болезни, источника инфекции и определение границ очага поражения. В случае распространения особо опасных инфекций в зоне очага поражения вводится **карантин** — организационные и противоэпизоотические мероприятия, направленные на предотвращение распространения болезни за пределы очага поражения. При менее опасных инфекциях проводятся ограничительные мероприятия, определяемые инструкциями по борьбе с этими инфекциями.

Для предупреждения распространения эпизоотии и ликвидации последствий принимается ряд мер:

- обеззараживание кормов и животноводческой продукции;
- утилизация трупов животных;
- дезинфекция, дезинсекция и дератизация.

Вынужденный убой сельскохозяйственных животных проводится в целях установления диагноза и предотвращения распространения болезни. В зависимости от характера инфекционной болезни убою подлежат больные и подозреваемые в заражении животные, а также животные, которым угрожает заражение при возникновении нового эпизоотического очага.

Трупы животных подлежат утилизации или уничтожению. При утилизации они используются в качестве технических и кормовых продуктов (мясокостная мука, технический жир, клей и др.). Если вследствие характера болезни утилизация невозможна, животных уничтожают (сжигают, закапывают на скотомогильниках или уничтожают в биотермических ямах). Трупы животных, павших от сибирской язвы, чумы и туляремии, подлежат обязательному сжиганию.

6.4. ПОРАЖЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ БОЛЕЗНЯМИ И ВРЕДИТЕЛЯМИ

Эпифитотия — это массовое, прогрессирующее во времени и пространстве инфекционное заболевание сельскохозяйственных растений и/или резкое увеличение численности вредителей растений, сопровождающееся массовой гибелью сельскохозяйственных культур и снижением их продуктивности.

Панфитотия — это массовое заболевание растений и резкое увеличение численности их вредителей на территории нескольких стран или континентов.

К случаям эпифитотии относят:

ржавчину хлебных злаков, при которой потери урожая составляют 40...70 %;

пирокулариоз риса — вызванное грибом заболевание, при котором потери урожая могут достигать 90 %;

фитофтороз (картофельная гниль) — поражение грибом листьев, стеблей и клубней картофеля.

При возникновении эпифитотии организуется **фитопатологическая разведка** — комплекс мероприятий, в рамках которых проводится обследование сельскохозяйственных угодий, мест хранения и переработки продукции растительного происхождения и прилегающей к ним территории, устанавливается вид возбудителя и границы зон заражения.

Гибель и болезни растений могут явиться следствием неправильного применения различных химических веществ, например гербицидов, дефолиантов, десикантов, которые используются для уничтожения сорняков и дикорастущих кустарников при освоении новых земель, удаления или подсушивания листьев сельскохозяйственных растений перед уборкой, а также стимуляции 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 уничтожают их. Например, цветковые растения-паразиты снижают урожай подсолнечника, томатов, табака и др.

Саранча наносит серьезнейший ущерб сельскому хозяйству во многих странах Африки, Азии и Ближнего Востока. Ее налетам подвержено 20 % поверхности земного шара. Передвигаясь со скоростью 0,5...1,5 км/ч, она уничтожает на своем пути буквально всю растительность. Так, в 1958 г. в Сомали всего лишь одна стая саранчи уничтожила за день 400 тыс. т зерна. Под тяжестью оседающих стай саранчи ломаются деревья и кустарники.

Серьезными вредителями сельского хозяйства являются грызуны (сурки, суслики, серые полевки и др.), чья численность во время массовых размножений может возрастать в 100...200 раз. Им требуется огромное количество 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. Чрезвычайно вредят постройкам, растительности и продовольствию термиты.

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). Спасатели привлекаются к работе в условиях эпифитотии в том случае, если она принимает угрожающие размеры.

Библиографический список

1. *Баринов, А. В.* Опасные природные процессы : учеб. / А. В. Баринов, В. А. Седнев, А. Б. Шевчук и др. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2011. — 334 с.
2. *Мазур, И. И.* Опасные природные процессы. Вводный курс : учеб. / И. И. Мазур, О. П. Иванов. — М. : Экономика, 2004. — 702 с.

Учебное электронное издание

Власова Оксана Сергеевна

ОПАСНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Учебное пособие

Начальник РИО *М. Л. Песчаная*
Зав. редакцией *О. А. Шипунова*
Редактор *Н. А. Фотина*
Компьютерная правка и верстка *А. Г. Вишняков*

Минимальные систем. требования:
PC 486 DX-33; Microsoft Windows XP; Internet Explorer 6.0; Adobe Reader 6.0.

Подписано в свет 06.10.2014.
Гарнитура «Таймс». Уч.-изд. л. 5,2. Объем данных 12,0 Мбайт.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»
Редакционно-издательский отдел
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1
<http://www.vgasu.ru>, info@vgasu.ru