

**Министерство Российской Федерации  
по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям  
и ликвидации последствий стихийных бедствий**

**Академия Государственной противопожарной службы**

# **ОПАСНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ**

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ**

**Москва  
2015**

Министерство Российской Федерации  
по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям  
и ликвидации последствий стихийных бедствий

Академия Государственной противопожарной службы

А.Н. Неровных, А.Г. Заворотный, В.М. Бутенко,  
В.В. Сарычев, С.А. Резниченко

# ОПАСНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Утверждено Редакционно-издательским советом  
Академии ГПС МЧС России

Москва  
2015

УДК 614.8(075.8)  
ББК 68.9 я 73  
О 60

Р е ц е н з е н т ы:

Начальник кафедры пожарной безопасности технологических процессов  
Академии ГПС МЧС России  
доктор технических наук, доцент  
*С.А. Швырков*

Начальник учебно-научного комплекса процессов горения и  
экологической безопасности Академии ГПС МЧС России  
кандидат технических наук, доцент  
*В.А. Сулименко*

**Неровных А.Н., Заворотный А.Г., Бутенко В.М.**

О 60 Опасные природные процессы: учеб. пособие / А.Н. Неровных,  
А.Г. Заворотный, В.М. Бутенко, В.В. Сарычев, С.А. Резниченко. – М. :  
Академия ГПС МЧС России, 2015. – 306 с.

В учебном пособии изложены классификация опасных природных явлений, космогенно-климатические опасные природные процессы, опасные природные процессы и явления в литосфере, атмосфере, гидросфере, метеогенно-биогенные опасные природные процессы и явления, а также инфекционные заболевания людей, сельскохозяйственных животных и растений.

Издание предназначено для более глубокого понимания слушателями института заочного и дистанционного обучения, курсантами и студентами Академии ГПС МЧС России опасных природных процессов и явлений, которые могут привести к различным чрезвычайным ситуациям.

Учебное пособие разработано в соответствии с тематическими планами рабочих программ изучения дисциплины «Опасные природные процессы» подготовки слушателей института заочного и дистанционного обучения, курсантов факультетов техносферная безопасность, пожарная безопасность и студентов факультета платных образовательных услуг Академии ГПС МЧС России.

Учебное пособие может быть использовано в учебном процессе других образовательных организаций высшего образования МЧС России.

Авторский коллектив выражает благодарность за оказанную помощь при написании учебного пособия Ю.П. Апарину.

Издано в авторской редакции.

УДК 614.8(075.8)  
ББК 68.9 я 73

© Академия Государственной противопожарной  
службы МЧС России, 2015

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение</b>	4
<b>Глава 1. Классификация опасных природных явлений</b>	9
1.1. Современная классификация опасных природных явлений	9
1.2. Опасные природные явления на территории России	13
Контрольные вопросы	18
<b>Глава 2. Космогенно-климатические опасные природные процессы</b>	19
2.1. Космогенные опасные природные процессы	19
2.2. Климатические опасные природные процессы	28
Контрольные вопросы	40
<b>Глава 3. Опасные природные процессы и явления в литосфере</b>	41
3.1. Землетрясения	41
3.2. Вулканические извержения	69
3.3. Осыпи, обвалы, оползни	88
3.4. Сели, снежные лавины	122
Контрольные вопросы	172
<b>Глава 4. Метеогенно-биогенные опасные природные процессы и явления</b>	173
4.1. Виды природных пожаров	174
4.2. Лесные пожары	176
4.3. Степные пожары	182
4.4. Торфяные пожары	183
Контрольные вопросы	198
<b>Глава 5. Опасные природные процессы и явления в атмосфере</b>	199
5.1. Общая характеристика опасных процессов в атмосфере	201
5.2. Циклоны и бури	203
5.3. Экстремальные осадки и снежно-ледниковые явления	216
5.4. Грозы, градобития	227
5.5. Экстремальные температуры воздуха	233
Контрольные вопросы	237
<b>Глава 6. Опасные природные процессы и явления в гидросфере</b>	238
6.1. Гидрологические опасные природные процессы и явления во внутренних водоемах	239
6.2. Типизация и характеристика морских опасных природных явлений. Абразия морских берегов и ветровой нагон. Цунами.	255
6.3. Подземные воды и их воздействие	265
6.4. Разрушительная работа подземных вод. Карст, суффозия	271
6.5. Колебания уровня грунтовых вод и эрозионная деятельность рек	271
Контрольные вопросы	280
<b>Глава 7. Инфекционные заболевания людей, сельскохозяйственных животных и растений</b>	281
7.1. Инфекционные заболевания у людей	282
7.2. Инфекционные заболевания сельскохозяйственных животных	299
7.3. Инфекционные заболевания сельскохозяйственных растений	301
Контрольные вопросы	303
<b>Заключение</b>	304
<b>Литература</b>	305

## ВВЕДЕНИЕ

История развития земной цивилизации неразрывно связана с опасными природными процессами, явлениями, стихийными бедствиями и катастрофами. В современном лексиконе эти явления называются природными чрезвычайными ситуациями (ЧС).

Природная чрезвычайная ситуация – обстановка на определенной территории или акватории, сложившаяся в результате возникновения источника природной чрезвычайной ситуации, который может повлечь или повлек за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью и (или) окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей (ГОСТ Р 22.0.03-95).

Источник природной чрезвычайной ситуации; источник природной ЧС: опасное природное явление или процесс, в результате которого на определенной территории или акватории произошла или может возникнуть чрезвычайная ситуация (ГОСТ Р 22.0.03-95).

Поражающий фактор источника природной чрезвычайной ситуации - составляющая опасного природного явления или процесса, вызванная источником природной чрезвычайной ситуации и характеризуемая физическими, химическими, биологическими действиями или проявлениями, которые определяются или выражаются соответствующими параметрами (ГОСТ Р 22.0.03-95).

Взаимодействие сложных систем является основным источником опасных природных процессов (ОПП). Спектр взаимодействия достаточно разнообразен, что создаёт множество различных по генезису, длительности, интенсивности и масштабности различных экстремальных явлений. Первым шагом на пути понимания механизма ОПП является систематизация понятий в этой области знаний.

Опасный природный процесс – изменение состояния, состава и свойств окружающей среды и (или) ее компонентов, которое по своей интенсивности, масштабу и продолжительности приводит или потенциально может привести к ухудшению состояния окружающей среды, условий обитания человека, а также развитию чрезвычайной ситуации и нанести ущерб его хозяйственной деятельности (ГОСТ Р 22.1.02 – 95 «Безопасность в ЧС. Мониторинг и прогнозирование»).

Окружающая среда - совокупность средств обитания и общественно-производственной деятельности человека, включающая окружающую природную среду и элементы культурной или социально-экономической среды, совместно и непосредственно оказывающих влияние на людей и их хозяйство (ГОСТ Р 22.1.02 – 95).

Окружающая природная среда – совокупность чисто природных и измененных деятельностью человека элементов естественной среды,

оказывающих непосредственное или посредственное воздействие на человека (ГОСТ Р 22.1.02 – 95).

Опасное природное явление - событие природного происхождения или результат деятельности природных процессов, которые по своей интенсивности, масштабу распространения и продолжительности могут вызвать поражающее воздействие на людей, объекты экономики и окружающую природную среду (ГОСТ Р 22.0.03-95 «Безопасность в ЧС. Природные ЧС»).

Стихийное бедствие – разрушительное природное и (или) природно-антропогенное явление или процесс значительного масштаба, в результате которого может возникнуть или возникла угроза жизни и здоровью людей, произойти разрушение или уничтожение материальных ценностей и компонентов окружающей природной среды (ГОСТ Р 22.0.03-95).

Опасные природные процессы частые явления в нашей стране, наибольшее число которых обусловлено:

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

Каждое стихийное природное бедствие имеет свою физическую сущность и только ему присущие причины возникновения, движущие силы, характер и стадии развития, особенности воздействия на окружающую среду. Однако, несмотря на резкие отличия стихийных бедствий друг от друга, им присущи и общие черты – большой пространственный размах, значительное влияние на окружающую среду, сильное психологическое воздействие на человека.

На Земле существенное влияние на опасные природные явления оказывают эндогенные и экзогенные процессы.

Экзогенные процессы разрушают, преобразуют земную кору, переносят рыхлые и растворимые продукты разрушения, осуществляемого водой, ветром, ледниками. Разрушительные действия экзогенных процессов нежелательны и опасны для человека. К таким опасным явлениям относятся, например, селегрязекаменные потоки. Опасны и оползни, которые тоже приводят к разрушению различных построек, нанося ущерб хозяйству, унося жизни людей. Среди экзогенных процессов необходимо отметить и выветривание, которое приводит к выравниванию рельефа.

Эндогенные процессы 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.

Извне воздействуют на Землю силы притяжения Луны и Солнца. Наиболее часто встречающиеся опасные явления, исходящие из космоса, – это магнитные бури и падения метеоритов.

Магнитные бури и их видимое выражение – полярные сияния – есть следствие вспышек на Солнце (образование протуберанцев), создающих интенсивные потоки электромагнитной радиации и заряженных частиц, достигающих Земли через 8 мин. (первичные) и через 10–20 ч. (вторичные). Эти потоки резко изменяют состояние ионосферы. Изменение количества и интенсивности магнитных бурь с различными временными интервалами известны как колебания солнечной активности, которые в значительной степени оказывают влияние на многие природные процессы, а также на самих людей. В практическом отношении наиболее важны такие последствия магнитных бурь, как сбои электронных систем и снижение надежности работы операторов. Известно, что 60–80 % аварий на производстве и транспорте вызываются ошибками операторов, значительная их часть приурочена к магнитным бурям.

Источником метеоритной опасности является «облако Оорта» – концентрация комет Солнечной системы. Ежегодно на Землю падает около 19 тыс. метеоритов массой более чем по 100 грамм, из них около 4 тыс. массой более чем 1 кг и около тысячи массой 10 кг и более. Следы падения крупных метеоритов (астероидов, комет) являются кратеры – астроблемы. На суше насчитывается около 1200 астроблем диаметром 10–70 км, многие тысячи астроблем меньшего диаметра. При падении метеоритов возможен ущерб в результате взрывов. Энергия взрыва Тунгусского метеорита, произошедшего 30 июня 1908 г., предположительно составила 12,5 Мт в тротиловом эквиваленте. Взрыв опустошил территорию площадью 3885 км<sup>2</sup>, воздействие взрывной волны ощущалось на расстоянии до 1000 км. Человечество на данный момент пока беззащитно против крупных метеоритов, количество которых на пересекающихся с Землей орбитах измеряется в 500–2000 шт.

К опасным природным явлениям можно отнести эпидемии, а также токсичные вещества животного и растительного происхождения, воздействующие на здоровье человека. Эпидемии стали возможными вследствие появления городов и крупных населенных пунктов и развития межгосударственной торговли. Наиболее опасной была чума. Ее первая эпидемия в Европе случилась в XIV–XVII в. В середине XIV в. на пространстве от Атлантики до Индии умерло около 1/3 населения городов.

От оспы, занесенной испанцами в Америку, в XVI веке погибло около 2,5 млн. индейцев.

Вспышки эпидемии в настоящее время возможны, в основном, в условиях общего неблагополучия (война, стихийные бедствия, голод, развал экономики) и более вероятны в портовых и приграничных городах.

Большой проблемой в XXI веке являются эпидемии гриппа. Их непредсказуемость обусловлена быстрой эволюцией болезнетворного вируса, течение которого, возможно, ускоряется антропогенными воздействиями (тепловыми, химическими, радиационными и т. д.). Вспышки инфекционных заболеваний обнаруживают ритмический характер, свидетельствующий об их связи с солнечной активностью напрямую или через колебания климата.

Воздействия геофизического характера на здоровье человека рассматриваются биоклиматологией и биометеорологией – науками о взаимодействии организма с физическими факторами внешней среды.

Климат оказывает прямое влияние на здоровье человека через ограничение приемлемых условий проживания и через местные биогеохимические, микробиологические и подобные факторы. Среди основных биоклиматических показателей в первом ряду стоят температура воздуха и атмосферное давление, зависящие, в основном, от абсолютной высоты местности и влияющие на усвоение организмом кислорода. К другим важным биоклиматическим показателям относятся влажность воздуха, солнечная радиация, режим осадков, ветров и т. д., всего 14 показателей, учитываемых в комплексных биоклиматических индексах. Они применяются, главным образом, для градостроительного районирования. Комфортным для человека считается диапазон температуры воздуха от 12 до 24°C, приемлемым максимумом – 31°C при низкой влажности воздуха и при снижении температуры в ночные часы, а также содержании в атмосфере (по объему) кислорода – 20,95%, азота – 78,08%, углекислого газа – 0,03%. Менее 5% населения мира проживает в районах со средней годовой температурой ниже 5 и выше 27°C. На высотах более 3000 м проживает около 8% населения Земли, причём постоянные поселения достигают отметок 5100 м в Китае, 5300 м в Боливии, нахождение рудников на высоте – 5700 м также в Боливии и расположение древнего города Мачу-Пикчу в Перу на высоте 6200 м. В результате многовекового проживания людей в определенных природных условиях происходит различная адаптация, проявляющаяся внешне в этнических особенностях телосложения, быта, образа жизни. Некоренные же жители испытывают различные региональные метеорологические болезни – холодовую, тропическую, горную и т. п.

Холодовая болезнь переселенцев выражается в нарастании сердечно-сосудистых и иных функциональных расстройств, особенно после 20 лет жизни на Севере; тропическая – в тепловом и солевом истощении организма, росте смертности при устойчивой температуре выше 32°C и высокой влажности воздуха; горная – в нарушении деятельности высшей нервной системы, координации движений и т. п. уже на высоте 4000 м и в более тяжелых последствиях на отметках выше 5000 м.

Метеотропные обострения сердечно-сосудистых и иных болезней отмечаются во всех климатических районах и связаны с происхождением таких атмосферных фронтов, при которых резко меняются температура и давление воздуха, обостряются явления, связанные с атмосферным электричеством. Магнитные бури, а также искусственные электромагнитные поля, интенсивные в городах, могут сильно влиять на здоровье человека. Обнаружен ряд статистических зависимостей между величиной смертности и названными показателями, а также типами погоды и воздушных масс.

Об опасностях ядовитых растений, насекомых и животных, существующих на всех континентах, свидетельствует численность потерпевших – это миллионы человек в мире за год. Эти воздействия носят, в основном, рассеянный характер (гнус, комары, мухи, пчелы, осы, саранча, клещи, змеи и т. д.). Реально существует опасность гибели людей в результате отравления съедобными грибами вследствие наведенных загрязнений мутаций.

В городах в результате их функционирования могут образовываться целый ряд групп неблагоприятных опасных явлений, оказывающих влияние на население городов и инфраструктуру города. Около 72 % населения России сосредоточено в городах. Происходит резкое усложнение и углубление подземных частей городов (транспортных тоннелей, складов, гаражей и др.). Увеличение плотности застройки и асфальтирования городов с 20 до 50 % площади повышает разность максимальных летних температур в центре города и его окрестностях с 5 до 14°C. В городах, построенных на возвышенностях, обостряется проблема ветровых нагрузок на здания. Во многих городах образуются различные техногенные поля: поля нагрева или охлаждения грунта подземными коммуникациями (изменение температуры ощущается в радиусе 25 м), блуждающие токи, электромагнитные поля, поля засоления противогололёдными смесями, участки устойчивого повышения влажности и др. Опасные явления в городе имеют природно-антропогенный характер и могут быть неожиданны и тяжелы. Поэтому необходима инженерная подготовка территории под градостроительство, прогнозирование и предупреждение ЧС природного характера.

## **Глава 1. КЛАССИФИКАЦИЯ ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ**

История развития земной цивилизации неразрывно связана со стихийными бедствиями и катастрофами. Одни из них были причиной заката цивилизации и государств, другие послужили толчком в развитии народов и регионов.

Стихийные бедствия, вызванные опасными природными процессами, частота, масштабность и разрушительность которых значительно возросли в последние годы, представляют серьёзную угрозу для жизнедеятельности человека. Они не только наносят ущерб окружающей среде и экономике государства, но и нередко сопровождаются человеческими жертвами.

На территории России, обладающей чрезвычайно большим разнообразием геологических, климатических и ландшафтных условий, встречается более 30 опасных природных явлений. Анализ тенденций развития основных природных опасностей и угроз, их прогноз на перспективу показывают, что на территории России в ближайшие годы будет сохраняться высокая степень риска возникновения крупномасштабных чрезвычайных ситуаций природного характера.

Следует отметить, что общей характерной особенностью природных опасностей и угроз на современном этапе является их взаимосвязанный комплексный характер, выражающийся в том, что одно возникающее бедствие может вызывать целую цепочку других порою более катастрофических процессов.

### **1.1. Современная классификация опасных природных явлений**

Опасные природные явления (ОПЯ) подчиняются по меньшей мере трем закономерностям:

- для каждого вида может быть установлена специфическая приуроченность;
- существует определенная закономерность в повторяемости: чем больше интенсивность, тем реже случается, и наоборот;
- может быть установлена зависимость разрушительного эффекта стихийного бедствия от масштабности, продолжительности и интенсивности природных процессов.

Опасные природные явления могут быть классифицированы следующим образом: по генезису (происхождению), по площади проявления (контуру влияния), по масштабу проявления, по продолжительности, по характеру воздействия, по тяжести последствий (рис. 1.1).

Классификация ОПЯ по генезису (происхождению)

1. Космогенные:

- гелиомагнитные (корпускулярные (прерывные, изменчивые) и электромагнитные);
- вещественные и импактные (метеорные потоки, ударное, ударновзрывное и взрывное кратерирование);
- гравитационные.

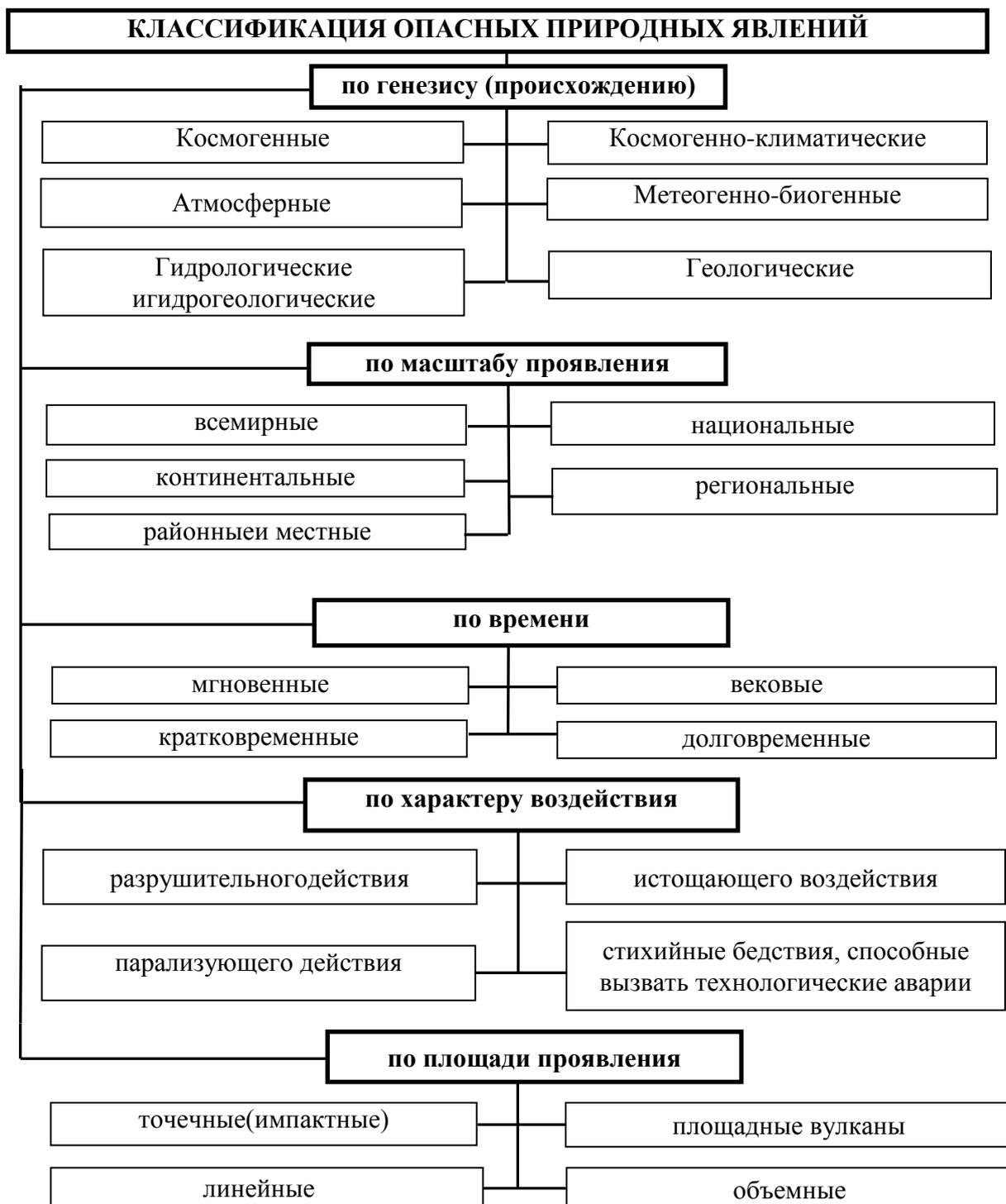


Рис. 1.1. Современная классификация опасных природных явлений

2. Космогенно-климатические:  
 - климатические циклы;

- длительные колебания уровня Мирового океана (тектонические и гляциоизостатические (очень медленные вертикальные и горизонтальные движения земной поверхности на территориях древнего и современного оледенения));

- кратковременные колебания уровня океана и явление Эль-Ниньо (*исп.* – «младенец»). Аномальное потепление поверхностных вод Тихого океана у берегов Эквадора и Перу, случающееся раз в несколько лет.);

- современное потепление климата;

- проблема озоновых дыр.

### 3. Атмосферные

Метеогенные воздействия:

- атмосферные фронты, циклоны, антициклоны, пассаты, муссоны, западные ветры и вихри, порождающие ОПП следующего типа: бури, штормы, ураганы, тромбы (торнадо), смерчи, шквалы, местные ветры, затяжные и интенсивные ливни, грозы, град, туманы.

Опасные природные явления в атмосфере зимнего времени:

- сильный снегопад, метель;

- ледовые явления: гололед, гололедица, мороз, обледенение.

Опасные природные явления в атмосфере летнего времени:

- жара, засухи, суховеи.

### 4. Метеогенно-биогенные:

- природные пожары (степные, лесные, подземные).

### 5. Гидрологические и гидрогеологические:

Гидрологические опасности во внутренних водоемах:

- наводнения (половодья и паводки).

- ледовые опасные явления:

- зажоры, заторы, наледи, подземные льды, термокарст (процесс неравномерного проседания почв и подстилающих горных пород вследствие вытаивания подземного льда), ранние прибрежные льды, сплошной ледяной покров в портах, оледенение судов и портовых сооружений, морские и горные льды.

Ветровые гидрологические воздействия:

- тайфуны, сильные волнения на море, ветровой нагон, волновая абразия берегов морей и океанов.

Цунами и опасные явления у побережий:

- цунами, сильный тягун в портах.

Подземные воды и их воздействие:

- колебания уровня грунтовых вод, колебания уровня вод закрытых водоемов, карст, суффозия.

### 6. Геологические:

- эндогенные (возникающие в недрах твёрдой Земли);

- тектонические (длительные колебания уровня Мирового океана, извержение вулканов, землетрясения, горные удары, разжижение грунта);

- геофизические (геопатогенные, радиогенные) и геохимические (ореолы месторождений);

- экзогенные (протекающие на поверхности и при поверхностной зоне Земли);

- выветривание;

- склоновые процессы (обвалы, камнепады, осыпи, курумь, оползни, сели, лавины, пульсирующие ледники, плоскостной склоновый смыв, крип, солифлюкция, дефлюкция, просадка лессовых пород, эрозия склонов, эрозия речных берегов); завальные и ледниковые наводнения;

- ветровая эрозия почв (пыльные бури).

Классификация ОПЯ по площади проявления (контуру влияния)

По площади проявления ОПЯ подразделяются на:

- точечные (импактные), линейные (овраги, оползни, сели, лавины), площадные (землетрясения, вулканы, наводнения), объемные (магнитные бури, атмосферные явления).

Классификация ОПЯ по характеру воздействия

По характеру воздействия ОПЯ подразделяются на:

- оказывающие преимущественно разрушительное действие (ураганы, тайфуны, смерчи, землетрясения, нашествие насекомых (саранчи и др.);

- оказывающие преимущественно парализующее (останавливающие) действие для движения транспорта (снегопад, ливень с затоплением, гололед, гроза, туман);

- оказывающие истощающее воздействие (снижают урожай, плодородие почв, запас воды и других природных ресурсов);

- стихийные бедствия, способные вызвать технологические аварии (природно-технические катастрофы) (молнии, гололед, обледенение, биохимическая коррозия и др.).

Некоторые явления могут быть многоплановыми. Например, наводнение может быть разрушительным для города, парализующим — для затопленных автодорог и истощающим — для урожая.

Классификация ОПЯ по масштабу проявления

По масштабу проявления ОПЯ бывают:

- всемирные (Всемирный потоп);

- континентальные (гибель Атлантиды);

- национальные (землетрясение в армянском городе Спитак);

- региональные (вулканы, реки);

- районные и местные.

Классификация ОПЯ по времени (продолжительности)

По времени действия ОПЯ подразделяются на:

- мгновенные (секунды, минуты) — импактные землетрясения возникшие в результате столкновения метеорита, астероида, кометы или иного небесного тела с Землей;

- кратковременные (часы, дни) — шквалы, атмосферные явления, паводки;

- долговременные (месяцы, годы) — космогенные (имеющие космическое происхождение), климатические;

- вековые (десятки, сотни лет) — климатические, эвстатические (медленные изменения, например уровня Мирового океана), космогенные.

## **1.2. Опасные природные явления на территории России**

На территории России наблюдается более 30 видов опасных природных явлений.

Наиболее тяжелые последствия несут землетрясения, наводнения, засухи, лесные пожары и сильные морозы.

На территории России сейсмический пояс проходит практически по всему югу от Кавказа до Камчатки. Около 40 процентов территории страны, где живет более 20 миллионов человек, является сейсмически опасной, здесь высока вероятность землетрясений с интенсивностью более 6 баллов. Ситуация усугубляется тем, что более 20 процентов территории Российской Федерации, где эксплуатируются атомные, гидро- и тепловые электростанции и другие объекты повышенной экологической опасности, находится в зонах высокой сейсмической опасности. В десятибалльной зоне находятся Чиркейская, Миатлинская, Чирютская гидроэлектростанции, в девятибалльной зоне - Билибинская АЭС, Саяно-Шушинская, Белореченская, Иркутская, Колымская и Усть-Среднеканская ГЭС, в восьмибалльной - Зейская ГЭС. Десятки гидро- и тепловых электростанций расположены в семибалльной зоне, в том числе высокогорная Красноярская ГЭС, Нововоронежская и Кольская АЭС.

В районах Северного Кавказа, Сахалина, Камчатки, Курильских островов, Прибайкалья возможны землетрясения интенсивностью 8-9 баллов. Площадь сейсмоопасных районов, где возможны землетрясения от 8 до 9 баллов, составляет около 9 процентов территории. Наибольшая повторяемость опасных землетрясений (7 баллов и более), которые могут вызывать разрушения, наблюдается на Камчатке, Северном Кавказе. В пределах сейсмически опасных районов России расположено 330 крупных населенных пунктов, в том числе 103 города, крупнейшие из которых Владикавказ, Иркутск, Улан-Удэ, Петропавловск-Камчатский.

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

Камчатка и Курильские острова подвержены опасности вулканических извержений: из 69 действующих на территории России вулканов, 29 расположены на Камчатке и 40 на Курильских островах. Потухшие вулканы расположены на Кавказе и в районе Минеральных Вод. На Курило-Камчатской вулканической дуге

слабые извержения вулканов наблюдаются практически ежегодно, сильные - раз в несколько лет, катастрофические - раз в 50-60 лет.

С сейсмичностью и подводным вулканизмом тесно связана опасность возникновения огромных морских волн-цунами, воздействию которых в России подвержены участки берегов Камчатки, Курильских островов, Сахалина и Приморья. Под угрозой находятся территории 14 городов и нескольких десятков населенных пунктов. Повторяемость цунами силой 4 балла случаются раз в 50-100 лет, а менее слабые - в 10 раз чаще. Наиболее разрушительное цунами отмечено в октябре 1952 года, когда почти полностью был разрушен город Северо-Курильск, погибло около 14 тысяч человек. Сейчас, когда прошло полвека, повторение цунами вновь возможно.

Подверженность территории нашей страны опасным экзогенным геологическим процессам и явлениям, а также интенсивность этих процессов возрастает с севера на юг и с запада на восток. Оползнеопасные районы занимают около 40 процентов площади России. Наибольшую опасность представляют оползни, которые развиваются на территории 725 городов на Северном Кавказе, Камчатке, Сахалине, в Забайкалье, Поволжье. Что касается лавин, то больше всего ЧС происходит с декабря по март на Северном Кавказе, Алтае, Сахалине и в Забайкалье. Максимальный объем снежных лавин на Северном Кавказе и Алтае может достигать нескольких миллионов кубических метров. А в районах с высокой снежностью (Северный Кавказ, Алтай, Саяны, Сахалин, Хибин, Северный Урал, Сихотэ-Алинь, Камчатка, Корякское нагорье) возможен сход нескольких лавин за зиму из одного лавиносбора. Наиболее опасны случаи массового схода лавин, своего рода "лавиные бедствия". Во всех горных районах они возможны в среднем один раз в 7-10 лет.

К опасным склоновым процессам относятся и сели, которые подразделяются специалистами по своему составу на водоснежные, водокаменные и грязекаменные. К селеопасным относятся 20 процентов страны, наиболее селеопасные районы - на Северном Кавказе, Алтае, Саянах, Прибайкалье и Забайкалье, Камчатке и Сахалине.

Большую опасность представляют и пульсирующие ледники. Так, резкая подвижка ледника Колка в Кармадонском ущелье в Северной Осетии, происшедшая 20 сентября 2002 г., вызвала огромный водно-ледово-каменный сель, пронесшийся по долине реки Геналдон почти на 15 километров. Тогда погибли более сотни человек, в их числе и члены съемочной группы Сергея Бодрова-мл., был уничтожен поселок Нижний Кармадон, а также несколько баз отдыха.

К числу опасных относятся эрозионные процессы, которые широко развиты в России. Плоскостная эрозия распространена повсеместно, где бывают интенсивные осадки, уже сейчас она затронула 56 процентов площади сельхозугодий. Наиболее интенсивно овражная эрозия развивается в Центрально-Черноземном районе европейской части России.

Практически ежегодно в нашей стране происходят крупные наводнения, а по площади охватываемых территорий и наносимому материальному ущербу эти стихийные бедствия превосходят все остальные. Потенциальному затоплению подвержена территория страны общей площадью 400 тысяч квадратных километров, ежегодно затапливается около 50 тысяч квадратных километров. То есть под водой могут оказаться в разное время более 300 городов, десятки тысяч мелких населенных пунктов с населением более 4,6 миллионов человек, множество хозяйственных объектов, более 7 миллионов гектаров сельскохозяйственных угодий. По оценкам специалистов, среднемноголетний ущерб от наводнений составляет около 43 миллиардов рублей.

К метеорологическим природным опасностям относятся шквалы, ураганы, тайфуны, градобития, смерчи, катастрофические ливни, грозы, метели, снегопады. Чаще всего обильные снегопады наблюдаются в горных и прибрежных районах, характеризующихся интенсивной циклонической циркуляцией. К таким районам относятся Северный Кавказ, Алтай и Западные Саяны, Приморье, Камчатка и хребет Сихотэ-Алинь. Повторяемость сильных снегопадов здесь бывает чаще одного раза в год, а на Камчатке 5-8 раз за год. На европейской части России повторяемость таких снегопадов значительно меньше - раз в 2-10 лет.

Весьма опасными по своим последствиям являются засухи. Им в наибольшей степени подвержены Поволжье и Северный Кавказ - здесь эти опасные природные явления отмечаются каждые 2-3 года. Засухи, как правило, сопровождаются крупномасштабными пожарами, наносящими огромный материальный ущерб, особенно регионам Сибири и Дальнего Востока. Положение усугубляется еще и недостаточно эффективным противодействием - ведь противопожарные мероприятия дороги, и местные власти не всегда готовы тратить деньги на превентивные меры. По этой причине наблюдения за лесными пожарами ведутся только в зоне активной охраны лесов, охватывающей 2/3 общей площади лесного фонда страны. При этом средняя площадь одного пожара в несколько раз больше, чем в Западной Европе и Северной Америке, что лишь подтверждает невысокий уровень противопожарной защиты лесов в нашей стране.

#### *Прогноз, профилактика и защита людей и материальных ценностей от опасных природных явлений*

До недавнего времени усилия многих стран, в том числе и России, были направлены на ликвидацию последствий опасных природных явлений, оказание первой помощи пострадавшим, организацию аварийно-спасательных работ, предоставление материальных, технических и медицинских услуг и т.д.

Однако необратимый рост числа катастрофических событий и связанного с ним ущерба делают эти усилия все менее эффективными и выдвигает в качестве приоритетной новую задачу: прогнозирование и предупреждение природных катастроф.

Центральное место в этой стратегии занимает проблема оценки и управления природными рисками. Рассматриваемая проблема включает ряд фундаментальных научных задач, таких как:

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

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

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

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

- идентификацию опасности;
- прогнозирование опасности;
- оценку уязвимости;
- оценку риска.

Риск-анализ начинается с идентификации природных опасностей и их оценки. Необходимо определить вероятность проявления (или повторяемость) той или иной опасности определенного энергетического класса для взятой территории за заданный интервал времени.

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

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

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

Там где нет людей и объектов экономики, даже при очень высоком уровне природной опасности природный риск равен нулю (если не считать экологические ущербы), и, наоборот, в густонаселенных районах с очень насыщенной

инфраструктурой, даже не очень интенсивные природные явления могут давать высокие величины природных рисков.

Для решения конкретных проблем на уровне отдельных регионов, областей, муниципалитетов и даже отдельных крупных объектов, необходимо осуществлять оценку риска на более низких уровнях.

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

Для прогнозирования обстановки, возникающей при развитии природных чрезвычайных ситуаций, применяют математическое моделирование.

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

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

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

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

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

Проводится активная научно-исследовательская и аналитическая деятельность по созданию информационно-управляющих систем, предназначенных для осуществления автоматизированного мониторинга и анализа обстановки, а так же оценки возможности возникновения природных чрезвычайных ситуаций на всех уровнях управления.

На сегодняшний момент собран и продолжает формироваться обширный пакет прикладных программ и комплексов, позволяющих осуществлять оперативную оценку складывающейся обстановки. Ведутся работы по созданию

единой автоматизированной системы поддержки принятия решений в кризисных ситуациях с применением географических информационных технологий, возможностей космического мониторинга. Данный подход позволяет осуществлять оперативный контроль паводковой, пожарной обстановки на территориях, отслеживать проявления развитие неблагоприятных и опасных явлений различного рода, вести мониторинг биолого-социальной ситуации. Чрезвычайно высокую наглядность и эффективность реализации данного решения показывают результаты внедрения географических информационных систем как на территориальном и региональном, так и на федеральном уровнях.

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

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

### **Контрольные вопросы**

1. Классификация опасных природных явлений по происхождению.
2. Классификация опасных природных явлений по характеру воздействия.
3. Классификация опасных природных явлений по площади проявления.
4. Классификация опасных природных явлений по масштабу проявления.
5. Самые распространенные опасные природные явления возникающие на территории России (примеры).
3. Основные данные для составления прогноза проявления опасных природных явлений.

## **Глава 2. КОСМОГЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОПАСНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ**

А.Л. Чижевский (26.01.1897г. -20.12.1964 г.) показал, что космос реально влияет на биосферу Земли, и связано это непосредственно с солнечной активностью. Позже стало развиваться направление по исследованию ударных воздействий метеоритов на Землю как на «мишень» и влияния магнитных бурь на биосферу.

Воздействие систем космоса на системы Земли имеет четыре составляющих: галактическое (галактика (др.греч. -молочный, млечный) — гравитационно-связанная система из звёзд и звёздных скоплений, межзвёздного газа и пыли, и тёмной материи); солнечное излучение – корпускулярное (в виде потока частиц) и электромагнитное; вещественное (метеорные потоки, кометная пыль, импактное воздействие метеоритов, астероидов и комет), гравитационное воздействие (пульсации центров масс Земли – Луны и Солнца).

В жизни всего живого на нашей планете климат играет первостепенную роль. Он влияет не только на жизнедеятельность отдельных людей, но и на становлении, развитии, а также гибель целых цивилизаций.

От климата зависит здоровье людей и их благосостояние, эпидемиологическая обстановка и урожайность, темпы и виды строительства, работа и состояние транспорта, а также состояние экономики, и многое другое. Именно поэтому к климату обращено пристальное внимание не только ученых и политиков, но и обычных обывателей.

Современные климатические изменения непосредственно затрагивают нашу цивилизацию, кардинально влияя на погодные условия.

### **2.1. Космогенные опасные природные процессы**

Космос (греческ. – мир) это порядок, устройство, стройность (вообще, нечто упорядоченное).

Философы Древней Греции понимали под словом "космос" Мироздание, рассматривая его как упорядоченную гармоничную систему. Космосу противопоставлялся беспорядок, хаос.

В современном понимании космос - есть всё находящееся за пределами Земли и её атмосферы.

Космология - наука, пытающейся найти законы строения и развития Вселенной как целого.

Ближайшая и наиболее доступная исследованию область космического пространства - околоземное пространство (ближний космос).

Газы, образующие верхние слои земной атмосферы, ионизованы УФ-излучением (УФ-излучение — электромагнитное излучение, занимающее спектральный диапазон между видимым и рентгеновским излучениями) Солнца, т. е. находятся в состоянии плазмы. Плазма взаимодействует с магнитным полем Земли так, что магнитное поле оказывает на плазму давление. С удалением от Земли давление самой плазмы падает быстрее, чем давление, оказываемое на неё земным магнитным полем. Вследствие этого плазменную оболочку Земли можно разбить на две части. Нижняя часть, где давление плазмы превышает давление магнитного поля - ионосфера. Выше лежит магнитосфера - область, где давление магнитного поля больше, чем газовое давление плазмы. Поведение плазмы в магнитосфере определяется и регулируется прежде всего магнитным полем и коренным образом отличается от поведения обычного газа. Поэтому, в отличие от ионосферы, которую относят к верхней атмосфере Земли, магнитосферу принято относить уже к космическому пространству. По физической природе околоземное пространство, или ближний космос - это и есть магнитосфера. В магнитосфере становятся возможными явления захвата заряженных частиц магнитным полем Земли, которое действует как естественная магнитная ловушка. Так образуются радиационные пояса Земли.

Отнесение магнитосферы к космическому пространству обуславливается тем, что она тесно взаимодействует с более далёкими космическими объектами, и прежде всего с Солнцем.

Солнце (астр.) — единственная звезда Солнечной системы.

Вокруг Солнца обращаются другие объекты этой системы: планеты и их спутники, карликовые планеты и их спутники, астероиды, метеориты, кометы и космическая пыль (рис. 2.1).

Внешняя оболочка Солнца - корона - испускает непрерывный поток плазмы - солнечный ветер. У Земли он взаимодействует с земным магнитным полем (для плазмы достаточно сильное магнитное поле - то же, что твёрдое тело), обтекая его, как сверхзвуковой газовый поток обтекает препятствие. При этом возникает стационарная отходящая ударная волна, фронт которой расположен на расстоянии около 14 радиусов Земли (~100 000 км) от её центра с дневной стороны. Ближе к Земле плазма, прошедшая через фронт волны, находится в беспорядочном турбулентном движении. Переходная турбулентная область кончается там, где давление регулярного магнитного поля Земли превосходит давление турбулентной плазмы солнечного ветра. Это внешняя граница магнитосферы, или магнитопауза, расположенная на расстоянии около 10 земных радиусов (~60000 км) от центра Земли с дневной стороны. С ночной стороны

солнечный ветер образует плазменный хвост Земли (иногда его неточно наз. газовым).

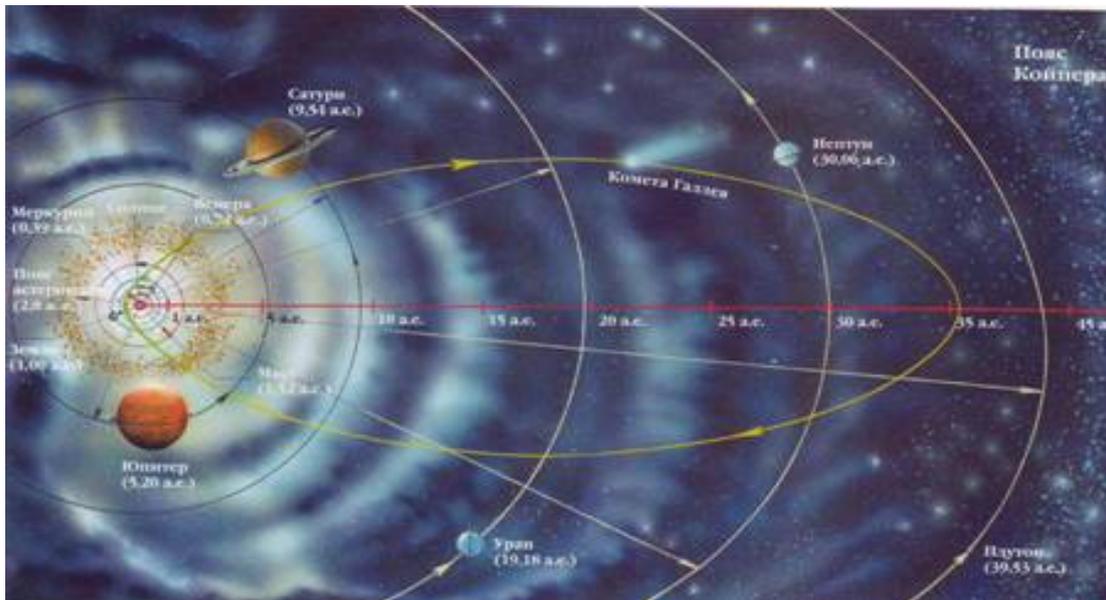


Рис. 2.1. Планеты и космические тела обращающиеся вокруг Солнца.

Проявления солнечной активности - вспышки на Солнце - приводят к выбросу солнечного вещества в виде отдельных плазменных сгустков (рис. 2.2). Сгустки, летящие в направлении Земли, ударяясь о магнитосферу, вызывают её кратковременное сжатие с последующим расширением. Так возникают магнитные бури – кратковременные сильные возмущения магнитного поля Земли, резко нарушающие его плавный суточный ход, а некоторые частицы сгустка, проникающие через магнитосферу, вызывают полярные сияния, нарушения радио- и даже телеграфной связи. Наиболее энергичные частицы сгустков регистрируются как солнечные космические лучи (они составляют лишь малую часть общего потока космических лучей).

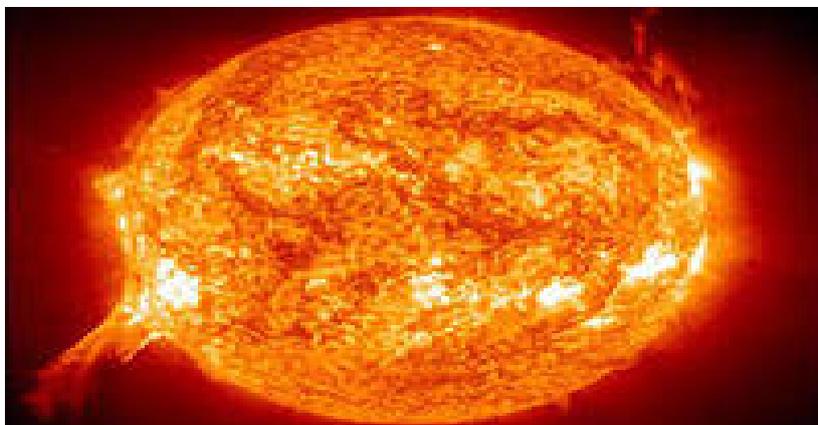


Рис. 2.2. Вспышка на Солнце.

Кратко охарактеризуем Солнечную систему. Здесь находятся ближайшие цели космических полётов - Луна и планеты. Пространство между планетами заполнено плазмой очень малой плотности, которую несёт солнечный ветер. Характер взаимодействия плазмы солнечного ветра с планетами зависит от того, имеют или нет планеты магнитное поле.

Большим разнообразием отличается семейство естественных спутников планет-гигантов. Один из спутников Юпитера, Ио, является самым активным в вулканическом отношении телом Солнечной системы. Титан, самый крупный из спутников Сатурна, обладает достаточно плотной атмосферой, едва ли не сравнимой с земной. Весьма необычным является и взаимодействие таких спутников с окружающей их плазмой магнитосфер материнских планет. Кольца Сатурна, состоящие из каменных и ледяных глыб разных размеров, вплоть до мельчайших пылинок, можно рассматривать как гигантский конгломерат миниатюрных естественных спутников.

По очень вытянутым орбитам вокруг Солнца движутся кометы. Ядра комет состоят из отдельных камней и пылевых частиц, замороженных в глыбу льда. Лёд этот не совсем обычный, в нём кроме воды содержатся аммиак и метан. Химический состав кометного льда напоминает состав самой большой планеты - Юпитера. Когда комета приближается к Солнцу, лёд частично испаряется, образуя гигантский газовый хвост кометы. Кометные хвосты обращены в сторону от Солнца, т. к. постоянно испытывают воздействие давления излучения и солнечного ветра.

Солнце - лишь одна из множества звёзд, образующих гигантскую звёздную систему - Галактику. А эта система в свою очередь - лишь одна из множества др. галактик. Астрономы привыкли относить слово "Галактика" как имя собственное к нашей звёздной системе, а то же слово как нарицательное - ко всем таким системам вообще. Наша Галактика содержит 150- 200 млрд. звёзд. Они располагаются так, что Галактика имеет вид плоского диска, в середину которого как бы вставлен шар диаметром меньшим, чем у диска. Солнце расположено на периферии диска, практически в его плоскости симметрии. Поэтому, когда мы смотрим на небо в плоскости диска, то видим на ночном небосводе светящуюся полосу - Млечный Путь, состоящий из звёзд, принадлежащих диску. Само название "Галактика" происходит от греческого слова *galaktikos* - млечный, молочный и означает систему Млечного Пути.

В числе природных катастроф особое место принадлежит космогенным катастрофам, учитывая их крупные масштабы и возможность тяжёлых экологических последствий.

Различают два типа космических катастроф: ударно-столкновительная (УСК), когда не разрушенные в атмосфере части космические объекты

(КО) сталкиваются с поверхностью Земли, образуя на ней кратеры, и воздушно-взрывная (ВВК), при которой объект полностью разрушается в атмосфере. Возможны и комбинированные катастрофы.

Примером УСК может служить Аризонский метеоритный кратер диаметром 1,2 км, образовавшийся около 50 тыс. лет назад вследствие падения железного метеорита массой 10 тыс. т, а ВВК - тунгусская катастрофа (метеорит диаметром 50 м полностью расплылся в атмосфере).

Последствия катастроф, возникающих при воздействии на Землю космических объектов, могут быть следующие:

- природно-климатические - возникновение эффекта ядерной зимы, нарушение климатического и экологического баланса, эрозия почвы, необратимые и обратимые воздействия на флору и фауну, загазованность атмосферы окислами азота, обильные кислотные дожди, разрушение озонового слоя атмосферы, массовые пожары; гибель и поражение людей;

- экономические - разрушение объектов экономики, инженерных сооружений и коммуникаций, в том числе разрушение и повреждение транспортных магистралей;

- культурно-исторические - разрушение культурно-исторических ценностей;

- политические - возможное осложнение международной обстановки, связанной с миграцией населения из мест катастрофы, и ослабление отдельных государств.

Поражающие факторы и их энергетика в каждом конкретном случае зависят от вида катастрофы, а также от места падения космического объекта, Они в значительной степени схожи с поражающими факторами, характерными для ядерного оружия (за исключением радиологических).

Таковыми являются:

Ударная волна:

- воздушная - вызывает разрушения зданий и сооружений, коммуникаций, линий связи, повреждения транспортных магистралей, поражения людей, флоры и фауны;

- в воде - разрушения и повреждения гидросооружений, надводных и подводных судов, частичные поражения морской флоры и фауны (в месте катастрофы), а также стихийные природные явления (цунами), приводящие к разрушениям в прибрежных районах;

- в грунте - явления, аналогичные землетрясениям (разрушения зданий и сооружений, инженерных коммуникаций, линий связи, транспортных магистралей, гибель и поражения людей, флоры и фауны).

Световое излучение приводит к уничтожению материальных ценностей, возникновению различных атмосферно-климатических эффектов, гибели и поражению людей, флоры и фауны.

Электромагнитный импульс оказывает воздействие на электрическую и электронную аппаратуру, повреждает системы связи, теле- и радиовещания и др.

Атмосферное электричество - последствия поражающего фактора аналогичны воздействию молний.

Отравляющие вещества - это возникновение загазованности атмосферы в районе катастрофы в основном окислами азота и его ядовитыми соединениями.

Аэрозольное загрязнение атмосферы - эффект этого подобен пыльным бурям, а при больших масштабах катастрофы может привести к изменению климатических условий на Земле.

Вторичные поражающие факторы появляются в результате разрушения атомных электростанций, плотин, химических заводов, складов различного назначения, хранилищ радиоактивных отходов и т.п.

Опасность для планеты Земля представляют такие космические «гости» и явления как: астероиды (малые планеты), кометы, метеориты (рис. 2.3), вирусы, заносимые космическими телами из космоса, возмущения на солнце, черные дыры, рождение сверхновых звезд.

С мелкими космическими телами Земля встречается постоянно. Эти встречи правильнее назвать столкновениями, ведь наша планета движется по орбите со скоростью около 30 км/с, и небесное тело тоже летит к Земле по своей орбите со скоростью того же порядка. Если тело невелико, то, врезаясь в верхние слои земной атмосферы, оно окутывается слоем раскаленной плазмы и полностью испаряется. Такие частички в науке называют метеорами, а в народе «падающими звездами». Метеор неожиданно вспыхивает и прочерчивает в ночном небе быстро гаснущий след. Иногда случаются «метеорные дожди» — массовое появление метеоров, встреча Земли с метеорными роями, или потоками.

Совсем иначе выглядит встреча Земли с более крупным телом. Оно испаряется только частично, проникает в нижние слои атмосферы, иногда распадается на части или взрывается, и, потеряв скорость, падает на земную поверхность. Такое тело в полете называют болидом, а то, что долетело до поверхности, — метеоритом.



Рис. 2.3. Метеорный дождь.

Еще в XVIII веке при помощи телескопа были впервые обнаружены малые планеты - астероиды. К нашему времени их открыто уже несколько сотен, причем орбиты примерно 500 из них пересекают орбиту Земли или опасно к ней приближаются. Не исключено, что на самом деле таких астероидов больше - несколько тысяч.

Немалую опасность могут представлять для Земли и кометы: в истории человечества их, видимо, было около 2000. А с мелкими космическими телами Земля вообще встречается постоянно. Почти 20 тысяч метеоритов падает ежегодно на Землю, но подавляющая их часть имеет весьма небольшие размеры и массу. Самые малые - весом всего несколько граммов - даже не долетают до поверхности нашей планеты, сгорая в плотных слоях ее атмосферы. Но уже стограммовые долетают и способны принести немалый вред, как живому существу, так и зданию или, например, транспортному средству. Но, к счастью, по статистике более 2/3 метеоритов любого размера падает в океан, а вызвать цунами способны лишь достаточно крупные. Падение же в океан малых космических тел приводит к куда менее опасным последствиям, чем при падении на сушу, в результате которого на Земле появляются кратеры. Из относительно больших кратеров на Земле известно более 230.

Согласно статистике, столкновения Земли с астероидом размерами до полутора километров в диаметре могут происходить примерно раз в 300 тысяч лет. Чем больше времени наш мир прожил без встреч с "космическими бомбами", тем выше вероятность такого происшествия в будущем.

На снимках, сделанных из космоса, на теле планеты видно около 4 тысяч странных кольцевых структур от десятков до нескольких тысяч километров в поперечине. Это не что иное, как следы попаданий "космических снарядов". Конечно, в непрекращающемся метеоритном ливне чаще встречаются не очень крупные (по космическим, конечно, меркам) тела.

Блуждающие в пространстве камни то и дело просвистывают рядом с нашей планетой, "как пули у виска".

Из официальных источников:

1932 год. Атаку на Землю совершил астероид "Аполлон". Каменная "бомба" диаметром один километр промахнулась на 10 миллионов километров. Совсем немного по космическим масштабам.

1936 год. Астероид "Адонис" вынырнул из космического мрака уже на расстоянии 2 миллиона километров.

1968 год. В опасной близости промчалась микро-планета Икар.

1989 год. Астероид диаметром около километра пересек орбиту Земли, лишь на шесть часов разминувшись с нашей планетой.

В мае 1996 года со скоростью 20 километров в секунду совсем рядом (по космическим меркам) пролетел пятисотметровый в диаметре астероид... Столкнись такая крошка с Землей, мощность взрыва достигала бы примерно 3 тысячи мегатонн тротилового эквивалента. А последствия таковы, что дальнейшее существование нашей цивилизации становилось весьма сомнительным.

В 1997 году еще два крупных астероида пересекли орбиту Земли... Нельзя сказать, что человечество так уж беззащитно перед метеоритной опасностью. Подсчитано, что существующие сегодня боевые ракеты могут встретить на подлете к Земле и разрушить любое космическое тело диаметром до километра. План такого перехвата возник еще в 60-х годах, когда астероид "Икар" опасно приблизился к нашей планете.

Космическая защита необходима, причем она должна быть многоплановой, так как Землю надо защищать не только от "небесных камней", но и от других напастей, поставляемых нам космосом.

Тайна происхождения новых вирусов заставила некоторых ученых выдвинуть предположение, что эта напасть попадает к нам из космоса. Опасность таких "подарков" трудно переоценить. Вспомним хотя бы легендарную "испанку" (устаревшее название гриппа, бытовавшее в начале XX века). Во время пандемии "испанки" 1918-1919 годов от этой болезни умерло около 20 миллионов человек. Смерть наступала в результате острого воспаления и отека легких. Сегодня ученые считают, что к столь многочисленным жертвам привел вовсе не грипп, а какое-то другое, еще неизвестное заболевание.

Солнце тоже делает нам "подарки". Ученые напоминают о катастрофическом событии, случившемся в марте 1989 года в Квебеке. После мощной солнечной вспышки поток частиц достиг поверхности нашей планеты, вызвав в Канаде техногенную катастрофу - там вышли из строя все генераторы электричества и шесть миллионов человек почти на сутки остались без тепла и света.

Многие ученые утверждают, что нынешняя активность Солнца создает возможность повторения "квебекского катаклизма" в самое ближайшее время. Несколько американских космических спутников уже якобы вышли из строя из-за мощных солнечных выбросов, несущихся к Земле.

Впрочем, в отделе физики Солнца астрономического института им. Штернберга утешают человечество, сообщив, что ситуация находится в пределах нормы и ничего сверхъестественного не предвидится. Да, несколько спутников получили повреждения, но шум, который поднимают вокруг этого события, опять-таки вызван в большей степени желанием выбить деньги под свои исследовательские программы, чем реальной опасностью.

Однако дата возможной будущей встречи с очередной "космической бомбой" уже определена - 14 августа 2126 года. Прогноз сделан авторитетным американским астрономом Брайаном Марсденом. Он предсказал столкновение с кометой Свифта - Татла. Речь идет о ледяной горе диаметром 10 километров. Ее удар о Землю будет равносителен взрыву 100 миллионов мощнейших атомных бомб. Будем верить, что к этому сроку земная цивилизация уже наверняка сможет защитить себя от любых комет и метеоритов.

Таким образом, космос полон опасностями для жизни, особенно астероидами, метеоритами, кометами, грозящими врезаться в Землю.

Существует опасность, от так называемых черных дыр. Известный физик Стефан Хоукин вынужден был пересмотреть свою теорию черных дыр. Прежде считалось, что ни один объект не способен выйти из мощного гравитационного поля черной дыры. Однако впоследствии ученый пришел к выводу, что информация об этих объектах, попавших в космическую дыру, может быть излучена обратно в трансформированном виде. Эта извращенная информация, в свою очередь, меняет сущность объекта. "Зараженный" подобным образом объект трансформирует любую информацию о предмете, который встречается у него на пути. При этом если облако достигнет Земли, то эффект его воздействия на планету будет сродни тому, как если пролить на рукописный чернильный текст воду, которая разъедает слова и превращает в месиво.

Опасны вспышки на Солнце. Межпланетная ударная волна, порожденная солнечной вспышкой, достигнув Земли вызывает, полярное сияние, видимое даже в средних широтах. Скорость выброшенного материала может составлять около 908 км/с (наблюдалась в 2000 г.). Выброс, состоящий из гигантских облаков электронов и магнитных полей, достигнув Земли способен вызвать крупные магнитные бури, способные прерывать спутниковую связь. Выбросы корональной массы могут уносить до 10 миллиардов тонн наэлектризованного газа из короны Солнца, распространяющегося со скоростью до 2000 км/с. Так как их становятся все больше и больше, они окутывают Солнце, формируя ореол вокруг нашей звезды. Это может звучать угрожающе, но на самом деле такие выбросы не представляют опасности для людей, находящихся на Земле. Магнитное поле нашей планеты служит надежным защитным экраном против солнечного ветра. Когда солнечный ветер достигает магнитосферы - области вокруг Земли, контролируемой ее магнитным полем - большая часть материала отклоняется далеко за пределы нашей планеты. Если волна солнечного ветра велика, она может сжимать магнитосферу и вызывать геомагнитный шторм. В предыдущий раз такое событие произошло в начале апреля 2000 года.

## **2.2. Климатические опасные природные процессы**

Климат - многолетний режим погоды на данной территории.

Погоду в любой момент времени характеризуют определенные комбинации температуры, влажности, направления и скорости ветра. В некоторых типах климата погода существенно меняется каждый день или по сезонам, в других – остается неизменной. Климатические описания основываются на статистическом анализе (обычно за 30 лет) средних и экстремальных метеорологических характеристик.

Как фактор природной среды климат влияет на географическое распределение растительности, почв и водных ресурсов и, следовательно, на землепользование и экономику. Климат также оказывает воздействие на условия жизни и здоровье человека.

Климатология – наука о климате, изучающая причины формирования разных типов климата, их географическое размещение и взаимосвязи климата и других природных явлений.

Климатология тесно связана с метеорологией – разделом физики, изучающим краткосрочные состояния атмосферы, т.е. погоду.

Климат формируется под воздействием нескольких факторов, которые обеспечивают атмосферу теплом и влагой и определяют динамику воздушных течений.

На формирование климата любой территории оказывают влияние следующие факторы: географическая широта; солнечная радиация; циркуляция воздушных масс; подстилающая поверхность; рельеф (высота местности над уровнем моря, направление горных хребтов); близость морей и океанов; морские течения; антропогенные воздействия.

Все эти климатообразующие факторы действуют и на территории нашей страны, формируя своеобразные климатические условия того или иного места (региона).

Основными климатическими показателями являются: количество тепла, количество осадков и распределение их по сезонам года, испаряемость, коэффициент увлажнения.

Влияние географической широты на климат. Большая протяженность России с севера на юг определяет разное количество солнечного тепла, получаемое той или иной территорией.

Тепло и свет, излучаемые Солнцем, называются солнечной радиацией (рис. 2.4). Радиация измеряется количеством тепла и выражается в килокалориях на один квадратный сантиметр ( $\text{ккал}/\text{см}^2$ ) земной поверхности.

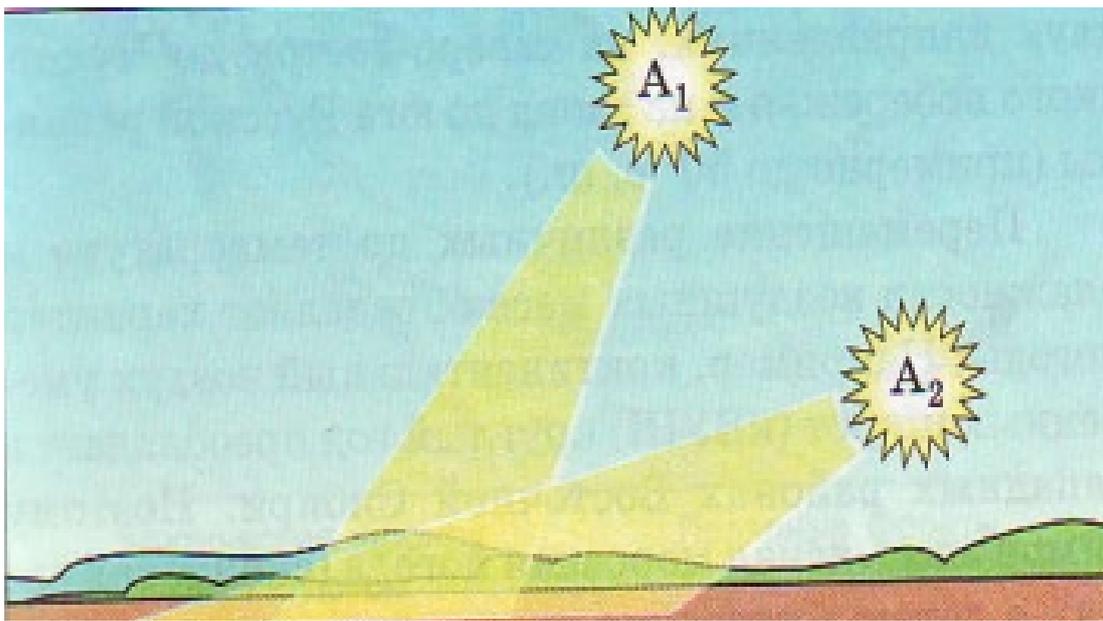


Рис. 2.4. Распределение солнечного тепла в зависимости от высоты Солнца над горизонтом

Количество солнечной радиации, которую получает земная поверхность, прежде всего, зависит от географической широты места, так как широта определяет угол падения солнечных лучей.

Наибольшее количество солнечной радиации поступает на поверхность в южных районах нашей страны, поэтому именно там наблюдаются самые высокие температуры воздуха.

На величину солнечной радиации влияет состояние атмосферы, а также характер подстилающей поверхности.

Но не все солнечные лучи достигают земной поверхности. Часть радиации поглощается атмосферой, часть рассеивается и отражается облаками и пылью, содержащейся в воздухе. Общее количество солнечной энергии, достигающей поверхности Земли, называется суммарной радиацией.

Нагретая земная поверхность излучает тепло. Чем выше температура поверхности и чем меньше облачность, тем больше тепловой энергии отдает поверхность. Например, в умеренных широтах поверхность отдает около половины энергии, затраченной на ее нагревание.

Влияние подстилающей поверхности. Характер подстилающей поверхности сильно влияет на отражение или поглощение радиации. Снег отражает до 70—80% суммарной солнечной радиации, песок в два раза меньше, чем снег, лес и чернозем примерно в пять раз меньше.

Циркуляция воздушных масс. На свойства воздушных масс, а именно на их температуру, влажность, запыленность, большое влияние оказывает подстилающая поверхность, над которой они формируются. Поэтому все воздушные массы подразделяются на морские и континентальные.

Перемещение воздушных масс над поверхностью Земли приводит к переносу тепла и влаги из одних районов в другие. На территорию нашей страны со стороны Тихого и Атлантического океанов поступает морской воздух умеренных широт и морской тропический воздух, а с севера — арктический воздух Северного Ледовитого океана.

Поскольку в умеренных широтах, где расположена большая часть нашей страны, господствует западный перенос воздушных масс, Атлантический океан оказывает на климат значительно большее влияние по сравнению с Тихим океаном. Роль западного переноса особенно велика в теплый период года, когда на большей части страны преобладают западные и северо-западные ветры.

Зимой основную роль играет обширная область высокого давления, называемая Сибирским антициклоном или Азиатским максимумом. Его центр располагается в районах Забайкалья, Республики Тыва и Северной Монголии. От него области с повышенным давлением простираются в двух направлениях: на северо-восток до Чукотского побережья и на запад до юга Русской равнины (примерно до 50° с. ш.).

Перемещение различных по температуре и влажности воздушных масс определяет характер погоды. Например, континентальный воздух

умеренных широт круглый год преобладает в западных районах Восточной Сибири. Поэтому зимой здесь ясная морозная погода (сибирская зима), а летом достаточно тепло.

При перемещении воздушных масс над той или иной территорией они способны постепенно менять свои свойства под влиянием подстилающей поверхности. Этот процесс называется трансформацией. Например, арктические воздушные массы, проходя летом через всю Русскую равнину, прогреваются до такой степени, что приводят к образованию суховеев в Предкавказье.

В полосе, разделяющей различные по своим свойствам воздушные массы, образуются своеобразные переходные зоны — атмосферные фронты. Ширина атмосферного фронта обычно достигает нескольких десятков километров. В полосе фронта при соприкосновении двух различных по свойствам воздушных масс происходит достаточно быстрое изменение давления, температуры, влажности. Поэтому прохождение фронта через какую-либо местность сопровождается ветрами, облачностью, выпадением осадков, т. е. сменой погоды.

При перемещении теплых воздушных масс в сторону холодных образуется теплый фронт, а при перемещении холодных воздушных масс в сторону теплых — холодный фронт.

При вторжении теплого воздуха он, как более легкий, поднимается над холодным. При подъеме он охлаждается, поэтому содержащаяся в нем влага конденсируется, что и вызывает выпадение осадков. Погода изменяется таким образом: наступает потепление, идут затяжные дожди.

При вторжении холодного воздуха он, как более тяжелый, подтекает под теплый, выталкивая его вверх. Поднимаясь теплый воздух быстро охлаждается, поэтому выпадают обильные осадки — ливни, часто с грозами. После этого наступает ясная, прохладная погода.

С атмосферными фронтами связано формирование крупных атмосферных вихрей — циклонов и антициклонов. Интенсивная циклоническая деятельность зимой развивается над Баренцевым, Карским, Охотским морями и северо-западной частью Русской равнины. В летний период циклоны наиболее интенсивно развиваются на Дальнем Востоке и на западе Русской равнины. Антициклоны активно действуют зимой в Восточной Сибири, а также как зимой, так и летом на юге Русской равнины.

Циклоны — это вихри с низким давлением в центре, антициклоны — с высоким давлением в центре.

Воздух в циклоне движется от периферии к центру, отклоняясь против часовой стрелки (в Северном полушарии). В центре воздух

поднимается и растекается к окраинам. При этом происходит конденсация влаги и выпадают осадки.

Циклоны имеют весьма внушительные размеры — 2—3 тыс. км в поперечнике и перемещаются со скоростью около 30 км/ч.

По территории России циклоны обычно перемещаются с запада на восток, поскольку в умеренных широтах господствует западный перенос.

В антициклоне происходит движение воздуха от центра к периферии с отклонением по часовой стрелке (в Северном полушарии). В центр антициклона постоянно поступает воздух из верхних слоев тропосферы. При опускании этот воздух прогревается и удаляется от насыщения водяным паром. Поэтому в антициклоне погода стоит ясная, безоблачная, с большими суточными колебаниями температуры.

Большое влияние на климат оказывает рельеф.

Отсутствие гор на севере и западе России способствует проникновению арктических и атлантических воздушных масс в глубь страны.

Горные хребты на востоке страны ограничивают влияние Тихого океана на климат внутренних районов, увеличивают облачность и выпадение осадков.

Горы Кавказа обеспечивают мягкую зиму на побережье Черного моря.

Низкогорный и среднегорный Урал мало влияет на продвижение атлантического воздуха в Западную Сибирь и арктического воздуха в низкие широты.

Таким образом, на территории России формируются разные типы климатов.

Арктический климат характерен для островов Северного Ледовитого океана и его сибирских побережий. Здесь поверхность получает очень мало солнечного тепла. В течение всего года господствуют холодный арктический воздух, антициклоны. Суровость климата усиливается из-за длинной полярной ночи, когда на поверхность не поступает солнечная радиация. Это удлиняет зиму и сокращает остальные сезоны года до 1,5—2 месяцев.

В этом климате практически два сезона года: долгая холодная зима и короткое прохладное лето. Средние температуры января  $-24$ — $30^{\circ}\text{C}$ . Летние температуры низкие:  $+2$ — $5^{\circ}\text{C}$ . Количество осадков ограничивается 200—300 мм в год. Выпадают они преимущественно в зимнее время в виде снега.

Субарктический климат характерен для территорий, расположенных за Полярным кругом на Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнинах.

Зимы долгие и суровые, причем суровость климата нарастает при движении с запада на восток. Лето теплее, чем в арктическом поясе, но все же короткое и довольно холодное (средние температуры июля от +4 до +12°C). Годовая сумма осадков 200—400 мм, но из-за малых величин испарения увлажнение избыточное. Влияние атлантических воздушных масс приводит к тому, что в тундрах Кольского полуострова по сравнению с материковой частью количество осадков увеличивается, а температуры зимы более высокие, чем в азиатской части.

Климат умеренного пояса. Умеренный климатический пояс — самый большой по площади климатический пояс России. Для него характерны существенные различия в температуре и увлажнении по мере движения с запада на восток и с севера на юг. Общим для всего пояса являются четко выраженные четыре сезона года.

Умеренно континентальный климат господствует в европейской части России. Его основные признаки: теплое лето (температура июля +12–24°C), морозная зима (средние температуры января от -4 до -20°C), годовое количество осадков более 800 мм на западе и до 500 мм в центре Русской равнины.

Континентальный климат умеренного пояса характерен для Западной Сибири. Лето теплое, на юге даже знойное (средние температуры июля от +15 до +26°C). Зима сурова по сравнению с умеренно континентальным климатом, средние температуры января составляют от -15 до -25°C.

Резко континентальный климат умеренного пояса распространен в Восточной Сибири. Тёплое и жаркое лето, морозная малоснежная зима. Малоснежность при сильных морозах (средняя температура января от -25 до -45°C) обеспечивает глубокое промерзание почв и грунтов, а это в условиях умеренных широт вызывает сохранение многолетней мерзлоты. Лето солнечное и теплое (средние температуры июля от +16 до +20°C). Годовое количество осадков менее 500 мм. Коэффициент увлажнения близок к единице.

Муссонный климат умеренного пояса типичен для южных районов Дальнего Востока. Летом материк прогревается сильнее океана, и более холодный океанический воздух стремится на континент, принося облачность, обильные атмосферные осадки. Средние температуры января здесь от -15 до -30°C; летом, в июле, от +10 до +20°C. Осадки (до 600—800 мм в год) выпадают преимущественно летом. Если таяние снега в горах совпадает с обильными дождями, происходят наводнения. Увлажнение всюду избыточное (коэффициент увлажнения больше единицы).

Глобальное потепление современности

Глобальное потепление — процесс постепенного увеличения среднегодовой температуры атмосферы Земли и Мирового океана.

На наших глазах все чаще стали сдвигаться календарные даты времен года. Такая тенденция происходит не только в России.

В несколько десятков лет Европа то подвергается нашествию небывалых снегопадов, то в разгар зимы на нее обрушиваются ливни и продолжительные дожди, или из-за внезапного потепления начинается быстрое таяние снегов, из берегов выходят реки, что приводит к затоплению обширных площадей. Наводнения наносят не только огромный материальный ущерб, но и приводят жертвам среди людей.

Одновременно с этим в западном полушарии на США и Мексику летом стала обрушивается невыносимая жара, которая сопровождается сильными грозами и мощными смерчами. Погода словно сошла с ума. В разных частях света она свирепствует по-своему. Всё чаще люди стали задаваться вопросом – почему же так происходит? Что же является причиной тех нарушений, которые позволили вывести из равновесия климатическую систему нашей планеты? Ответ один – все климатические изменения происходят из-за глобального потепления.

В истории климата Земли такие природные катаклизмы и аномалии природы вовсе не единственны. В прошлом бывали и более невероятные события погоды. Старинные хроники свидетельствуют о том, что во времена Древнего Египта даже Нил замерзал, а Черное море порой покрывалось льдом. Часто замерзал и Босфор, причем настолько, что по ледяной корке могли переходить люди. Это происходило во время малого ледникового периода (14 век - конец 19 века). В этот период Гренландия (названная викингами Зеленой землей из-за теплого климата) покрывалась льдами, которые и по сей день там.

В результате глобального потепления (в процессе перехода одного климатического состояния в другое) климатическая система приходит в нестабильное состояние. Такое состояние вызывает экстремальные погодные условия (стихийные бедствия). К ним относятся ураганы, смерчи, засухи, суховеи, обильные снегопады и морозы, ливни, град, продолжительные дожди.

К природным катаклизмам невозможно привыкнуть. Они наносят огромный материальный ущерб и приводят к большим людским жертвам. Как показывают наблюдения, стихийные бедствия происходят всё чаще и чаще. О разладе климатической системы свидетельствует также то, что всё тяжелее делать прогнозы на стихийные бедствия. Это ещё раз подтверждает обстоятельство, что климат меняется, и эта смена может происходить сколь угодно долго.

На сегодняшний день основными гипотезами, определяющими причины изменения климата являются следующие:

*Гипотеза 1: Увеличение парниковых газов в атмосфере.*

Парниковый эффект — повышение температуры нижних слоёв атмосферы планеты по сравнению с эффективной температурой, то есть температурой теплового излучения планеты, наблюдаемого из космоса.

В конце 60-х начале 70-х годов XX столетия ученые-климатологи обратили внимание на тенденцию к росту средних глобальных температур приземного воздушного слоя.

С помощью анализа средних температур за более чем столетний интервал времени наблюдений было выявлено, что температура имеет тенденцию не к плавному, а к скачкообразному изменению. Однако на фоне общего роста были зафиксированы годы, когда температура существенно снижалась, и после понижения вновь наблюдался ее более ускоренный рост. Было проанализировано, что в эти годы увеличение температур было связано с парниковым эффектом атмосферы, этот факт в свою очередь был вызван присутствием в атмосфере углекислого газа. Многие исследователи стали считать наличие  $\text{CO}_2$  в атмосфере не просто ведущей, а главенствующей причиной роста температур.

Кроме углекислого газа парниковый эффект атмосферы обеспечивают пары воды, озон, метан, фреоны и другие газы, но их доля, кроме паров воды и  $\text{CO}_2$ , в парниковом эффекте, не столь велика. Поэтому при создании математических моделей роста глобальных температур стали пренебрегать всеми газами, кроме  $\text{CO}_2$  и водяных паров. Тем более что и в геологическом прошлом рост или снижение температуры, как правило, сопровождалось изменениями концентраций углекислого газа в атмосфере (это было доказано с помощью геологических исследований). Но, всё же, в геологическом прошлом скорость роста концентрации углекислоты была существенно ниже, чем в настоящее время, а причиной ее увеличения служили вяло протекающие тектонические процессы в недрах земли.

Не смотря на множество факторов, оказывающих влияющих на нашу планету основной причиной глобального потепления считается деятельность человека.

**А) Антропогенная деятельность**

Во время климатических исследований учеными было замечено, что кривая роста температуры на нашей планете достаточно точно совпадает с кривой увеличения содержания в атмосфере  $\text{CO}_2$ .

Однозначной причиной увеличения содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере были названы - промышленность и сельское хозяйство всего мира, которые постоянно увеличивают выброс углекислого газа в атмосферу.

И, действительно, большая скорость изменений климата, которые происходят в последние десятилетия, может быть объяснима всё возрастающей интенсификацией антропогенной деятельности, которая

оказывает существенное влияние на химический состав атмосферы Земли в сторону увеличения содержания в ней парниковых газов.

Увеличение средней температуры воздуха нижних слоёв атмосферы Земли на  $0,8^{\circ}\text{C}$  за последние 100 лет – это достаточно высокая скорость для естественных процессов. Последние десятилетия добавили ещё большей весомости этому аргументу, поскольку за этот период изменения средней температуры воздуха составили -  $0,3-0,4^{\circ}\text{C}$ .

Но, всё же, это лишь гипотеза, с которой согласились далеко не все. Например, отечественный ученый О. Сорохтин (Олег Георгиевич Сорохтин (17 мая 1927— 21 июня 2010) — советский, российский геолог-геофизик, эколог, доктор физико-математических наук, профессор, академик Международной академии экологии, безопасности человека и природы) считал, что в данном случае нужно поменять местами причины и следствие. Больше всего углекислого газа содержится в мировом океане, а при увеличении температуры, растворимость газов уменьшается, то есть при потеплении из воды в атмосферу выбрасывается огромное количество  $\text{CO}_2$  и метана. Причиной же потепления, по его мнению, является, скорее всего, увеличение активности Солнца, так как и прежде. Так же считают и многие зарубежные ученые.

Но даже если согласиться с парниковой теории, человеческая вина сильно преувеличена, потому что при анализе количества  $\text{CO}_2$  в атмосфере роль мирового океана, вулканов во время извержений, лесных пожаров не берутся в расчет. Однако по сравнению с ними выбросы углекислоты от человеческой деятельности практически ничтожны.

Но всё же это не означает, что борьба с увеличением выбросов  $\text{CO}_2$  в атмосферу не нужна. Напротив, в настоящее время она необходима. Экологическая обстановка на нашей планете становится с каждым годом всё хуже. От этого страдают не только люди, но и многие животные.

Таким образом, является ли на самом деле человеческая деятельность первопричиной глобального потепления или данная тема является очередным коммерческим ходом кого-либо остается большим вопросом.

Б) Влияние мирового океана на увеличение концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере

Мировой океан – крупнейший аккумулятор солнечной энергии. Именно он во многом определяет скорость и направление движения тёплых океанических, а также воздушных масс на нашей планете, которые в свою очередь сильной влияют на климат Земли. Кроме того, в водах мирового океана растворено огромное количество углекислоты (около 140 трлн. тонн, что в 60 раз больше, чем в атмосфере) а также ряда других парниковых газов.

В результате определённых природных процессов (например, потепления климата или океанского вулканизма) эти газы могут поступать в атмосферу, существенным образом оказывая влияние на климат Земли. Данные процессы легко объяснимы: в случае потепления увеличивается испарение водяного пара (также являющегося парниковым газом) с поверхности океана. Вследствие извержений вулканов в океане в атмосферу выбрасывается огромное количества как  $\text{CO}_2$ , так и метана. Метан удерживает тепла в 20 раз больше, чем углекислота, но его влияние на глобальное потепление является не прямым. При попадании метана в атмосферу происходит химическая реакция с молекулами кислорода и водорода. В процессе этой реакции выделяется диоксид углерода и водяной пар – основные газы, участвующие в парниковом эффекте.

Самый мощный источник метана всего несколько лет назад был обнаружен на дне Мирового океана. Источник представляет из себя глобальную систему срединноокеанских хребтов, протяженность которых около 60 000 км. Метан выделяется в процессе реакции мантийного вещества, проникающего через разломы в хребтах, с морской водой.

Кроме вулканов в океане на земной поверхности существуют озерно-болотные системы, тундровые ландшафты и тропические мангровые ландшафты являющиеся серьезными источниками метана.

*Гипотеза 2: Солнечная активность; изменение угла оси вращения Земли и ее орбиты.*

Именно благодаря местоположению Земли в Солнечной системе мы обязаны столь уникальному, пригодному для жизни климату на нашей планете. Поэтому даже незначительные изменения активности светила или небольшое изменение угла наклона Земли могут очень существенно оказать влияние на климатическую систему планеты.

Выделяют 11-летние, 22-летние, и 80-90 летние циклы активности солнца. И вполне вероятно, что наблюдаемое глобальное потепление связано с очередным ростом солнечной активности, которая в ближайшем будущем может снова пойти на убыль. Что же касается изменения угла наклона орбиты Земли, то подобные изменения движения планеты вызывают перемену радиационного баланса Земли, а, следовательно, и её климата.

*Гипотеза 3: Вулканическая активность.*

Вулканическая активность является источником аэрозолей серной кислоты и большого количества  $\text{CO}_2$ , выбрасываемых в процессе извержений. Данный факт также сказывается на климатической обстановке планеты. Крупные извержения могут сопровождаться увеличением глобальной температуры вследствие огромных выбросов аэрозолей.

Вулканическая пыль может очень длительное время находиться в атмосфере, значительно уменьшая ее прозрачность. Тепло, излучаемое источниками на Земле, не сможет беспрепятственно проникнуть в космос и будет отражаться от непрозрачной атмосферы, образуя тем самым парник на поверхности Земли. Однако, если вулканическая пыль будет слишком долго находиться в атмосфере, после потепления будет происходить значительное похолодание из-за того, что солнечные лучи также не смогут достигать поверхности планеты.

*Гипотеза 4: Неизвестные взаимодействия между Землей и планетами Солнечной системы.*

В любой системе, в том числе и Солнечной, существует связь между ее компонентами. Поэтому не исключено, что положение планет и Солнца может каким-то образом влиять на распределение и силу гравитационных полей, энергии солнца, а также других видов энергии. Количественно и качественно это взаимодействие не изучено до конца, поэтому не исключено, они могут оказывать существенное влияние на процессы, происходящие в атмосфере и гидросфере нашей планеты.

*Гипотеза 5. Взрывы.*

Согласно этой теории взрывы, которые осуществляются во время боевых действий, горнодобывающих и строительных работ оказывают серьезное влияние на недра планеты. В соответствии с законами Ньютона огромная энергия от многочисленных взрывов, поглощённая земной корой, должна вызывать противодействие. Именно это противодействие и выражается в изменении климатической обстановке на Земле.

Таким образом, подводя итоги под вышеизложенными гипотезами напрашивается вывод: климат - слишком сложная система, для того чтобы изменяться под действием лишь одного из факторов.

Нельзя делать прогнозы на дальнейшее поведение климатической системы, не учитывая ее связи с Солнцем и другими космическими объектами, также не учитывая глобальные процессы, происходящие на самой планете (извержение вулканов, испарения мирового океана, пожары, естественные выбросы  $\text{CO}_2$  и метана из болот и т.д.). На сегодняшний момент невозможно абсолютно достоверно описать поведение климатической системы какой-либо математической моделью. В решении этого уравнения слишком много неизвестных, значение которых порой сильно преуменьшены или напротив преувеличены.

Кроме того, существует ещё одна теория глобального потепления.

Есть просто очередной этап, очередная естественная перемена климата на нашей планете. На Земле неоднократно ледниковые периоды сменялись теплыми условиями, а затем опять наступало похолодание. Люди даже много веков тому назад не раз были свидетелями

удивительных событий, например, когда в середине лета, в разгар жары выпадал снег или зимой устанавливалась слишком теплая погода... А ведь в то время не была развита промышленность - виновница нынешнего глобального потепления по мнению многих. Некоторые ученые склоняются к тому, что мы живем в очень комфортном климате чрезвычайно длительный срок, непривычно долгий для планеты. Погоде свойственно меняться и возможно мы живем в период, когда и начинается очередная ее естественная перемена...

Таким образом, в космосе существует большое количество опасных для жизни на Земле объектов и явлений. К ним относятся: астероиды, метеориты, кометы; вирусы заносимые данными объектами на землю; “черные дыры” о природе которых спорят ученые; рождение сверхновых звезд вблизи нашей планеты; катастрофической силы вспышки на Солнце. Все эти объекты и явления могут нанести ущерб планете Земля, изменить ее климат, вызвать цунами, наводнения и т. п., загрязнить окружающую среду опасными веществами, привести к гибели большого числа людей, уничтожить города и целые страны, и даже полностью уничтожить нашу планету. За свое существование наша планета претерпевала много атак космических объектов, многие крупные объекты приводили к изменению климата на ней и весьма повлияли на ее теперешнее состояние. На теле Земли осталось много “шрамов” от астероидов, метеоритов, комет. Поэтому угроза чрезвычайных ситуаций космического характера реальна, и в первую очередь должна быть предметом заботы государств. Программы по защите от космических нападений должны достойно финансироваться и проводится на качественном уровне всеми странами вместе. Должны быть разработаны программы, по защите Земли от угроз из космоса.

Мерами, которые могут помочь в данном вопросе, могут стать: наблюдение за опасными объектами с помощью современных средств, мощных телескопов, внесение их в каталоги, отправка зондов направляемых в космическое пространство для отслеживания опасных объектов, своевременное оповещение людей о надвигающейся угрозе из космоса, их эвакуация в безопасные местности, укрытия (подземные бункеры), защита людей от опасных последствий космических катастроф (информирование о способах защиты, средства индивидуальной защиты, развертывание госпиталей, помощь пострадавшим и.т.п.) разработка методов и оружия для разрушения опасных космических объектов либо хотя бы смещения орбиты данных объектов, для отвода их от Земли, при особо опасных угрозах, не так фантастичны даже такие разработки, как

переселение людей с планеты Земля на другие пригодные для жизни планеты либо постройка искусственного Ноевого ковчега.

### **Контрольные вопросы**

1. Влияние космоса на земную поверхность (изменения: в магнитосфере, на Солнце, загрязнения из космоса и т.д.).
2. Опасность для земной поверхности при падении космических тел.
3. Факторы, влияющие на формирование климата.
4. Влияние солнечной радиации на земную поверхность.
5. Циркуляция воздушных масс.
6. Основные гипотезы, определяющие причины изменения климата

## Глава 3. ОПАСНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ В ЛИТОСФЕРЕ

Термин литосфера имеет греческое происхождение (литос – камень, сфера – шар) и означает – твёрдая оболочка Земли. Состоит из земной коры и верхней части мантии.

В строении литосферы выделяют подвижные области (складчатые пояса) и относительно стабильные платформы (рис. 3.1).

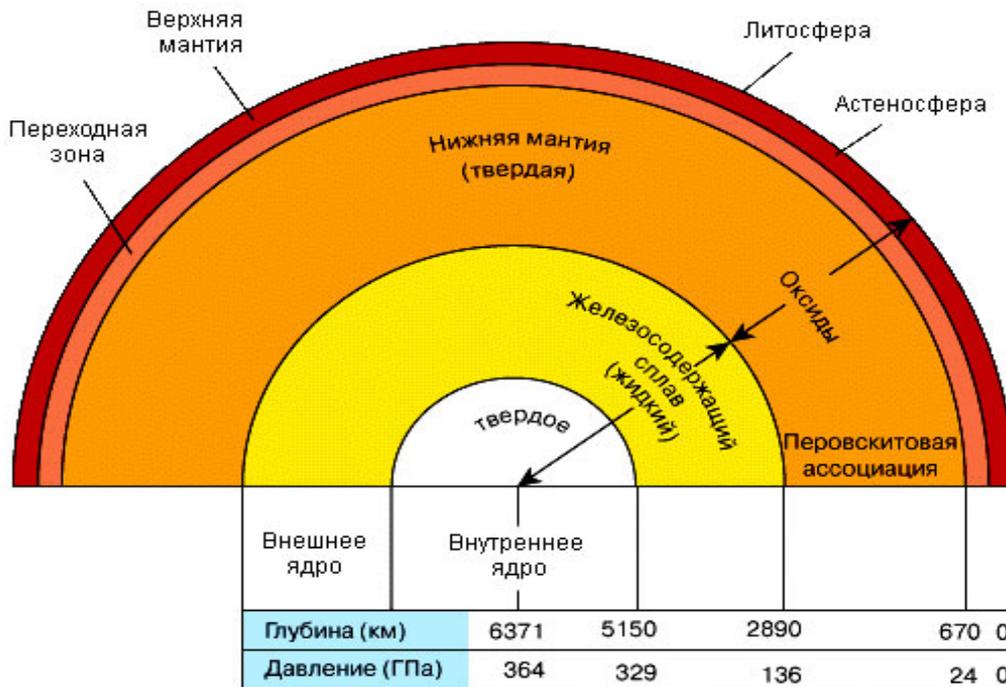


Рис. 3.1. Внутреннее строение Земли

Литосфера под океанами и континентами значительно различается.

Литосфера под континентами состоит из осадочного, гранитного и базальтового слоёв общей мощностью до 80 км.

Литосфера под океанами претерпела множество этапов частичного плавления в результате образования океанической коры, она сильно обеднена легкоплавкими редкими элементами, в основном состоит из дунитов и гарцбургитов, её толща составляет 5-10 км, а гранитный слой полностью отсутствует.

### 3.1. Землетрясения

Основные понятия и характеристика землетрясений.

Землетрясения представляют собой подземные колебания и толчки земной поверхности, возникающие в результате внезапных смещений и разрывов в земных недрах.

Землетрясения относятся к числу наиболее опасных сейсмических процессов и по своим разрушительным последствиям не имеют себе равных среди природных явлений. Внезапность и огромная разрушительная сила землетрясений часто приводят к большому числу человеческих жертв и уничтожению огромных материальных ценностей.

Вся поверхность земного шара делится на несколько огромных частей земной коры, которые называются тектоническими литосферными плитами— североамериканская, евроазиатская, африканская, южноамериканская, тихоокеанская и атлантическая (рис. 3.2). Районы, расположенные вблизи границ тектонических литосферных плит в наибольшей степени подвержены землетрясениям.

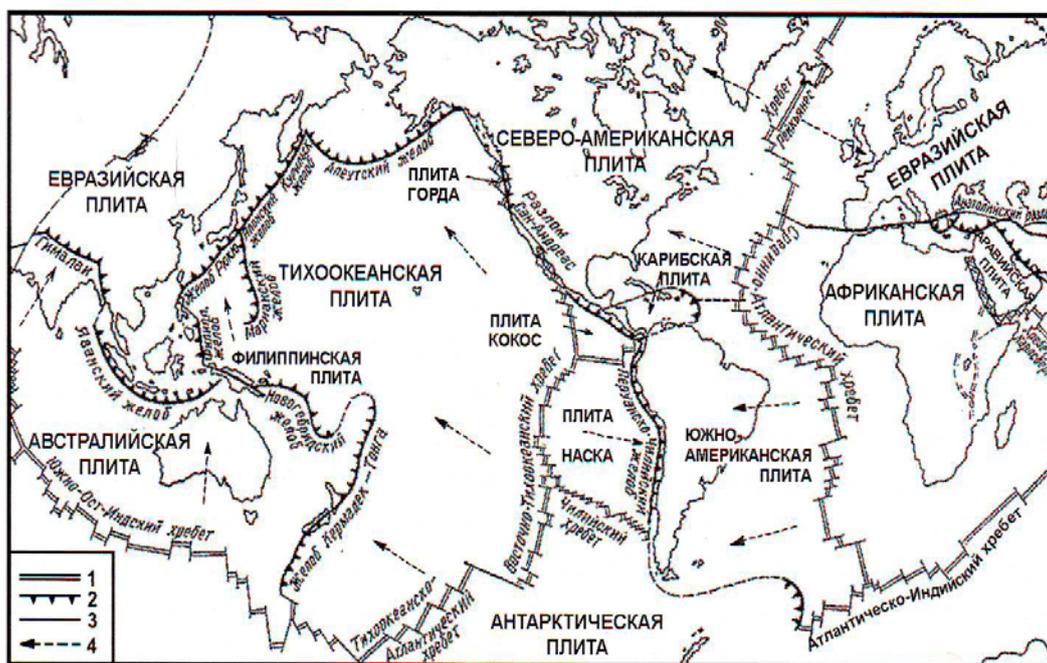


Рис. 3.2. Тектонические литосферные плиты

В результате медленных течений горячего пластичного вещества в недрах, тектонические литосферные плиты находятся в постоянном движении - раздвигаются, сдвигаются или скользят одна относительно другой. Такие перемещения плит составляют несколько сантиметров в год. В результате процесса движения плиты сталкиваются друг с другом. В зонах столкновения происходят изменения поверхности Земли – образуются складки, трещины и т.д., происходят землетрясения.

Для измерения силы землетрясения используются две шкалы: одна для измерения интенсивности, другая для измерения магнитуды.

Интенсивность землетрясения(сейсмических колебаний грунта) – это степень сотрясения грунта на поверхности Земли, ощущаемого в различных точках зоны воздействия землетрясения. Величина интенсивности определяется на основании оценки фактических разрушений, воздействия на объекты, здания и почву, последствий для людей.

Интенсивность сейсмических колебаний грунта на поверхности Земли измеряется в баллах. В России используется 12-бальная шкала интенсивности Медведева-Шпонхойера-Карника (MSK-64). Согласно этой шкале принята следующая градация интенсивности землетрясений:

1-3 балла – слабые колебания (к разрушениям не приводят);

4-5 балла – ощутимые колебания (ощущаются населением и приводят к появлению отдельных трещин в постройках);

6-7 баллов – сильные колебания (приводят к разрушениям, как правило, ветхих построек);

8 баллов – разрушительные колебания (частично разрушаются прочные здания, падают фабричные трубы);

9 баллов – опустошительные колебания (разрушается большинство зданий);

10 баллов – уничтожающие колебания (разрушаются мосты, возникают оползни, обвалы);

11 баллов – катастрофические колебания (разрушаются все сооружения, изменяется ландшафт);

12 баллов – губительные колебания (вызывают изменения рельефа местности на обширной территории).

Магнитуда землетрясения (M)– это величина пропорциональная энергии, выделяемой в очаге землетрясения. Она определяется с помощью прибора, называемого сейсмографом.

Показания прибора (амплитуда и период сейсмических волн) указывают на количество энергии упругой деформации, выделяемой в процессе землетрясения, которая может составлять до сотен тысяч миллионов кВт/час ( $10^{20}$ ).

Шкала амплитуд была разработана американским сейсмологом Чарльзом Френсисом Рихтером (1900-1985) в 1935 году. Рихтер для характеристики энергии землетрясения в качестве эталона (точки отсчёта) 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 соответствует изменению значения интенсивности колебания грунта на

поверхности земли на 1 единицу. Например, амплитуда землетрясения равна 300000, эталон равен 10. По шкале Рихтера амплитуда землетрясения составит:  $300000 : 10 = \lg 30000 = 4,48$ .

Наиболее употребительной для измерения величины сильных землетрясений в России является магнитуда, вычисляемая по поверхностным волнам на основе соотношения

$$M = \lg\left(\frac{A}{T}\right) + B \cdot \lg \Delta \varepsilon, \quad (3.1)$$

где:  $A$ ,  $T$  – амплитуда и период колебаний в волне;

$\Delta$  – расстояние от станции наблюдения до эпицентра землетрясения;

$B$  и  $\varepsilon$  – константы, зависящие от условий расположения станции наблюдения.

Шкала магнитуд даёт относительную силу землетрясения, но из нее мало, что можно узнать о физических свойствах сейсмического источника. Поэтому 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

$$E = c \cdot \left(\frac{A}{T}\right)^2 \cdot t, \quad (3.2)$$

где:  $c$  – сила землетрясения.

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

Из сопоставления формул (1.1) и (1.2) видно, что не должно существовать линейного соответствия между магнитудой и энергией землетрясения. Примерная оценка соотношения между ними приводится в таблице 3.1.

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

$$\lg E = a \cdot M + b \quad (3.3)$$

Признанными в мировой практике значениями коэффициентов  $a$  и  $b$  являются:  $a = 1,5$ ,  $b = 11,8$ .

Для оценки величины землетрясения отечественными сейсмологами применяется также энергетический класс  $K$ . Он равен десятичному логарифму сейсмической энергии, измеренной в джоулях, например,  $K = 15$  соответствует  $E = 10^{15}$  Дж =  $10^{22}$  эрг.

Для связи между энергетическим классом и магнитудой землетрясений в России принято применять соотношение:  
для южных районов

$$K = 1,8M + 4,6; \quad (3.4)$$

для Дальнего Востока

$$K = 1,5M + 4,6 \quad (3.5)$$

Обобщенную зависимость между длиной разрыва и магнитудой можно представить формулой:

$$\lg L = c \cdot M + d, \quad (3.6)$$

аналогичную зависимость между длиной разрыва и энергетическим классом формулой:

$$\lg L = e \cdot K (\text{Дж}) + f \quad (3.7)$$

Таблица 3.1.

Соотношения между магнитудой  $M$  и энергией  $E$  землетрясений

Магнитуда землетрясения (M)	Энергия землетрясения (E), эрг
8,5	$3,6 \cdot 10^{24}$
8,0	$6,3 \cdot 10^{23}$
7,5	$1,1 \cdot 10^{23}$
7,0	$2,0 \cdot 10^{22}$
6,5	$3,6 \cdot 10^{21}$
6,0	$6,3 \cdot 10^{20}$
5,5	$1,1 \cdot 10^{20}$
5,0	$2,0 \cdot 10^{19}$
4,5	$3,6 \cdot 10^{18}$
4,0	$6,3 \cdot 10^{17}$

В эти зависимости вводятся поправки, зависящие от глубины очага. Если воспользоваться значениями коэффициентов в (3.7)  $e = 0,244, f = 2,266$ , то длина разрыва в очаге землетрясения 13-го, 15-го или 17-го энергетического класса (магнитуда 6, 7 или 8) в среднем составит 8, 25 или 76 км. На практике, например, длина разрыва от Нефтегорского землетрясения на Сахалине 27 мая 1995 г. с магнитудой 7,7 составила 40 км, а при Спитакском землетрясении в Армении 7 декабря 1988 г. с магнитудой 6,9 серия разрывов прослеживалась на расстоянии до 35 км. Форма поверхности главного разрыва при землетрясении напоминает эллипс, так что ширина разрыва  $W$  в несколько раз меньше его длины  $L$ . Для сильнейших землетрясений отношение  $L / W$  может достигать 20–30, а в среднем колеблется на уровне  $L / W = 2$ .

Величины относительных смещений берегов связаны с длиной разрыва соотношениями типа:

$$\lg D = g \cdot \lg L + h \quad (3.8)$$

Значения коэффициентов  $g$  и  $h$  здесь таковы, что длина разрыва, измеряемая километрами, на 5 порядков по величине превосходит амплитуду смещений, измеряемых метрами.

Статистика землетрясений с различными магнитудами приведена в таблице 3.2.

Чем больше амплитуда волны, тем сильнее землетрясение. Опыт показывает, что разрушительными оказываются землетрясения, начиная с магнитуды 5,5, а сильнейшие из них имеют магнитуду около 9.

Таблица 3.2

Статистика землетрясений с различными магнитудами

Магнитуда	Число толчков за десятилетие	Энергия высвобожденная за десятилетие, Дж
8,5–8,9	3	$156 \cdot 10^{16}$
8,0–8,4	11	$113 \cdot 10^{16}$
7,5–7,9	31	$80 \cdot 10^{16}$
7,0–7,4	149	$58 \cdot 10^{16}$
6,5–6,9	560	$41 \cdot 10^{16}$
6,0–6,4	2100	$30 \cdot 10^{16}$

Гипоцентром (фокусом) землетрясения называют условный центр очага на глубине, а эпицентром – проекция гипоцентра на поверхность Земли (рис. 3.3).

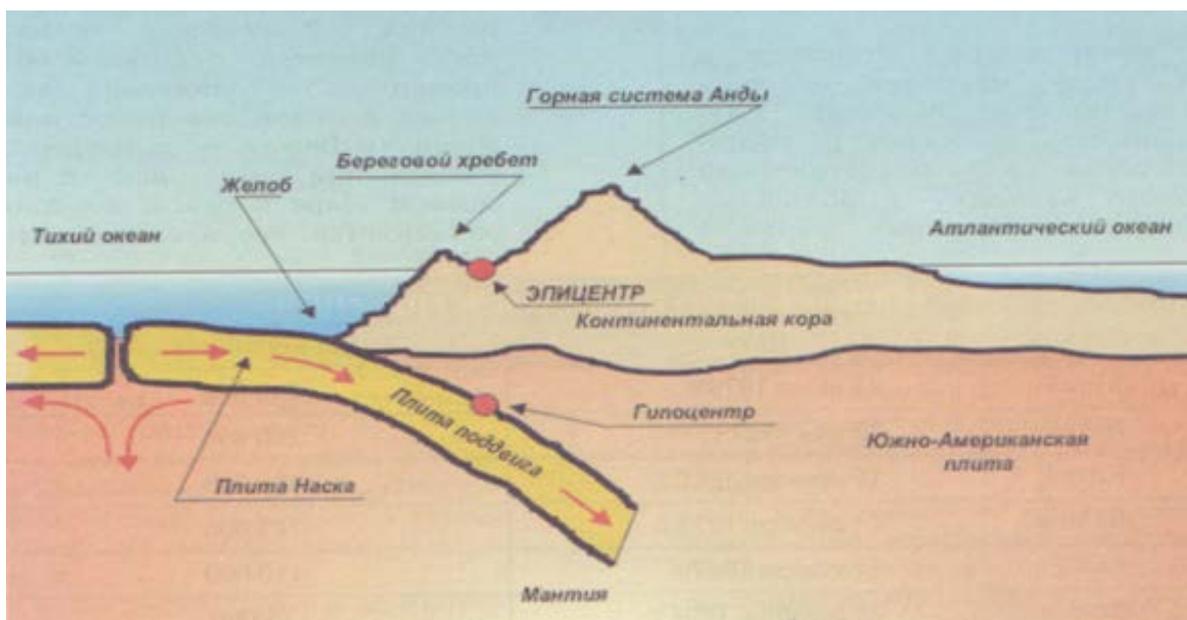


Рис. 3.3. Места расположения гипоцентра и эпицентра

По глубине расположения гипоцентров землетрясения делятся на три типа: мелкофокусные (0-70 км), среднефокусные (70-300 км), глубокофокусные (300-700 км). Чаще всего очаги землетрясений сосредоточены в земной коре на глубине 10-30 км. Как правило, главному подземному сейсмическому удару предшествуют локальные толчки – форшоки. Сейсмические толчки, возникающие после главного удара, называются афтершоками.

Сейсмические волны, образующиеся при мгновенной деформации в очагах землетрясений, производят основную разрушающую работу на поверхности Земли. Известны три типа упругих волн, создающих такие сейсмические колебания, которые ощущаются людьми и вызывают разрушения: объёмные продольные (Р-волны); объёмные поперечные (S-волны); поверхностные волны.

Продольные волны представляют собой чередование зон сжатия и растяжения горных пород, и они проходят через твёрдые, жидкие и газообразные вещества. При своём распространении продольные волны как бы попеременно сжимают горные породы или растягивают их.

Поперечные волны – при своём распространении сдвигают частицы вещества под прямым углом к направлению своего пути. Они не распространяются в жидкой среде, так как модуль сдвига в жидкости равен нулю. Скорость поперечных волн меньше продольных. Эти сейсмические волны раскачивают и смещают поверхность грунта как по вертикали, так и по горизонтали.

Среди поверхностных волн различают волны Лява и волны Рэлея.

Волны Лява (L)заставляют частицы грунта колебаться из стороны в сторону горизонтальной плоскости, параллельной земной поверхности под прямым углом к направлению своего распространения.

Волны Рэлея (R)возникают на границе раздела двух сред и воздействуют на частицы среды, заставляя их двигаться по вертикали и горизонтали в вертикальной плоскости, ориентированной по направлению распространения волн. Скорость волн Рэлея меньше, чем волн Лява, и обе они распространяются медленнее, чем продольные и поперечные сейсмические волны, и довольно быстро затухают с глубиной, а также с удалением от эпицентра землетрясения.

Предвестники землетрясений.

Каждое сильное землетрясение приводит к частичной разгрузке накопленных в данном месте сейсмоактивного района напряжений. При этом напряжения по абсолютной величине уменьшаются в районе очага землетрясений всего на 50–100 кг/см<sup>2</sup>, что составляет только первые проценты от существующих в земной коре. Однако этого достаточно для того, чтобы следующее сильное землетрясение в данном месте произошло через довольно значительный промежуток времени, исчисляемый десятками и сотнями лет, так как скорость накопления напряжений не превышает 1 кг/см<sup>2</sup> в год. Энергия землетрясения черпается из окружающего очаг объема пород. Поскольку максимальная упругая энергия, которую может накопить горная порода до разрушения, определена как 10<sup>3</sup> эрг/см<sup>3</sup>, существует прямо пропорциональная зависимость между энергией землетрясения и объемом пород, отдающих свою упругую энергию во время землетрясения. Естественно, что промежуток времени между последовательными сильными землетрясениями будет возрастать с увеличением энергии (магнитуды) землетрясения. Таким образом, мы приходим к понятию сейсмического цикла.

На основе анализа сейсмичности Курило-Камчатской дуги обосновано, что землетрясения магнитуды  $M = 7,75$  повторяются в среднем через  $140 \pm 60$  лет. Длительность сейсмического цикла  $T$  зависит от энергии землетрясения  $E$ :

$$\lg T_{(\text{лет})} = \frac{1}{3} \lg E_{(\text{Дж})} - 3,5 \quad (3.9)$$

Существенным для прогноза землетрясений является то, что сейсмический цикл распадается на 4 основных стадии. Само землетрясение длится несколько минут и составляет стадию I. Затем наступает стадия II постепенно уменьшающихся по частоте появления и энергии афтершоков.

Для сильных землетрясений она длится несколько лет и занимает около 10% сейсмического цикла. Во время стадии афтершоков продолжается постепенная разгрузка очаговой области. Затем наступает длительная стадия сейсмического покоя, занимающая до 80% всего времени сейсмического цикла. Во время этой стадии происходит постепенное восстановление напряжений. После того, как они снова приблизятся к критическому уровню, сейсмичность оживает и нарастает до момента следующего землетрясения. IV стадия активизации сейсмичности занимает примерно 10% сейсмического цикла. Большинство предвестников землетрясений возникают на IV стадии.

Сейсмологические предвестники. Концепцию сейсмических брешей представил в современном виде С.А. Федотов. Он нашел, что афтершоковые области землетрясений не перекрывают друг друга. При этом следующие сильные землетрясения имеют тенденцию располагаться между очагами уже произошедшими. На этом основании был построен метод долгосрочного прогноза мест следующих землетрясений с учетом стадии сейсмического цикла и скорости накопления энергии в сейсмоактивной зоне.

Под сейсмической брешью следует понимать долговременное отсутствие сильных землетрясений на участке сейсмоактивного разлома между очагами уже произошедших землетрясений. Термин «долговременное» обозначает десятки и даже сотни лет. Между концами разрывов от очагов ранее произошедших землетрясений существуют повышенные напряжения, которые увеличивают вероятность следующего сейсмического события в этом месте. Сложность применения этого предвестника заключается в том, что с учетом очень короткой истории регистрации землетрясений, во-первых, трудно выявить места, где землетрясения уже происходили в далеком прошлом, во-вторых, на практике оказывается, что в сейсмоактивных районах обнаруживается значительное количество брешей, и не во всех можно установить стадию сейсмического цикла. Некоторые могут оказаться не сейсмоопасными участками в результате особенностей тектонического строения или вследствие неблагоприятно ориентированного напряженного состояния.

В отличие от сейсмической бреши, которая существует в сейсмоактивной области многие годы, иногда в III стадии сейсмического цикла на фоне нарастающей активизации сейсмичности возникает относительно кратковременное сейсмическое затишье. Детальный анализ данной ситуации позволяет предложить следующие основные правила выявления сейсмического затишья:

- оценка однородности сейсмического каталога;

- определение минимальной магнитуды, регистрирующейся без пропусков;
- устранение групп и афтершоков;
- количественная оценка величины и значимости аномалии;
- количественное определение начала аномалии;
- оценка размеров аномальной области.

В случае протяженного и довольно однородного по прочности сейсмоактивного разлома перенос напряжений на край разрыва от произошедшего землетрясения может способствовать образованию последовательности следующих землетрясений по цепочке вдоль разлома. Здесь уместна аналогия с постепенным скачкообразным удлинением трещины. Более общей причиной миграции сейсмичности могут быть деформационные волны, распространяющиеся вдоль сейсмогенных поясов. Возможным источником деформационной волны выступает сильнейшее землетрясение прошлого. Изменение поля деформаций может способствовать инициированию землетрясений в тех местах, где накопились значительные тектонические напряжения. Деформационными волнами могут быть вызваны эффекты миграции сильных землетрясений, обнаруженные в Средней Азии и на Кавказе. Рассмотрим последовательность землетрясений с  $M > 6$  на 700-километровом участке кавказского ответвления Северо-Анатолийского разлома. Началом миграции землетрясений, по-видимому, явилось Эрзурумское землетрясение 1939 г.,  $M = 8$ . Процесс миграции распространялся в северо-восточном направлении со средней скоростью 12 км/год. В 1988 и 1991 гг. в соответствии с данной тенденцией произошли разрушительные землетрясения в Армении (Спитакское) и в Грузии (Рачинское). Явление миграции удачно используется для долгосрочного прогноза. Именно таким способом было предсказано Алайское землетрясение в Киргизии 1 ноября 1978 г.

Довольно часто встречается возникновение роев землетрясений. Роем называют группу землетрясений, незначительно отличающихся по магнитуде, вероятность появления которых в определенной пространственной ячейке за фиксированный интервал времени существенно превышает вероятность, следующую из закона случайного распределения. В качестве последнего принимается закон Пуассона. Чтобы отличать рой от последовательности афтершоков сильного землетрясения, принято следующее правило: если в группе землетрясений магнитуда главного толчка  $M_p$  превышает магнитуду следующего по силе  $M_{p-1}$  на небольшую величину ( $M_p - M_{p-1} = 0,3$ ), то данная группа может идентифицироваться, как рой и следует ожидать главного землетрясения с магнитудой в два раза превышающей  $M_p$ .

Расстояние между соседними сейсмическими событиями в группе определяются взаимодействием полей напряжений их очагов. Группа из  $N$  или более землетрясений вычисляется в пространственно-временном окне  $T-R$ , границы которого (по времени и расстоянию) задаются следующим образом:

$$T(K) = a \cdot 10^{bK}; \quad (3.10)$$

$$R(K) = c \cdot L \quad (3.11)$$

где:  $K$  – энергетический класс землетрясения, относительно которого определяются параметры пространственно-временного окна при нахождении группирующихся событий;

$L$  – длина разрыва в очаге землетрясения данного энергетического класса;

$a$ ,  $b$  – эмпирические параметры модели, величина  $c = 3$ , что соответствует зоне влияния напряжений каждого разрыва на соседние и величине рассмотренного ниже концентрационного критерия разрушения твердых тел.

Прогностический параметр плотности сейсмогенных разрывов, являющийся аналогом концентрационного критерия разрушения при переходе к масштабам сейсмоактивного региона, основан на применении кинетической теории прочности твердых тел к горным породам. Считается, что землетрясение происходит после того, как в его очаговой области накопилась критическая концентрация разрывов меньшего размера. Для построения карт параметра плотности сейсмогенных разрывов  $K_{cp}$  сейсмоактивная зона делится на перекрывающиеся элементарные объемы  $V$ , в каждом из которых рассчитываются значения  $K_{cp}$  за интервал времени  $\Delta T_j$ , увеличивающийся с некоторым шагом  $\Delta t$ , по формуле:

$$K_{cp} = \frac{N^{\frac{1}{3}}}{L}, \quad (3.12)$$

где:  $N$  – число землетрясений в единице объема;

$L$  – средняя длина разрывов этих землетрясений, вычисляемая как

$$L = \frac{\sum L_i}{N} \quad (3.13)$$

Длина разрыва в очаге  $i$ -го землетрясения вычисляется по формуле (3.7).

Из формулы (3.12) следует, что  $K_{cp}$  после начала счета имеет высокие значения, постепенно уменьшающиеся по мере приближения сильного землетрясения. Для разных сейсмоактивных районов мира перед сильными землетрясениями в их очагах накапливается столько разрывов предыдущих размеров, что среднее расстояние между соседними разрывами равно утроенной величине их средней длины. В этих случаях происходит лавинообразное объединение накопленных разрывов, приводящее к формированию главного (магистрального) разрыва, вызывающего сильное землетрясение. Основу модели лавинно-неустойчивого трещинообразования (ЛНТ) составляют два явления: взаимодействие полей напряжения трещин и локализация процесса трещинообразования. Естественно при этом ожидать проявления локализации сейсмического процесса перед сильными землетрясениями. Она может быть найдена, если рассчитывать карты накопления числа сейсмических событий, энергии или поверхностей разрывов за последовательные промежутки времени.

Появление форшоков знаменует окончание III стадии сейсмического цикла и свидетельствует о завершающемся процессе локализации сейсмичности. В этом смысле форшоки представляют большой интерес, поскольку могут рассматриваться как краткосрочный предвестник землетрясения, точно указывающий местоположение гипоцентра. Однако пока не найдено надежных критериев выявления форшоков на фоне сейсмических событий. Поэтому форшоки идентифицируются, как правило, уже после произошедшего землетрясения, когда положение очага известно. В редких случаях перед главным толчком происходят настолько мощные серии форшоков, что они с высокой вероятностью указывают на возможное сильное землетрясение и используются для прогноза. Наиболее знаменательный случай такого рода имел место перед Хайченгским землетрясением  $M = 7,3$  (Китай) 4 февраля 1975 г.

В сейсмологической практике к форшокам относятся события, произошедшие за несколько секунд, минут, часов и, в крайнем случае, дней в очаговой области сильного землетрясения. Однако форшоками можно называть и события, случившиеся в очаговой области раньше, но с высокой степенью вероятности указывающие на процесс подготовки в этом месте сильного землетрясения. К таким форшокам могут быть отнесены явления, детально исследованные и названные отдаленными афтершоками. Такого рода сейсмическим событиям дали следующее определение.

Пусть  $A$  – сильное землетрясение с магнитудой  $M > M_0$ , после которого имеют место афтершоки;

$B$  – землетрясение в меньшем диапазоне магнитуд ( $M_b < M < M_c$ ), произошедшее в течение некоторого времени  $T_{ab}$  после землетрясения  $A$  на расстоянии не более  $D_{ab}$  от него;

$C$  – готовящееся сильное землетрясение ( $M > M_c$ ). Землетрясения  $B$  и  $C$  располагаются вне области обычных афтершоков землетрясения  $A$ . Гипотеза об отдаленных афтершоках состоит в том, что землетрясение  $B$  происходит в окрестности готовящегося землетрясения  $C$  не случайно.

Для выявления не случайности появления события  $B$  в сейсмоактивном районе важно задать небольшой промежуток времени  $T_{ab}$  и умеренное расстояние  $D_{ab}$ , делающие маловероятным появление события  $B$  в данном пространственно-временном окне по сравнению с законом случайного распределения. Относительно слабые землетрясения, указывающие на место будущего, более сильного, возникают не только сразу после предыдущего сильного землетрясения, но и за короткий интервал времени перед ним. Они названы индуцированными форшоками и могут возникать на расстояниях в несколько сот километров от инициирующего их сильного землетрясения. Этот факт говорит о том, что при подготовке сильного землетрясения активизируется значительный объем земной коры сейсмоактивного района. Явления отдаленных афтершоков и индуцированных форшоков объясняются высокой чувствительностью к внешним воздействиям горной породы, находящейся в условиях, близких к потере устойчивости.

Геофизические, гидрогеодинамические и геохимические предвестники. Из рассмотрения моделей подготовки землетрясений (дилантно-диффузная модель (ДД), лавинно-неустойчивого трещинообразования (ЛНТ), модель неустойчивого скольжения, модель консолидации) следует, что этапы зарождения и развития очага должны сопровождаться неупругими деформациями горных пород. При этом наибольших изменений в поле деформаций земной коры следует ожидать в наиболее мягких участках представленных разломными зонами. В связи с этим рассмотрим гипотезу возникновения деформационных аномалий. В сейсмически активном районе Копетдага и сейсмически спокойном Припятском прогибе, которые характеризуются мощными чехлами осадочных пород, были выявлены локальные аномалии вертикальных движений шириной порядка 1–2 км, формирующиеся за  $10^{-1}$ –10 лет при высокоградиентном характере движений (10–20 мм/км год).

Обобщение результатов наблюдений привело к выводу о трех главных типах локальных аномалий:

1. Наиболее ярко проявляются аномалии  $\gamma$ -типа, представленные опусканием реперов в зонах тектонических разломов в условиях субгоризонтального растяжения.

2. При субгоризонтальном сжатии регистрируются аномалии  $\beta$ -типа, представляющие подъем поверхности на большей базе по сравнению с аномалиями  $\gamma$ -типа (региональный изгиб).

3. Аномалия имеет S-образную (ступенеобразную) форму. Все они развиваются на фоне более медленного квазистатического наклона поверхности при изменении региональных напряжений.

Рассмотрим пример аномалий  $\gamma$ -типа на Камчатке по профилю нивелирования длиной 2,6 км, пересекающему разломную зону. Профиль включает 28 пикетов. В интервале 1989–1992 гг. на нем проводились повторные наблюдения с частотой 1 раз в неделю. Были обнаружены вертикальные смещения земной поверхности амплитудой в несколько сантиметров при точности измерений 0,1 мм. Ширина аномалий составляла от 200 до 500 м. Они не выявлены на той части профиля, которая находилась за пределами разломной зоны. Результаты измерений в последовательные интервалы времени показали, что они отражают пульсирующий характер величины аномалий. Было выявлено увеличение амплитуды аномалий перед землетрясениями, происходившими на расстоянии до 200 км от профиля наблюдений. Однако локальные аномалии возникают не над всеми разломами. Кроме того, в отдельные интервалы времени они перестают развиваться, превращаясь из кинематических в статические. Отсюда следует, что для появления локальных аномалий нужно выполнение определенных условий изменения регионального поля напряжений и свойств материала (параметров) разломных зон, в пределах которых они возникают. В связи с этим такие аномалии уместно назвать параметрическими. Аномалия  $\gamma$ -типа может возникнуть, например, за счет изменения регионального поля напряжений и проседания пород в разломной зоне. Но проседание может иметь место и при неизменном региональном напряжении вследствие изменения свойств разлома, например, вследствие вариаций внутривещного давления. Относительная деформация пород в зоне аномалии  $\gamma$ -типа может достигать величины  $10^{-5}$  1/год, что согласуется с полевыми наблюдениями.

Геомагнитным предвестникам землетрясений издавна уделялось большое внимание, так как вследствие существования пьезомагнитного эффекта и наличия в горных породах магнитных минералов изменения напряженного состояния должны отражаться в вариациях геомагнитного поля. Существуют две точки зрения на природу геомагнитных предвестников. Одна связывает их с электрокинетическими явлениями, вторая – с пьезомагнетизмом. Аналогичные геомагнитные наблюдения проводились в районе города Ашхабада с определенной схемой расположения реперов. Оцененная среднеквадратичная ошибка измерений не превышала 0,5 нТл. Определены вариации изменений полного вектора

геомагнитного поля  $T$  по трем профилям перед землетрясением 7 сентября 1978 г. с магнитудой 4,4. Определено, что аномальные изменения бухтообразной формы величиной до 6 нТл проявились за 6–8 месяцев до сейсмического толчка на всех реперах по профилям, идущим вдоль разломных зон. В то же время амплитуда аномалий убывала по мере удаления пикета от разлома. Время развития аномалий  $T$  совпало с вариацией наклона земной поверхности, зарегистрированной наклономером, установленном в шурфе возле одного из реперов. Это дает большую уверенность приписать геомагнитные вариации тектоническому происхождению. Расчеты и сопоставление с измерениями теллурических токов привели к выводу, что аномалии вызваны электрокинетическим эффектом изменяющегося по мощности фильтрационного потока подземных вод. Наибольшие изменения последнего происходили в зонах разломов.

Геомагнитные предвестники пьезомагнитной природы были выявлены в Прибайкалье, а физическая природа их подтверждена количественными расчетами. Выяснено также, что вариации механических напряжений в горных породах величиной 0,01 МПа за счет сезонных колебаний уровня озера Байкал приводят к изменениям регистрируемого в прибрежной зоне магнитного поля  $T$  величиной в 1 нТл.

После проведения первых работ по применению на Гармском полигоне дипольного зондирования на постоянном токе и выявившего предвестники электросопротивления, работы в этом направлении активно проводились на Гармском полигоне, а также в Киргизии и в Туркмении. Глубинные электрические исследования проводятся методами частотного зондирования (ЧЗ) и зондирования становлением (ЗС).

Первые систематические работы с целью обнаружения электротеллурических предвестников (ЭТП) проведены в начале 60-х гг. на Камчатке. Особенностью их была синхронная регистрация на нескольких станциях, причем на каждой станции для исключения при электродных процессах использовался ряд измерительных линий и неполяризующиеся электроды. Было обнаружено, что перед землетрясениями Камчатки регистрируются аномальные изменения разности потенциалов, не коррелирующиеся с вариациями геомагнитного поля и метеорологическими факторами. Работы в Гармском районе и на Кавказе подтвердили основные черты такого типа аномалий: бухтообразное изменение  $E$  величиной в первые десятки милливольт вне зависимости от длины измерительной линии и большое «дальнодействие» (до нескольких сотен километров от эпицентра землетрясения). Кроме того, показано, что аномалии ЭТП приурочены к разломам земной коры и являются «параметрическими», т. е. связаны с изменениями электрокинетических и электрохимических

свойств пород в разломной зоне под действием медленно меняющегося поля напряжений.

При поиске электромагнитных предвестников в радиоволновом диапазоне регистрировалась скорость счета электромагнитных импульсов (ЭМИ). При проведении работ использовался набор частот, но наиболее интересные результаты получены в диапазоне 81 кГц. Известны аномалии скорости счета перед тремя землетрясениями в Японии. Эпицентральные расстояния составляли первые сотни километров, что обеспечивало регистрацию ЭМИ отраженным лучом, если считать, что сигнал появлялся в эпицентральной области. Уровень огибающей скорости счета начинал увеличиваться за 0,5–1,5 ч до сейсмического толчка и резко спадал до исходного уровня сразу после землетрясения. Оказалось, что в эпицентральной области землетрясения может отмечаться как повышение, так и понижение активности ЭМИ перед землетрясением. Так, например, когда за 2 суток до землетрясения в Карпатах 4 марта 1977 г. с  $M = 7$  и глубиной очага 120 км отмечалось постепенное увеличение числа сигналов на приёмную станцию в азимуте, указывавшем на эпицентр. Наличие удаленной станции позволило заключить, что это увеличение вызвано лучшим прохождением сигналов далеких гроз над эпицентральной областью. Заметим, что кроме общего увеличения числа сигналов наблюдается усиление размаха в суточном ходе. Дальнейшие исследования показали, что перед Алайским землетрясением 1 ноября 1978 г. с  $M = 7$  и Спитакским землетрясением 7 декабря 1988 г. с  $M = 6,9$ , наоборот, отмечалось замирание прохождения сигналов над эпицентральными областями. Все это привело к выводу, что предвестники в электромагнитных импульсах могут являться отражением изменившихся геоэлектрических условий над эпицентром готовящегося землетрясения, например, вследствие аномальной ионизации атмосферы.

Наибольшее число зарегистрированных надежных предвестников землетрясений, за исключением сейсмических, относится к измерениям уровня подземных вод. Это связано с двумя причинами. Во-первых, скважина и даже колодец являются чувствительными объемными деформометрами и прямо отражают изменения напряженно-деформированного состояния в земле. Во-вторых, только в гидрогеологии накоплены длинные ряды наблюдений на обширной сети скважин и колодцев. Несмотря на разнообразие форм проявления гидрогеодинамического предвестника, в эпицентральной области готовящегося землетрясения более часто отмечается следующая последовательность: за несколько лет до сильного землетрясения наблюдается постепенно ускоряющееся падение уровня, за которым следует резкий подъем в последние дни или часы до толчка. Этот тип

проявляется также в дебите источников или самоизливающихся скважин. Обычно величина аномальных изменений уровня подземных вод в скважинах перед землетрясением составляет несколько сантиметров, но отмечались и уникальные случаи высокоамплитудных аномалий.

В период двух Газлийских землетрясений 1976 г. с магнитудой 7 и 7,3 была зарегистрирована аномалия величиной 15,6 м, причем скважина находилась на расстоянии 530 км от очагов землетрясений. Было дано одно из возможных объяснений этому явлению. Пусть наблюдательная скважина вскрывает два или больше водоносных горизонтов или систем трещин. Если они разделены слабопроницаемыми слоями горных пород, то пьезометрические уровни  $H$  и водопроницаемости  $T$  таких горизонтов будут различаться между собой. Для системы двух горизонтов уровень воды в скважине будет определяться соотношением

$$H = \frac{H_1 T_1}{T_1} + \frac{H_2 T_2}{T_2} \quad (3.14)$$

Если в процессе тектонической деформации нарушается контакт скважины с одним из горизонтов или, наоборот, открывается ранее изолированный горизонт, это может привести к скачкообразному изменению уровня воды в скважине. Данный механизм является конкретным проявлением более общего закона, описывающего нелинейность системы при достижении порога перколяции.

Остановимся на пространственных особенностях гидрогеодинамических (ГГД) предвестников. На основании измерений уровня воды рассчитывается ряд коэффициентов, важнейшим из которых является изменение объемной деформации пород. Анализ карт ГГД – поля Кавказа в период Спитакского землетрясения показал, что, начиная с августа 1988 г., наметилась тенденция развития структуры растяжения в районе будущего землетрясения. Развитие Спитакской структуры шло в сторону увеличения ее размеров при одновременном повышении интенсивности деформаций. К 1 декабря 1988 г. структура разрослась таким образом, что ее удлиненная ось достигла 400 км, а ширина составила около 150 км. Центр структуры, характеризовавшийся падением уровня воды в скважинах, находился в эпицентральной зоне будущего землетрясения. Максимум интенсивности аномалии и размеров структуры растяжения наблюдался за 11 ч до землетрясения. За 40 мин до толчка начался процесс уменьшения аномалии.

Геохимические предвестники указывают на аномальное увеличение содержания радона в термоминеральной воде глубинного происхождения (перед Ташкентским землетрясением 25 апреля 1966 г.,  $M = 5,1$ ). О большой

вероятности связи аномалии с землетрясением свидетельствовало быстрое возвращение содержания радона к нормальному уровню после толчка. Наиболее долговременные ряды наблюдений на системе скважин получены на Ташкентском прогностическом полигоне. Это позволило выявить прогностические уровни по ряду параметров и способствовало в комплексе с геофизическими методами выдаче краткосрочного прогноза Алайского землетрясения 1 ноября 1978 г. с магнитудой 7. Одним из препятствий применения геохимических способов для прогноза землетрясений является не установленная эффективная чувствительность к полю деформаций и размеры области, ответственной за наблюдаемые вариации. Геохимические методы прогноза могут применяться как дополнительные к другим, прежде всего, гидрогеодинамическим и деформационным.

Общие черты землетрясений на территории России.

Статистика природных чрезвычайных ситуаций за последние годы показывает, что в Российской Федерации доля землетрясений в ЧС составляет 8%. Территория России, подверженная землетрясениям с интенсивностью более 7 баллов, составляет 20%, около 6% территории занимают особо опасные 8-9 – балльные зоны (Камчатка, Сахалин, Северный Кавказ, Прибайкалье и Якутия). Более 20 миллионов россиян проживают в зонах возможных разрушительных землетрясений.

Прибайкалье представляет один из активных сейсмических районов, особенно в южной части. Эпицентры тянутся здесь полосой вдоль тектонических депрессий, начинающихся на юго-западе впадиной озера Хубсугул и далее проходящих по линии впадин Иркутта и Тунки, оз. Байкал, р. Баргузин. Местные землетрясения достигают иногда большой силы (Кударинское 1903 г., Моиндинское 1949 г.).

В последние годы резко усилилась сейсмическая активность на Дальнем Востоке. В 1993 г. зарегистрировано 36 землетрясений, в основном в районах Камчатки и Сахалина.

В районе Магадана и в Верхоянском хребте известны землетрясения 7-балльной силы. На Камчатке и в полосе Курильских островов тектонические землетрясения часты и сильны; одновременно отмечаются вулканические землетрясения, т. е. крупные волны на водной поверхности океана, которые при моретрясениях с большой скоростью устремляются на низменные берега суши и могут причинить большие бедствия (например, в 1923 г. близ Усть-Камчатска).

Заметные колебания ощущаются в Приморье и, особенно на Сахалине, где возможны 7-балльные землетрясения.

Шикотанское землетрясение 4 октября 1994 г. сопровождалось волной цунами и многочисленными повторными толчками. В зоне землетрясения на островах Малой Курильской группы возникли обвалы и оползни грунта.

27 мая 1995 г. на севере острова Сахалин произошло сильнейшее за всю историю наблюдений в данном районе землетрясение. Главный толчок сопровождался многочисленными афтершоками (повторными толчками). Эпицентр находился вблизи посёлка Нефтегорск, который и принял на себя основную тяжесть катастрофы. Землетрясение унесло 1841 жизнь. Очаг землетрясения проявился в виде системы сейсмических разрывов и трещин общей протяжённостью около 40 км. По своим масштабам, разрушениям и жертвам – это одно из крупнейших землетрясений двадцатого столетия.

В равнинных областях Сибири и Европейской части России землетрясения практически отсутствуют. Лишь изредка сюда доходят в ослабленной форме колебания, возникшие в результате сильных землетрясений южных районов, или же ощущаются слабые подземные толчки карстового происхождения (в северных районах Европейской части России, на Урале и в Донбассе).

#### *Прогноз землетрясений и профилактические мероприятия*

Методы прогноза землетрясений и оценка их последствий. Тщательный анализ имеющихся данных позволяет предвидеть, в каких районах, и с какой силой могут проявляться землетрясения в будущем. В этом заключается сущность проблемы сейсмического районирования России, на основании которого составляются специальные инструкции и правила, регулирующие сейсмостойкое строительство. Мероприятия по сохранению зданий от разрушений при подземных толчках заключаются в обеспечении высокого качества строительства, в укреплении стен поэтажными железобетонными поясами, по ограничению этажности, по упрощению плана здания с приближением его к изометрическим формам и др.

Карта сейсмического районирования, составленная Геофизическим институтом Академии наук РФ, одобрена Советом по сейсмологии при Президиуме Академии наук РФ и утверждена Правительством РФ в качестве официального документа, по которому устанавливается исходная цифра сейсмической бальной (т. е. силы вероятных землетрясений) для всех населенных пунктов сейсмических районов РФ. Согласно этой карте, различные сейсмические зоны занимают соответствующие площади (таблице 3.3).

Таблица 3.3

## Карта сейсмического районирования

Район	Баллы			
	9	8	7	6
	Площади сейсмических зон в тыс. км <sup>2</sup>			
Кавказ	1	47	130	165
Западная Сибирь	–	23	246	411
Восточная Сибирь	–	46	122	355
Приморье	–	12	108	270
Камчатка	18	77	47	61

Проблема прогноза землетрясений состоит в последовательном уточнении места и времени, в пределах которых следует ожидать разрушительные землетрясения той или иной энергии.

Различают несколько стадий прогноза: на годы (долгосрочный прогноз); на месяцы (среднесрочный прогноз); на неделю и меньше (краткосрочный прогноз); на дни и часы (непосредственный прогноз).

На территории страны развернута Единая система сейсмических наблюдений (ЕССН), включающая в себя сеть сейсмических станций, расположенных в разных точках страны, и вычислительные обрабатывающие центры, которая предназначена, в основном, для проведения долгосрочного прогноза. На территории Российской Федерации и бывших союзных республик работает Среднеазиатский региональный центр прогноза землетрясений, созданный на базе Института сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН Таджикистана. Действует Кавказский региональный центр прогноза землетрясений в Тбилиси. Проводятся исследования в территориальном центре прогноза на Камчатке.

Со среднесрочным прогнозом дело обстоит сложнее. Здесь счет идет уже на недели, для передачи и обработки данных дорог каждый день, и поэтому необходима автоматизированная система прогноза землетрясений. Элементы такой системы имеются в ряде регионов нашей страны.

С краткосрочным прогнозом положение тяжелое. Счет в таком прогнозе идет на дни и часы. Передачу данных надо вести в реальном времени. Это значит, что данные регистрации должны поступать в центр прогноза прямо после их получения на наблюдательных пунктах. В настоящее время системы краткосрочного прогноза не созданы, однако технические средства для создания подобной системы у человека имеются.

Отсутствует также в нашей стране и за рубежом система осуществления непосредственного прогноза.

Методы прогноза землетрясений основываются на наблюдении аномалий геофизических полей, измерении значений этих аномалий и

обработки полученных данных. Соответственно различают несколько методов прогноза землетрясений.

Метод оценки сейсмической активности. Месторасположение и число толчков различной магнитуды может служить важным индикатором приближающегося сильного землетрясения. Часто сильное землетрясение сопровождается большим числом слабых толчков. Выявление и подсчет землетрясений требует большого числа сейсмографов и соответствующих устройств для обработки данных.

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

Метод выявления опускания и поднятия участков земной коры. Вертикальные движения поверхности Земли можно измерить с помощью точных нивелировок на суше или море, мореографов в море. Поднятие и опускание участков земной коры может свидетельствовать о возможности наступления сильного землетрясения.

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 поверхности земли, измерения указывают на изменения наклонов незадолго до возникновения землетрясений.

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

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.

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.

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.

Метод регистрации изменения земного электросопротивления. Одной из причин изменения электросопротивления горных пород может явиться 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 толщи земли между ними.

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

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

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

Существует несколько способов оценки последствий землетрясений. Их основу составляют использование карт сейсмического районирования, на которых выявлены очаги будущих землетрясений, построение для этих очагов моделей изосейст (т. е. линий равной бальности) и оценка вероятностей разрушения зданий различных типов, попадающих в область действия землетрясения. Оценку последствий землетрясений для региона рассматривают в виде суммарного ущерба всех землетрясений в течение заданного интервала времени. Методика получения данных оценок разработана в ИФЗ АН РФ. Данные оценки получены в виде величин сейсмического риска за интервал времени 20–25 лет. Методика основана на том, что землетрясения представляют собой случайный поток Пуассона, не учитывает ущерб от повторных толчков (афтершоков) и представляет интерес для долгосрочного прогнозирования ущерба от землетрясений.

Прогнозировать последствия от разрушительных землетрясений можно также с помощью сейсмических шкал. Например, в шкале *MSK–64* принята следующая классификация: по типам зданий (таблица 3.4); по процентному количеству разрушенных зданий с учетом отдельных разрушений, многих и большинства зданий; по степени повреждений зданий: учитываются повреждения зданий, соответствующие 1-й, 2-й, 3-й, 4-й и 5-й степени повреждения зданий и сооружений, а также последствия по масштабам разрушений.

Таблица 3.4

Сейсмическая шкала для различных типов зданий

Типы зданий	Описание зданий
А	Здания из рваного камня, сельские постройки, дома из кирпича-сырца, глинобитные дома
Б	Кирпичные дома, дома крупноблочного типа, здания из естественного тесаного камня
В	Здания панельного типа, каркасные железобетонные здания, деревянные дома хорошей постройки

Оценка последствий катастрофических землетрясений.

Методики прогнозирования последствий катастрофических землетрясений предназначены для решения следующих задач: оценки и прогнозирования разрушений зданий и сооружений на территории населенного пункта; определения характеристик степеней разрушения; оперативного построения изосейст, в том числе на основе сейсмического микрорайонирования; определения зоны средней бальности и бальности для различных зданий и сооружений.

Воздействие землетрясений на здания и сооружения вызывается интенсивными колебаниями грунтов. В качестве обобщенной характеристики сейсмического воздействия землетрясения на здания и сооружения принята интенсивность землетрясения, выраженная в баллах.

Степень разрушения зданий и сооружений определяется превышением фактической интенсивности землетрясения (в баллах) над расчетной в месте их расположения. Под расчетной сейсмостойкостью понимается максимальная интенсивность сейсмического воздействия землетрясения, при котором здания и сооружения не получают разрушений либо получают допускаемые повреждения, сохраняя при этом свои эксплуатационные качества и обеспечивая безопасность людей и сохранность оборудования.

При оценке и прогнозировании характера и степеней разрушения зданий и сооружений рассматриваются три типа объектов – элементов застройки населенного пункта: точечные, площадные и протяженные.

Точечные объекты характеризуются размерами в плане (длина и ширина), каждый из размеров превышает ширину зоны средней бальности.

Площадные объекты характеризуются размерами в плане (длина и ширина), один из размеров, которых значительно превышает другой и превышает ширину зоны средней бальности.

Протяженные объекты характеризуются размерами в плане (длина и ширина), один из размеров значительно превышает другой и превышает ширину зоны средней бальности.

Сейсмическое микрорайонирование – количественная оценка изменения (увеличения или уменьшения) сейсмической бальности по сравнению с ее исходной величиной на основе комплексного изучения сейсмических свойств грунтов, инженерно-геологических и гидрогеологических особенностей площадок строительства.

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

Здания и сооружения с сейсмической защитой отличаются от аналогичных зданий и сооружений, расположенных в несейсмических зонах тем, что в них применены инженерные мероприятия и технические решения, позволяющие повысить расчетную сейсмостойкость до 7–9 баллов.

Для оценки последствий требуются следующие исходные данные: план или карта местности (населенного пункта, объекта) с нанесенными изосейстами прогнозируемых землетрясений с учетом сейсмического микрорайонирования; детальная характеристика застройки с указанием типов и конструктивных особенностей зданий и сооружений.

В случае отсутствия плана или карты местности с нанесенными изосейстами прогнозируемых землетрясений вместо них должны быть: мощность очага землетрясения, характеризующая магнитудой; глубина очага землетрясения. При необходимости построения изосейст на основе микрорайонирования к указанным данным добавляются инженерно-геологические условия местности (населенного пункта, объекта).

#### Рекомендации населению по поведению при землетрясении.

Существенной особенностью опасного природного явления – землетрясения является то, что поражающее воздействие на людей, разрушение жилых домов, производственных зданий, сооружений и других народнохозяйственных объектов происходит в короткие сроки – считанные десятки секунд. При этом очень редко причиной человеческих жертв бывает непосредственное движение (колебание) почвы. Большинство жертв является результатом падения предметов, стекол,

камней, стен и т. д., когда сильные колебания сотрясают, разрушают здания, сооружения.

Основными причинами несчастных случаев при землетрясениях являются:

- падение кирпичей, дымовых труб, карнизов, балконов, лепных украшений, облицовочных плит, рам, осветительных установок, обрушение частей здания;
- падение (особенно с верхних этажей) битых стекол;
- зависание и падение на проезжую часть улицы разорванных электропроводов;
- падение тяжелых предметов в квартире;
- пожары, вызванные утечкой газа из поврежденных труб и замыканием электролиний;
- неконтролируемые действия людей в результате паники и др.

Относительно слабые землетрясения (до 5 баллов) не причиняют ущерба. Если сила землетрясения сразу или постепенно достигла 5–6 баллов, следует запомнить его описание и опасные признаки. После этого колебания становятся еще сильнее, достигая 7 баллов и более. Если начинаются 8–9-балльные толчки до того времени, когда последуют самые сильные колебания и возникает опасность разрушения здания, пройдет 15–20 секунд. Наиболее сильные колебания длятся несколько десятков секунд, расшатывая здания. Затем колебания идут на убыль в течение 30 секунд или более.

После сильной раскачки и толчков здание может начать разрушаться (падение отдельных плит перекрытия или блоков капитальных стен), в этом случае попытка покинуть здание может быть менее рискованной, чем пребывание внутри здания.

В сейсмоопасных районах с целью уменьшения числа травм и человеческих жертв необходимо заблаговременно:

- наметить план действий в чрезвычайной обстановке и договориться о месте сбора семьи после землетрясения, составить список телефонов, чтобы можно было вызвать противопожарную, медицинскую помощь, милицию или представителей МЧС РФ;
- определить путь движения с учётом малого запаса времени до наибольших колебаний и толчков. Землетрясение может случиться ночью, при этом двери и проходы будут местами скопления людей, что может помешать быстрому выходу из здания. В этом случае для эвакуации необходимо использовать окна первого этажа;
- определить безопасные места, где можно переждать толчки. Это могут быть – проёмы капитальных внутренних стен; углы, образованные капитальными внутренними стенами; места у капитальных внутренних стен,

у колонн и под балками каркаса. Наиболее опасными местами в зданиях во время землетрясения являются большие застеклённые проёмы наружных и внутренних стен, угловые комнаты, особенно последних этажей, лифты;

– проверять состояние электропроводки, водопроводных и газовых труб. Все взрослые члены семьи должны быть обучены отключению электричества, газа и воды в квартире, подъезде, доме, а также оказанию первой медицинской помощи, прежде всего, при травмах;

– подготовить самые необходимые вещи (предметы) и хранить их в месте, известном членам семьи (радиоприемник на батарейках; запас консервированных продуктов и питьевой воды из расчета на 3–5 сут.; аптечку первой медицинской помощи с двойным запасом перевязочных материалов и с набором лекарств, необходимых хронически больным членам семьи; переносной электрический фонарь, ведро с песком, огнетушитель автомобильный);

– подготовить документы и хранить их в одном легкодоступном месте недалеко от входа в квартиру. Там же хранить рюкзак, в котором должны быть фонарь, топорик (секач), спички, немного еды, аптечка, свечи, запасная одежда и обувь (по сезону) в расчете на всю семью; при наличии гаража или садового домика их можно использовать как убежища в первые дни после землетрясения. При этом менее надежными являются постройки, расположенные на оползневых склонах;

– прочно прикрепить к стенам или к полу шкафы, этажерки, стеллажи; мебель разместить так, чтобы она не могла упасть на спальные места, перекрыть выходы из комнат, загородить двери; тяжелые вещи, лежащие на полках или на мебели, прочно закрепить или переместить вниз;

– проверить отсутствие полок над спальными местами, входными дверями, плитами, раковинами, унитазами; закрыть переднюю часть полок с посудой, надежно закрепить люстры и люминесцентные светильники;

– проверить, что емкости с легковоспламеняющимися веществами и едкими жидкостями содержатся надежно закупоренными и хранятся так, чтобы они не могли упасть и разбиться при колебании здания;

– проводить тренировки (репетиции), продумать, как повысить безопасность детей, пожилых людей, инвалидов и больных.

#### Ликвидация последствий землетрясений.

Массовые разрушения жилых и общественных зданий на значительной территории, повреждение дорог, железнодорожных путей, выход из строя объектов энергообеспечения и коммунальных сетей, телефонной связи, гибель людей и животных вызывают необходимость решения ряда задач по ликвидации последствий землетрясений.

В ходе ликвидации последствий землетрясения можно выделить два основных этапа:

- аварийно-спасательных и других неотложных работ;
- восстановление социально-экономического потенциала зоны бедствия.

*Этап 1.* В первые часы и сутки после землетрясения в кратчайшие сроки взять под жесткий контроль и организовать целенаправленную деятельность всех местных и прибывающих органов и сил в целях спасения людей, оказавшихся в завалах разрушенных зданий и сооружений. Для этого: восстановить нарушенное управление, оценить обстановку и масштабы последствий землетрясения, усилить комендантскую службу и охрану общественного порядка, изолировать от посторонних пострадавшие районы, создать группировку сил и организовать проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ, обеспечить минимально необходимые условия жизни населения в районе бедствия. При создании группировки сил учитывать необходимость проведения всего комплекса работ в возможно короткие сроки. При выполнении аварийно-спасательных и других неотложных работ, а также мероприятий по обеспечению жизнедеятельности населения основными задачами являются:

по аварийно-спасательным работам:

- определение объемов и степени повреждений различных зданий и сооружений, определение мест наибольшего скопления пострадавших в завалах и рассредоточение на их спасение сил и средств;

- поиск и извлечение пострадавших из-под завалов, оказание им первой помощи с последующей эвакуацией в стационарные лечебные учреждения;

- извлечение из-под завалов погибших людей, их регистрация и организация захоронения;

по другим неотложным работам:

- расчистка подъездных путей и площадок для расстановки прибывающей техники, устройство проездов и поддержание в исправном состоянии маршрутов движения; восстановление разрушенных железнодорожных магистралей;

- локализация и тушение пожаров, ликвидация аварий и их последствий на коммунально-энергетических и технологических сетях, угрожающих жизни пострадавших и затрудняющих ведение аварийно-спасательных работ;

- обрушение конструкций зданий и сооружений, угрожающих обвалом, крепление неустойчивых частей завалов от перемещений в процессе работ;

- восстановление стационарных электросетей для освещения основных транспортных магистралей городов и населенных пунктов, а также объектов, на которых проводились аварийно-спасательные работы;
  - организация комендантской службы и охраны общественного порядка (ООП) в целях упорядочения движения транспорта на объектах работ и прилегающих автомагистралях;
  - контроль за применением техники в соответствии с её назначением, пресечение случаев воровства и мародерства;
  - учет и передача в соответствующие органы обнаруженных в ходе работ ценностей (денег, ювелирных изделий и т. д.);
  - организация комплекса противоэпидемических и санитарно-гигиенических мероприятий в целях предупреждения заболеваний среди личного состава, привлекаемого для аварийно-спасательных работ;
  - организация захоронения животных, погибших во время землетрясения;
- по материальному и техническому обеспечению:
- укомплектование формирований автокранами, экскаваторами, погрузчиками, бульдозерами, автосамосвалами и средствами малой механизации;
  - техническое обслуживание и текущий ремонт техники и обеспечение ее горюче-смазочными материалами;
  - своевременное обеспечение личного состава сменным обмундированием, средствами индивидуальной защиты, необходимым инструментом и оборудованием;
  - обеспечение жизнедеятельности личного состава, привлекаемого для проведения работ, размещение, организация питания, банно-прачечного и медицинского обслуживания, работы почтовой связи;
- по обеспечению жизнедеятельности населения пострадавших городов и населенных пунктов:
- временное отселение из пострадавших районов нетрудоспособного населения, в первую очередь женщин и детей, в не пострадавшие районы и области;
  - обеспечение пострадавшего населения теплыми вещами и предметами первой необходимости, организацию питания и обеспечение водой, временное размещение в палатках, домиках и сохранившихся сейсмоустойчивых зданиях;
  - профилактика и предупреждение возникновения инфекционных заболеваний среди населения, выявление и изоляция заболевших;
  - проведение комплекса мероприятий по ликвидации психологических травм и шоковых состояний, организация справочно-информационной службы о местах и времени захоронения погибших,

размещение пострадавших в лечебных учреждениях и местах расселения эвакуированного населения.

*Этап 2.* При ликвидации последствий землетрясений развертываются работы по экономическому и социальному восстановлению пострадавших районов: возобновление производственной деятельности промышленности и объектов инфраструктуры, обеспечение жизнедеятельности населения в пострадавших районах. Параллельно со строительными работами, выполняются следующие работы:

- разборка завалов и вывоз поврежденных конструкций и строительного мусора в отвалы;
- санитарная очистка городов и населенных пунктов;
- доставка домиков-вагонов со станций разгрузки в назначенные места, сбор и сдача металлолома;
- другие работы в интересах обеспечения жизнедеятельности населения.

### **3.2. Вулканические извержения**

Вулканы(от лат. *Вулканус* –огонь, пламя) –геологические образования, возникающие над каналами и трещинами в земной коре, по которым извергаются на земную поверхность из глубинных магматических источников лавы, горячие газы и обломки горных пород.

Основные части вулканического аппарата: магматический очаг (в земной коре или верхней мантии); жерло– выводной канал, по которому магма поднимается к поверхности; конус – возвышенность на поверхности земли из продуктов выброса вулкана; кратер – углубление на поверхности конуса вулкана (рис. 3.4).

Извержение вулкана – это выход на поверхность Земли магмы (от греч. – тесто, паста).

Вулканические извержения бывают длительными(в течение нескольких лет, десятилетий и столетий) и кратковременными (измеряемые часами). К предвестникам извержения вулканов относятся вулканические землетрясения, акустические явления, изменения магнитных свойств и состава газов и другие явления.

Магма – это расплавленное вещество, которое образуется при высоких давлениях и температурах в земной коре и верхней мантии. Она состоит из различных химических соединений, в основном кремнезема ( $\text{SiO}_2$ ) и оксидов некоторых других веществ(алюминия, железа, марганца и др.), находящихся в растворенном состоянии или в виде пузырьков газа.

Извержения вулканов не одинаковы.

Одни происходят относительно спокойно: жидкая магма, достигнув поверхности, изливается на нее лавовыми потоками, распространяющимися на большие расстояния.

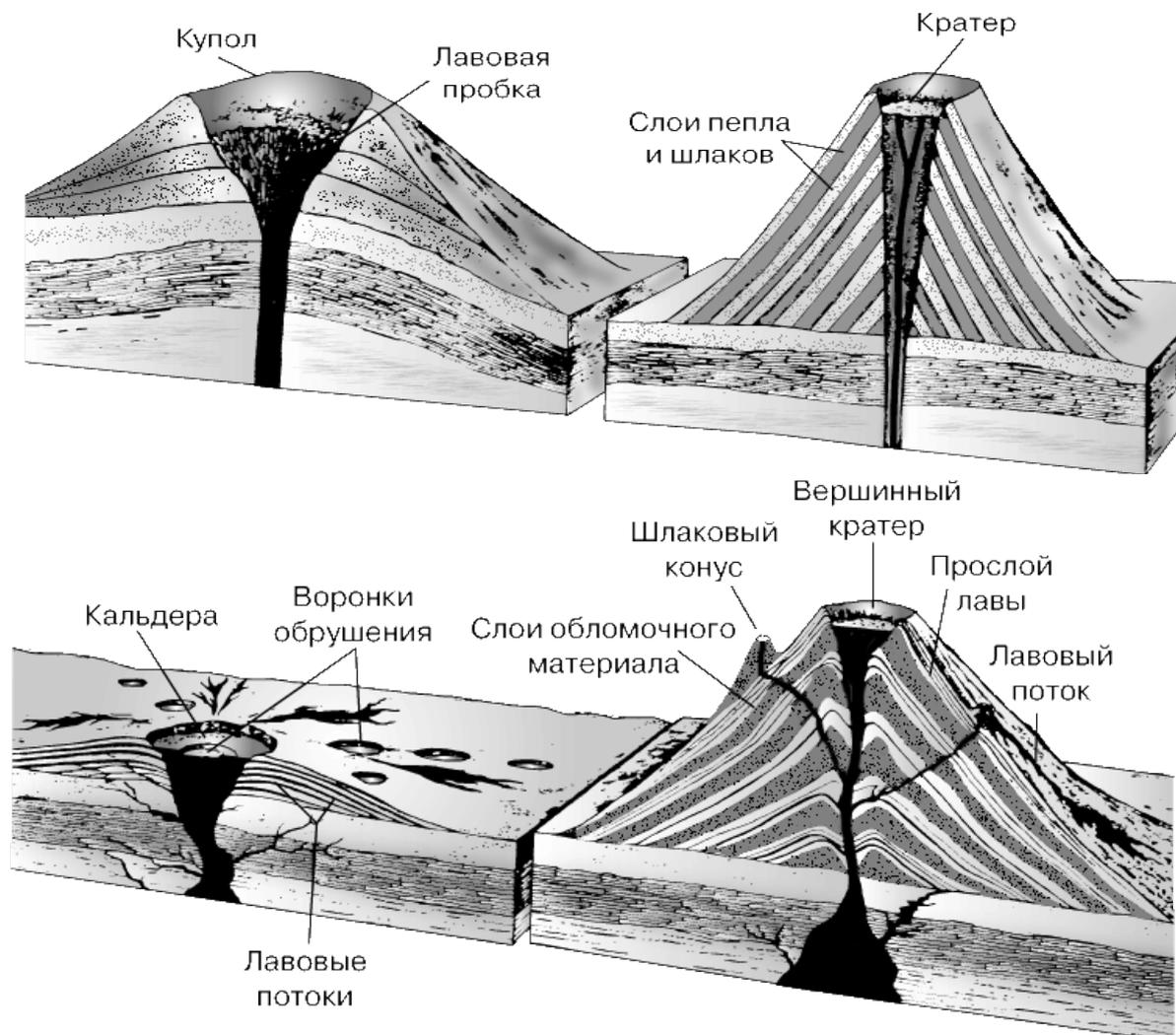


Рис. 3.4. Строение вулкана

Другие, помимо излияния лав, сопровождаются рядом взрывов, происходящих через определенные промежутки времени.

Третьи характеризуются мощнейшим взрывом и отсутствием лавовых потоков. Характер извержения зависит от состояния магмы, ее температуры, состава и содержания газов. Последнее особенно важно. Ведь газы находятся в магме под большим давлением. Поднимаясь к поверхности Земли по так называемому подводящему каналу и попадая в область низкого давления, газы, растворенные в магме, начинают выделяться из нее, переходя в нормальное газообразное состояние и многократно увеличиваясь в объеме. Если выделение газа совершается быстро или даже мгновенно, то происходит мощный взрыв, если же постепенно, то извержение протекает более спокойно. Таким образом, можно сказать, что вулканическое извержение есть процесс «дегазации»

магмы. Именно газы, заключенные в магме, служат тем «движителем», который вызывает извержение.

Если газы выделяются из магмы относительно спокойно, то она изливается на поверхность, образуя лавовые потоки. Такое извержение получило название эффузивного (от лат. *effusio* – «излияние»).

Если газы выделяются быстро, происходит мгновенное вскипание магматического расплава, и он разрывается расширяющимися газовыми пузырьками. Происходит мощное взрывное, или эксплозивное, извержение (от лат. *explosio*, фр. *explosion* – «взрыв»). Если магма очень вязкая и ее температура невелика, то она медленно выдавливается, как бы выжимается на поверхность. Такое извержение называется экструзивным (от лат. *extrusio* – «выдавливание»).

Иными словами, способ и скорость отделения газовых компонентов от магмы и определяют три главных типа извержений: эффузивное, эксплозивное и экструзивное. Но, конечно же, причиной вулканической деятельности является, прежде всего, магма. Нет магмы – нет и извержений.

Любая магма, поднимающаяся к поверхности, – это сложная система, состоящая из газа, жидкости, и твердых кристаллов минералов. Их соотношение все время изменяется: одни кристаллы, сформировавшиеся ранее, растворяются, вместо них возникают новые; при этом состав магмы также меняется, поскольку и газы, и кристаллы, и сама жидкость стремятся к равновесию между собой. Важную роль играют растворенные в магме вулканические газы.

Вулканические газы, выделяющиеся из магмы до и после извержения, имеют вид белых струй водяного пара. Когда к ним при извержении примешивается тефра (обломки застывшей лавы), выбросы становятся серыми или чёрными. Газ, выделяющийся из вулканов, на 50-85% состоит из водяного пара. Свыше 10% приходится на долю углекислого газа, около 5% составляет сернистый газ, 25% - хлористый водород и 0,02 – 0,05% - фтористый водород. Сероводород и газообразная сера обычно содержатся в малых количествах.

Когда газов в расплаве мало, говорят, что магма «сухая». Она застывает при более высокой температуре, нежели магма, содержащая много газов. Кристаллизация магмы по пути наверх, т. е. превращение ее в горную породу, происходит постепенно. Сначала при понижении температуры появляются первые кристаллы, которые существуют одновременно с жидкостью, т. е. расплавом, и как бы плавают в нем. Дальнейшее охлаждение приводит к появлению новых кристаллов, находящихся в окружении оставшегося расплава. Расплав, в конце концов,

застывает, кристаллизуясь полностью, и тогда уже возникает твердая горная порода.

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. Шире всего распространены потоки базальтовых лав. Первоначально нагретые до 1000–1200°C базальтовые лавы сохраняют текучесть даже при 700°C. Базальтовые «реки» текут со скоростью до 40–50 км/ч. Выходя на ровное место, они растекаются на обширной площади.

Лава на воздухе начинает остывать, и покрывается тонкой корочкой. При дальнейшем движении потока она сморщивается и окончательно затвердевает, напоминая лежащие толстые канаты. Поэтому такая лава называется «канатной». Горячая лава иногда полностью вытекает из-под застывшей корки и тогда под ней возникает своеобразный туннель с сосульками застывшей лавы, свисающими с «потолка». Если лавовый поток течет медленно, то корка на нем застывает быстрее и становится толще. Под собственной тяжестью она часто неоднократно ломается и вновь застывает. На поверхности потока, в конце концов, образуется хаотическое скопление угловатых обломков различного размера, носящих гавайское название «аа». Лавовые потоки типа «аа» распространены очень широко и характерны не только для базальтов, но и для андезитов.

При соприкосновении с водой лава остывает очень быстро, превращаясь в стекловатую породу (напоминающую стекло), потому что расплав, затвердев, не успевает раскристаллизоваться, т. е. в нем не сформировались многочисленные кристаллы минералов. Когда базальтовые лавы изливаются на большой глубине в океане, то они, как правило, выдавливаются из трещин, образуя гигантские «валики», напоминающие подушки, которые так и называются – «пиллоу» – лавы (от англ. *pillow* – «подушка»).

Если лава вязкая и температура ее сравнительно невысокая, что характерно для магмы, содержащей много кремнезема (более 65%), то лавовые потоки короче – несколько километров, а их поверхность покрывается более мощной глыбовой коркой типа «аа». Глыбы, перемещаясь с потоком, обрушиваются с его крутого переднего края и перекрываются самим потоком, наползающим на них. Поэтому в поперечном разрезе такая застывшая лава представляет собой монолитную горную породу, окаймленную сверху и снизу скоплением глыб-брекчий – сцементированных горных пород, сложенных угловатыми обломками размером 1 см и более. В средней же, внутренней части застывшего лавового потока, нередко образуются шестигранные или пятигранные столбы. Они возникают в результате охлаждения и последующего

растрескивания потока лавы, причем, всегда располагаются перпендикулярно той поверхности, на которую излился лавовый поток. Такие «колоннады» выглядят исключительно эффектно. Их можно увидеть на Большом Кавказе в лавовых потоках, спускающихся по склонам Казбека, в обрывах близ селения Гудаури, в долине реки Арагви, на Военно-Грузинской дороге южнее Крестового перевала, на южном склоне Эльбруса.

Твердые вулканические продукты выбрасываются на землю из жерла вулкана при мощных взрывных извержениях.

Наиболее распространены вулканические бомбы – обломки длиной более 7 см. При выбросе из жерла они еще находились в расплавленном состоянии, но, пролетев сотни метров, остывали в воздухе и падали на склоны вулкана уже сильно отвердевшими. Форма этих бомб разнообразна. Они бывают похожи на куски плоской или закрученной ленты, на крупные «капли», которые, вращаясь в воздухе, приобретают веретенообразную форму. Встречаются округлые бомбы с поверхностью, напоминающей корку свежеспеченного хлеба (бомбы типа «хлебной корки»), а также пористые куски лавы типа шлаков. Еще не остывшие куски магмы, падая на склоны вулкана, сплющиваются, а потому называются бомбами типа «корових лепёшек». Иногда выбрасываются и крупные глыбы – длиной более 1 м.

Вулканические обломки меньше 7 см называют 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. В честь гавайской богини вулканов они называются «слезами Пеле», а тонкие нити из стекловатой лавы получили наименование «волосы Пеле».

Вулканические частицы размером менее 2 мм называются пеплом. Но этот пепел не продукт сгорания. Он похож на скопление пыли. Под микроскопом при большом увеличении видно, что пепловые частицы – это осколки вулканического стекла в виде рогулек и треугольников. Они представляют собой мгновенно застывшие при взрывном извержении тоненькие перегородки из магмы между расширяющимися газовыми пузырьками. Будучи выброшенными вверх, они потом упадут на землю в виде стекловатого пепла. Иногда пепел возникает при сильном дроблении более древних вулканических пород; в других случаях он может состоять только из обломочков кристаллов. Наиболее распространен стекловатый пепел. При извержении Везувия пепел, лапилли и вулканические бомбы погребли Помпеи и Стабию.

Мощные извержения выбрасывают мелкий пепел в верхние слои атмосферы, где он может находиться очень долго. Так было, например, при взрыве вулкана Кракатау в Зондском архипелаге (Индонезия) в 1883 году. Частицы пепла, выброшенные в стратосферу на высоту до 40 километров, 3 раза обогнули земной шар. Именно ему обязаны своим появлением серебристые облака на закате, наблюдавшиеся много лет спустя после этого извержения в различных странах мира.

В истории извержений известны мощные пеплопады. В июне 1912 года после катастрофического взрыва вулкана Катмай на Аляске 2 дня падал тончайший стекловатый пепел. Он покрыл слоем толщиной 25 см остров Кадьяк и другие острова. Жители были вынуждены эвакуироваться. Последние взрывы вулкана Пинатуба на Филиппинах в 1992 году сопровождались катастрофическим пеплопадом, который вынудил американцев эвакуировать свои военные базы. Мощное извержение вулкана Ключевская Сопка на Камчатке в сентябре 1994 года подняло массы пепла на высоту 10–20 километров, что затруднило полеты самолетов. Эксплозивные (взрывные) извержения, сопровождающиеся пеплопадами, способны влиять на климат Земли. Так, извержение трещинного вулкана Лаки в Исландии в 1783 г. выбросило в верхние слои атмосферы столько пепла, что в течение следующего года температура воздуха упала на 1–2°C, и в Северном полушарии резко похолодало. Слои пепла, залегающие в древних отложениях, свидетельствуют об извержениях, происходивших сотни тысяч и миллионы лет назад, и помогают геологам восстановить историю вулканической деятельности. Еще в 1911 году под Воронежем в отложениях, возраст которых около 1 миллион лет, были обнаружены слои пепла толщиной почти 1 метр. Ближайшие вулканы, действовавшие в это время, находились либо на Кавказе, либо в Италии – на расстоянии не менее 1–2 тысячи километров.

Вулканы подразделяются на действующие, уснувшие и потухшие.

К действующим относятся вулканы: извергающиеся в настоящее время постоянно или периодически.

К уснувшим относят вулканы, об извержениях которых нет сведений, но они сохранили свою форму и под ними происходят локальные землетрясения.

К потухшим относят сильно разрушенные и размытые вулканы без каких-либо проявлений вулканической активности.

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

По условиям их возникновения четыре типа вулканов.

Первый тип – вулканы в зонах субдукции. 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 смесь главных плит, которые идут 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 или зона подвига океанической плиты под материковую. Накопленная на границах материковых плит магма устремляется к земной поверхности, что приводит к вулканическим извержениям и образованию вулканов.

Второй тип – вулканы в рифтовых зонах, – зонах, возникающих в связи с ослаблением земной коры и выпучиванием границы между корой и мантией Земли. Рифтовые зоны образуются в срединно-океанических хребтах. К характерным рифтовым зонам относятся Восточно-Африканская рифтовая долина, Исландия, часть Азорских островов и ряд других островов Атлантического океана. Образование вулканов в этих зонах связано с тектоническими явлениями, происходящими при выпучивании коры Земли.

Третий тип – 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, которые могут превратиться во внезапный сейсмический взрыв с вулканическими проявлениями. К этой группе относятся вулканы Центральной Америки, Карибского бассейна, большей части Азорских, Канарских островов и островов Зеленого Мыса.

Четвертый тип – вулканы зон «горячих точек». В отдельных областях под океаническим дном в земной коре образуются «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 океанического дна, в результате чего наблюдаются вулканические проявления.

По типу вулканической деятельности выделяют пять основных типов извержения вулканов, приведенных в таблице 3.5.

## Основные типы извержения вулканов

Тип вулкана	Основные признаки извержения
Гавайский	Жидкая базальтовая лава медленно вытекает по трещинам земной коры. Образуются мощные базальтовые покровы
Стромболианский	Вулкан, образуемый последовательными напластованиями тефры. Лава выбрасывается в виде шлаков газовыми взрывами. Чередование большей и меньшей активности
Вулканский	Вулкан с центральным куполом. Вязкие лавы забивают подводящий канал. Время от времени происходит прорыв кратера давлением газов. Осуществляется извержение и выброс тефры. После эксплозии лава вытекает спокойно
Плинианский	Из глубоко расположенного магматического очага на земную поверхность изливается лава, насыщенная газами. Сильными эксплозиями она выбрасывается в атмосферу на высоту нескольких километров и выпадает в виде пепла. Активность эпизодическая, наблюдаются долгие периоды покоя
Пелейский	Очень вязкая лава забивает подводящий канал и образует вулканический столб. К подножию вулкана сваливается палящая туча

В связи с вулканической деятельностью нельзя не отметить такие явления, как горячие(термальные)источники и гейзеры. Минеральные и пресные горячие источники распространены 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 – так называемые травертины. Так, на склоне горы Машук у города Пятигорска, в районе Кавказских Минеральных Вод, существуют травертины, обволакивающие листья растений и кости древних животных, так как минеральные источники изливались там не одну сотню тысяч лет.

Основные действующие вулканы и исторический обзор извержений.

За период с 1901 по 1985 г. на Камчатке и Курильских островах произошло 244 извержения, причем на долю Камчатки приходится 80% всех извержений. В отдельные годы в районе Камчатки и Курильских островов могут находиться в состоянии извержения от 1 до 7 вулканов. В Курило-Камчатской островодужной системе насчитывается 69 действующих вулканов или 10% от общего числа действующих наземных вулканов мира. Самые крупные и мощные вулканы Курило-Камчатского островной дуги расположены на Камчатке. Полуостров Камчатка –

северное звено Курило-Камчатской островной дуги, длина которой составляет более 2000 км. В настоящее время на Камчатке сосредоточено 29 действующих вулканов. В четвертичное время на Камчатке образовались два вулканических пояса, которые значительно различаются между собой. Один из них приурочен к Восточной Камчатке, другой – к Срединному хребту Камчатки. Подавляющее большинство действующих и потенциально активных вулканов Камчатки расположено в Восточном вулканическом поясе.

Срединно-Камчатский вулканический пояс располагается в центральной и северной части Срединного хребта. Общая протяженность пояса свыше 450 км. В его пределах проявился интенсивный четвертичный вулканизм. Активная вулканическая деятельность прекратилась здесь несколько сот лет назад. В настоящее время лишь на одном Ичинском вулкане периодически отмечается слабая сольфатарная деятельность.

Восточно-Камчатский вулканический пояс. Здесь сосредоточено 80% всех действующих вулканов, которые характеризуются заметным различием своего развития на южном и северном участках. На южном участке пояса длиной 170 км – от мыса Лопатка до широты Авачинской губы – сосредоточено восемь действующих вулканов: Кошелева, Ильинский, Камбальный, Желтовский, Ксудач, Мутновский, Горелый, Опала. В центральном участке Восточно-Камчатского пояса сосредоточено 14 действующих вулканов: Авачинский, Корякский, Дзедзурский, Жупановский, Карымский, Малый Семячик, Большой Семячик, Кихпинич, Узон, Крашенинникова, Кроноцкий, Гамчен, Комарова, Кизимен. На севере Восточно-Камчатского вулканического пояса можно выделить в самостоятельную вулканическую зону Ключевскую группу вулканов вместе с гигантским массивом вулкана Шивелуч. Это один из крупнейших вулканических центров мира, в котором извергается более половины продуктов всех вулканов Камчатки и Курильских островов. В эту группу входят действующие вулканы: Ключевской, Плоский Толбачик, Безымянный и Шивелуч. На вулкане Ушковском (Дальняя Плоская сопка) наблюдается эпизодическая фумарольная активность еще с 1890 г., поэтому он и отнесен к действующим вулканам этой группы.

Вулкан Ключевской (Ключевская сопка) – один из самых активных и мощных базальтовых вулканов мира и главный вулкан Курило-Камчатской вулканической области, располагается на стыке Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг.

Наблюдения за вулканами Ключевской группы ведутся с 01.09.1935 года, когда в поселке Ключи была открыта Камчатская вулканологическая станция. Пароксизмальные извержения для Ключевского вулкана редки. Мощное извержение происходило в декабре 1944 – январе 1945 годов.

После пароксизма 1944–1945 гг. эксплозивно-эффузивные извержения происходили в 1950, 1961–1962, 1966, 1978–1980, 1984–1987 гг., пароксизмальное извержение 1992 г. и пароксизмальное вершинное эффузивно-эксплозивное извержение 7 сентября – 2 октября 1994 г., которое может быть сопоставимо с терминальным извержением 1944–1945 гг.

Вулкан Безымянный. В современном цикле активности выделяются три периода: 1956–1965 гг. – непрерывное выжимание жестких блоков купола, сопровождавшееся эксплозивной активностью; 1966–1976 гг. – выжимание жестких блоков, обелисков, небольших порций пластичной лавы в виде даек (образуются путём внедрения магмы в трещины земной коры), лавовых вздутий; новый этап начался с 1977 г., когда впервые стала изливаться лава. За период с 1980 по 1984 г. произошло семь извержений, сопровождавшихся образованием раскаленных каменных лавин, пирокластических и лавовых потоков. Наиболее значительным был пароксизм 13–14 октября 1984 г., когда высота эруптивной тучи достигала 9 км.

В конце июня 1985 г. часть вершины и восточного сектора экструзивного купола были разрушены направленным взрывом с образованием пирокластического потока длиной до 14 км. Это было крупнейшее извержение после направленного взрыва 1956 г. 6–8 октября 1995 г. произошло сильное извержение вулкана Безымянный, пепловая туча поднялась на высоту до 5 км, а в г. Ключи наблюдался сильный пеплопад; солнце с трудом пробивалось сквозь пепловую тучу и за несколько часов выпало около  $700\text{г/м}^2$  пепла.

Вулкан Плоский Толбачик (Толбачинская сопка, Толбачик). Деятельность вулкана проявилась в виде терминальных и относительно редких побочных извержений. 6 июля 1975 г. в 18 км южнее вулкана Плоский Толбачик началось извержение, сила и размеры которого оказались таковы, что уже через несколько месяцев оно было названо Большим трещинным Толбачинским извержением. Оно длилось более полутора лет, в ходе извержения появились четыре новых моногенных вулкана – шлаковые конуса высотой до 340 м, эруптивная туча поднималась на высоту более 13 км; текли базальтовые реки со скоростью до 2,0 см/с, у истоков образовались лавовые покровы площадью около  $40\text{ км}^2$  и мощностью до 80 м. Суммарный объем изверженных лав, бомб и пепла оценивается в  $2,17\text{ км}^3$ .

Вулкан Шивелуч. Самый северный действующий вулкан Камчатки расположен в северной части Центрально-Камчатской депрессии. Для последних 10 тыс. лет и исторического времени (XIX–XX вв.) для вулкана характерны два типа извержений: катастрофические эксплозивные, – типа

направленных взрывов (1854 г., 1964 г.), и субвертикальные с близким к вертикальному выбросом пирокластики, а также слабые и умеренные по силе извержения, сопровождавшие рост экстрезивных куполов (1944–1950 гг., 1980–1981 гг., 1993 г.). Последнее сильное извержение вулкана Шивелуч произошло в 1993 г.

На Курильских островах находится 37 действующих вулканов.

Вулканы Северных Курильских островов: Алаид (о. Алаид – Атласова), Эбеко, Чикурачки, Татарина, Карпинского, Фусса (все на о. Парамушир), наиболее активными являются Алаид, Эбеко, Чикурачки.

Вулканы северной части Центральных Курильских островов: Немо, Креницын (о. Онекотан), Севергина (о. Харимкотан), Синарка, Кунтоминтар (о. Шашкотан), Экарма (о. Экарма), Чиринкотан (о. Чиринкотан), наиболее активными и проявлявшими активность являются вулканы Севергина, Синарка и Чиринкотан.

Вулканы южной части Центральных Курильских островов: Райкоке (о. Райкоке), Сарычева (о. Матуа), Расшуа (о. Расшуа), Ушишир (о. Ушишир), Палласа (о. Кетой), Прево, Заварицкого, Горящая сопка – Уратман (о. Симушир), Черного, Сноу (о. Чирпой), Брат Чирпоев (о. Брат Чирпоев), из которых активными или проявлявшими активность являются вулканы Райкоке, Пик Сарычева, Сноу.

Вулканы Южных Курильских островов: Трезубец, Берга, Колокол (о. Уруп), Кудрявый, Чирип, Баранского, Тебенкова, Иван Грозный, Стокан, Атсонупури (о. Итуруп), Тятя, Менделеева, Головнина (о. Кунашир), наиболее активными или проявлявшими активность в историческое время здесь являются вулканы Кудрявый и Тятя.

Масса извергнутых продуктов всех наземных вулканов мира в 1900–1984 гг. составила  $125 \cdot 10^9$  т и из них  $20 \cdot 10^9$ , или 16,5%, извергнуто вулканами Камчатки и Курил.

Прогноз вулканических извержений.

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

в 1955 г. было предсказано извержение вулкана Безымянный, в 1964 г. – вулкан Шивелуч, затем – Толбачикских вулканов.

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

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

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

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

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

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

Успешный прогноз вулканических извержений может значительно уменьшить вулканический риск для населения городов Петропавловск-

Камчатский, Елизово, Ключи, Северо-Курильск и других населенных пунктов, а также для пассажиров сотен международных авиарейсов, ежедневно совершаемых вдоль восточного побережья Камчатки.

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

Краткосрочный прогноз – наиболее точный. Вывод о времени предстоящего извержения делают на основе совокупности результатов всех методов. Физической основой прогноза является постепенное и непрерывное возрастание давления в магматическом очаге и выводном канале вулкана перед извержением. Возрастание давления в выводном канале вызывает напряжения и упругие деформации в окружающих его твердых породах, изменение их физических свойств, что отражается в физическом поле в районе вулкана. Установления закономерностей связи изменений физического поля вулкана с его деятельностью и непрерывные наблюдения за этими изменениями и составляют суть краткосрочного прогноза извержений. К характерным явлениям, предвещающим извержения, относятся: деформации земной поверхности, вулканические землетрясения (рис. 3.5); изменения гравитационного, магнитного и электрического полей в окрестностях вулкана; разогрев вулкана; изменение температуры и химического состава фумарольных газов и вод горячих источников. Наиболее перспективными считаются методы, основанные на наблюдениях за вулканическими землетрясениями, за деформациями земной поверхности и за газогидрохимическими явлениями на вулканах. Начиная с 1980-х годов, на Камчатке развиваются также аэрофотограмметрические методы прогноза вулканических извержений.

#### Извержение вулкана Карымского



Рис. 3.5. Ежесуточное количество землетрясений  $N$  на сейсмостанции «Карымская» в 1994–1998 гг.

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

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

Грязевой вулканизм.

Грязевой вулканизм занимает скромное место среди опасных, и тем более катастрофических явлений. Действие его 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 тектонически-активным областям, где они занимают определенное положение (рис. 3.6). Эти же области характеризуются повышенной сейсмической опасностью (рис. 3.7). Кроме того, грязевые вулканы являются индикаторами потенциальной нефтегазоносности территории, что служит стимулом для детального изучения состава газов и воды, неизменных компонентов сопочной брекчии, а также условий и механизма формирования самого процесса извержения. Грязевые вулканы, являясь, по сравнению с «настоящими» магматическими вулканами, более поверхностными образованиями, позволяют изучать особенности истинных вулканических извержений.

В глобальном распределении областей развития грязевых вулканов обнаруживается их четкая тектоническая приуроченность. Во всех случаях явления грязевого вулканизма возникают в передовых и межгорных прогибах, вблизи молодых орогенов, в районах относительно слабо расчлененного предгорного рельефа, где накопились мощные (сотни и тысячи метров) толщи преимущественно глинистых пород. Обычно это формация, которую принято относить к нижней молассе.



Рис. 3.6. Районы развития грязевых вулканов, связанных с углеводородными скоплениями в глубокозалегающих слоях:

- 1 – Северная Италия; 2 – о-в Сицилия; 3 – Албания; 4 – Румыния; 5 – Керченский и Таманский п-ова;  
 6 – Восточная Грузия; 7 – юго-восточное погружение Большого Кавказа; 8 – Южный Каспий;  
 9 – Юго-Западная Туркмения; 10 – Горганская равнина (Иран); 11 – Макранское побережье (Иран и Пакистан); 12 – Белуджистан; 13 – провинция Пенджаб; 14 – Джунгария (КНР);  
 15 – Ассамская область (Индия); 16 – Бирма; 17 – Андаманские и Никобарские о-ва;  
 18 – Южный Сахалин; 19 – о. Хоккайдо; 20 – о. Тайвань; 21 – о. Суматра; 22 – о. Ява;  
 23 – о. Калимантан; 24 – о. Сулавеси; 25 – о. Тимор; 26 – о. Новая Гвинея; 27 – Новая Зеландия;  
 28 – Мексика; 29 – Эквадор; 30 – Колумбия; 31 – Венесуэла; 32 – о. Тринидад

Районы и области развития грязевого вулканизма приурочены к современным подвижным поясам – Альпийско-Гималайскому и Тихоокеанскому, хотя и проявляются здесь отдельными дискретными пятнами. Издавна известны грязевые сопки Керченско-Таманской области, где они приурочены к южному краю Индоло-Кубанского прогиба и осложняют северо-западное погружение мегаантиклинория Большого Кавказа. Широким развитием пользуются грязевые вулканы на юго-восточном погружении, занимая Апшеронский полуостров, а также прилежащий к орогенному поднятию край Кусаро-Дивичинского прогиба; с юга от орогенного поднятия они располагаются на севере Нижне-Куринской впадины, в Шемахино-Гобустанском районе, а также западнее в пределах Средне-Куринской впадины, в междуречье Куры и Йори. Явления грязевого вулканизма продолжаются и в акватории Каспия, вдоль Апшероно-Красноводского порога, переходя дальше на восток в

Туркмению, и на меридионально вытянутом Бакинском архипелаге, вдоль западного ограничения Южно-Каспийской впадины.

Явления грязевого вулканизма имеют широкое, хотя и неравномерное распространение по пространству современных подвижных поясов Земли. Подавляющее большинство известных грязевых вулканов (более 50%) сосредоточено в Кавказском регионе – в Азербайджане и Керченско-Таманской области – в регионе Южного Каспия.

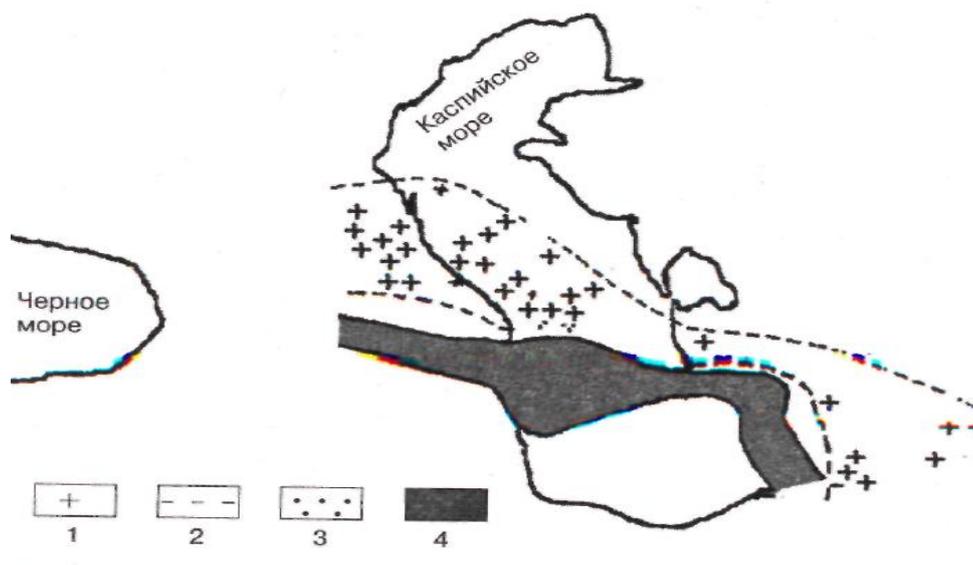


Рис. 3.7. Схема распространения грязевого вулканизма и сейсмичности в Каспийском регионе:

1 – эпицентры землетрясений; 2 – границы сейсмоактивной зоны; 3 – грязевые вулканы; 4 – зона проявления грязевого вулканизма

Грязевые вулканы представляют обычно сравнительно небольшие пологие сопки, возвышающиеся над местностью на несколько метров – 2–3, но иногда высота их достигает 50–60 метров. Конус грязевой сопки сложен продуктами ее извержения, сопочной брекчией, в которых удастся различить отдельные потоки. На вершине расположен кратер (один или несколько) от полуметра до 2–3 метров в диаметре. 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 моделями «настоящих» магматических вулканов.

По характеру извержений и консистенции выбрасываемой грязи различают «густые» и «жидкие» сопки. «Густые» образуют той или иной высоты конус и извержения их характеризуются более или менее регулярной периодичностью, которая может составлять от 2–3 до 6–8 лет. В периоды покоя сопочная брекчия высыхает и может закупоривать жерло,

но при этом может продолжаться слабое выделение 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, хотя более спокойное излияние грязи может продолжаться несколько суток. В «жидких» сопках извержения происходят более спокойно, как излияния из переполняющегося сосуда. В периоды же покоя таких сопки в кратере происходит пульсирующее выделение газовых пузырей. На плоских полях сопочной брекчии также можно наблюдать непрерывно пульсирующие грифоны. Такие сопки всегда находятся в активном состоянии.

По составу продуктов извержения грязевые вулканы обнаруживают связи с нефтяными и газонефтяными залежами и могут служить индикаторами потенциальной нефтегазонасности территории. В составе газов преобладающую роль играет метан, в то же время наблюдается небольшое количество углекислоты и сернистых газов. Сопочные воды являются, в основном, хлоридно-гидрокарбонатно-натриевыми и близки к типичным нефтяным водам. То обстоятельство, что грязевые сопки распространены в нефтяных и газовых районах, позволяет заключить, что сходство нефтяных и сопочных вод свидетельствует об их генетическом родстве. Грязевые вулканы обладают одним важным преимуществом по сравнению с остальными нефтегазопрооявлениями – это их закономерная связь с диапировыми складками, которые представляют собой благоприятный объект для образования нефтяных и газовых залежей. Поэтому грязевые сопки могут служить не просто индикаторами нефтеносности района, но и критерием для оценки его структурных особенностей, влияющих на распределение нефтеносности.

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 единицы процентов твердых частиц (4–6%), а твердая – до 40–50%. Помимо глинистого тонкодисперсного вещества в сопочной грязи часто содержится некоторое количество более крупных обломков щебенки, обычно отвечающих по составу более твердым и хрупким породам самой продуктивной толщи, но иногда и из покрывающих эту толщу пород.

Специфические признаки грязевых вулканов – это периодичность действия, относительно спокойное состояние после бурного извержения и процесс накопления новой энергии. Эволюция грязевого вулкана после того, как он уже сформировался и существует ослабленная зона его канала

для выброса продуктов вулканизма, может определяться как тектоническими причинами – неравномерным давлением, так и гидродинамикой, управляющей режимами флюида. Условия периодичности работы грязевых вулканов вполне аналогичны условиям работы гейзеров. Все районы развития грязевого вулканизма располагаются в сейсмически активных зонах различной потенциальной опасности.

Различные физические свойства среды размещения очагов грязевых вулканов и землетрясений дают возможность предположить следующую картину их взаимодействия. В том случае, когда оба очага находятся в динамически неустойчивом состоянии, вблизи критической точки разрядки, а энергия очага землетрясения превосходит энергию очага грязевого вулкана, может произойти землетрясение, сопровождаемое извержением грязевого вулкана. Сейсмическая энергия в этом случае будет частично израсходована на грязевулканический эффект.

В том случае, когда оба очага находятся в близкритическом состоянии, но очаг грязевого вулкана ближе к своему пределу, извержение может предварять сейсмический толчок, а поле напряжений в районе несколько снижается, что может снизить эффект воздействия землетрясения. В некоторых случаях землетрясение может и не произойти. Тогда грязевулканическое извержение служит способом разрядки напряжений. Но, в то же время, если очаг грязевого вулкана, либо очаг землетрясения, далек от своего критического состояния извержения, то сейсмические толчки могут происходить и независимо друг от друга.

Извержения грязевых вулканов связаны с напряженным состоянием недр и отражают его динамику, и деятельность грязевых вулканов может быть использована как индикатор этого напряженного состояния.

#### *Профилактические мероприятия вулканических извержений*

Защитные мероприятия от лавы.

1. Бомбардировка лавового потока с самолета. Охлаждаясь, лавовый поток создает заградительные валы и течет в лотке. Когда же удастся эти валы прорвать, лава разливается, скорость ее течения замедляется и приостанавливается.

2. Отвод лавовых потоков с помощью искусственных желобов.

3. Бомбардировка кратера. Лавовые потоки по большей части возникают за счет того, что лава переливается через край кратера, если же удастся разрушить стенку кратера раньше, чем образовалось лавовое озеро, скопится немного меньше лавы и ее изливание по склону не принесет вреда. Сток лавы, кроме того, можно направить в нужном направлении.

4. Возведение предохранительных дамб.

5. Охлаждение поверхности лавы водой. На охлажденной поверхности образуется корка и поток останавливается.

Защита от выпадения тефры.

Создание и использование в случае извержения специальных укрытий. Возможно проведение эвакуации населения.

Защита от вулканических грязевых потоков.

От слабых грязевых потоков можно защититься дамбами или сооружением желобов. В некоторых индонезийских селениях у подножия вулканов насыпают искусственные холмы. При серьезных опасностях люди вбегают на них и таким образом могут избежать опасности. Существует еще один способ – искусственное понижение кратерного озера. Наилучшим способом является запрещение заселения опасной территории или эвакуация при первых признаках вулканического извержения.

Рекомендации по поведению при извержении вулканов.

Лавовый поток. При начале извержения не оставаться вблизи языков лавы.

Извержение тефры. Против дамб и лапиллей предпочтительно применение пассивной защиты, при этом нужно быть внимательным и отклоняться от них. Однако когда их падает слишком много, необходимо спрятаться в укрытие. Пепел наносит значительно больший ущерб. В непосредственной близости от вулкана необходимо надевать маски. Необходимо постоянно убирать пепел с крыш (чтобы предотвратить обрушение), в садах стряхивать пепел с деревьев, закрывать резервуары с питьевой водой. Рекомендуется защищать чувствительные приборы. Пока не наступит подходящий момент, лучше оставаться в укрытиях. Во время самого извержения эвакуация невозможна, так как отсутствует видимость. После извержения необходимо убрать с территории крупные грубые каменистые обломки. Пепел постепенно смывают дожди. Об очищении пастбищ позаботится сама природа, даже когда растительность уничтожена полностью, ее восстановление происходит сравнительно быстро.

Вулканические грязевые потоки. Немедленная эвакуация населения при малейших признаках извержения.

Вулканические наводнения. Действия населения должны быть те же, что и при обычном наводнении.

Палящая вулканическая туча. Немедленная эвакуация населения при малейших признаках извержения.

Вулканические газы. Население близлежащих районов должно быть снабжено противогазами. Необходимо эвакуировать скот из опасных

областей. Насаждения успешно защищаются от действия вулканических газов умеренной посыпкой извести (для нейтрализации кислот).

### 3.3. Осыпи, обвалы, оползни

Склоны - это участки поверхности Земли с углами наклона, превышающими  $1^\circ$ . Виды склонов представлены на рисунке 3.8. Они занимают не меньше  $3/4$  площади суши.

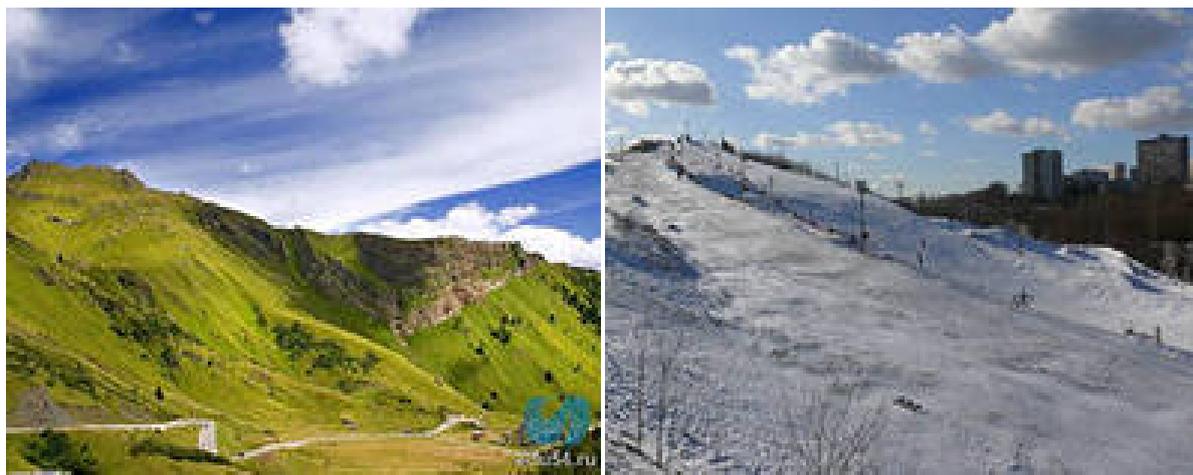


Рис. 3.8. Виды склонов

К склоновым процессам относятся движения масс грунта и снега, происходящие за счет силы тяжести.

Общее условие начала смещения материала вниз по склону – достижение такого состояния, при котором сдвигающее усилие (составляющая сила тяжести, параллельная склону) оказывается больше удерживающих сил (сцепление сдвигаемого слоя с ложем, внутреннее сцепление в слое, не имеющем резкой нижней границы).

Причины начала движения делятся на три группы: увеличение сдвигающего усилия, уменьшение удерживающих сил, дополнительный внешний импульс.

Увеличение сдвигающего усилия может быть вызвано возрастанием массы смещающегося слоя (рост высоты снежного покрова при снегопаде или метели – для схода лавин; утяжеление грунта за счет промачивания дождями – для соответствующих видов оползней; антропогенная нагрузка склонов – также для оползней и т. д.).

Увеличение сдвигающего усилия может быть вызвано также изменением угла склона – речным подмывом, абразией и т. п.

Уменьшение удерживающих сил на подошведвигающегося слоя может происходить за счет ее «смазки» водой – при дождях, снеготаянии,

при утечках из оросительных каналов и водопроводов, при подтоплении и затоплении подножия склона и т. п.

Дополнительными внешними импульсами, обеспечивающими начало движения (обычно – обрушения), служат всевозможные сотрясения – сейсмические толчки, рудничные взрывы и т. п.

Горные обвалы и осыпи – частые явления во всех странах мира. Их масштабы бывают грандиозными, последствия трагическими. Они способны вызвать крупные завалы или обрушения автомобильных и железных дорог, разрушение населённых пунктов и уничтожение лесов, способствовать образованию катастрофических затоплений и гибели людей. Такие катастрофы нередко происходят при землетрясениях 7 баллов и более, когда возможно обрушение крутых горных склонов, образующих с горизонтом углы более 45–50°.

Обвал – это отрыв и падение больших масс пород на крутых и обрывистых склонах гор. Обвалы происходят в результате ослабления сцепления горных пород под воздействием выветривания, подмыва, растворения, а также силы тяжести и тектонических явлений. Образованию обвалов способствуют геологическое строение местности, наличие на склонах трещин и дробление горных пород. Обвалы могут также происходить в речных долинах и на морских побережьях (рис. 3.9). Возникают внезапно, когда породы на склоне теряют устойчивость в результате подмыва их, а также при землетрясении, подрезке основания склона при прокладке дорог, постройке на склоне тяжелых зданий. В 80 % случаев обвалы связаны с антропогенной деятельностью человека. В нашей стране ведутся большие геологоразведочные работы. Они сопровождаются закладкой различных горных выработок: буровых скважин, канав, штолен, карьеров. В условиях горного и холмистого рельефа производство геологоразведочных работ вызывает активное проявление оползневых явлений, эрозии и других процессов. Площадь земель, нарушенных при разработке полезных ископаемых, в нашей стране исчисляется миллионами гектаров и ежегодно увеличивается на десятки тысяч гектаров. Эрозия, дефляция, оползни, обвалы, осыпи проявляются при эксплуатации открытых разработок, особенно глубоких. Просадки, эрозии и другие побочные процессы проявляются также 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 Кавказе).



Рис. 3.9. Виды обвалов

Осыпание отличается от обваливания, прежде всего величиной и скоростью. Осыпание происходит постепенно, по мере разрушения (выветривания) пород на склонах. Падают, преимущественно мелкие обломки. В нижней части склонов образуются осыпи – конусовидные скопления упавших обломков. Виды осыпания представлены на рисунке 3.10.



Рис. 3.10. Виды осыпей

Для возникновения обвалов, во-первых, необходим горный, сильно расчлененный рельеф, причем с крутыми, нередко обрывистыми склонами; во-вторых, породы должны быть разбиты трещинами, возникшими в результате действия либо эндогенных (тектонических) сил, либо экзогенных, например, выветривания. Горный массив или его часть должны находиться в неустойчивом состоянии, при котором достаточно небольшого толчка или сотрясения, чтобы куски и глыбы породы рухнули вниз. Связи между отдельными блоками пород становятся особенно непрочными во время сильных дождей и весной, когда в горах тает снег. Поэтому весна, как

и период летних ливней, это время обвалов в горах. Можно ли бороться с обвалами? Да, можно, но не с всякими и не везде. Железная дорога Туапсе – Сухуми идет по самой береговой кромке Черного моря. С одной стороны, ей угрожают штормовые волны, и приходится укреплять насыпь железобетонными «ежами», кубами, блоками, предохраняющими ее от размыва. С другой стороны, над железнодорожной колеей нависают обрывы. Спасаться от обвалов помогают высокие каменные стенки, которые останавливают глыбы камней, падающие со склона. Так же в горах защищают и автомобильные дороги. Но, конечно, это предохраняет только от небольших обвалов. Если же где-то нависают скалы, то предотвратить их обвал можно только одним способом: постепенно, по частям обрушить их, закладывая динамитные заряды малой мощности. Если обвалы угрожают поселкам, людей эвакуируют, а поселок переносят в безопасное место.

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 (рис. 3.11).



Рис. 3.11. Сход оползня

Оползни характеризуются следующими показателями: типом пород; влажностью пород; скоростью движения оползня по склону; объемом пород; смещением при оползнях, максимальной длиной оползня по склону.

Породы, составляющие основу оползня, могут быть различные – от глинистых масс до скальных.

Наиболее благоприятными, с точки зрения образования оползней, являются лессовые породы.

По влажности оползни бывают:

– сухие, не содержащие влаги;

- слабовлажные, содержащие немного несвободной воды, обуславливающей пластичность и текучесть грунта;
- влажные, содержащие достаточно воды, чтобы частично обладать текучестью;
- очень влажные, содержащие достаточно воды для жидкого течения на голых склонах.

Скорости движения оползня по склону приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.6

Шкала скоростей движения оползней

Граничная скорость	Оценка движения
3 м/с	Исключительно быстрое
0,3 м/мин	Очень быстрое
1,5 м/сут.	Быстрое
1,5 м/мес.	Умеренное
1,5 м/г.	Очень медленное
0,06 м/г.	Исключительно медленное

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, 80–180 м – вглубь массива.

Оползни различают:

- по категориям (древние и современные);
- по характеру рельефа (мелко и крупнобугристые);
- по структуре (оползни со сдвигом блоков пород по поверхностям скольжения, оползни-обвалы, выпирания, вязкопластические оползни, оползни-потоки, оплывины покровных грунтов и др.).

Оползни, вызванные изменением природных условий, как правило, не начинаются внезапно. Первоначальным признаком начавшихся оползневых подвижек служит появление трещин на поверхности земли, разрывов дорог и береговых укреплений, смещений деревьев и т. п. С максимальной скоростью (десятки км/час) оползни движутся в начальный период, с течением времени скорость постепенно замедляется.

В самостоятельную группу можно выделить оползни искусственных земляных сооружений – железнодорожных насыпей, терриконов и отвалов горных пород.

По механизму оползневого процесса выделяются оползни: сдвига, вязкопластические, гидродинамического выноса, внезапного разжижения, сложные (комбинированные).

По мощности оползневого процесса (по массе горных пород, вовлекаемой в процесс) оползни бывают:



Причины образования: те же, что и при контактных оползнях, но в условиях более глубоких нарушений горных пород тектоникой и трещинами.

Характерные места (условия) возникновения оползней: на склонах возвышенностей и долин рек, сложенных слоистыми породами, залегающими горизонтально или с уклоном в сторону, противоположную склону. При оползнях в движение одновременно приходят целые группы пластов.

Структурно–пластические (оползни выдавливания).

Причины образования: неравномерная разгрузка горных пород, залегающих над пластическими глинами (на каналах, в выемках, в долинах рек, в берегах морей и озер); перегрузка склонов (откосов) отвалами и сооружениями; увлажнение грунтов в основании склонов (откосов).

Характерные места (условия) возникновения оползней: 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).

Группа 3. Суффозионно-структурные оползни – связные глинистые породы, залегающие в чередовании с пластами и линзами водоносного песка.

Основные причины образования оползней – вынос пылеватых и песчаных частиц породы подземными водами: при спадах приливов и отливов морей; при интенсивном оттаивании коры зимнего промерзания; при прорыве пород водоносного горизонта, сцементированных солями, выделяющимися из подземных вод у дневной поверхности склонов; при обводнении песчаных пород на склоне за счет атмосферных осадков и хозяйственных вод.

Характерные места (условия) возникновения: 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. Смещение земляных масс происходит по слою разжиженного песка без ярко выраженной поверхности скольжения в основании склона. Оторвавшиеся массы земли движутся скачками, иногда с очень большой скоростью.

Суффозионно-пластические оползни.

Основные причины образования: 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.

Характерные места (условия) возникновения: такие же, как и суффозионно-структурных; смещение земляных масс происходит, как правило, при слабо выраженной поверхности отрыва смещающейся массы от основного массива земли.

Суффозионно-просадочные оползни.

Причины образования: те же, что и при образовании просадочных оползней; вынос подземными водами пылеватых и песчаных частиц из основания (подошвы) лессовых пород.

Характерные места (условия) возникновения: те же, как и просадочных оползней.

Группа 4. Оползни в земляных плотинах и оползни железнодорожных насыпей.

Оползни в земляных плотинах и автодорожных насыпях встречаются редко и ничем не отличаются от оползней железнодорожных насыпей. Наиболее часто такие оползни встречаются на Северном Кавказе. Часто именно они являются причиной ограничения скорости движения поездов и перерывов в железнодорожном движении. Железнодорожные насыпи представляют искусственные земляные сооружения.

Прочность и устойчивость их зависит от: геологического строения и гидрогеологических условий основания; материала, из которого они отсыпаны (состава и состояния грунтов); условий и способов отсыпки насыпи; от очертания их поперечного профиля.

Оползни возникают на каком-либо участке склона или откоса из-за нарушения равновесия пород, вызванного 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, и др.

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.

Существенный ущерб оползни наносят Нижнему Новгороду, Чебоксарам, Казани, Ульяновску, Вольску, Саратову, Волгограду, Москве, Калуге, Рязани, Кашире и другим городам.

### *Профилактические и прогностические мероприятия оползневых процессов*

Большую часть потенциальных оползней можно предотвратить, если своевременно принять меры в начальной стадии их развития. 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 необходимо организовать контроль за состоянием склонов и соблюдением охранно-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 них должны быть указаны: 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, за режимом подземных вод, скоростью и направлением оползневых подвижек, за выпадением и стоком атмосферных осадков.

На наиболее ответственных участках такие посты оборудуют створы глубинных реперов и ведут за ними наблюдение. В качестве реперов

используют буровые штанги длиной 2–2,5 м. В районах глубокого промерзания оползневого грунта штанги–реперы устанавливаются на глубину до 3 м и заливаются раствором цемента. Данные о колебаниях уровней подземных вод и их влиянии на устойчивость склонов, а также конкретные сведения об оползневых смещениях оползневые станции представляют ежегодно в виде краткого отчета в управление инженерной защиты города и штаб ГО города. На основании результатов наблюдений выявляются участки, где ожидается развитие оползней, а также выполняют работы на участках, где зафиксировано смещение земляных пород. Определяют силы и средства, необходимые для обеспечения противооползневых мероприятий. Имея перечень, расположенных на участках ожидаемого развития оползней, можно прогнозировать возможный ущерб.

Противооползневые мероприятия по своему характеру разделяются на две группы: пассивные и активные.

К пассивным относятся охранно-ограничительные мероприятия:

- 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, 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.

К активным относятся противооползневые мероприятия, проведение которых требует устройства 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 – у подошвы действующего или потенциального оползня, своим весом препятствующих смещению земляных масс;

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

– сплошных свайных, или шпунтовых рядов (тонких стенок) (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 древесной и кустарниковой растительности в комплексе с посевом многолетних дернообразующих трав на поверхности оползневых склонов;

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

– берегоукрепление (буны, донные волноломы, струенаправляющие устройства, защитные лесонасаждения и др.) в основании подмываемых оползневых склонов;

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

Противооползневые меры механического удержания земляных масс в равновесии включают: перераспределение земляных масс на оползневых склонах (планировка склона и его террасирование); устройство подпорных стенок; возведение контрбанкетов, контрфорсов, свайных рядов и др.

Подпорные стенки целесообразно устраивать при сравнительно небольших оползнях на склонах при нарушении их устойчивости (подрезки, подмывки и др.). Подпорные стенки устраиваются из сборного железобетона или обожжённого кирпича и камня. Для повышения устойчивости подпорных стенок устраивают застенный дренаж. При расчете подпорных стенок необходимо определить оползневое давление на стенку, а также временную нагрузку на откос и непосредственно на стенку.

Контрбанкеты являются эффективным противооползневым мероприятием. Они устраиваются у подошвы действующих или потенциальных оползней и своей массой препятствуют смещению

оползневого грунта. Протяженность контрбанкета определяется размерами оползня, ширина и высота – в зависимости от устойчивости оползневой массы. Контрбанкеты устраиваются из грунта, в отдельных случаях из бутового камня, укладываемого в основании оползня в виде призмы. На поверхности контрбанкетов должны быть предусмотрены мероприятия по отводу поверхностных вод и борьбе с эрозией почв.

Контрфорсы – подпорные сооружения, удерживающие грунт склонов и откосов от смещения, и врезающиеся подошвой в устойчивые слои грунта. Обычно возводятся из каменной кладки на цементном растворе, бетона или бутобетона. По своей конструкции могут быть дренажными или без дренирующих элементов. В основании дренажа контрфорсов рекомендуется укладывать водоотводные трубы (асбестовые, керамические, бетонные) диаметром 150–200 мм.

Свайные ряды (сваи-шпонки) применяются в период временной стабилизации оползней, имеющих небольшую (до 4 м) мощность смещаемого тела. Чтобы не нарушить устойчивость склона при забивке целесообразно устанавливать сваи в предварительно пробуренные скважины. Можно использовать непригодные рельсы и стальные трубы диаметром 300–400 мм с последующей заливкой их бетоном. Размещать свайные ряды необходимо в нейтральной или пассивной (контрфорсной) части оползня.

Отвод поверхностных вод обеспечивают устройством системы нагорных канав, лотков и ограждающих валов. Если рельеф оползневых склонов сильно пересечен, то целесообразно на водоотводных канавах устраивать перепады, быстротоки, шахтные или консольные водосбросы.

Дренирование склонов по конструкции бывает четырех типов: горизонтальные (трубчатые) дренажи-преградители; дренажные галереи; вертикальные и комбинированные дренажи.

Горизонтальные дренажи применяются при неглубоком (до 4–8 м) залегании водоупора, так как их укладывают в открытые траншеи. Для устройства дренажа могут применяться керамические, бетонные или асбестоцементные трубы. Диаметр и тип труб определяются гидравлическим расчетом и зависят от агрессивности подземных вод. Для проверки работы дренажа по его трассе устраивают смотровые, поворотные и перепадные колодцы. Такие типы дренажей рекомендуется устраивать на остановившихся оползнях или в местах, где им не угрожают оползневые смещения. Для удаления воды, содержащейся в трещинах и пустотах движущегося оползневого тела, целесообразно применять простейшие конструкции фашинного дренажа, так как этот тип дренажа и способен выдерживать значительные деформации, создаваемые небольшими подвижками.

Дренажные прорезы применяются на движущихся оползнях. При массовом (площадном) выклинивании подземных вод на стабилизированных оползневых склонах или устойчивых оползневых террасах целесообразно применять пластовые дренажи.

Дренажные галереи эффективны в местах глубокого залегания водоносного горизонта, питающего оползневый склон водой, при значительной водообильности и хорошей водоотдаче грунтов. Их включают только в общий комплекс противооползневых мероприятий из-за трудоемкого и дорогостоящего устройства.

Вертикальные дренажи (буровые скважины или шахтные колодцы) применяют при дренировании одного или нескольких водоносных горизонтов при большой глубине их залегания. Отвод воды из вертикальных дренажей производится в специальные водосборные галереи.

Комбинированные дренажи представляют сочетание горизонтальных и вертикальных дренажей, объединенных в одну систему. Они широко применяются на оползневых склонах с несколькими глубоко залегающими водоносными горизонтами, разделенными водоупорными пластами.

Для борьбы с оползнями можно использовать и простейшие инженерные сооружения: нагорные каналы и дренажи.

Нагорные каналы предназначены для отвода воды с поверхности оползневого участка. Их устраивают глубиной 0,6–1,5 м выше верхней границы оползневого участка. Канавы рекомендуется отрывать, по возможности прямыми, без резких изломов и поворотов, так как в таких местах обычно изменяется скорость течения воды и происходит отложение наносов. В результате сечение канав уменьшается и они не могут пропускать расчетное количество воды. На оползнях глубиной до 2 м каналы можно отрывать поперёк оползня, в этом случае ширина канавы должна быть в 3–5 раз больше ее глубины.

Для дренирования оползневых склонов можно использовать систему поперечных дренажей в сочетании с дренажами-прорезями, устраиваемыми вниз по склону.

Поперечные дренажи со сплошным заполнением представляют собой траншею глубиной 2–3 м, заполняемую (полностью или частично) щебенкой или хворостом. Уклон дна траншеи должен быть не менее 0,005.

В щебенчатых дренажах (рисунки 3.12, 3.13) траншею в средней части заполняют щебнем или камнем, а в боковых частях – глинобетоном или хорошо промытым крупнозернистым песком.

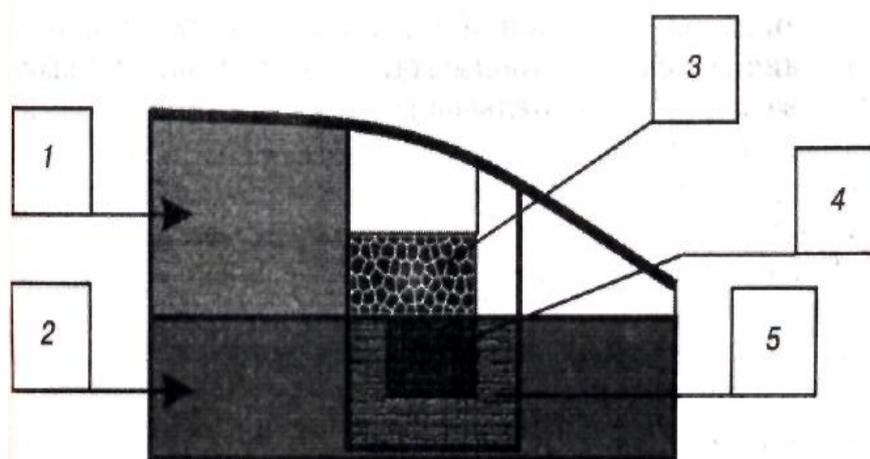


Рис. 3.12. Устройство щебенчатого дренажа:  
1 – песок; 2 – глина; 3 – гравий; 4 – камень; 5 – глинобетон

Эффективное средство закрепления крутизны оползневых склонов – посадка древесной и кустарниковой растительности в комплексе с посевом многолетних дернообразующих трав. Корневая система деревьев и кустарников связывает верхние слои почвы с нижележащими слоями, предупреждая возможное сползание почвогрунтов вниз по склону. Закрепление склонов с помощью лесонасаждений особенно эффективно при борьбе с оплывинами и неглубокими оползнями–потоками. Высаживать их рекомендуется поперек склона рядами на расстоянии до 1,5 м один от другого.

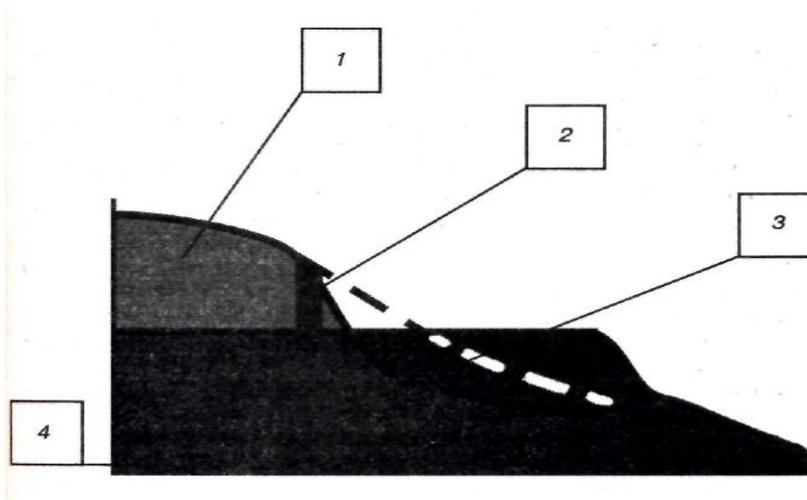


Рис. 3.13. Размещение дренажной траншеи на оползневом склоне:  
1 – песок; 2 – дренажная траншея; 3 – застой воды; 4 – плотная глина

Для закрепления оползневых склонов и защиты их от эрозии можно использовать дернообразующие однолетние и многолетние травы, корневая система которых хорошо защищает почву от размыва.

Для закрепления берегов рек, водохранилищ и морских обрывов целесообразно применять откосные покрытия из железобетонных плит на сплошных гравийно-песчаных обратных фильтрах.

Оптимальный комплекс сооружений противооползневой защиты устанавливается в следующем порядке: составляется схема расположения объектов на оползнеопасной территории; определяется характер их влияния на оползнеобразующие факторы в процессе застройки и эксплуатации проектируемых сооружений (повышение напряженного состояния пород склонов, изменение уровней грунтовых вод, уменьшение прочностных характеристик пород и др.); оценивается изменение коэффициента устойчивости склонов; выбирается вид сооружений противооползневой защиты и для каждого из них определяется степень повышения коэффициента устойчивости; оценивается возможность использования сооружений противооползневого комплекса для выполнения функций отдельных конструкций объектов застройки.

В общем виде меры борьбы с оползнями, возникновение которых обусловлено различными причинами, приведены в таблице 3.7.

После прохождения оползня необходимо проверить состояние стен и перекрытий зданий и сооружений, выявить повреждения линий газо-, электро- и водоснабжения.

Прогнозирование оползневых процессов базируется на инженерно-геологических и инженерно-гидрогеологических исследованиях. Для прогноза учитываются наличие склона, достаточной массы скальных пород или рыхлой почвы и составляющей силы тяжести скальных пород, направленной тангенциально к поверхности.

Таблица 3.7

Меры борьбы с оползнями

Активные причины, вызывающие оползни	Мероприятия	Меры борьбы
Изменение напряженного состояния глинистых пород (перепад давления)	Уположивание склонов и откосов	Срезка земляных масс в верхней части откоса и укладка их у подножия для пригрузки в месте ожидаемого выпирания
Подземные воды	Перехват подземных вод выше оползня	Горизонтальный и вертикальный дренаж, сплошная прорезь, дренажная галерея, горизонтальные скважины – дрены
Поверхностные	Защита берегов от	Волноотбойные стены. Волноломы

Активные причины, вызывающие оползни	Мероприятия	Меры борьбы
Воды	абразии	подвижные и подводные, завоз пляжного материала
Атмосферные осадки	Регулирование поверхностного стока	Микропланировка. Лотки, кюветы, каналы, дорожки
Выветривание	Защита грунтов поверхности склонов	Одерновка, посев травы, древесные насаждения, замена грунта
Совокупность ряда активных причин	Механическое сопротивление движению земляных масс. Изменение физико-технических свойств грунтов	Подпорные стены, свайные ряды. Шпунты. Земляные контрбанкетты. Подсушка и обжиг глинистых грунтов, электрохимическое закрепление грунтов
Некоторые виды деятельности человека	Специальный режим в оползневой зоне	Сохранение склонов в устойчивом состоянии. Ограничение в производстве строительных работ. Строгий режим эксплуатации различных сооружений.
Утечка водопроводных и канализационных вод	Обеспечение повышенной надежности	В оползневой зоне трубопроводы устраиваются из труб более прочных материалов или в «рубашке»

Известны несколько методов прогноза оползней:

- долгосрочный – на годы;
- краткосрочный – на месяцы, недели;
- экстренный – на часы, минуты.

Наиболее достоверный из них – краткосрочный прогноз.

Для осуществления долгосрочного прогноза применяется метод ритмичности, основанный на выявлении периодов активизации оползней, связанных с выпадением осадков и другими метеорологическими элементами. Обычно прослеживается достаточно тесная связь количества оползней с величиной солнечной активности и менее тесная связь с атмосферными осадками.

Краткосрочный и экстренный прогнозы основаны на использовании геодинамических измерений и построении на их основе прогнозной модели оползневого процесса методом регрессионного анализа, при этом учитывается устойчивость склона, определяемая отношением удерживающих и сдвигающих сил.

Теоретический прогноз оползней достаточно сложный. Его проводят специалисты оползневых станций (по данным многолетних наблюдений) и он может быть только вероятностным.

Абразия (лат. *abrasio* – соскабливание) – в геологии процесс разрушения и сноса суши морским прибоем. Проблема актуальна для крупных озер и

водохранилищ. Волны моря, ударяясь о берег, непрерывно его подтачивают, подмывают и, таким образом, сглаживают все выступы и неровности. Таким путем вырабатывается более или менее широкая подводная волноприбойная терраса. По мере того как море проникает далее вглубь разрушаемой им суши, возрастает ширина этой террасы и уменьшается живая сила волн вследствие трения о ее поверхность. Если уровень моря повышается относительно прилегающего берега, разрушительная работа волн проникает дальше вглубь материка и ширина абразионной террасы возрастает (иногда до 10–20 км). При длительном повышении уровня моря (или опускания суши) море может далеко проникнуть вглубь материка (трансгрессия) 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 или абразионную платформу.

Интенсивность абразии зависит от степени волнового воздействия, т. е. от бурности водоема. Важнейшим условием, предопределяющим абразионное развитие берега, является относительно крутой угол исходного откоса (больше 0,01) прибрежной части дна моря или озера. Абразия создает на берегах абразионную террасу или бенч (англ. *bench*), и абразионный уступ или клиф (рис. 3.14). Образующиеся при этом в результате разрушения горных пород песок, гравий, галька могут вовлекаться в процессы перемещения наносов и служить материалом для образования береговых аккумуляторных форм. Часть материала сносится волнами и течениями к подножью 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.

На склонах искусственных водохранилищ, уклоны которых в прошлом формировались иными, не абразионными факторами, темп абразии особенно высок – до десятка метров в год.

Абразия берегов, то есть разрушение их волнами, возможна на морях, озерах, водохранилищах там, где с суши поступает не слишком много наносов в виде твердого стока рек. В противном случае, характерном для дельт, происходит накопление обломочного материала, выдвигание линии берега в сторону моря. Этот процесс также неблагоприятен для хозяйства, однако имеет меньшее значение, поскольку выдвигающиеся берега неудобны для строительства и практически не освоены.



Рис. 3.14. Абразионное развитие берега

Набегающие на берег волны ударяют в него с силой до  $70 \text{ т/м}^2$ , 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, от 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.

В высоких широтах преобладает активная абразия. Главной причиной ее является относительная скудность поступления обломочного материала с суши. Особенности берегов Северного Ледовитого океана является возможность термической абразии, помимо механической, а также их относительно молодой «динамический возраст», равный иногда лишь 0,1–0,2 от «динамического возраста» берегов безледных морей. Характерная скорость абразии здесь 4–6 м/год, наивысшая – до 55 м/год. Эти показатели не очень велики, но, если учесть долю времени, когда прибрежные акватории свободны ото льда, скорость абразии оказывается в 3–4 раза выше, чем в более низких широтах с их существенно более суровым «волновым климатом». В средних широтах преобладают берега, где нет активной абразии, и происходит, в основном, вдольбереговое

смещение наносов. В низких широтах, где особо велик твердый сток рек, преобладают процессы накопления обломочного материала у берегов, их выдвигание в сторону.

Причины усиления абразии берегов делятся следующим образом:

– за счет повышения уровня океана или локального опускания дна – 30–35%;

– за счет климатически обусловленного усиления течений в устьях бухт и заливов – 20%;

– за счет антропогенного вмешательства в естественный ход процессов в прибрежной зоне – 45–50%.

Абразия берегов происходит также на крупных озерах и водохранилищах. Состояние берегов озер обычно близко к равновесному, вдольбереговые потоки наносов слабы вследствие малой энергии волн. Абразия активизируется, в основном, повышением уровня вследствие увлажнения климата или подпора плотиной. Еще более сильна абразия на водохранилищах, берега которых геоморфологически молоды и практически никогда не станут зрелыми, равновесными, поскольку для этого требуется больше времени, чем будут существовать водохранилища. Рабочие колебания уровня равнинных водохранилищ находятся в пределах 3–8 м (близко к размаху приливно-отливных колебаний уровня морей), горных – до 50–80 м. Высота волн на водохранилищах ниже, чем в морях; максимальные значения на водохранилищах бывшего СССР – до 4 м, чаще в пределах 2–3 м. В первые два–три года существования водохранилищ скорость отступления берега достигала 50 м/год на Цимлянском и Красноярском, 30 м/год на Каховском водохранилище, в первые 10 лет – до 20 – 25 м в степной зоне, 4–6 м в лесной зоне, в первые 17–35 лет средняя скорость на Цимлянском, волжских и Новосибирском водохранилищах – 1–5 м/год. Во многих случаях на абразионном уступе начинаются оползневые, а в зоне распространения многолетней мерзлоты – обвально-пльвинные процессы, ускоряющие отступление берега. Термоденудационный берег на Братском водохранилище у пос. Артумей отступил за 1962–1967 гг. на 759 м, до 435 м за год и до 150 м за сутки.

Средние за 100 лет скорости отступления берегов равнинных водохранилищ равны 0,5 от значений скорости за первые 20–30 лет; потери земли от абразии берегов Волгоградского, Саратовского, Нижнекамского и Горьковского водохранилищ составят за первые 25 лет около 95 км<sup>2</sup> (в среднем 3,8 км<sup>2</sup>/год), за 50 лет – около 130 км<sup>2</sup>, за 100 лет – 165 км<sup>2</sup>.

Эрозионные процессы. Под этим общим названием – эрозия (лат. *erosio* – разъединение), рассмотрим неблагоприятные и опасные процессы воздействия водных потоков, волн и ветров на рельеф: плоскую и

линейную (овражную) эрозию, дефляцию (ветровую) эрозию, переформирование русел рек. Сели, абразия берегов морей и водохранилищ, рассмотренные выше, также относятся к эрозии почв. На земной поверхности нет таких мест, где бы ни выпадали атмосферные осадки. Текущая вода производит работу повсеместно в пределах суши, а формы рельефа, ею созданные, универсальны. Выпахивающая деятельность текущей воды называется эрозией. Эрозия бывает нескольких типов и видов, каждый из которых характеризуется физическими процессами, происходящими, в основном, в почве.

Эрозия почв (плоская эрозия) – процесс разрушения верхних, наиболее плодородных слоев почвы и подстилающих пород талыми и дождевыми водами (водная эрозия почв) или ветром (ветровая эрозия почв, дефляция, выдувание). В ряде мест от эрозии почв утрачивается больше плодородных земель, чем вновь осваивается. Естественная эрозия почв – очень медленный процесс. Например, снос поверхностными водами 20 см почвы под пологом леса происходит за 174 тыс. лет, под лугом за 29 тыс. лет. При правильных севооборотах поля теряют 20 см почвы за 100 лет, а при монокультуре кукурузы – всего за 15 лет. В последних двух случаях скорость разрушения почвенного покрова намного превышает скорость почвообразования.

Эрозия почв привела к полной или частичной, но хозяйственно значимой потере плодородия более половины всей пашни мира (1,6–2 млн. км<sup>2</sup>, при современном использовании 1,2–1,6 млн. км<sup>2</sup>). Ежегодно из-за эрозии выбывает из сельскохозяйственного использования от 50 до 70 тыс. км<sup>2</sup> земель (более 3% эксплуатируемой пашни в год). В разной степени эродировано 73% земель России. Потери России от эрозии оцениваются в 10,7 млрд. рублей в год.

Плоская эрозия (эрозия почв) распространена повсеместно, где бывают сколь-нибудь интенсивные осадки. Скорость плоской эрозии измеряется толщиной слоя, сносимого в среднем за год, или массой материала, сносимого с единицы площади. Естественная скорость плоской эрозии на междуречьях равнин умеренного климатического пояса измеряется сотыми долями миллиметра в год; скорость эрозии до 0,5 мм/год отвечает скорости накопления гумуса в почве; более высокие величины означают срезание почвы.

Интенсивность эрозии есть функция от количества и интенсивности осадков, распределения и скорости снеготаяния, а также от механических свойств почвы, угла наклона микрорельефа поверхности склона. Значительная эрозия оголенных поверхностей почвы начинается при осадках более 10 мм/сут. и 2 мм/мин. на склонах с наклоном более 3°. Особенно усиливается эрозия (до 4–10 мм/год) при осадках более 30 мм/сут, при ливнях с диаметром капель более 1,5 мм, на склонах круче 10–

12°. По мере смыва относительно водопроницаемого и прочного гумусового горизонта почвы сток при дождях возрастает до шестикратного, скорость эрозии возрастает в 10 раз.

Антропогенная эрозия почв сопровождает земледелие в течение всей его истории, но особенно возросла в XIX–XX вв., с применением механической тяги и стандартной агротехники на огромных полях с различными местными значениями потенциальной эрозии. Темп эрозии оголенного грунта местами возрастает в сотни раз в сравнении с эрозией в лесах. За время сельскохозяйственного производства средняя величина эрозии поднялась приблизительно втрое. В бывшем СССР из 225 млн. га пашни заметно эродированы 152 млн. га, в том числе сильно эродированы 64 млн. га. Ежегодно полностью эродируются почвы в среднем на 2 млн. га, смывается около 2 млрд. тонн почвы. Эрозия сильна также на 175 млн. га сенокосов и пастбищ, что ведет к опустыниванию 40–50 тыс. га земель в год.

Ветровая эрозия (выдувание) почв легкого состава возможна при скорости ветра уже 4–6 м/с, если почва сухая (что достигается при относительной влажности воздуха около 50% и менее) и не слишком защищена растительностью. Скорость дефляции пропорциональна третьей степени скорости ветра: при ветре более 6 м/с дефляция может достичь характера пыльной бури. Например, в Туркмении 40% пыльных бурь происходит при скорости ветра 7–10 м/с, остальные – 15–20 м/с и более. Наиболее характерна дефляция для территорий с сухим климатом (годовая сумма осадков около 200 мм и менее): для Сахары, стран Ближнего Востока, Афганистана, Индии, Центральной Азии, Китая, Мексики и др.

В Средней Азии ежегодно отмечаются сотни пыльных бурь, обусловленных в основном циклонами, приходящими с юга («афганец»). В некоторых районах повторяемость бурь превышает 50 за год. Особо сильные бури отмечаются раз в 30–40 лет; слой дефляции при них – до 20–25 см. На юге Восточноевропейской равнины среднегодовое число дней с пыльными бурями 8–23, в отдельные годы (1960, 1969 и др.) – до 70. От 10 до 50% пыльных бурь длятся более чем по 6 часов и при скорости ветра более 16 м/с относятся к категории сильных и разрушительных. Существенную дефляцию здесь могут производить и смерчи. Например, на Украине ширина полосы, где смерчем выдувается несколько сантиметров почвы, достигает 500–700 м, длина – 15 км, площадь – 1000 га; в ветровой тени рядом с такой полосой толщина наноса почвы – до 10–15 см.

Овражная (линейная) эрозия сменяет плоскую на склонах с наклоном более 15°. В природных условиях современное оврагообразование – редкое явление, поскольку подходящие для этого склоны давно эродированы. Оно возможно при стечении обстоятельств, например, при выпадении осадков

вскоре после выгорания растительности. Почти все растущие ныне овраги и преобладающая доля их общего числа антропогенны. В России человеческой деятельностью порождено 3/4 оврагов. На пахотных землях в последние 10 лет площадь оврагов увеличилась с 5 до 6,6 млн. га, что означает потери приблизительно 150 тыс. га в год.

В предгорьях Средней Азии на пастбищах скорость удлинения оврагов достигает 4–6 м/год, углубления – 1 м/год, что в 2–3 раза выше, чем в Нечерноземье. В степной зоне рекордные скорости удлинения оврагов – до 100 м/год, а на поливных землях – до 165 м/год.

На льдосодержащих многолетнемерзлых породах наблюдается термоэрозия – род овражной эрозии, провоцируемой антропогенным усилением стока (талый сток от снеготанов, сброс бытовых вод и т. п.), а также механическим нарушением теплоизолирующего растительного покрова. В районе Воркуты термоэрозия на суглинках при наклоне поверхности 3–5° за один дождь может создать рытвины длиной до 10–15 м, шириной до 2,5 м, глубиной до 1,5 м. Они закладываются с интервалом 30–50 м, намного гуще, чем в Нечерноземье, и полностью развиваются лишь за 20–35 лет, в 5 раз быстрее, чем в Нечерноземье. На севере Западной Сибири термоэрозионный рост оврагов по следам гусеничных машин имеет скорость до 30 м/год.

Последствия эрозии отрицательно сказываются во многих странах. В Болгарии водной эрозии подвержено 72% обрабатываемых площадей. Ежегодно с них теряется около 40 млн. м<sup>3</sup> мелкозема, что равнозначно потере 60 млн. тонн плодородной земли. В Венгрии различная степень эрозии угрожает 2,3 млн. га земель или около 30% сельскохозяйственных площадей. В Польше поверхностная эрозия наблюдается на 13% территории страны. В Англии опасности выдувания ежегодно (с марта по июнь) подвержено от 4 до 6 тыс. га посевов сахарной свеклы, выращиваемых на торфяных и песчаных почвах. В отдельные годы до 50% этих площадей пересеивают несколько раз. В Индии в результате развития процессов эрозии ежегодно с сельскохозяйственными культурами из почв выносятся около 4,2 млн. т азота, 2,1 фосфора, 7,3 калия, 4,3 млн. т извести. Большой ущерб эрозия почв наносит странам Азии, Африки и Латинской Америки. В Мексике лишь 19% территории страны можно считать не подверженной эрозии, в то время как умеренная и ускоренная эрозия охватывает 24 – 26%, 17% территории превращены в бросовые земли, а на 15 %, где эрозия только начинается, требуется принятие срочных мер.

Антропогенная эрозия почв. Деградация почвы – это постепенное ухудшение свойств почвы под влиянием естественных причин (природные изменения условий почвообразования) или хозяйственной деятельности

человека (неправильная агротехника, загрязнение почвы, изменение структуры и водного режима и т. п.).

Основные причины деградации почвы.

1. Неправильное применение удобрений и пестицидов. Внесение высоких доз азотных удобрений иногда отрицательно влияет на почвенную структуру и снижает противоэрозионную устойчивость почв. Применение повышенных доз пестицидов, содержащих соли тяжелых металлов, также может снижать плодородие почв, т.к. при обработке в ней уничтожаются полезные микроорганизмы и черви, а также изменяется кислотность.

2. Мелиоративные работы. При неправильной технологии таких работ снижается гумусовый слой почвы, плодородный слой почвы засыпается почвообразующей породой.

3. Лесозаготовки. Повреждаются и уничтожаются подлесок, травянистый покров, подстилка и верхний гумусовый слой почвы. Особенно большой вред почве наносят тракторные волоки и транспортировка леса по временным дорогам.

4. Раскорчевка леса. Вместе с корнями деревьев из почвы выносятся большое количество гумуса.

5. Лесные пожары. Вместе с лесом уничтожается лесная подстилка и трава. Действие огня распространяется на гумусовый слой почвы, происходит деградация лесных почв.

6. Пожары на осушенных торфяных почвах. На пастбищах и пахотных массивах выгорает полностью органический слой почвы.

Деградация почвы включает процессы эрозии, сопровождается изменениями почвенной флоры и фауны, снижением плодородия, неблагоприятными изменениями в напочвенном растительном покрове, формированием бесплодных, пустынных земель. Различают также, ветровую (дефляционную), ледниковую, оползневую, речную, биологическую и другие виды эрозии.

К эрозии почв нередко относят и всевозможные явления, снижающие плодородие почв и разрушающие почвенный покров, вызываемые антропогенными факторами:

- химическая эрозия (накопление в почве ядохимикатов);
- механическая эрозия (перемещение почвы со склонов различными машинами и агрегатами);
- засоление почв при орошении (накопление растворимых солей в почве);
- переувлажнение и заболачивание (совокупность явлений, возникающих в почве при постоянном увлажнении).

Опустынивание – это уменьшение или уничтожение биологического потенциала земельного пространства, сопровождающееся сокращением его водных ресурсов, исчезновением сплошного растительного покрова, обеднением и перестройкой фауны и возникновением других условий, близких или аналогичных условиям пустыни.

Общими факторами, приводящими к опустыниванию земли, являются:

- деградация растительного покрова и сопутствующая ей эрозия почв в результате чрезмерного выпаса скота;
- усиление эрозии и дефляции засушливых земель при их интенсивном и нерациональном использовании;
- отсутствие рациональных соотношений между земледелием и животноводством;
- уничтожение растительного покрова при заготовке топлива;
- разрушение растительного и почвенного покрова при дорожном и индустриальном строительстве, геологоразведочных работах, разработке полезных ископаемых и т. п.;
- вторичное засоление, подщелачивание и подтопление орошаемых земель.

Ущерб от эрозии почв характеризуется следующими показателями. На слабо эродированных черноземах Русской равнины снижение толщины гумусового горизонта почвы на 1 см уменьшает урожай зерновых приблизительно на 1 ц/га. Полная и повсеместная компенсация потерь гумуса невыполнима из-за недостатка органических удобрений (а если бы была бы возможна, обошлась бы в миллиарды рублей в год). С эрозией ежегодно теряется в 1,5 раза больше питательных веществ, чем вносится в виде минеральных удобрений. Смывается 30–50% объема этих удобрений.

Экологический ущерб причиняется искажением потоков твердого и растворенного вещества в ландшафтах (заиление рек и озер, заморы рыбы в водоемах и т. п.), а вне непосредственного контакта с эродируемыми землями – множественными нарушениями природной среды при добыче, переработке и перевозке минеральных удобрений.

Одной из причин сокращения площади обрабатываемых земель является интенсивная водная и ветровая эрозия, обусловленная ростом масштабов влияния антропогенного фактора на почвы. Эрозия почв стала бичом земледелия, несмотря на меры по ее ограничению. В странах Западной Европы эрозией охвачено 50 – 60% территории, в США до 75% всех земель. Разрушение почвы проявляется в ее смывах и размывах, в образовании ручьев, оврагов, пыльных бурь и в других отрицательных явлениях. Водной эрозии подвержено 31% суши, ветровой – 34%. Ежегодный смыв почвы с поверхности Земли достигает 134 т/км<sup>2</sup>, в Мировой океан смывается до 60 млрд. тонн почвенного покрова.

В России (если принять во внимание, что смыв почвы с 1 га равен 30т) годовая потеря почвы достигает 4,5 млрд. тонн. Разрушительные свойства ветровой эрозии наблюдаются на юге Украины, в Казахстане, Нижнем Поволжье, в равнинных областях Северного Кавказа, в Средней Азии, Бурятии, Башкирии, Хакасии.

В России осуществляется комплекс мероприятий по применению агротехнических, лесомелиоративных и гидротехнических средств по защите почв от водной и ветровой эрозии. Хорошо зарекомендовали себя и получили распространение почвозащитные севообороты с полосным размещением посевов и паров, залужение сильно эродированных земель, создание буферных полос из многолетних трав, снегозадержание, закрепление и облесение песков, выращивание полевых защитных лесных полос и др.

Изменение русел рек. Русла рек постоянно изменяются естественным образом и под воздействием человека. Одним из таких условий может быть влияние русловой эрозии. Русловая эрозия характеризуется тем, что дождевые воды быстро собираются в ручьи и реки, которые эродируют уже не склоны и всю поверхность суши, а выпахивают вдоль русла реки. Продукты русловой эрозии отлагаются в нижней части потока, где замедляется его скорость. Эти отложения располагаются в форме лежачего полу конуса, обращённого вершиной вверх, а широким размытым основанием вниз. Такие образования называются конусами выноса.

Русловая эрозия делится на три группы: боковую, глубинную и попятную. При боковой эрозии размываются берега речного потока. Глубинная эрозия размывает русло реки, но она не может идти ниже уровня воды в месте впадения реки в море. Этот уровень называется базисом эрозии. При достижении его рекой может установиться равновесие между эрозией и аккумуляцией, которая, как и эрозия, участвует в изменении рек и их долин. Если эрозия идёт назад, от низовьев реки к верховьям, то её называют попятной. Благодаря ей реки, врезаясь в водоразделы, могут перехватывать реки противоположного склона этого же водораздела.

Размыв берегов на излучинах крупных равнинных рек европейской части бывшего СССР и Западной Сибири происходит со средней скоростью 4–5 м/год, в отдельные многоводные годы – до 40–50 м/год.

Сдвиг русел вбок на предгорных дельтах особенно многоводных рек достигает 330–350 м/год (р. Брахмапутра), а то и 500 м/год (р. Скуомиш в Британской Колумбии, Канада, 1984 г.). В целом же естественные изменения русел рек интенсивны в районах, где русла геоморфологически молоды (горы, районы валдайского оледенения на равнинах), породы легче размываются (например, многолетнемерзлые пески), наиболее велик

межгодовой размах величин расходов воды при паводках (территории с субтропическим и муссонным климатом). В России наиболее интенсивные изменения русел происходят в Прибайкалье, на Северо-востоке.

Человеческая деятельность приводит к многообразным видам нарушений естественного состояния русел. Вырубка лесов изменяет условия стока и увеличивает размах колебаний величины расходов воды в реках, и тем самым, повторяемость особо больших руслоформирующих расходов. Водность рек изменяется также разбором воды на хозяйственные нужды. Так, сток рек в южной части бывшего СССР местами уменьшился до  $2/3$ , следствием чего может быть снижение максимальных величин расходов или увеличение внутригодового контраста этих величин.

Строительство противопаводковых каналов, спрямление русел рек и переброска стока по руслам, выработанным сравнительно слабыми потоками, – еще один способ изменения водности рек, ведущий часто к резкому усилению глубинной эрозии (например, Невинномысский канал врезался на величину до 8 м и превратился местами в каньон с крутыми, обрушающимися берегами высотой до 15 м).

Существенные изменения русловых процессов вносят водохранилища. Ежегодно вводится 300–500 новых водохранилищ. Водоохранилища перехватывают поток наносов, отчего ниже них возникает глубинная эрозия, а скорость размыва берегов рек удваивается, в сравнении с естественной, и достигает местами, например на Украине, 120 м за три года. Сами же водохранилища заиливаются: горные – за несколько десятков лет, а в некоторых случаях – и за 10 лет.

Добыча стройматериала из речных русел ведет к вспышке глубинной эрозии, сужению русла, резкому переформированию отмелей на отрезке в десятки километров ниже места нарушения русла.

Движение судов по рекам вносит новый фактор в число тех, что определяют изменения русла, – абразию берегов судовыми волнами. При высоте волны у берега менее 0,2 м береговая линия может отступить на расстояние до 6,5 м, при волне 0,4 м – до 12,5 м, при волне высотой 0,6 м – до 20 м. При этом образуются отмели, меняется поперечный, прежде равновесный, профиль русла. В него поступает существенное количество дополнительного обломочного материала.

Экономический ущерб от переформирования русел рек человечество испытывает в течение всей истории орошаемого земледелия и строительства поречных поселений, то есть в последние 5–6 тыс. лет. Он вызван разрушением водозаборных сооружений, противопаводковых дамб, подмывом заселенных берегов, блужданием русел по предгорным дельтам и т. п. Действительная величина экономического ущерба от изменений русел рек неизвестна.

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 с поверхности обломки либо покрыты мхом или лишайником, либо просто имеют черную «корку загара». Это свидетельствует о том, что, поверхностный слой обломков не склонен к перемещениям в виде скатывания. Отсюда, по-видимому, их название – «курумы», что с древнетюркского означает либо «баранье стадо», либо скопление камней, похожих по внешнему виду на стадо баранов. В литературе распространено множество синонимов этого термина: каменный поток, каменная река, каменное море и т. д.

Важнейшей особенностью курумов является то, что их грубообломочный чехол испытывает медленные перемещения вниз по склону. Признаками, указывающими на подвижность курумов, являются: валообразный характер фронтальной части с крутизной уступа, близкой или равной углу естественного откоса грубообломочного материала; наличие валов, ориентированных как по падению, так и по простиранию склона; натечный характер курумного тела в целом.

Об активности курумов свидетельствуют:

- разорванность лишайникового и мохового покровов;
- большое количество глыб, ориентированных вертикально, и наличие линейных зон с ориентировкой длинных осей по падению склона;
- большая скважность разреза, наличие в разрезе погребенной дернины и остатков деревьев;
- деформированность деревьев, расположенных в зоне контакта с курумами;
- шлейфы мелкозема у основания склонов, вынесенные из курумного чехла под поверхностным стоком и др.

В России очень большие площади курумы занимают на Урале, в Восточной Сибири, в Забайкалье, на Дальнем Востоке. Курумообразование определяется климатом, литологическими особенностями скальных пород и характером коры выветривания, расчлененностью рельефа и тектоническими особенностями территории.

Формирование курумов происходит в суровых климатических условиях, главным из которых является амплитуда колебаний температур воздуха, способствующая выветриванию скальных пород. Второе условие – наличие на склонах скальных пород, устойчивых к дезинтеграции, но

трещиноватых, дающих при выветривании крупные отдельности (глыбы, щебень). Третье условие – обилие атмосферных осадков, которые формируют мощный поверхностный сток, промывающий грубообломочный чехол.

Наиболее активно курумообразование происходит при наличии многолетнемерзлых пород. Их появление отмечается иногда и в условиях глубокого сезонного промерзания. Мощность курумов зависит от глубины сезонно–талого слоя. На островах Врангеля, Новой Земле, Северной Земле и в некоторых других районах Арктики курумы имеют «пленочный» характер грубообломочного чехла (30–40 см). На Северо-востоке России и севере Среднесибирского плоскогорья их мощность возрастает до 1 м и более, имея тенденцию увеличиваться к югу до 2–2,5 м в Южной Якутии и Забайкалье. В одних и тех же геологических структурах возраст курумов зависит от их широтного положения. Так, на Северном и Полярном Урале происходит современное курумообразование, а на Южном Урале большая часть курумов относится к «мертвым», реликтовым.

В континентальных областях наиболее благоприятные условия для курумообразования встречаются в районах с повышенной влажностью. В умеренном климате интенсивное курумообразование происходит в пределах гольцового пояса гор и пояса лесов. Для каждой климатической зоны характерны свои диапазоны высот, в которых наблюдается курумообразование. В арктической зоне курумы развиты в диапазоне высот от 50–160 м на Земле Франца–Иосифа, до 400–450 м на Новой Земле и до 700–1500 м на севере Среднесибирского плоскогорья. В Субарктике диапазон высот составляет 1000–1200 м на Полярном и Северном Урале, в Хибинах. В континентальной области умеренной зоны курумы встречаются на высоте 400–500 м в южной части Среднесибирского плоскогорья, 1100–1200 м на западе и 1200–1300 м на востоке Алданского нагорья, 1800–2000 м в юго-западном Забайкалье. В континентальном секторе суббореальной зоны курумы встречаются на высотах 600–2000 м в Кузнецком Алатау, 1600–3500 м в Туве. В результате изучения курумов Северного Забайкалья выяснено, что только в этом регионе насчитывается около 20 их морфогенетических разновидностей (таблица 3.8). Отличаются курумы друг от друга формой в плане, структурой курумного тела в разрезе и строением грубообломочного чехла, что связано с различными условиями образования курумов.

По источникам образования выделяются два больших класса курумов. Первый класс объединяет курумы, в которые грубообломочный материал поступает из их ложа вследствие его разрушения выветриванием, выноса мелкозема, выпучивания обломков и других процессов. Это курумы с так называемым внутренним питанием. Во второй класс входят курумы,

обломочный материал которых поступает извне вследствие действия гравитационных процессов (обвалы, осыпи и др.). Курумы второго вида пространственно локализованы в нижних частях или у подножия активно развивающихся склонов и имеют небольшие размеры.

Таблица 3.8

Морфогенетическая систематизация курумов хр. Удокан

Питание грубообломочным материалом	Основные курумообразующие процессы		Группы курумов по их форме		
			Линейные	Сетчатые	Изометрические или площадные
			Фации курумов (крутизна склонов)		
	Выветривание (деструкция) скальных пород, выпучивание обломков, суффозия	Локальное	Шлейфовидные потоковые курумы(5–20)	Сетчатые курумы (5–15)	
			Потоки курумов(15–25)	Потоково- сетчатые курумы(15–30)	Полигональные курумы(10–30)
			Потоковыекурумы (25–35)	Нишевые курумы (10–25)	Пятнистые курумы (15–25)
			–	Нишевосетчатые курумы(10–25)	–
Внутреннее		По всей площади			Курумный поток распученной скалы (3–10)*
					Шлейфовидные покровные курумы (5–20)
					Поясные курумы(20– 35)*
					Курумоосыпи( 38–40)
					Курумы уступов нагорных террас(35–40)*
					Курумы уступов нивационныхст упеней (5–15)*
	Выпучивание	Локальное	Полосы курумов(20–25)	Структурные курумы	–

Питание грубообломочным материалом	Основные курумообразующие процессы		Группы курумов по их форме		
			Линейные	Сетчатые	Изометрические или площадные
			Фации курумов (крутизна склонов)		
	ие обломков издисперсных пород, суффозия	По всей площади			Пятнистые и площадные курумы выпучивания (10–25)
Внешнее	Поступление материала обвалов, осыпей, курумов, лавин		Ложбинные курумы (3–15)		Курумоглетчеры см.** Курумные покровы накопления (3–5)
*Фации курумов, в формировании которых существенную роль играет нивация					
** Фации, носящие переходный характер между курумами и иными фациями рыхлых образований					

Курумы с внутренним питанием разделяются на две подгруппы: развивающиеся на рыхлых отложениях и на скальных породах. Курумы на склонах, сложенных рыхлыми отложениями, образуются вследствие криогенного выпучивания грубообломочного материала и суффозионного выноса из него мелкозема. Они приурочены к моренам, делювиально-солифлюкционным накоплениям, отложениям древних конусов выноса и другим генетическим разновидностям, состоящим из глыб, щебня с мелкозернистым заполнителем. Часто такие курумы закладываются по неглубоким эрозионным ложбинам и другим наложенным экзогенным формам.

Наибольшее распространение, особенно в гольцовом поясе гор, имеют курумы с внутренним питанием, развивающиеся на скальных породах различного происхождения и состава, устойчивых к выветриванию и дающих при разрушении крупные отдельности (глыбы, щебень). Существенное влияние на строение всех видов курумов оказывает геологическая и геоморфологическая обстановка, в которой они образуются (таблица 3.9). На сравнительно однородном по составу и строению коренном субстрате и склонах с одинаковым уклоном курумообразующие процессы проявляются относительно равномерно по площади. В этом случае на курумном склоне по его простиранию возникает однотипный разрез. Строение и криогенные особенности курумного чехла изменяются главным образом вниз по склону. Если коренной субстрат неоднороден по составу и строению, то образование чехла происходит неравномерно по всей его площади в результате

избирательного проявления экзогенных процессов. При этом образуются курумы различной формы (линейные, сетчатые, изометричные), относящиеся к группе избирательного выветривания скальных пород.

Таблица 3.9

Зависимость формирования некоторых видов (фаций) курумов от залегания осадочно-метаморфических толщ и крутизны склонов

Падение пластов пород по отношению к поверхности склона	Крутизна склона, град							
	5–10	10–15	15–20	20–25	25–30	30–38	более 38	
Согласно, но положе, чем склон	Курумы уступов нивационных ступеней							Курумоо сыпи
Согласно со склоном	Шлейфовидные покровные курумы			Полигональные курумы				
Согласно, но круче, чем склон				Поясные курумы				
Косо к падению склона			Пятнистые курумы					
Противоположно и круче падения склона			Поясные курумы					
Противоположно и положе падения склона	Курумный покров распученной скалы							

Важнейшей чертой курумов, предопределяющей их опасность, является их строение в разрезе. Именно строение обуславливает их геодинамические и инженерно-геологические особенности, т. е. опасность курумов при взаимодействии с различными инженерными объектами. Строение курумов в разрезах многообразно. Если учитывать размер обломков, характер их обработки и сортировку в вертикальном разрезе, наличие гольцового льда или мелкозема, его соотношение с частью разреза, находящегося в многолетнемёрзлом состоянии, и другие опасности, то одинаково построенных курумов нет. Однако при обобщении деталей строения выделено 13 основных типов разрезов, которые соответствуют определенным условиям курумообразования и отражают специфику процессов, происходящих в той или иной части грубообломочного материала.

Первая группа объединяет разрезы, в строении которых имеется слой с гольцовым льдом. Часть курумного тела, которая имеет такое строение, так и названа – субфация с гольцовым льдом. Данная субфация является показателем того, что курум находится в зрелой стадии своего развития, так как формирование ледогрунтового слоя происходит за счет сокращения глубины сезонного протаивания в результате деструкции скальных пород и увеличения их влажности (льдистости). Движение грубообломочного материала субфации осуществляется за счет термогенной и криогенной десерпции, пластических деформаций ледогрунтового основания, а также соскальзывания по нему обломков.

В данную группу условно включен также разрез перлювиальной субфации. В своем строении он содержит только фрагменты слоя с гольцовым льдом, обычно невыдержанные по площади и по мощности. Главными особенностями строения разреза являются небольшая мощность грубообломочного чехла (0,3–0,5м), под которым расположен слой мелкого щебня и дресвы, и четкие границы между слоями. Части курумов, представленные этой субфацией, находятся в стабильном состоянии.

Вторая группа объединяет разрезы, расположенные на разборной скале. В различных сочетаниях разрезов субфация имеет название суффозионно-деструктивная или кольматационная. Наличие этой субфации является показателем того, что в данной части курума его грубообломочный чехол еще не сформировался на полную мощность.

Третья группа объединяет разрезы курумов, расположенные на рыхлых грубообломочных образованиях, находящихся в многолетнемерзлом состоянии. Это субфация выпучивания. Практически нет курума, который характеризовался бы только одним типом разреза. Как правило, каждый из курумов представляет собой сочетание вышеперечисленных субфаций, комбинации которых и определяют его инженерно-геологические особенности. На одном и том же склоне, особенно большой протяженности как по простиранию, так и по падению, часто одновременно существуют различные морфогенетические типы курумов. Каждый из таких типов занимает определенный участок склона (сегмент), в пределах которого практически все курумы (кроме площадных) парагенетически связаны с другими склоновыми отложениями. Например, на участках склона с развитием нишево-сетчатых курумов выделены субгоризонтальные нивационные площадки, нивационные уступы и потоковые части курума, различные по крутизне, строению, глубинам сезонно-талого слоя, подвижности обломочного материала и, как следствие, неодинаковые в инженерно-геологическом отношении. Поэтому при инженерно-геологическом анализе были

выделены элементы курумных склонов, различающиеся строением, механизмом и скоростями перемещения грубообломочного материала.

В основу выделения элементов были положены следующие признаки:

– мощность грубообломочного чехла и его соотношение с глубиной сезонно-талого слоя;

– наличие или отсутствие горизонта с гольцовым льдом и его мощность;

– плотность сложения (упаковка) грубообломочного чехла;

– размер и форма обломков, их округленность;

– наличие слоя обводненного тиксотропного дисперсного материала в основании сезонно-талого слоя;

– наличие потока вод сезонноталого слоя в теле курума;

– крутизна склона.

Для оценки устойчивости элемента курума соотношение указанных признаков имеет важное значение. Сочетание исходных условий позволяет предсказать нежелательные и опасные перемещения курумного чехла под влиянием строительства дорог:

– ускорение криогенной десерпции;

– соскальзывание грубообломочного чехла по ледогрунтовому основанию;

– пластические деформации слоя с гольцовым льдом;

– частичное или полное протаивание гольцового льда и связанные с ним просадки;

– вязкопластичные деформации слоя мелкозема, а также деформации чехла, обусловленные гидродинамическим напором вод сезонно-талого слоя, суффозией мелкозема, гравитационными смещениями, вызванными «роликковым эффектом», – скатыванием глыб по округленным обломкам.

Выделены элементы с площадным или потоковым (концентрированным) характером движения грубообломочного чехла. Для них оценены порядок скоростей движения и объемы смещаемого материала в зависимости от крутизны склона, мощности чехла и качества поверхности смещения для естественных условий и при подрезке склонов.

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

- безопасные;

- сравнительно безопасные;

- опасные;

- крайне опасные.

Для безопасного типа элементов курумов характерны стабильное состояние грубообломочного чехла в естественном залегании, отсутствие предпосылок для его катастрофических смещений при подрезке склона,

отсутствие движения обломков. Создание дорог на этих элементах курумов не приводит к отрицательным последствиям.

Для сравнительно безопасного типа элементов курумов характерны фрагменты с гольцовым льдом незначительной мощности (0,3–0,5 м), достаточно большая крутизна склонов, неплотное сложение обломков в чехле и т. д. На этих элементах курума дороги испытывают воздействие движущегося с разными скоростями (до нескольких сантиметров в год) грубообломочного материала, происходят незначительные просадки полотна, вызванные уплотнением чехла и таянием линз гольцового лада. Возможны вывалы грубообломочного материала объемом в несколько кубических метров при подрезке склона выемками. Все неблагоприятные последствия легко устраняться в процессе обычных работ дорожно-эксплуатационной службы.

Опасный тип элемента характеризуется сложным строением, присутствием гольцового льда мощностью 1–2 м или слоя обводненного тиксотропного мелкозема в основании курума мощностью 0,5 м и более. Грубообломочный чехол может перемещаться со скоростью до 1–3 см в год на склонах крутизной 25°. В результате естественных причин (дожди, жаркое лето, ведущее к увеличению глубины сезонно-талого слоя, сейсмические явления и др.), а также под влиянием инженерной деятельности, возможны катастрофические подвижки чехла с объемами смещений в несколько десятков кубических метров, появление термоэрозионных промоин и других неблагоприятных явлений, нарушающих устойчивость сооружений и требующих специального дорогостоящего ремонта. Дороги, построенные на таких элементах курума, могут испытывать существенные просадки, размываться, заваливаться грубообломочным материалом, что временно нарушает возможность нормального движения транспорта.

Крайне опасный тип элемента имеет мощность ледогрунтового слоя 2–3 м и более, большие скорости движения грубообломочного чехла, измеряемые сантиметрами и даже десятками сантиметров в год. Для него существенно то, что возможны крупные катастрофические подвижки отдельных участков. Объемы смещений могут достигать несколько сот кубических метров. Участок дороги может быть полностью разрушен в результате катастрофических инженерно-геологических явлений, связанных с протаиванием или размывом ледогрунтового слоя в основании полотна дороги. Причем эти движения могут прогрессировать во времени, вызывая длительный перерыв в эксплуатации дороги, мероприятия по их предотвращению или устранению требуют крупных капиталовложений и, в ряде случаев, не обеспечивают необходимой надежности.

Устойчивость инженерных объектов на курумных склонах определяется их крутизной, особенно при наличии горизонта с гольцовым льдом или высокольдистым (водонасыщенным) мелкоземом. С увеличением крутизны склона элемент, сложенный глыбовым материалом, становится менее устойчивым, переходит в более опасную группу. Сложность строительства на элементе курума, представленном глыбово-щебнистым материалом, в меньшей степени зависит от крутизны склона. Следует подчеркнуть, что в естественном, ненарушенном состоянии, курумные склоны редко несут следы активных процессов. Эта кажущаяся стабильность курумов и парагенетически связанных с ними образований на склонах, – следствие геологически длительно действующих процессов, приводящих к выработке профиля равновесия на высокопрочных изверженных и осадочно-метаморфических породах. Однако специфическое мерзлотно-фациальное строение курумов, включающее концентрацию по ним поверхностного стока, наличие горизонтов с многолетним гольцовым льдом, высокольдистого или водонасыщенного, мелкозема и другие особенности делают их неустойчивыми при нарушениях, обусловленных строительством.

### 3.4. Сели, снежные лавины

Сель(арабское – «сайль» – бурный поток) – это стремительный, внезапно формирующийся русловый временный поток, характеризующийся резким подъёмом уровня и высоким (от 10 до 75%) содержанием твёрдого материала (продуктов разрушения горных пород). На рисунке 3.15 представлен сход селевого потока.



Рис. 3.15. Сход селевых потоков

Сель движется в виде волны с высотой фронта до 20–40 м и со скоростью до 20–30 м/с (10–100 км/час) и оказывает давление на препятствие силой до десятков тонн на квадратный метр.

Высота фронта и скорости движения селя, в зависимости от условий его протекания, могут принимать другие значения.

Вид селевого потока определяется составом селеобразующих пород.

Основные виды селевых потоков: водно-каменные, водно-песчаные и водно-пылеватые; грязевые, грязекаменные или каменно-грязевые; водно-снежно-каменные.

Водно-каменный сель – поток, в составе которого преобладает крупнообломочный материал (преимущественно крупные камни, в том числе валуны). Объемный вес потока 1,1–1,5 т/м<sup>3</sup>. Формируется в основном в зоне плотных пород.

Водно-песчаный и водно-пылеватый сель – поток, в котором преобладает песчаный и пылеватый материал. Возникает, в основном, в зоне лессовидных и песочных почв во время интенсивных ливней, смывающих огромное количество мелкозёма.

Грязевой сель близок по своему виду к водно-пылеватому, формируется в районах распространения пород преимущественно глинистого состава и представляет собой смесь воды и мелкозема при небольшой концентрации камня (объемный вес потока 1,5–2,0 т/м<sup>3</sup>).

Грязекаменный сель характеризуется значительным содержанием в твёрдой фазе (галька, гравий, небольшие камни) глинистых и пылеватых частиц с явным их преобладанием над каменной составляющей потока (объемный вес потока 2,1–2,5 т/м<sup>3</sup>).

Каменно-грязевой сель содержит преимущественно крупнообломочный материала, по сравнению с грязевой составляющей.

Водно-снежно-каменный сель – переходный материал между собственно селом, в котором транспортирующей средой является вода, и снежной лавиной.

Сели подразделяются исходя из первопричин возникновения, – на восемь типов (таблица 3.10).

Селевые потоки подразделяются по характеру их движения в русле на связные и несвязные.

Связные потоки состоят из смеси воды, глинистых и песчаных частиц. Раствор имеет свойства пластичного вещества. Поток как бы представляет единое целое. В отличие от водного потока он не следует изгибам русла, а разрушает и выпрямляет их или переваливает через препятствие.

Несвязные (текущие) потоки движутся с большой скоростью. Отмечается постоянное соударение камней, их обкатывание и истирание. Поток следует изгибам русла, подвергая его разрушению в разных местах.

Таблица 3.10

## Классификация на основе первопричин возникновения селей

Типы	Первопричинные формирования	Области распространения и механизм зарождения
Дождевой	Ливни, затяжные дожди	Самый массовый на Земле тип селей, господствующий в горах экваториального, тропического и умеренного климатических поясов. Зарождение селей связано с размывом склонов и русел, а также с оползнями
Снеговой	Интенсивное снеготаяние в весенний период	Господствующий тип селей в горах Субарктики; твердая составляющая селевых потоков представлена снегом. Зарождение селей связано со срывом переувлажненных снежных масс и с прорывом снежных плотин
Ледниковый	Интенсивное таяние снега и льда	Формируются в зоне современного горного оледенения; наиболее мощные – сели альпийских высокогорий. Зарождение селей связано с прорывом скоплений талых ледниковых вод, а также с обрушением морен и льда
Вулканогенный	Взрывные извержения вулканов	Формируются в районах действующих вулканов; достигают самых крупных среди всех типов селей размеров по длине пути и объему выносов. Зарождение селей связано с трансформацией пирокластических потоков в селевые вследствие бурного снеготаяния, со спуском кратерных озер и др.
Сейсмогенный	Высокобалльные землетрясения	Формируются в районах высокой сейсмичности (8 баллов и более). Зарождение селей связано со срывом грунтовых масс со склонов в русла
Лимногенный	Динамика развития естественных озерных плотин	Формируются в районах альпийского высокогорья, для которых характерны плотинные озера. Зарождение селей связано с разрушением плотин и размывом русел прорывной волной
Антропогенный прямого воздействия	Создание скоплений техногенных пород в потенциально селеопасных бассейнах; сооружение некачественных земляных плотин и др.	Формируются на участках складирования отвалов горнодобывающих предприятий, ниже водохранилищ и в других местах. Зарождение селей связано с размывом и оползанием толщ техногенных пород, с разрушением плотин и размывов русел и др.
Антропогенный косвенного воздействия	Значительные нарушения почвенно-растительного покрова в	Формируются в горах с длительной (исторической) или нерациональной современной эксплуатацией территории, на участках сведения лесов, деградированных лугов (пастбищ). Зарождение селей связано с

Типы	Первопричинные формирования	Области распространения и механизм зарождения
	потенциально селеопасных бассейнах.	размывом склонов и русел.

Сели классифицируются и по объему перенесенной твердой массы или, иначе говоря, по мощности, и делятся на три группы:

- мощные (сильной мощности) – с выносом к подножью гор более 100 тыс. м<sup>3</sup> материалов, бывают один раз в 5–10 лет;
- средней мощности – с выносом от 10 до 100 тыс. м<sup>3</sup> материалов, бывают один раз в 2–3 года;
- слабой мощности (маломощные) – с выносом менее 100 тыс. м<sup>3</sup> материалов, бывают ежегодно, иногда несколько раз в году.

Нередко выделяют весьма мощные (исключительно сильной мощности) селевые потоки, с выносом более 1 миллиона м<sup>3</sup> обломочных материалов; бывают раз в 30–50 лет.

Классификация по объему единовременных выносов характеризует как мощность селевого потока, так и потенциальные возможности данного селевого бассейна. По объему единовременных выносов селевые потоки делят на 6 групп (таблица 3.11).

Классификация селевых бассейнов по повторяемости селей характеризует интенсивность развития селевого процесса в пределах данного бассейна (селеактивность).

Таблица 3.11

Классификация селей по объему единовременных выносов обломочных материалов

Название селя	Объем селя
Очень мелкий	менее 1,0 тыс. м <sup>3</sup>
Мелкий	1,0–10 тыс. м <sup>3</sup>
Средний	10–100 тыс. м <sup>3</sup>
Крупный	0,1–1,0 млн м <sup>3</sup>
Очень крупный	1,0–10 млн м <sup>3</sup>
Гигантский	Более 10 млн м <sup>3</sup>

Выделяют три группы селевых бассейнов:

- высокой селевой активности с повторяемостью один раз в 3–5 лет и чаще;
- средней селевой активности с повторяемостью один раз в 6–15 лет;
- низкой селевой активности с повторяемостью один раз в 16 лет и реже.

Есть другая классификация селевых бассейнов по селеактивности:

- с частыми селепроявлениями – 1 раз в 10 лет и чаще;
- со средними селепроявлениями – 1 раз в 10–50 лет;
- с редкими селепроявлениями – реже 1 раза в 50 лет.

Все селеопасные бассейны по приведенной селеактивности (на 100 лет) делятся на 4 категории:

- исключительно селеопасный (исключительная) –  $10^4$ – $10^5$  м<sup>3</sup>/год;
- весьма селеопасный (значительная) –  $10^3$ – $10^4$  м<sup>3</sup>/год;
- среднеселеопасный (средняя) –  $10^2$ – $10^3$  м<sup>3</sup>/год;
- слабоселеопасный (слабая) –  $10$ – $10^2$  м<sup>3</sup>/год.

Категория селеопасности определяет типы селевых потоков, прохождение которых наиболее характерно для данного района. Так, для 4-й категории это маломощные селевые потоки; для 3-й – маломощные и среднемощные потоки; для 2-й – среднемощные и мощные; для 1-й – все виды потоков, в том числе мощные и катастрофические.

Существует классификация селей по их воздействию на сооружения (таблица 3.12).

Иногда применяется классификация бассейнов по высоте истоков селевых потоков:

- высокогорные – истоки лежат выше 2500 м, объем выноса с 1 км<sup>2</sup>– 15–25 м<sup>3</sup> за один сель;
- среднегорные – истоки лежат в пределах 1000–2500 м, объем выноса с 1 км<sup>2</sup>– 5–15 тыс. м<sup>3</sup> за один сель;
- низкогорные – истоки лежат ниже 1000 м, объем выносов с 1 км<sup>2</sup>– менее 5000 м<sup>3</sup> за один сель.

Селевые потоки наносят большой ущерб народному хозяйству, природе, угрожают жизни людей, прежде всего жителей городов и населенных пунктов, находящихся на пути селя.

Таблица 3.12

Типы селевых потоков и их воздействие на сооружения

Тип селевого потока	Воздействие на сооружения	Суммарный объём селевого выноса, м <sup>3</sup>
Маломощный(I)	Небольшие размывы, частичная забивка отверстий водопропускных сооружений	менее $1 \cdot 10^4$
Среднемощный(II)	Сильные размывы, полная забивка отверстий, повреждений и снос без фундаментных строений	$1 \cdot 10^4$ – $1 \cdot 10^5$
Мощный(III)	Большая разрушительная сила, снос мостовых ферм, разрушения опор мостов, каменных строений, дорог	$1 \cdot 10^5$ – $1 \cdot 10^6$
Катастрофический(IV)	Разрушение целых строений, участков дорог вместе с полотном и сооружениями, погребение сооружений под наносами	более $1 \cdot 10^6$

В целом, 25% территории РФ находятся в селеопасных зонах, которые отличаются разнообразием условий и форм проявления селевой активности.

Все селеопасные горные районы разделяются на две зоны – теплую и холодную.

Теплую зону образуют умеренный и субтропический климатические пояса, в пределах которых селепроявления развиты в форме водно-каменных и грязекаменных потоков.

Холодная зона охватывает селеопасные районы Субарктики и Арктики. Здесь в условиях дефицита тепла и вечной мерзлоты распространены водно-снежные селевые потоки.

Внутри зон выделены регионы, которые разделяются на области. Регионы охватывают группы горных стран с общим господствующим типом (типами) селепроявления, близкими условиями климата и рельефа. Разделение регионов на области основано на учете специфики селепроявления и степени селевой опасности.

Теплая зона включает в себя 8 регионов и 19 областей, а холодная, соответственно, 4 и 9.

Регионы теплой зоны: Крымско-Карпатский, Кавказский, Уральский, Копетдагский, Памиро-Тянь-Шанский, Южносибирский, Амурсахалинский и Курило-Камчатский.

Регионы холодной зоны – Западный, Верхоянско-Черский, Колымско-Чукотский, Арктический.

Прогнозирование селей.

Под прогнозированием селей, или прогнозом селеопасности, понимается заблаговременное предсказание формирования селевого потока в данном селеактивном районе. Целью прогнозирования последствий селей является оценка возможного ущерба от действия, выяснение данных о возможных объектах воздействия, т. е. о том, какие населённые пункты, объекты, 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.

Под пространственным прогнозированием селей понимается оценка селеопасности территорий и определение границ районов формирования селевых потоков. Это такое прогнозирование, которое дает ответ на вопрос: где могут возникать и развиваться селевые потоки?

Под прогнозированием селевых явлений во времени понимается определение времени и условий, при которых могут формироваться селевые потоки. Это есть прогнозирование, отвечающее на вопрос: когда могут формироваться селевые потоки в данном горном бассейне или долине?

При прогнозировании характеристик селевого потока важнейшее значение имеет предсказание времени добега селевого потока от места зарождения или сигнального створа до защищаемого объекта, т. е. противоаварийное прогнозирование, отвечающее на вопрос о количестве времени, имеющемся в распоряжении людей для проведения спасательных операций.

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

Основой прогнозирования является сбор, систематизация и анализ многолетних данных о последствиях воздействия селей за все годы наблюдений, а также результаты прогноза селеопасных территорий и прогноза основных параметров селей, возникновения которых возможно в пределах рассматриваемого региона. Основой пространственного прогнозирования селей является составление карт: обзорных, среднемасштабных и крупномасштабных. С помощью обзорных карт (масштаб от 1:1000000 (в 1 см до 10 км) до 1:100000000 (в 1 см 1000 км)) можно выявить распределение селеопасных территорий в пределах республики, группы республик, страны или глобальные, суммарные площади селеопасных территорий, выделить наиболее опасные регионы.

Назначением среднемасштабных карт (от 1:100000 (в 1 см 1 км) до 1:500000 (в 1 см 5 км)) селеопасных территорий является выявление и фиксация общих закономерностей и условий формирования селевых потоков и оценка степени селеопасности горных территорий в пределах республики, области, края, необходимая при составлении генеральных схем хозяйственного, спортивно-оздоровительного и культурного освоения этих территорий. Карты содержат информацию об особенностях рельефа, морфологии склонов, гидрографической сети, о степени селеопасности бассейнов, о частоте селепроявлений, о селевых очагах и концах выноса, о наиболее важных народнохозяйственных объектах, находящихся в зоне действия селей, и о противоселевых сооружениях.

Назначением крупномасштабных селевых карт (от 1:100000 (в 1 см 100 м) до 1:500000 (в 1 см 500 м)) является детальная характеристика селевых процессов в отдельных горных долинах и водосборах. Их используют при разработке противоселевых мероприятий и при организации стационарных исследований с целью прогноза селей на определенной территории. Такие карты должны отражать все факторы, связанные с формированием селевых потоков (особенности рельефа и ландшафта, геологические и гидрометеорологические характеристики, характеристики экзогенных и

эндогенных процессов, факторы антропогенной деятельности и т. п.), а также основные, в том числе и количественные характеристики движения и отложений селевых потоков, их размеры и степень воздействия на объекты человеческой деятельности.

Прогнозирование селей во времени. Прогнозирование времени формирования селевых потоков представляет собой количественное выражение условий, при которых возможно возникновение селевых потоков. Вероятность селепроявления на территории выявленных селевых бассейнов основывается на прогнозе дождевой и гляциальной селеопасности.

Метод прогнозирования дождевой селеопасности (прогнозирования дождевых селей) базируется на метеорологическом прогнозе количества осадков для рассматриваемой горной территории. Прогноз включает данные о времени  $T_0$  начала выпадения дождя, его продолжительности  $T_n$  и ожидаемой высоте слоя осадков  $H_n$ , а также сведения о степени увлажненности водосбора. Прогнозирование возникновения селя осуществляется по следующей методике.

1. В результате пространственного прогнозирования для рассматриваемой горной территории (с использованием соответствующих карт) выявляются селевые очаги, их тип, средний уклон  $\alpha$  (градус) и площадь водосбора  $F$  (км<sup>2</sup>) каждого очага.

2. В зависимости от типа селевого очага по таблице 3.13 определяется средний диаметр  $d$  (м) обломков, анкирующего селеформирующего грунт.

3. По значению величины  $d$ , уклону селевого очага  $\alpha$  и площади его водосбора  $F$  с помощью номограммы (рис. 3.16) определяются: критический селеформирующий расход  $Q_{кр}$  (м<sup>3</sup>/с); критическая интенсивность стокообразования  $q_{кр}^{ст}$  (мм/мин); время включения водосбора в процессе водоотдачи  $T_v$  (мин); критическая высота слоя осадков,  $H_{о,кр}$  (мм).

Таблица 3.13

Средний диаметр обломков, анкирующего грунт  
в селевых очагах горных районов

Тип селевого очага	Диаметр обломков $d$ (в м) в горных районах			
	Кавказ	Памир, Тянь-Шань	Карпаты	Восточная Сибирь
Врез	0,6	0,8	0,5	0,5
Рытвина	0,3	0,4	0,3	0,3
Скальный очаг	0,2	0,3	0,2	0,1
Очаг рассредоточения	–	–	–	–
Селеформирования	0,1	0,2	0,1	0,1

4. Для определения высоты стокообразующего слоя осадков  $H_C$  из высоты прогнозируемого слоя  $H_{II}$  вычитают значение высоты слоя начальных потерь  $H_0$  (которое составляет: в засушливых районах 5 мм; в районах умеренной увлажненности 2 мм; в районах значительной увлажненности 0):

$$H_C = H_{II} - H_0.$$

5. На координатном поле  $T$  и  $H$  номограммы определяется положение точки, соответствующей полученному прогнозу продолжительности  $T_{II}$  и стокообразующему слою  $H_C$ . Если  $H_C > K_{кр}$  и точка  $(T_{II}; H_0)$  лежит правее прямой, соответствующей  $q_{кр}^{ст}$  для данного водосбора, выдается прогноз «селеопасно».

Для селей смешанного происхождения (сочетание дождей и весеннего снеготаяния) селеопасным признаком является большая плотность снежного покрова в течение ряда дней при устойчивой высокой температуре воздуха, особенно если по синоптической ситуации в эти периоды ожидаются дожди и грозы.

Дополнительными гидрологическими признаками наступления селевой опасности являются резкое увеличение скоростей, глубин, а, следовательно, расходов горных рек, а также увеличение их мутности.

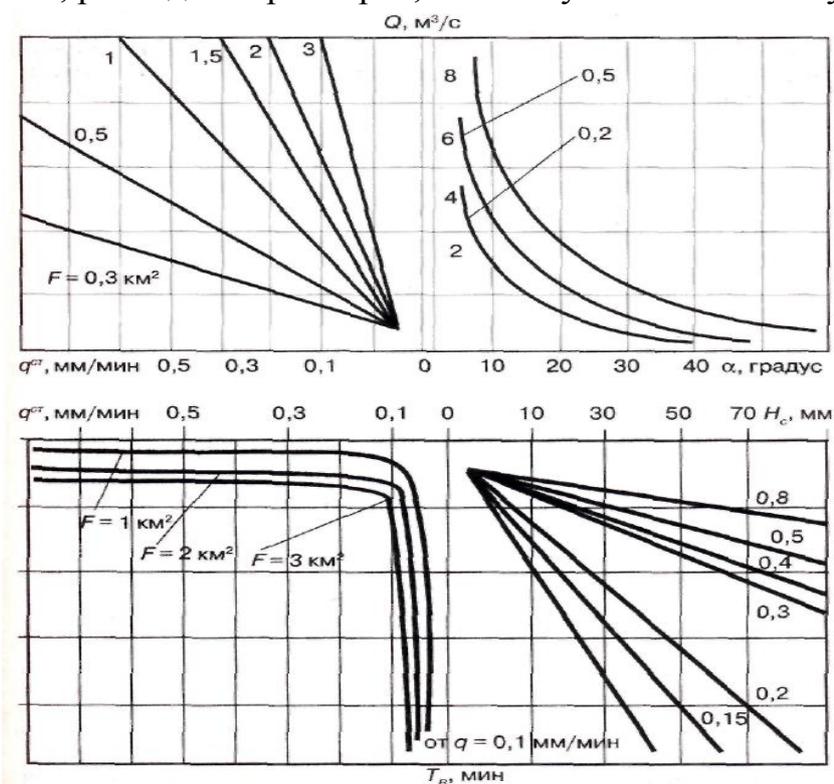


Рис. 3.16. Номограмма для расчета дождевой селеопасности

### Прогнозирование параметров селевых потоков

При прогнозировании необходимо оценить максимальный водный расход паводка, являющегося источником водного питания селя. Основные параметры селевых потоков определяют следующим образом. Максимальный расход паводка, возникающего при высоте слоя осадков заданной обеспеченности, определяется по формуле:

$$O_B^{oc} = K_c H_{1\%} \lambda_{P\%} F \quad (3.15)$$

где:  $K_c$  – коэффициент стока (таблица 3.14);

$H_{1\%}$  – максимальный суточный слой осадков 10% обеспеченности, мм (данные ближайшей метеостанции);

$\lambda_{P\%}$  – переходный коэффициент от слоев дождевого стока 1% обеспеченности к слоям дождевого стока другой вероятности (таблица 3.14);

$F$  – площадь водосбора, км<sup>2</sup> (по карте).

Таблица 3.14

Переходные коэффициенты  $\lambda_{P\%}$  и коэффициенты стока  $K_c$   
в различных районах

Районы	Переходные коэффициенты $\lambda_{P\%}$ при вероятности превышения, равной $P, \%$				$K_c, л/с$
	0,1	1,0	5,0	10,0	
Карпаты	1,6	1,0	0,62	0,46	$3,12 \cdot 10^{-3}$
Кавказ	1,4	1,0	0,75	0,60	$4,20 \cdot 10^{-3}$
Средняя Азия	1,35	1,0	0,76	0,66	$2,20 \cdot 10^{-3}$
Восточная Сибирь	1,5	1,0	0,70	0,56	$2,52 \cdot 10^{-3}$

Если источником водного питания селевого потока является прорыв озера, подпруженного ледником, или прорыв моренного озера, то вычисление максимального расхода селеформирующего прорывного паводка  $Q_B^{пр}$ , м<sup>3</sup>/с, при прорыве перемычки вычисляют по формуле:

$$Q_B^{пр} = K^* \frac{S_{np} H_{пл}^{3/2} t^\circ}{L_c}, \quad (3.16)$$

где:  $S_{np}$  – площадь водной поверхности озера на уровне 80% высоты перемычки, м;

$H_{пл}$  – высота перемычки, м;

$t^\circ$  – температура воды в озере, °С;

$L_c$  – кратчайшее расстояние по горизонтали между основанием перемычки и границей водной поверхности озера, м;

$$K^* = 6,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{1/2} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{градус}^{-1}.$$

### *Прогнозирование последствий схода селевых потоков*

Для прогнозирования последствий селей необходимы систематизация и анализ данных о последствиях всех селей, имевших место в нашей стране. Анализ селевой опасности с целью планирования и осуществления первоочередных противоселевых мероприятий должен проводиться систематически и охватывать все селеопасные территории страны.

Селевой поток представляет большую опасность благодаря значительной скорости продвижения (до 15 м/с) и большой разрушительной силе – его давление на препятствие достигает 12 т/м<sup>2</sup>. Одним из основных условий возникновения селей на территории России является высокая норма дождевых осадков. Они в состоянии смыть продукты разрушения горных пород и вовлечь их в движущийся поток. В таблице 3.15 показана степень селеопасности для городов, расположенных в селеопасных районах России, с населением более 50 тыс. человек. Для большей части городов России реальна угроза регулярного схода маломощных селей и периодически возникающая (1 раз в 2–3 года) угроза схода селевых потоков средней мощности. Конус выноса таких селей не затрагивает большей части территории жилой застройки самих городов, но для них нельзя исключить и возможность возникновения более мощных селевых потоков. Основную угрозу селевые потоки представляют для небольших населенных пунктов, расположенных непосредственно в зоне конуса выноса селевых потоков.

Таблица 3.15

### Степень селеопасности для городов России

Город	Численность населения, тыс. человек	Степень селеопасности
Новороссийск	180	Слабая
Сочи	342	То же
Туапсе	70	–»–
Георгиевск	70	–»–
Ессентуки	75	Значительная
Минеральные воды	80	Средняя
Пятигорск	130	То же
Нальчик	240	Значительная
Орджоникидзе	300	Слабая
Дербент	90	То же
Махачкала	340	–»–
Абакан	160	–»–

Город	Численность населения, тыс. человек	Степень селеопасности
Минусинск	80	—»—
Кызыл	90	Средняя
Чита	380	Слабая

Основные показатели, характеризующие поражающее действие селя, и диапазон их применения приведены в таблице 3.16.

Таблица 3.16

### Характеристика селевых процессов

Основные параметры селя	Диапазон возможных значений
Объем или мощность селя, м <sup>3</sup>	От 1,0 тыс. до 100 млн. и более
Максимальный расход селевого потока, м <sup>3</sup> /с	От нескольких десятков до 2000
Скорость движения селя, м/с	От 2 до 10
Продолжительность селя, ч	От 1 до 8
Высота вала «головы селя», м	От 2 до 25 м
Структурный состав селя (доля твердого материала в объеме потока), %	От 10 до 70
Плотность селевого потока, т/м <sup>3</sup>	От 1,1 до 2,5
Ширина селевого потока, м	От 3 до 150
Глубина селевого потока, м	От 1,5 до 15
Длина русла селей	От нескольких десятков метров до нескольких десятков километров
Максимальная сила удара селевого потока, т/м <sup>2</sup>	От 5 до 12
Повторяемость селя	От нескольких раз в году до одного раза в 30–50 лет
Максимальные размеры в поперечнике крупнообломочных включений, м	От 1 до 10 м
Вязкость селевых потоков (связных), П	От 3 до нескольких сотен
Предельная крутизна прекращения движения	2–5°
Расход, м <sup>3</sup> /с	30–800
Размер крупных включений, м	3–4
Масса включений, т	200–300

Поражающее действие селевого потока:

- непосредственное ударное воздействие селевой массы на человека;
- обтюрация дыхательных путей жидкой составляющей, приводящей к механической асфиксии, аспирации массы селя;
- разрушение зданий, сооружений и других объектов, в которых могут находиться люди;
- разрушение систем жизнеобеспечения.

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

Для первого параметра особую значимость приобретают краткосрочные и оперативные прогнозы. Краткосрочные прогнозы составляются на 1–3 суток 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 включён в качестве показателя при формировании расчётных вариантов воздействия.

Продолжительность схода селя является расчётным параметром и может быть оценена через объём 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.

Хотя перечисленные параметры в совокупности составляют временной показатель воздействия, в качестве основного при задании расчетных вариантов воздействия будет использоваться только время прихода головы селя.

Следующие пять показателей отражают интенсивность воздействия селевого потока. Первый – объем селевого потока – может быть рассчитан через объем паводка, длину селевого очага и его уклон. Как правило, суммарный объем селевого потока, т. е. объем водной и твердой составляющих, определяет тип селя и его разрушительное действие на

сооружение. Для большинства селевых бассейнов России характерны сели малой и средней мощности с максимальным объемом селевого выноса, не превышающим нескольких десятков тысяч кубометров селевой массы. Этот показатель позволяет дать ориентировочную оценку устойчивости зданий и сооружений и вероятности общих и смертельных потерь населения (таблица 3.17). Однако он не дает полного представления о степени разрушения сооружений, которые могут использоваться для защиты населения при сходе селя. Поэтому предполагается использовать этот показатель для оценки потерь населения при различных вариантах его укрытия, а также для первичного выбора комплекса защитных мероприятий при отсутствии информации об остальных расчетных показателях.

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

Таблица 3.17

Вероятность общих и смертельных потерь населения,  
находящегося в зоне конуса выноса селевого потока

Место расположения населения	Объем селевого выноса, м <sup>3</sup>		
	до $10^5$	$10^5\text{--}10^6$	$10^6$
Открытая местность	100	100	100
	75	100	100
Без фундаментные строения	85	100	100
	70	100	100
Строения с фундаментом	10	100	100
	0	90	100

Скорость движения селя зависит от характеристик селевого русла, состава селевой массы и глубины потока. Для оперативного определения средней скорости движения селя рекомендуется следующий график (рис. 3.17). Диапазон изменения средней скорости характерных для России селевых потоков лежит в пределах от 2–3 до 7–8 м/с. Максимальная средняя скорость потока редко превышает 14–16 м/сек. Максимальная поверхностная скорость потока может превышать среднюю в 1,5–2 раза.

Глубина селевого потока составляет для: катастрофического – 10 м и более; мощного – 3–5 м; среднего – 2,5–3 м; маломощного – 1,5–2,5 м. Максимальная глубина потока (до разрушения русла) превышает указанные значения в 1,5–2 раза.

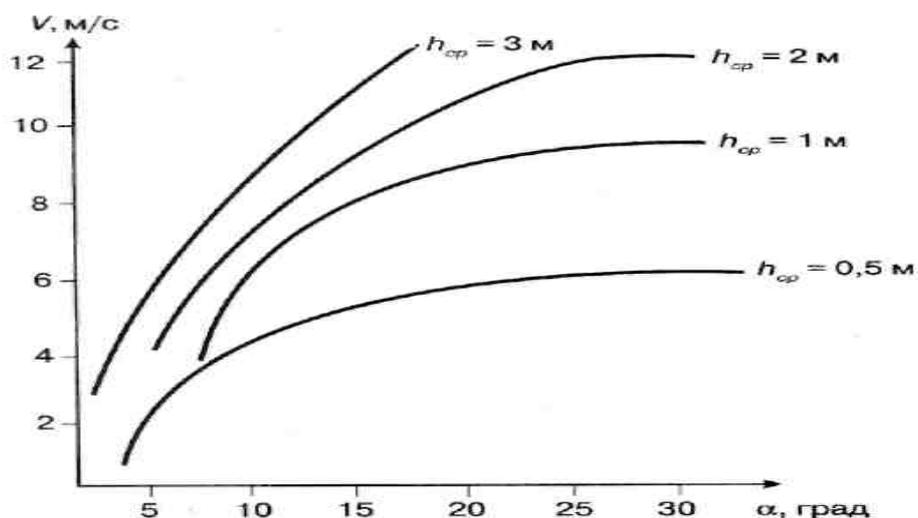


Рис. 3.17. График определения скорости селевого потока

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  $1,5$  м и средней скорости менее  $2,5$  м/с вероятность выживания взрослого человека достаточно высока. Параметры реальных селевых потоков превышают указанные выше величины в несколько раз. В результате возможны массовая гибель и тяжелые поражения населения, попавшего в зону прохождения селя. Если селевой поток не обладает свойствами для того, чтобы основная масса частиц его твердой фракции находилась в квазистационарном состоянии, то сель вырождается и территория подвергается затоплению. Такой вариант рассматривается в процессе выбора показателей при катастрофическом затоплении местности. С большой достоверностью можно предположить: 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. Это подтверждается анализом последствий схода селей.

С увеличением глубины селя прямо пропорционально возрастает его статическое давление на объект, при возрастании скорости селя возрастает динамическое давление, в прямой зависимости от плотности селевого потока находится суммарное давление на объект. Поэтому удобно рассматривать не каждый отдельный параметр, а выбрать интегральный параметр, учитывающий все перечисленные. В качестве его предлагается суммарное давление селевого потока (эквивалентное давление на плоскости). Допускается, что при скоростях движения селя до  $20$  м/с воздействие на здания и сооружения носит квазистатический характер, а суммарное давление  $P$  определяется гидростатическим давлением потока, его скоростным напором и конфигурацией объекта. Начальным импульсом

соударения фронта селя с объектом при таком допущении пренебрегают. Для оценки последствий воздействия селевого потока на различные объекты можно воспользоваться таблицей 3.18.

Наиболее полно отражать интенсивность воздействия могут два показателя: суммарное давление, дающее четкие значения оценки пригодности различных объектов для укрытия населения, и глубина потока, определяющая условия укрытия населения в зданиях, сооружениях и на незатапливаемых участках местности.

Таблица 3.18

Последствия воздействия селевых потоков на различные объекты

Объекты	Суммарное давление селя, кг/ см <sup>2</sup>			
	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
Кирпичные здания с перекрытием из железобетонных элементов, малоэтажные	0,68–1,0	0,53–0,7	0,3–0,53	0,2–0,3
То же, многоэтажные	0,53–0,68	0,4–0,53	0,23–0,4	0,15–0,23
Здания из сборного железобетона	0,6–0,9	0,45–0,6	0,3–0,45	0,15–0,30
Здания с легким металлическим каркасом или бескаркасной конструкции	0,75–1,05	0,5–0,75	0,3–0,45	0,15–0,30
Здания со стальными и железобетонными каркасами	0,90–1,50	0,75–0,9	0,8–0,75	0,45–0,81
Склады – навесы из железобетонных элементов	1,50–1,60	0,6–0,75	0,46–0,6	0,30–0,45
Водонапорные башни	0,90–0,98	0,6–0,90	0,3–0,60	0,15–0,30
Бетонные плотины	до 150	75–140	30–75	15–30

В качестве расчетных показателей, определяющих область распространения селевого потока, выбраны линейные размеры его сечения в различных створах (ширина селя) и дальность продвижения конуса. Ширина потока зависит от ширины русла и в большинстве горных бассейнов территории России колеблется на транзитных участках (узкие каньоны, горловины, глубоко врезанные русла небольших бассейнов) от 3–5 м до 50–100 м. Дальность продвижения селя может быть оценена по следам предыдущих селей, а также расчетным путем. Если сель пересечет реку,

расчет дальности его продвижения делается с учетом объема потока, диаметра анкирующих обломков и особенностей профиля местности на конусе выноса. Максимальная дальность продвижения на конусе выноса может достигать нескольких десятков километров. Зная это, можно точно определить время прихода головы селевого потока в расчетную точку местности.

В основу формирования расчетных вариантов воздействия положен принцип выявления граничной величины совокупности показателей воздействия, приводящих к качественному изменению уровня защиты населения. За граничное условие принимается такой набор значений показателей, изменение величины любого из которых вызывает превышение некоторого критического значения величины параметра воздействия для возможного состояния защиты населения.

Оценим все перечисленные выше и принятые к рассмотрению показатели с целью выявления граничных значений, приводящих к изменению уровня защиты населения. Рассмотрим вначале временные показатели воздействия поражающих факторов селя, так как лимит времени, в основном, и определяет возможность реализации эффективного комплекса мероприятий для складывающейся ситуации.

1. 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:

$$T_{\text{прогн.}} + T_{\text{схода}} < \min (T_{\text{з.}ni}), \quad (3.17)$$

$$i = 1, N,$$

где:  $T_{\text{прогн.}}$  – время оперативного прогноза схода селя;

$T_{\text{схода}}$  – время схода селевого потока от сигнального створа до зоны проведения защитных мероприятий;

$T_{\text{з.}ni}$  – время на организацию и проведение  $i$ -го комплекса защиты населения;

$N$  – общее количество комплексов защиты населения.

Соотношение (3.17) реализуется, если нет оперативного прогноза о начале 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.

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

$$T_{\text{прогн.}} + T_{\text{прих.}} > T_{\text{укр.з.с.}}, \quad (3.18)$$

где:  $T_{\text{укр.з.с.}}$  – время на укрытие населения в (на) неразрушаемых зданиях, сооружениях и на незатапливаемых участках местности;

$T_{\text{прих.}}$  – время прихода головы селя.

Соотношение реализуется при отсутствии оперативного прогноза и условии, что время схода головы селевого потока позволяет поместить (разместить) население на ближайших объектах и возвышениях.

3. Прогнозируемое время схода селевого потока и прихода его головы к населенному пункту достаточно для организации и проведения мероприятий по выходу населения из опасной зоны:

$$T_{\text{прогн.}} + T_{\text{прих.}} > T_{\text{эв.пеш.}} \quad (3.19)$$

Соотношение реализуется, если суммарное время прихода селя больше, чем требуется для самостоятельного выхода населения из опасной зоны, но недостаточно для организации его вывоза транспортом.

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

$$T_{\text{прогн.}} > T_{\text{эв.авто}} \quad (3.20)$$

Соотношение реализуется при наличии оперативного либо 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 данного типа зданий и сооружений, используемых в целях укрытия населения:

$$P < P_{\text{кр.}}$$

Вариант воздействия селя, имеющего плотность потока меньше  $\rho = 1,1 \text{ г/см}^3$ , не рассматривается, так как чрезвычайная ситуация, вызванная сходом селя с указанными характеристиками, 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: глубина селевого потока превышает уровень укрытия населения в зданиях, на не затапливаемых участках местности –  $h > h_{кр.}$ ; глубина селевого потока 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.

Расчетные варианты воздействия приведены в таблице 3.19.

Таблица 3.19

Расчетные варианты воздействия селевого потока

№ варианта	Время начала воздействия	Интенсивность воздействия	Глубина потока
1	$T_{прогн.} + T_{прих.} < \min(T_{i.з.н.})$	$P > P_{кр.}$	–
2	То же	$P < P_{кр.}$	–
3	– « –	$P < P_{кр.}$	–
4	$T_{прогн.} + T_{прих.} > T_{укр.з.с.}$	$P < P_{кр.}$	–
5	То же	$P < P_{кр.}$	–
6	$T_{прогн.} + T_{прих.} > T_{эв.пп}$	$P > P_{кр.}$	–
7	То же	$P < P_{кр.}$	–
8	– « –	$P < P_{кр.}$	–
9	$T_{прогн.} + T_{прих.} > T_{эв.авто}$	$P > P_{кр.}$	–
10	То же	$P < P_{кр.}$	–
11	– « –	$P < P_{кр.}$	–

Они отражают все основные ситуации, представляющие интерес для организации защиты населения. Конкретные значения показателей, приведенных в таблице 3.19, можно получить на основе прогнозируемых, либо фактических, параметров распространения селя и образующейся зоны поражения, а также местных условий (характеристик зданий и сооружений, планировки улиц, дорог и т. п.).

#### *Инженерно-технические мероприятия по защите от селевых потоков*

Для защиты населения при непосредственной угрозе и во время схода селевого потока необходимы следующие мероприятия:

- заблаговременная эвакуация населения транспортом;
- заблаговременная эвакуация населения пешим порядком;
- экстренная эвакуация населения;

– укрытие населения на верхних этажах зданий, сооружений, незатапливаемых участках местности;

– спасательные и другие неотложные работы;

– оказание экстренной и другой неотложной медицинской помощи.

Наиболее эффективным мероприятием по защите населения в условиях селевой опасности является предварительная эвакуация населения за пределы опасной зоны. Необходимые условия успешного проведения эвакуации – своевременное составление краткосрочных прогнозов (от нескольких часов до 1–3 суток) и оперативное их доведение соответствующими службами до руководителей, принимающих решения.

При проведении заблаговременной эвакуации население на автотранспорте либо пешим порядком покидает опасный район и направляется к местам временного размещения. Они выбираются вблизи мест постоянного проживания, например, в той части этого же населённого пункта, которая находится вне зоны возможного прохождения селевого потока. В качестве мест временного размещения могут использоваться пригодные для этой цели общественные здания и сооружения (санатории, дома отдыха, школы).

Ввиду того, что здания и сооружения, попадающие в зону прохождения селевого потока, как правило, полностью разрушаются, необходимо при проведении заблаговременной эвакуации предусмотреть возможность вывоза из опасной зоны личного имущества граждан. Население должно находиться в местах временного размещения до прохождения селевого потока либо до отмены штормового предупреждения.

Основные входные параметры мероприятия:

TOP – время оповещения населения об угрозе схода селевого потока – управляемый параметр;

TTR – время подготовки и подачи транспортных средств – управляемый параметр;

TCH – время сбора населения и погрузки на транспортные средства – управляемый параметр;

TEV – время проведения эвакуации – управляемый параметр;

S – особенности планировки и застройки района населённого пункта, где проводится заблаговременная эвакуация – вектор неуправляемых параметров;

PR – пропускная способность улично-дорожной сети, особенности рельефа местности – вектор неуправляемых параметров;

RV – расстояние до мест временного размещения населения – вектор неуправляемых параметров.

Тогда защитное мероприятие «Заблаговременная эвакуация» может быть описано вектором  $K_1$  входных параметров:

$$K_1 = (TOP, TTR, TCH, TEV, S, PR, RB) \quad (3.21)$$

При заблаговременной эвакуации пешим порядком население самостоятельно направляется в заранее определённые места временного размещения. Основные входные параметры мероприятия:

$TOP$  – время оповещения населения об угрозе схода селевого потока – управляемый параметр;

$TCH$  – время сбора населения – управляемый параметр;

$S$  – особенности планировки и застройки района населённого пункта, где проводится заблаговременная эвакуация – вектор неуправляемых параметров;

$PR$  – пропускная способность улично-дорожной сети, включая особенности рельефа местности, – вектор неуправляемых параметров;

$RB$  – расстояние до мест временного размещения населения – вектор неуправляемых параметров.

Защитное мероприятие «Заблаговременная эвакуация населения пешим порядком» может быть описано вектором  $K_2$  входных параметров:

$$K_2 = (TOP, TCH, S, PR, RB) \quad (3.22)$$

Нельзя отрицать и такую ситуацию: оценив обстановку по вторичным признакам схода селевого потока (сотрясение земли, нарастающий грохот) население самостоятельно покидает опасную зону. Для этого люди должны знать наикратчайшие маршруты эвакуации, а также минимальное время на принятие решения. Основные входные параметры мероприятия:

$TOP$  – время оповещения населения об угрозе схода селевого потока – управляемый параметр;

$TCH$  – время сбора населения – управляемый параметр, может быть равен 0;

$S$  – особенности планировки и застройки района населённого пункта, где проводится заблаговременная эвакуация – вектор неуправляемых параметров;

$PR$  – пропускная способность улично-дорожной сети, включая особенности рельефа местности, – вектор неуправляемых параметров;

$RB$  – расстояние до мест временного размещения населения – вектор неуправляемых параметров.

Защитное мероприятие «Экстренная эвакуация населения» может быть описано вектором  $K_3$  входных параметров:

$$K_3 = (TOP, TCH, S, PR, RB) \quad (3.23)$$

Мероприятие «Укрытие населения на верхних этажах зданий, сооружений и на незатапливаемых участках местности» целесообразно, когда времени на экстренную эвакуацию не хватает. Поэтому для укрытия населения выбираются ближайшие фундаментные здания и сооружения. Требования к объектам, подвергшимся воздействию селевых потоков, изложены выше. Основные входные параметры мероприятия:

$S$  – особенности планировки и застройки населённого пункта – вектор неуправляемых параметров;

$R_{и}$  – удаление мест укрытия – вектор неуправляемых параметров;

$W$  – вместимость «Укрытия».

Защитное мероприятие может быть описано вектором  $K_4$  входных параметров:

$$K_4 = (S, R_{и}, W) \quad (3.24)$$

Для спасения населения, находящегося после прохождения селя, на незатапливаемых участках, верхних этажах зданий и сооружений и не имеющего возможности выбраться отсюда, проводятся спасательные и другие неотложные работы. Основные входные параметры мероприятия:

$T_p$  – время развёртывания спасательных сил и средств – управляемый параметр;

$B$  – возможности спасательных сил и средств для перемещения населения в безопасные районы – управляемый параметр;

$R_b$  – расстояние от мест спасения до безопасных районов – неуправляемый параметр.

Защитное мероприятие «Спасательные и другие неотложные работы» может быть выражено вектором  $K_5$  входных параметров:

$$K_5 = (T_p, B, R_b) \quad (3.25)$$

В интересах оказания экстренной медицинской помощи населению, пострадавшему при прохождении селя, развёртываются медицинские формирования. Основные входные параметры мероприятия:

$T_{рм}$  – время развёртывания медицинских формирований – управляемый параметр;

$B_m$  – возможности медицинских формирований – управляемый параметр;

$R_B$  – расстояние от места нахождения пострадавших до места дислокации медицинских формирований – вектор неуправляемых параметров.

Защитное мероприятие «Оказание экстренной медицинской помощи» может быть выражено вектором  $K_6$  входных параметров:

$$K_6 = (T_{pm}, V_m, R_B) \quad (3.26)$$

В предгорной и горной местности, где периодически сходят сели и прогнозируется возможность их образования, осуществляется предварительное планирование и подготовка к проведению защитных мероприятий. При этом надо иметь в виду четыре фазы времени: угрожаемый период, чрезвычайный (ранний), промежуточный и отдалённый. Мероприятия по комплексной защите населения осуществляются во время угрожаемого периода и на ранней фазе схода селя. Тогда они приносят максимальный эффект. Эти мероприятия выполняются в три этапа:

- предварительная эвакуация населения;
- экстренная эвакуация населения и укрытие на верхних этажах зданий и сооружений;
- проведение спасательных и других неотложных работ и оказание медицинской помощи пострадавшим.

Мероприятия первого этапа проводятся заблаговременно, при получении краткосрочного прогноза селевой опасности; второго, начиная с момента формирования селевого потока. Третий этап касается лишь той части населения, которая заранее не выведена из зоны прохождения селя и не может без посторонней помощи покинуть её после прохождения селя.

Приведём возможные состояния населения при сходе селевого потока и проведении всех возможных защитных мероприятий.

1. Население находится вне зоны прохождения селя.

2. Население находится в зоне прохождения селя: с параметрами, превышающими критические значения для зданий, сооружений и возвышенности на местности; с параметрами, превышающими критические значения для населения; с параметрами, не превышающими критические значения для населения; укрыто на верхних этажах зданий, сооружений, на возвышенностях; не укрыто.

Для оценки эффективности защитных мероприятий первого этапа рекомендуется использовать показатель, отражающий долю населения (от общей численности населения, подвергшегося селевой опасности), выведенного (вывезенного) из зоны возможного поражения:

$$\Pi_{1i}(t) = [N_{11i}(t) \cdot N_{12i}(t)] \quad (3.27)$$

где:  $N_{11i}(t)$  – доля населения, выведенная из зоны селевой опасности;

$N_{12i}(t)$  – доля погибшего населения на момент времени  $t$ ;

$i$  – вариант проведения защитных мероприятий.

Для оценки эффективности защитных мероприятий второго этапа рекомендуется использовать показатель, отражающий долю населения, избежавшего поражения благодаря проведению  $i$ -го варианта защитных мероприятий:

$$\Pi_{2i}(t) = [N_{21i}(t) \cdot N_{22i}(t) \cdot N_{23i}(t) \cdot N_{24i}(t)] \quad (3.28)$$

где:  $N_{21i}(t)$  – доля населения, выведенного из зоны селевой опасности на втором этапе;

$N_{22i}(t)$  – доля населения, укрывшегося на верхних этажах зданий, сооружений, незатапливаемых участках местности;

$N_{23i}(t)$  – доля населения, попавшего в селевую массу с параметрами воздействия ниже критических для человека;

$N_{24i}(t)$  – доля погибшего населения на момент времени  $t$ ;

$i$  – вариант проведения защитных мероприятий.

Для оценки эффективности защитных мероприятий третьего этапа рекомендуется использовать показатель, отражающий долю населения (от общей численности населения, подвергнувшегося селевой опасности), спасенного в результате проведения данных мероприятий:

$$\Pi_{3i}(t) = [N_{31i}(t) \cdot N_{32i}(t) \cdot N_{33i}(t)] \quad (3.29)$$

где:  $N_{31i}(t)$  – доля населения, спасенного в результате проведения спасательных и других неотложных работ;

$N_{32i}(t)$  – доля населения, спасенного в результате своевременного оказания квалифицированной медицинской помощи;

$N_{33i}(t)$  – доля погибшего населения на момент времени  $t$ .

#### *Комплексы мероприятий по защите населения при селях и оценка их эффективности*

При возникновении чрезвычайной ситуации, вызванной сходом селевого потока, находящееся в зоне его прохождения население подвергается риску поражения. Это обуславливает необходимость проведения комплекса защитных мероприятий, направленных на максимальное снижение или устранение этого риска, а также на оказание

населению необходимой помощи, когда не удастся полностью избежать воздействия поражающих факторов селевого потока.

В зоне возможного прохождения селевого потока осуществляется комплексная защита населения, предусматривающая проведение взаимосвязанных мероприятий: заблаговременной эвакуации населения в угрожаемый период, экстренной эвакуации в безопасную зону, укрытия на верхних этажах зданий и сооружений и на незатапливаемых участках местности, спасательных и других неотложных работ, оказание квалифицированной и другой неотложной медицинской помощи с последующим стационарным лечением.

Выбор рационального варианта комплекса защитных мероприятий базируется на анализе эффективности каждого комплекса в конкретных условиях селевой опасности с учетом имеющихся сил и средств и возможностей для их наращивания. Все варианты комплексов проранжированы на основе последовательного увеличения совокупных затрат на их реализацию при прочих равных условиях.

Комплекс мероприятий № 1 включает заблаговременную эвакуацию населения пешим порядком. Он реализуется в условиях краткосрочного прогноза возможности схода селевого потока. При этом до населения доводится сигнал об угрозе схода селя и предполагаемое время его схода. Люди собирают необходимые вещи, документы, отключают свет, газ, воду, закрывают окна и двери, покидают помещение и выходят из опасной зоны. Если угроза миновала, возвращаются в свои дома. Эффективность комплекса определяется как функция от вектора входных характеристик проводимого защитного мероприятия и параметров, характеризующих селевой поток:

$$V_{z1} = f(K_1, K_C) \quad (3.30)$$

где:  $K_i$  – вектор входных параметров  $i$ -го защитного мероприятия;

$K_C$  – вектор параметров селевого потока.

С учетом определения вектора входных параметров для защитного мероприятия показатель эффективности  $V_{z1}$  на момент времени  $t$  может быть представлен в виде:

$$V_{z1}(t) = \Pi_1(t) = N_{11}(t), N_{12}(t) \quad (3.31)$$

где:  $N_{11}(t)$  – доля населения, выведенного из зоны селевой опасности на момент времени  $t$ ;

$N_{12}(t)$  – доля погибшего населения на момент времени  $t$ .

В том случае, когда заблаговременная эвакуация населения будет закончена до прихода головы селевого потока в рассматриваемый район, показатель эффективности предстанет в виде:

$$V_{z1}(t) = (1, 0) \quad (3.32)$$

Если времени на проведение заблаговременной эвакуации населения окажется недостаточно для его выхода в безопасную зону, тогда, приняв во внимание параметры селевого потока в месте нахождения населения в этот момент времени  $t$ , значение  $N_{11}(t)$  определяем с учетом расстояния от населенного пункта до границ зоны прохождения селевого потока, его размеров, характеристик застройки, времени начала и скорости движения населения, других параметров.

Комплекс мероприятий № 2 включает экстренную эвакуацию населения. Он реализуется при получении информации о начале схода селевого потока. До населения доводится сигнал на проведение экстренной эвакуации и предельное время ее проведения. Люди самостоятельно покидают опасную зону по кратчайшему маршруту. Эффективность экстренной эвакуации определяется как функция от вектора входных характеристик проводимого защитного мероприятия и параметров, определяющих поля поражения селевого потока:

$$V_{z2} = f(K_3, K_C) \quad (3.33)$$

С учетом вектора входных параметров для защитного мероприятия, включенного в комплекс, показатель эффективности  $V_{z2}$  на момент времени  $t$  может быть представлен в виде:

$$V_{z2}(t) = \Pi_2(t) = [N_{21}(t), 0, N_{23}(t), N_{24}(t)] \quad (3.34)$$

где:  $N_{21}(t)$  – доля населения, выведенного из зоны селевой опасности на момент времени  $t$ ;

$N_{23}(t)$  – доля населения, попавшего в селевую массу с параметрами воздействия ниже критических для человека;

$N_{24}(t)$  – доля погибшего населения на момент времени  $t$ .

Если экстренная эвакуация закончена до прихода головы селевого потока в рассматриваемый район, показатель эффективности изменяется следующим образом:

$$V_{z2}(t) = (1, 0, 0, 0) \quad (3.35)$$

Если времени для выхода населения в безопасную зону недостаточно, тогда, с учетом параметров селевого потока в месте нахождения населения в этот момент времени  $t$ , значения  $N_{22}(t)$  и  $N_{23}(t)$  определяются в зависимости от расстояния от населенного пункта до границы зоны прохождения селевого потока, его размеров, характеристик застройки, времени начала и скорости движения населения, других параметров.

Комплекс мероприятий № 3 включает мероприятия по укрытию населения на верхних этажах зданий, сооружений, на незатапливаемых участках местности. Комплекс реализуется, когда времени до прихода селевого потока недостаточно для проведения какого-либо мероприятия, имеющего конечной целью эвакуацию населения. Население действует так же, как и при реализации 2-го комплекса, но не выводится из опасной зоны, а укрывается на верхних этажах заранее определенных для этого объектов и на незатапливаемых участках местности. Эффективность комплекса определяется как функция от вектора входных характеристик проводимого защитного мероприятия и параметров, определяющих поля поражения селевого потока:

$$V_{z3} = f(K_4, K_C) \quad (3.36)$$

С учетом определения вектора входных параметров для защитного мероприятия, включенного в комплекс, показатель эффективности  $V_{z3}$  на момент времени  $t$  может быть представлен в следующем виде:

$$V_{z3}(t) = \Pi_2(t) = [0, N_{22}(t), N_{23}(t), N_{24}(t)] \quad (3.37)$$

где:  $N_{22}(t)$  – доля населения укывшегося на верхних этажах не разрушаемых селевым потоком зданий и сооружений и незатапливаемых участках местности на момент времени  $t$ ;

$N_{23}(t)$  – доля населения, попавшего в селевую массу с параметрами воздействия для человека ниже критических;

$N_{24}(t)$  – доля погибшего населения на момент времени  $t$ .

Если население укроется до прихода головы селевого потока в рассматриваемый район, показатель эффективности будет определяться как:

$$V_{z3}(t) = (0, 1, 0, 0) \quad (3.38)$$

Если времени для укрытия населения недостаточно, тогда, с учетом значений параметров селевого потока в месте нахождения населения в тот момент  $t$ , значения  $N_{22}(t)$  и  $N_{23}(t)$  определяются в зависимости от расстояния

от мест укрытия до мест пребывания населения, характеристик застройки, времени начала и скорости движения населения, других параметров.

Комплекс мероприятий № 4 включает экстренную эвакуацию населения и его укрытие на верхних этажах зданий, сооружений и на незатапливаемой территории. Комплекс реализуется в тех условиях, что и комплекс 2, но в случае, когда времени на экстренную эвакуацию населения недостаточно. Эффективность комплекса определяется как функция от вектора входных характеристик проводимого защитного мероприятия и параметров селевого потока:

$$V_{z4} = f(K_3, K_4, K_C) \quad (3.39)$$

С учетом определения вектора входных параметров для защитных мероприятий, включенных в комплекс, показатель эффективности  $V_{z4}$  на момент времени  $t$  может быть представлен в виде:

$$V_{z4}(t) = \Pi_2(t) = [N_{21}(t), N_{22}(t), N_{23}(t), N_{24}(t)] \quad (3.40)$$

где:  $N_{21}(t)$  – доля населения, выведенного из зоны селевой опасности на момент времени  $t$ ;

$N_{22}(t)$  – доля населения, укывшегося на верхних этажах неразрушаемых селевым потоком зданий и сооружений и незатапливаемых участках местности на момент времени  $t$ ;

$N_{23}(t)$  – доля населения, попавшего в селевую массу с параметрами воздействия ниже критических для человека;

$N_{24}(t)$  – доля погибшего населения на момент времени  $t$ .

Если экстренная эвакуация части населения и укрытие остального населения завершится до прихода головы селевого потока в рассматриваемый район, показатель эффективности будет равен:

$$V_{z4} = (1, 1, 0, 0) \quad (3.41)$$

Если времени на экстренную эвакуацию и укрытие населения недостаточно, тогда, с учетом параметров селевого потока в месте нахождения населения в этот момент времени  $t$ , значения  $N_{21}(t)$ ,  $N_{22}(t)$  и  $N_{23}(t)$  определяются в зависимости от расстояния от населенного пункта до границ зоны прохождения селевого потока, от мест укрытия до мест пребывания населения, характеристик застройки, времени начала и скорости движения населения, ряда других параметров.

Комплекс мероприятий № 5 включает заблаговременную эвакуацию населения автотранспортом. Он реализуется в тех же условиях, что

комплекс №1, но население после выхода из зданий и сооружений не покидает пределы опасной зоны. Люди направляются к местам подачи транспорта и убывают на нем в район временного размещения. Автотранспорт может подаваться и к жилым домам, тогда население имеет возможность вывезти из опасной зоны и личное имущество. Эффективность комплекса определяется как функция от вектора входных характеристик проводимого защитного мероприятия и параметров селевого потока:

$$V_{z5} = f(K_2, K_C) \quad (3.42)$$

С учетом определения вектора входных параметров для защитного мероприятия, включенного в комплекс, показатель эффективности  $V_{z5}$  на момент времени  $t$  может быть представлен в виде:

$$V_{z5}(t) = \Pi_1(t) = [N_{11}(t), N_{12}(t)] \quad (3.43)$$

где:  $N_{11}(t)$  – доля населения, выведенного из зоны селевой опасности на момент времени  $t$ ;

$N_{12}(t)$  – доля погибшего населения на момент времени  $t$ .

Если эвакуация будет закончена до прихода головы селевого потока в рассматриваемый район, показатель эффективности будет равен:

$$V_{z5}(t) = (1, 0) \quad (3.44)$$

Если времени на проведение эвакуации недостаточно для вывоза населения в безопасную зону, тогда с учетом значений параметров селевого потока в месте нахождения населения в этот момент времени  $t$ , значение  $N_{11}(t)$  определяется в зависимости от расстояния от населенного пункта до границ зоны прохождения селевого потока, его размеров, характеристик застройки, времени подачи автотранспорта и посадки в него, времени начала и скорости движения автоколонн, ряда других параметров.

Комплекс мероприятий № 6 включает укрытие населения на верхних этажах зданий, сооружений и незатапливаемых участках местности, проведение спасательных и других неотложных работ. Он реализуется в тех же условиях, что и комплекс № 3, но при наличии после прохождения селевого потока населения, не способного без посторонней помощи покинуть места укрытия. В интересах этого населения и выполняются спасательные и другие неотложные работы. Эффективность комплекса

определяется как функция от вектора входных характеристик проводимого защитного мероприятия и параметров, определяющих селевой поток:

$$V_{z6} = f(K_4, K_5, K_C) \quad (3.45)$$

С учетом определения вектора входных параметров для защитного мероприятия, включенного в комплекс, показатель эффективности  $V_{z6}$  на момент времени  $t$  может быть представлен в виде:

$$V_{z6}(t) = \Pi_2(t), \Pi_3(t) = [0, N_{31}(t), N_{22}(t), N_{23}(t), N_{24}(t)] \quad (3.46)$$

где:  $N_{31}(t)$  – доля населения, спасенного в результате проведения спасательных и других неотложных работ;

$N_{22}(t)$  – доля населения, укывшегося на верхних этажах, неразрушаемых селевым потоком зданий и сооружений и на незатапливаемых участках местности на момент  $t$ ;

$N_{23}(t)$  – доля населения, попавшего в селевую массу с параметрами воздействия ниже критических для человека;

$N_{24}(t)$  – доля погибшего населения на момент  $t$ .

Если население укроется до прихода головы селевого потока в рассматриваемый район, показатель эффективности будет равен:

$$V_{z6}(t) = [0, N_{31}(t), 1, 0, 0, N_{33}(t)] \quad (3.47)$$

где:  $N_{33}(t)$  – доля населения, погибшего на момент времени  $t$  ввиду несвоевременного проведения спасательных работ.

Если все укывшееся население будет спасено в результате спасательных и других неотложных работ, показатель эффективности определяется следующим образом:

$$V_{z6}(t) = (0, 1, 1, 0, 0, 0) \quad (3.48)$$

Если времени для укывтия населения недостаточно на момент времени  $t$ , значения  $N_{22}(t)$ ,  $N_{23}(t)$  и  $N_{31}(t)$  определяются в зависимости от расстояния от мест укывтия до мест пребывания населения, характеристик застройки, времени начала и скорости движения населения, времени развертывания спасательных формирований, ряда других параметров.

Комплекс мероприятий № 7 включает проведение экстренной эвакуации населения, его укывтие на верхних этажах зданий, сооружений и на незатапливаемых участках местности, проведение спасательных и других неотложных работ. Комплекс реализуется в тех же условиях, что и

комплекс №4, но при наличии после прохождения селевого потока населения, неспособного без посторонней помощи покинуть места укрытия. Эффективность комплекса определяется как функция от вектора входных характеристик проводимого мероприятия и параметров селевого потока:

$$V_{z7} = f(K_2, K_4, K_5, K_C) \quad (3.49)$$

С учетом определения вектора входных параметров для защитных мероприятий, включенных в комплекс, показатель эффективности  $V_{z7}$  на момент времени  $t$  может быть представлен в виде:

$$V_{z7}(t) = \Pi_2(t) \Pi_3(t) = [N_{21}(t), N_{22}(t), N_{31}(t), N_{23}(t), 0, N_{24}(t)] \quad (3.50)$$

где:  $N_{21}(t)$  – доля населения, выведенного из зоны селевой опасности на момент  $t$ ;

$N_{22}(t)$  – доля населения, укывшегося на верхних этажах неразрушаемых селевым потоком зданий и сооружений и на незатапливаемых участках местности на момент  $t$ ;

$N_{31}(t)$  – доля населения, спасенного в результате спасательных и других неотложных работ на момент  $t$ ;

$N_{23}(t)$  – доля населения, попавшего в селевую массу с параметрами воздействия ниже критических для человека;

$N_{24}(t)$  – доля погибшего населения на момент  $t$ .

Если экстренная эвакуация и укрытие населения завершатся до прихода головы селевого потока в рассматриваемый район и все укрытое население будет спасено в результате спасательных и других неотложных работ, показатель эффективности будет равен:

$$V_{z7} = (N_{21}, N_{22}, 1, 0, 0, 0) \quad (3.51)$$

Если времени на экстренную эвакуацию и укрытие населения либо на проведение спасательных и других неотложных работ недостаточно на момент времени  $t$ , значения  $N_{21}(t)$ ,  $N_{22}(t)$ ,  $N_{23}(t)$  и  $N_{24}(t)$  определяются в зависимости от расстояния от населенного пункта до границ зоны прохождения селевого потока, от мест укрытия до мест пребывания населения, характеристик застройки, времени развертывания спасательных формирований, ряда других параметров.

Комплекс мероприятий № 8 включает те же мероприятия, что и комплекс № 6, а также оказание экстренной и другой медицинской помощи. Работы ведутся в тех же условиях, и есть люди, нуждающиеся в экстренной медицинской помощи. Эффективность комплекса определяется

как функция от вектора входных характеристик проводимого защитного мероприятия и параметров селевого потока:

$$V_{z8} = f_8(K_4, K_5, K_7, K_C) \quad (3.52)$$

С учетом определения вектора входных параметров для защитного мероприятия, включенного в комплекс, показатель эффективности  $V_{z8}$  на момент времени  $t$  может быть представлен в виде:

$$V_{z8}(t) = \Pi_2(t), \Pi_3(t) = [0, N_{31}(t), N_{32}(t), N_{22}(t), 0, N_{23}(t), N_{24}(t),] \quad (3.53)$$

где:  $N_{31}(t)$  – доля населения, спасенного в результате проведения спасательных и других неотложных работ;

$N_{32}(t)$  – доля населения, спасенного в результате своевременного оказания квалифицированной медицинской помощи;

$N_{22}(t)$  – доля населения, укrywшегося на верхних этажах неразрушаемых селевым потоком зданий и сооружений и на незатапливаемых участках местности на момент времени  $t$ ;

$N_{23}(t)$  – доля населения, попавшего в селевую массу с параметрами воздействия ниже критических для человека;

$N_{24}(t)$  – доля погибшего населения на момент времени  $t$ .

Если население укроется до прихода головы селевого потока в рассматриваемый район, показатель эффективности будет равен:

$$V_{z8}(t) = [0, N_{31}(t), N_{32}(t), 1, 0, 0, N_{33}(t)] \quad (3.54)$$

где:  $N_{33}(t)$  – доля населения, погибшего на момент времени  $t$  ввиду несвоевременного проведения спасательных работ и неоказания медицинской помощи.

Если все укrywшиеся люди будут спасены в результате спасательных работ и им своевременно будет оказана медицинская помощь, показатель эффективности будет представлен следующим образом:

$$V_{z8}(t) = (0, 1, 1, 1, 0, 0, 0) \quad (3.55)$$

Если времени на уккрытие населения или проведение спасательных и других неотложных работ будет недостаточно на момент времени  $t$  или не будет своевременно оказана медицинская помощь, значения  $N_{22}(t)$ ,  $N_{23}(t)$ ,  $N_{31}(t)$  и  $N_{32}(t)$  определяются в зависимости от расстояния от мест уккрытия до мест пребывания населения, характеристик застройки, времени начала и

скорости движения населения, времени развертывания спасательных и медицинских формирований, ряда других параметров.

Комплекс мероприятий № 9 включает в себя те же мероприятия, что и комплекс № 7, а также оказание экстренной и другой медицинской помощи. Комплекс реализуется в тех же условиях, что и комплекс 7, но если есть нуждающиеся в оказании экстренной медицинской помощи. Эффективность комплекса определяется как функция от вектора входных характеристик проводимого защитного мероприятия и параметров селевого потока:

$$V_{z9} = f_9 (K_2, K_4, K_5, K_7, K_C) \quad (3.56)$$

С учетом определения вектора входных параметров для защитных мероприятий, включенных в комплекс, показатель эффективности  $V_{z9}$  на момент времени  $t$  может быть представлен в виде:

$$V_{z9}(t) = \Pi_2(t), \Pi_3(t) = [N_{21}(t), N_{22}(t), N_{31}(t), N_{32}(t), 0, N_{24}(t)] \quad (3.57)$$

где:  $N_{21}(t)$  – доля населения, выведенного из зоны селевой опасности на момент времени  $t$ ;

$N_{22}(t)$  – доля населения, укывшегося на верхних этажах неразрушаемых селевым потоком зданий и сооружений и на незатапливаемых участках местности на момент времени  $t$ ;

$N_{31}(t)$  – доля населения, спасенного в результате проведения спасательных и других неотложных работ на момент  $t$ ;

$N_{32}(t)$  – доля населения, спасенного в результате своевременного оказания медицинской помощи;

$N_{23}(t)$  – доля населения, попавшего в селевую массу с параметрами воздействия ниже критических для человека;

$N_{24}(t)$  – доля погибшего населения на момент времени  $t$ .

Если экстренная эвакуация и укрытие населения завершатся до прихода головы селевого потока в рассматриваемый район, все укывшееся население будет спасено в результате спасательных и других неотложных работ, а также будет оказана квалифицированная медицинская помощь, показатель эффективности будет равен:

$$V_{z9} = (N_{21}, N_{22}, 1, 0, 1, 0, 0, 0) \quad (3.58)$$

Если времени на экстренную эвакуацию, укрытие населения или на проведение спасательных и других неотложных работ недостаточно на момент времени  $t$ , значения  $N_{21}(t)$ ,  $N_{22}(t)$ ,  $N_{23}(t)$ ,  $N_{31}(t)$ ,  $N_{32}(t)$  определяются в

зависимости от расстояния от населённого пункта до границ зоны прохождения селевого потока, от мест укрытия до мест пребывания населения, времени начала и скорости движения населения, времени развертывания спасательных формирований, ряда других параметров.

Общая эффективность  $i$ -го комплекса мероприятий может быть оценена с помощью суммарного показателя эффективности проведения комплекса мероприятий по каждому этапу:

$$\Pi_i = \Pi_{1i} + \Pi_{2i} + \Pi_{3i} = (N_{11i}, N_{21i}, N_{22i}, N_{23i}, N_{31i}, N_{32i}) \quad (3.59)$$

где:  $N_{11i}$  – доля населения, выведенного из зоны селевой опасности на первом этапе проведения защитных мероприятий;

$N_{21i}$  – доля населения, выведенного из зоны селевой опасности на втором этапе проведения защитных мероприятий;

$N_{22i}$  – доля населения, укrywшегося на верхних этажах неразрушаемых селевым потоком зданий и сооружений и незатапливаемых участках местности;

$N_{23i}$  – доля населения, попавшего в селевую массу с параметрами воздействия ниже критических для человека;

$N_{31i}$  – доля населения, спасенного в результате проведения спасательных и других неотложных работ;

$N_{32i}$  – доля населения, спасенного в результате своевременного оказания медицинской помощи;

$i$  – вариант проведения защитных мероприятий.

Комплекс мероприятий, обеспечивающий величину  $N_{11i} + N_{21i} = 1$ , следует признать самым эффективным. За критерий выбора рационального комплекса мероприятий ( $K_p$ ) следует принять минимальную величину потерь населения из всех возможных вариантов комплексов защиты населения:

$$K_p = \min(1 - \Pi_i). \quad (3.60)$$

Предложенный набор комплексов защиты населения, критерий и показатели оценки их эффективности позволяют дать рекомендации по выбору рационального комплекса для каждого расчетного варианта воздействия.

Рекомендации по поведению при оползнях, селях и обвалах.

Население, проживающее в оползне-, селе- и обвалоопасных зонах, должно знать очаги, возможные направления и основные характеристики этих опасных явлений. На основе прогнозов до жителей заблаговременно доводится информация о месторасположении их населенного пункта и предприятий относительно выявленных оползневых, селевых, обвальных

очагов и возможных зон их действия, о периодах прохождения селевых потоков, а также о порядке подачи сигналов об угрозе возникновения этих явлений. Раннее информирование людей о возможных очагах стихийного бедствия предостерегает их от стрессов и паники.

Первичная информация об угрозе оползней, селей и обвалов поступает от оползневых и селевых станций, партий и постов гидрометеослужбы.

При угрозе оползня, селя или обвала и при наличии времени организуется заблаговременная эвакуация населения, сельскохозяйственных животных и имущества из угрожаемых зон в безопасные места.

Перед оставлением дома или квартиры при заблаговременной эвакуации двери, окна, вентиляционные и другие отверстия плотно закрываются, электричество, газ, водопровод выключаются, легковоспламеняющиеся и ядовитые вещества при возможности, размещают в отдаленных ямах или отдельно стоящих погребах. Во всем остальном граждане действуют в соответствии с порядком, установленным для организованной эвакуации.

Если заблаговременного предупреждения об опасности не было, и жители были предупреждены об угрозе непосредственно перед наступлением стихийного бедствия или заметили его предупреждение сами каждый из них, не заботясь об имуществе, производит экстренный самостоятельный выход в безопасное место. Естественными безопасными местами для экстренного выхода являются склоны гор и возвышенностей, не предрасположенные к оползневому процессу, или между которыми проходит селеопасное направление. При подъеме на безопасные склоны нельзя использовать долины, ущелья и выемки, поскольку в них могут образоваться побочные русла основного селевого потока.

Когда люди, здания и другие сооружения оказываются на поверхности движущегося оползневого участка, следует, покинув помещения, передвинуться, по возможности, вверх и, действуя по обстановке, остерегаться при торможении оползня скатывающихся с тыльной его части глыб, камней, обломков конструкций, земляного вала, осыпей. Фронтальная зона оползня при остановке может быть смята и вздыблена. Она может также принять на себя надвиг неподвижных пород. При высокой скорости возможен сильный толчок при остановке оползня. Все это представляет большую опасность для находящихся на оползне людей.

После окончания оползня, селя или обвала люди, покинувшие зону чрезвычайных ситуаций и переждавшие ее в безопасном месте, убедившись в отсутствии повторной угрозы, могут вернуться в эту зону. Учитывая, что помощь извне в труднодоступные горные районы придет с опозданием, немедленно приступить к розыску и извлечению пострадавших, оказанию им

первой медицинской помощи, освобождению из блокады транспортных средств, локализации возможных вторичных отрицательных последствий и др.

Снежные лавины.

Снежные лавины – одно из природных явлений, порождаемых климатическими и геоморфологическими причинами, относящихся к числу опасных для населения и хозяйства.

Снежной лавиной называются снежные массы, низвергающиеся со склонов гор под действием силы тяжести.

Лавина – это снежный обвал массы снега на горных склонах, пришедшей в интенсивное движение.

Возникновение лавин возможно во всех горных районах, где устанавливается снежный покров. Возможность схода лавин обуславливается наличием благоприятного сочетания лавинообразующих факторов, а также склонов крутизны от  $20^{\circ}$  до  $50^{\circ}$  при толщине снежного покрова не менее 30-50 см.

К лавинообразующим факторам относятся: высота снежного покрова; плотность снега; интенсивность снегопада; оседание снежного покрова; температурный режим воздуха и снежного покрова; метелевое распределение снежного покрова.

Наиболее важные факторы – прирост свежеснег выпавшего снега, интенсивность снегопада и метелевый перенос. В отсутствии осадков сход может быть следствием интенсивного таяния снега под воздействием тепла, солнечной радиации и процесса перекристаллизации, приводящих к разрушению снежной толщи.

Формирование лавин происходит в лавинном очаге, т. е. на участке склона и его подножья, в пределах которых происходит движение лавины.

Лавинный очаг принято характеризовать тремя зонами:

зона зарождения (лавиносорбор);

зона транзит (лоток);

зона остановки (конус выноса) лавины.

Классификация лавин, учитывающая природу их формирования, представлена в таблице 3.20.

Таблица 3.20

Классификация снежных лавин

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
Сухая	Сухой снег в лавинном очаге
Мокрая	Мокрый снег в лавинном очаге

До 70% лавин обусловлены снегопадами. Эти лавины сходят во время снегопадов или в течение 1–2 суток после их прекращения.

По частоте схода (повторяемости) различают лавины:

- систематические, сходят каждый год или один раз в 2–3 года;
- спорадические, сходят 1–2 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.

Обильные снегопады, а также землетрясения силой 5–6 баллов и более, являются причинами формирования катастрофических лавин.

В зависимости от факторов лавинообразования выделяют следующие виды лавин:

- возникающие из-за метеорологических условий – снегопадов, метелей, понижений температуры;
- возникающие из-за процессов, происходящих внутри снежной толщи, образование слоя глубинной изморози, снижение прочности снежного покрова под длительным действием нагрузки;
- возникающие по совокупности вышеперечисленных условий – весенние оттепели, изменение температуры воздуха.

Лавины метелевого типа преобладают в Хибинах (до 80%) и реже встречаются в горах умеренных широт и южного пояса России. Лавины из свежеснежного покрова преобладают в районах южного пояса Кавказа.

Результаты действия лавин на элементы инфраструктуры лавиноопасной территории: инженерные сооружения, транспортные и другие коммуникации, здания и сооружения – определяются характеристиками лавины (таблица 3.21). Для приближенных расчетов скорость перемещения фронта лавины (скорость лавины) может быть принята 50–90 м/с. Она выше скорости течения снежной массы за фронтом (в потоке). Сила удара достигает 0,4 МПа, а при наличии в лавине твердых включений – превышает это значение в несколько раз (до 200 т/м<sup>2</sup>). Удар фронта лавины по преграде сменяется воздействием на преграду давления обтекания, условно принимаемого квазистационарным.

Таблица 3.21

Диапазоны основных характеристик снежных лавин

Наименование показателей	Величина
Масса, $m$	От единиц до $10^7$ т
Объем, $V$	От единиц до $10^7$ м <sup>3</sup>
Скорость движения, $v$	Мокрых лавин – 10–20 м/с Сухих лавин – 20–100 м/с
Динамическое давление, $p_n$	До 2 МПа
Дальность выброса, $L_{\max}$	До 2000 м

Наименование показателей	Величина
Повторяемость	0,01–20 ед./год
Плотность лавинного снега, $\rho$	Сухих лавин – 0,2–0,4 т/м <sup>3</sup> Мокрых лавин – 0,3–0,8
Высота фронта лавины, $H_{л}$	От долей метра до 10 м
Площадь сечения лавинного потока, м <sup>2</sup>	От единиц до 10 <sup>3</sup> м <sup>2</sup>
Коэффициент $K$ лавинной активности площади (отношение лавиноактивности площади к суммарной)	0,3–1,0
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	До 10 <sup>7</sup> м <sup>3</sup>

Дальность выброса лавины, т. е. расстояние, которое может преодолеть лавина при наиболее благоприятных условиях, зависит от высоты её 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.

Движение сухой лавины сопровождается снежно-пылевым облаком. Перемещение такого облака подобно течению тяжелого газа. В отдельных случаях (высокие скорости фронта лавины, высокая плотность снежно-пылевого облака) перед фронтом лавины возникает ударная волна. Воздействие ударной волны и снежно-пылевого облака сходно с действием воздушной ударной волны взрыва. Оно распространяется дальше границы выброса лавины.

Водонасыщенные лавинные потоки подобны гидравлическим потокам. Их действие рассчитывается так же, как действие воздухомонасыщенной 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  $L_{\text{ср}}$  (среднеголетнюю, определяемую по данным наблюдений).

Повторяемость схода лавин (особенно внутрисезонную) необходимо учитывать при планировании и выполнении работ в лавиноопасных районах. Лавины вовлекают в движение также породы, слагающие склоны. Они пропахивают на склонах крутостенные рвы с гладкими, отшлифованными бортами – лавинные лотки, которые сопровождаются лавинными прочесами – полосами, лишенными древесной растительности. Внизу, у основания склонов, скапливаются снесенные со склонов обломки, разбитые деревья, содранный дерн. Сильные лавины могут содрать рыхлые отложения на днищах долин, куда они спускаются, собрать эти

отложения в гряды или забросить на противоположный склон долины, где из этих отложений образуются небольшие холмики.

На пологих склонах преобладает смещение верхней части «чехла» рыхлых отложений. Это может быть солифлюкция – быстрое течение переувлажненного, оттаявшего верхнего слоя грунтов. Солифлюкция характерна для районов вечной мерзлоты, но внешне похожий процесс течения переувлажненных грунтов – тропическая солифлюкция – происходит во влажных тропиках.

В пустынях встречается экстраординарная солифлюкция, возникающая при увлажнении возбужающих и начинающих течь при редких дождях грунтов, насыщенных солями. На склонах широко распространены крип и дефлюкция – медленное сползание или оплывание рыхлого грунта благодаря изменениям его температуры и увлажненности. Эти процессы происходят незаметно, породы сползают вместе с растительным покровом. Их можно заметить только в канавах, пересекающих склоны, по изгибанию корней растений и слоев пород.

В горных районах с резкими колебаниями температур и интенсивным физическим выветриванием пологие склоны и вершины гор покрыты скоплениями остроугольных обломков, носящих сразу несколько названий – курумы, каменные россыпи, каменные моря. Обломки перемещаются вниз по склонам под влиянием нескольких процессов: гравитационного скольжения по расположенному ниже их слою мерзлоты или льда, текущей в их толще воды, образования и таяния в курумах ледяных стебельков. Сползающие по понижениям обломки собираются в «каменные реки».

Распространение и режим лавин.

Лавинообразование – это разделение снежного покрова на обрушивающиеся порции. География лавин может быть понята через географию снежного покрова и твердых осадков (таблицы 3.22, 3.23). Снег может выпадать в условиях средней суточной температуры воздуха до +2 – 4°C, среднемесячной до +6°C. При температуре – 4°C и ниже выпадают только твердые осадки.

Таблица 3.22

Площадь лавиноопасных территорий мира

Район	Лавиноопасная площадь, тыс. км <sup>2</sup>	% от площади района	% от всей лавиноопасной площади суши
Зарубежная Европа (с островами)	743	15,5	8,0
Зарубежная Азия (с островами)	2540	9,6	27,5

Район	Лавиноопасная площадь, тыс. км <sup>2</sup>	% от площади района	% от всей лавиноопасной площади суши
Северная Америка (с островами)	1670	8,2	18,1
Южная Америка	533	2,9	5,8
Африка	28	0,1	0,3
Австралия, о. Тасмания, Новая Зеландия, Новая Гвинея	58	0,7	0,6
Антарктида (с островами)	181	1,3	1,9
Россия	3500	15,6	37,8
Вся суша	9253	6,2	100,0

Таблица 3.23

Отношение норм максимальных снегозапасов и твердых осадков при разной продолжительности холодного периода в горах Евразии

Широта	Градусы							
	0	10	80	120	160	200	240	280
60–70	–	–	–	–	–	0,87	0,87	0,87
50–59	–	–	–	–	–	0,80	0,80	0,87
40–49	0,15	0,25	0,40	0,57	0,65	0,74	0,78	0,87
35–39	0,10	0,21	0,36	0,50	0,60	0,70	0,76	0,87

Снежный покров, существующий непрерывно не менее 30 суток, называют устойчивым. Устойчивый снежный покров образуется в районах со средней температурой самого холодного месяца не выше  $-3^{\circ}\text{C}$ , неустойчивый – до  $+1-2^{\circ}\text{C}$ , а также в районах с крайне скудными осадками, хотя и с весьма низкой температурой. В районах (поясах) неустойчивого снежного покрова суммарное число дней со снежным покровом изменяется от 10 до 50. В горах располагаются районы (пояса) редких снегопадов, ограниченные изотермой самого холодного месяца  $+8-10^{\circ}\text{C}$  с числом дней со снегом от 0 до 10. Снежный покров и лавины – порождение ионосферы, т. е. того слоя атмосферы, в котором влага существует в виде кристаллов льда. Другим порождением ионосферы являются ледники, некоторые из них образуются из лавинных снежников. В полярных широтах ионосфера касается поверхности планеты и ярко проявляет себя в виде Гренландского и Антарктического ледников; ближе к экватору ионосфера отделяется от поверхности равнин и оставляет свои метки – ледники на все более высоких горах.

Хотя критическая сумма твердых осадков, возбуждающих сход лавин из свежеснежавшего снега, в разных высотных поясах неодинакова и меняется от 20–30 до 5 мм/сутки, в верхней части пояса устойчивого снежного покрова она близка к 10 мм/сутки. Общие черты географии лавин зависят не только

от закономерно (географически) изменяющегося климата, но и от случайного (в неклиматическом смысле) распределения рельефа, от того, где именно и насколько высоко вонзаются горные массивы в ионосферу.

Для характеристики региональных различий лавинной активности используют средние по высоте гор величины вертикальных градиентов. Большие их величины отвечают большим различиям продолжительности лавиноопасного сезона и количества лавин по высоте, медленным вертикальным перемещениям нижней границы пояса лавинообразования. Малые величины градиентов отвечают районам, где начало и окончание зимы приходят более дружно на всех высотах, повторяемость лавин в разных высотных поясах менее различна. Практическое значение знаний величины градиентов в том, что в районах с большими градиентами при прочих равных условиях перевальные участки автодорог освобождаются от лавинной опасности существенно позже, чем низкогорные участки.

Лавинные показатели тесно связаны с показателями твердых осадков и снежного покрова. Так, продолжительность лавиноопасного периода и вертикальный градиент этого показателя распределяются подобно сходным показателям для устойчивого снежного покрова с той лишь разницей, что продолжительность лавиноопасного периода (периода с высотой снежного покрова более критической) короче и вертикальный ее градиент выше. Средняя многолетняя повторяемость лавин и изменчивость повторяемости лавин от года к году прямо пропорциональны величинам снегозапаса и их вариациям.

Вертикальные градиенты среднемноголетнего числа лавиноопасных снегопадов (с суммой осадков 10 мм/сутки и более в поясе устойчивого снежного покрова) изменяются в пространстве подобно градиентам продолжительности залегания устойчивого снежного покрова и лавиноопасного периода. Градиенты числа лавиноопасных снегопадов минимальны в полярном поясе (в Северной Гренландии меньше 0,1 случая на 100 м подъема), максимальны на наиболее заснеженных наветренных склонах приморских хребтов умеренных и субтропических поясов (до 1,3 в Северной Америке, Скандинавии, Новой Зеландии) и уменьшаются с увеличением континентальности климата (в Альпах – 0,6–0,8; на Кавказе – 0,5–0,6; на Тянь-Шане – 0,4–0,6; на Памире – 0,2–0,3; в Забайкалье и Тибете – около 0,1). В Европе районы с ежегодным сходом лавин, отвечающие высотным поясам устойчивого снежного покрова и вечных снегов, занимают около 15% площади.

Территории с высокой, средней и низкой степенью лавинной активности приблизительно равновелики. Наиболее крупные лавиноопасные районы – Скандинавские горы (высшая точка 2469 м),

Альпы (4807 м), Карпаты (2665 м); меньшие по размерам – в горах архипелага Шпицберген (1717 м), Исландии (2119 м), Шотландии (1343 м), в Пиренеях (3404 м), Апеннинах (2914 м), на Балканском полуострове (2925 м), в Греции (2917 м), на островах Сицилия (3340 м) и Корсика (2710 м).

По характеру рельефа выделяются горы Шпицбергена, Исландии и Скандинавии – платообразные массивы, прорезанные глубокими ледниковыми долинами; рождению долин на их склонах дополнительно способствует метелевый принос снега с водораздельных поверхностей. Прочие горные районы имеют, в основном, водно-эрозионный, не слишком крутосклонный облик и могут быть подразделены по относительной площади горно-ледникового рельефа, встречающегося на наиболее высоких участках и отличающегося более крутыми склонами цирков, каров, отроговых долин.

Ведущим фактором лавинообразования в большей части гор Западной Европы служат интенсивные снегопады. Число дней с лавиноопасными снегопадами меняется от 1 в Кантабрийских горах, Апеннинах и Греции до 30 в Альпах и еще больше в Скандинавии.

Выше верхней границы леса в Пиренеях, Альпах, Карпатах, а также в пригребневых частях гор Исландии, Скандинавии и Шпицбергена ведущим фактором лавинообразования становятся метели. В низком прибрежном поясе Скандинавии и Исландии и в районах ниже пояса устойчивого снежного покрова в других горах существенную роль в лавинообразовании играет снеготаяние.

Горные системы различного строения, высоты и простирания занимают основную часть территории Азии. Районы с ежегодным сходом лавин охватывают около 10% площади континента (более 2,5 млн. км<sup>2</sup>). Половина их имеет низкую степень лавинной активности, пятая часть – высокую, одна треть – среднюю степень лавинной активности. Наиболее крупные лавиноопасные районы вне России – цепь Гиндукуша (высшая точка 7690 м), Каракорума (8611 м) и Тибетско-Гималайской системы (7723 и 8848 м), а также Тянь-Шань (7439 м), Алтай (4362 м в Монгольском Алтае), Бол. Хинган (1749 м), хребет Эльбрус (5604 м) и горы Японии (2290 м на о. Хоккайдо, 3776 м на о. Хонсю, 1592 м на о. Кусю).

В России территории с горным рельефом занимают немногим меньше 1/3 всей площади; в настоящее время почти половина их лавиноопасна. Кроме того, для России выделены как потенциально лавиноопасные те горные районы, где лавины могли бы появиться при сведении лесов или при достаточном возрастании количества твердых осадков. Действительно потенциально лавиноопасные территории занимают 20% площади бывшего

СССР (таблица 3.24), а в отдельных его республиках – от 3 до 70% (таблица 3.25).

Таблица 3.24

Площади территорий с различным характером лавинной опасности в Российской Федерации

Характер опасности	Площадь территории, тыс. км <sup>2</sup>	% от общей площади страны
Фактически лавиноопасные территории с разной степенью лавинной активности:		
высокой	309,2	15,6
средней	1540,4	
низкой	1645,2	
Всего	3494,8	
Потенциально лавиноопасные территории, где лавинная опасность может возникнуть вследствие:		
вырубки лесов на склонах	494,0	4,4
изменения климата	506,0	
Всего	1000,0	

Таблица 3.25

Площадь лавиноопасных и потенциально лавиноопасных территорий

Страны	Площадь лавиноопасных территорий		Площадь потенциально лавиноопасных территорий	
	тыс. км <sup>2</sup>	%от площади	тыс. км <sup>2</sup>	% от площади
Украина	13,4	2,2	2,8	0,4
Грузия	44,8	64,2	3,2	4,6
Армения	16,8	56,3	3,0	10,0
Азербайджан	17,4	20,0	15,0	17,3
Туркмения	2,0	0,4	28,6	5,8
Казахстан	107,2	3,9	59,6	2,2
Кыргызстан	111,6	56,2	10,0	5,0
Узбекистан	21,0	4,7	25,4	5,6
Таджикистан	82,8	57,8	23,0	16,1
Россия	3077,8	18,0	829,4	4,8

*Методы прогноза лавиноопасного периода*

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

К упрощенным методам прогноза относят методы, основанные:

- на изучении внешнего состояния снежного покрова;
- на изучении стратиграфии снежного покрова;

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

Прогнозы, связанные с внешним состоянием снежного покрова, дают приближенную информацию о начале периода лавинной опасности отдельных лавиносборов. Они основываются на признаках, указывающих на неустойчивость снежного покрова на склоне. К таким признакам относятся:

- трещины в снежном покрове (характерны для снежных досок и сухого снега);
- снежные катыши, рулоны и улитки (характерны для влажного снега);
- нависающие снежные карнизы;
- сильное увлажнение снежного покрова;
- наличие на склоне плотного ветрового наста (снежных досок);
- большое количество (30–50 см) свежевывпавшего или метелевого невязкого снега.

Прогнозы, основанные на изучении стратиграфии, осуществляются с помощью зондирования снежного покрова, которое дает представление о состоянии снежной толщи: мощности снежного покрова; наличии слоев с очень малым сопротивлением погружаемому зонду и пустот; характере подстилающей поверхности; оседании снежного покрова.

Существом метода прогноза, основанном на данных о резких переменах погоды, является анализ синоптических ситуаций, предшествующих и сопутствующих образованию лавин. Этот метод позволяет давать районный прогноз для целого горного хребта со сравнительно большой заблаговременностью, исчисляемой днями. Однако он не позволяет выдавать точную информацию о моменте начала лавиноопасного периода.

Расчетные методы прогноза лавин основаны на данных, получаемых в ходе непосредственных наблюдений за ходом метеорологических элементов и изменениями в снежной толще. Эти методы базируются на том, что возникновение лавин начинается не сразу после перелома погоды, а спустя некоторый промежуток времени, необходимый для изменения соотношения сил внутри снежной толщи под влиянием перелома погоды. Данный промежуток времени позволяет дать оценку этих изменений. Для лавин, непосредственно связанных с метеорологическими факторами, указанный промежуток времени невелик, поэтому и заблаговременность прогноза будет небольшой. Для лавин, обусловленных и влиянием метеорологических факторов, и процессами, происходящими внутри снежной толщи при таянии, заблаговременность будет большей. Теоретической основой для расчетных методов прогнозов является уравнение устойчивости снежного покрова на склоне. Формула для

расчета критической мощности снежного покрова для лотковых лавин имеет вид:

$$H_{\text{СПкр}} = \frac{C_{\text{сд}}}{\gamma_{\text{сп}} (\sin \alpha - f_{\text{тр}} \cos \alpha)} \quad (3.61)$$

где:  $C_{\text{сд}}$  – сопротивление сдвигу;

$\gamma_{\text{сп}}$  – объемный вес снежного покрова;

$f_{\text{тр}}$  – коэффициент внутреннего трения;  $\alpha$  – угол наклона склона.

Существует несколько расчетных методов прогнозов, каждый из которых предназначен для определенных условий образования лавин:

- прогноз лавин, связанных со снегопадами и метелями;
- прогноз лавин, связанных с оттепелями;
- прогноз лавин, возникающих при выпадении дождя на снежный покров, весеннем снеготаянии и радиационных оттепелях;
- прогноз лавин, возникающих при резком понижении температуры;
- прогноз лавин, возникающих при воздействии нескольких факторов.

Прогноз лавин, обусловленных снегопадами, основан на уравнении (3.61). Зная величину  $H_{\text{СПкр}}$ , время наступления лавиноопасного периода от начала снегопада можно определить из уравнения:

$$T_{\text{ЛП}} = \frac{H_{\text{СПкр}}}{i_{\text{СП}}} \quad (3.62)$$

где:  $i_{\text{СП}}$  – интенсивность нарастания снежного покрова в м/час, или из уравнения:

$$T_{\text{ЛП}} = \frac{C_{\text{сд}}}{i_{\text{СП}} \gamma_{\text{сп}} (\sin \alpha - f_{\text{тр}} \cos \alpha)}. \quad (3.63)$$

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

Для выдачи прогноза необходимо:

- определить время от начала снегопада до момента образования слоя нового снега толщиной 3–5 см, откуда находят величину  $i_{\text{СП}}$  в м/ч;
- определить экспериментальным путем  $i_{\text{СП}}$ ,  $C_{\text{сд}}$ ,  $f_{\text{тр}}$ ;
- подставив полученные значения в уравнение (3.63), рассчитать момент наступления лавиноопасного периода.

Дальнейшее упрощение методики прогнозирования возможно при использовании зависимостей вида:

$$T_{\text{ЛП}} = F(i_{\text{СП}}) \quad (3.64)$$

или

$$T_{\text{ЛП}} = F(R), \quad (3.65)$$

где:  $R$  – интенсивность осадков в мм/мин.

Для метелевых лавин прогноз можно выдавать, используя также (3.53). Для районного прогноза можно использовать зависимость вида:

$$T_{\text{Л}} = F(V); \quad (3.66)$$

$$T_{\text{ЛП}} = F(m), \quad (3.67)$$

где:  $V$  – скорость ветра в м/с;

$m$  – величина метелевого переноса в г/см<sup>2</sup> мин.

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

$$T_{\text{ЛП}} = F(t_{\text{от}}^{\circ}, \Delta t_{\text{от}}^{\circ}, T_{\text{от}}), \quad (3.68)$$

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  $C_{\text{сд}}$  в правой части уравнения (3.48). Для случая прогнозирования лавин, обусловленных выпадением дождя, время наступления опасного периода от момента начала дождя можно рассчитать по формуле:

$$T_{\text{ЛП}} = \frac{0,1H_{\text{в}}\beta_{\text{в}}}{R}, \quad (3.69)$$

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 лавины обусловлены весенним снеготаянием и радиационными оттепелями, зная запас воды в снежном покрове  $H_{\text{в}}$  в данном лавиносборе, сумму положительных средних суточных температур с начала снеготаяния

до момента выдачи прогноза  $\Sigma t^\circ$ , величину стаивания на один градус положительной средней суточной температуры воздуха  $\delta_1^\circ$  и прогноз средних суточных температур на ближайшие дни  $t_1^\circ, t_2^\circ, t_3^\circ, \dots, t_n^\circ$ , можно спрогнозировать момент наступления лавиноопасного периода из уравнения

$$0,1H_B - \delta_1^\circ \Sigma t^\circ - \delta_1^\circ t_1^\circ - \delta_1^\circ t_2^\circ - \dots - \delta_1^\circ t_n^\circ = 0. \quad (3.70)$$

Решение уравнения производится путем подбора.

Когда лавины возникают при резком понижении температуры, величина сдвигающего усилия  $\tau_{сд}$ , возникающего в результате охлаждения снежного покрова, выражается формулой:

$$\tau_{сд} = \frac{\alpha_{сж} E \Delta \theta}{4(1 - \mu)}, \quad (3.71)$$

где:  $\alpha_{сж}$  – коэффициент температурного сжатия снежного покрова;

$E$  – модуль нормальной упругости;

$\mu$  – коэффициент бокового расширения снежного покрова;

$\Delta \theta$  – градиент температуры охлаждающей толщи снега.

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

В реальных условиях лавина нередко возникает в результате сочетания ряда факторов, например, снегопад сочетается с оттепелью. Тогда время возникновения лавины будет зависеть не только от мощности старого снежного покрова, и критическая мощность снежного покрова  $H_{СПкр}$  равна:

$$H_{СПкр} = H_{СТ} + T_{ЛП} i_{СП}. \quad (3.72)$$

Время начала лавиноопасного периода определяется по формуле:

$$T_{ЛП} = \frac{C_{сд}}{i_{СП} \gamma_{СП} (\sin \alpha - f_{тр} \cos \alpha)} - \frac{H_{СТ}}{i_{СП}}. \quad (3.73)$$

Принимая  $C_{сд}$ ,  $\gamma_{СП}$ ,  $f_{тр}$  и  $\alpha$  постоянными, получаем

$$T_{ЛП} = (i_{СП} H_{СТ}) \quad (3.74)$$

или в случае дождя

$$T_{\text{ЛП}} = F(R, H_{\text{СТ}}). \quad (3.75)$$

Для каждого района можно оценить экспериментальным путем минимальную сумму осадков, дополнительная нагрузка от которых вызывает возникновение лавин смешанного типа. Определив эту величину, и зная интенсивность выпадения осадков, можно определить время начала лавиноопасного периода. На этом принципе основаны фоновые прогнозы. Фоновый прогноз составляется на основе данных анализа синоптических ситуаций, метеорологических элементов и специальных снеголавинных наблюдений в данном регионе. Например, для территории Кавказа рекомендуются следующие прогностические зависимости:

$$T_{\text{ЛП}} = 24 \frac{H_{\text{СПкр}} - 2,8\sqrt{H_{\text{СТ}}}}{X}; \quad (3.76)$$

$$T_{\text{ЛП}} = 24 \frac{H_{\text{СПкр}} - 0,1H_{\text{СТ}}}{\Delta H_{\text{СП}}}, \quad (3.77)$$

где:  $T_{\text{ЛП}}$  – время от начала снегопада до лавиноопасного периода, ч;

$H_{\text{СТ}}$  – толщина старого снега перед началом снегопада, см; измеряется в местах, максимально приближенных к тем, где происходит отрыв лавин;

$X$  – сумма осадков (в слое воды) за первые сутки снегопада, км, берется ориентировочно из текущих метеорологических наблюдений;

$\Delta H_{\text{СП}}$  – прирост толщины снежного покрова за первые сутки снегопада, см, находится расчетом по ожидаемым суммам осадков  $X$  и плотности свежеснегавпавшего снега;

$H_{\text{СПкр}}$  – критическая высота снежного покрова, вычисленная по формуле:

$$H_{\text{СПкр}} = 17200\alpha^{-2}[(0,9 + \rho_{\text{СП}})^6 + (0,99 + \rho_{\text{СП}})^6], \quad (3.78)$$

где:  $\alpha$  – крутизна склона, градус;

$\rho_{\text{СП}}$  – плотность снега, г/см<sup>3</sup>.

Из расчета по этим формулам выбирается наименьшее время  $T_{\text{ЛП}}$ .

Заблаговременность прогнозов с помощью методов, основанных на изучении хода отдельных метеорологических элементов и изменений, происходящих в снежном покрове, невелика и исчисляется часами. Это связано с тем, что метеорологическая служба не выдает прогнозов

интенсивности осадков, интенсивности и продолжительности оттепели и т. п.

### *Способы защиты от лавин*

Наиболее надежным способом защиты от лавин является размещение объектов вне лавиноопасных участков. По экономической эффективности противолавинной защиты можно выделить две группы лавиноопасных районов:

- с высокой повторяемостью лавин (таблица 3.26);
- с низкой повторяемостью лавин (раз в десятки лет).

В районах первой группы постоянными мероприятиями могут быть регулирование режима работы подверженных опасности объектов, выполняемое специально созданной прогнозно-профилактической службой, защита этих объектов инженерными и другими средствами.

В районах второй группы снижение ущерба от лавин может быть достигнуто деятельностью службы, получающей предупреждение о приближающейся опасности от специалистов, и организующей эвакуационные, аварийно-спасательные и другие неотложные работы. Во всех странах эти обязанности возложены на органы гражданской обороны.

Таблица 3.26

#### Противолавинные мероприятия

Вид мероприятия	Единица измерения
Прогноз и профилактический спуск лавин	1 км <sup>2</sup> лавиноактивных склонов
Залесение склонов	То же
Застройка склонов снегоудерживающими щитами: деревянными железобетонными	То же То же
Насыпная противолавинная дамба	1 км
Противолавинная галерея: легкая тяжелая	То же То же

При выборе наилучших мер защиты исходят из характера защищаемого объекта и показателей лавинной активности в угрожающих ему лавинных очагах. Вначале с помощью крупномасштабных топографических карт определяют эти показатели, затем рассчитывают все возможные способы защиты и выбирают среди них экономически

оптимальный вариант. В идеале защита должна назначаться от всего комплекса опасных явлений, воздействующих на защищаемый объект на рассматриваемом участке. Для горных районов обычно сочетание опасности лавин, водоснежных потоков, сползания снега, снеготаносов, селей, паводков, камнепадов и др.

На уровне страны возможны лишь рекомендации: застройка лавиносбора снегоудерживающими щитами (очень дорога в многоснежных районах); профилактический спуск лавин путем обстрела горных склонов в малонаселенных районах; прогнозирование лавин (можно быстро ввести в районах, знаний о которых достаточно для разработки приемов оперативного прогноза), и т. д.

Рекомендации по выбору противолавинных мероприятий могут быть обобщены применительно к физико-географическим типам лавиноопасных территорий, подразделяемым по растительности (горно-луговая, горно-лесная и др.) и снежности, имеющим вертикально-поясное распределение, и морфометрическим характеристикам рельефа (глубина расчленения, ширина днищ долин, площадь и наклон лавиносборов). Например, на Северном Тянь-Шане в лесном поясе для защиты автодорог залесение склонов дешевле строительства противолавинных галерей при высоте склонов до 500 м, а в горно-луговом поясе строительство галерей дешевле застройки лавиносборов снегоудерживающими щитами при высоте склонов более 200 м.

Предусматривать защиту от лавин и других видов ЧС целесообразно с начала планирования территориально-производственных комплексов и на всех последующих этапах детализации и планов застройки, что должно сопровождаться составлением мелкомасштабных и среднemasштабных карт. Требуется также и карты оценки чрезвычайных ситуаций.

Картографически представляют следующие показатели:

- среднюю ширину безопасной полосы на дне долины, характерные размеры отдельных безопасных площадок;
- количество угрожающих коммуникациям лавинных очагов (на 1 км дна долины), называемого густотой лавинных очагов;
- среднюю многолетнюю повторяемость лавин или лавиноопасных синоптических обстановок;
- характерные суммарные за зиму объемы лавин;
- продолжительность лавиноопасного периода (сезона);
- характерные генетические типы лавин и метеорологические факторы лавинообразования.

Показатели существенно меняются во времени. Поэтому желательно знать и картографически изображать не только среднемноголетние их значения, но и предельные величины на какой-то плановый срок,

зависящий от характера защищаемого территориально-производственного комплекса, например на 25–100 лет вперед.

Кроме названных показателей лавинной опасности на обзорных картах желательно изображение районов, для которых прямо разработаны методы оперативного прогнозирования лавин, и районов, аналогичных первым по условиям лавинообразования настолько, что в них могут быть использованы привнесенные извне методы прогнозирования.

### **Контрольные вопросы**

1. Основные характеристики землетрясений.
2. Предвестники землетрясений и их характеристика.
3. Методы прогноза землетрясений и их краткая характеристика.
4. Способы оценки последствий землетрясений.
5. Рекомендации по поведению населения во время землетрясений.
6. Основные характеристики вулканических извержений.
7. Классификация вулканов.
8. Основные действующие вулканы Камчатки и Курильских островов.
9. Районирование областей вулканической опасности Курило-Камчатского региона.
10. Грязевой вулканизм и его характеристика.
11. Профилактические мероприятия вулканических извержений.
12. Рекомендации населению по поведению во время извержения вулканов.
13. Характеристика склоновых процессов.
14. Сели и их краткая характеристика.
15. Классификация селей.
16. Прогнозирование селей.
17. Инженерно-технические мероприятия по защите от селей и лавин (комплексы мероприятий).
18. Оползни и их характеристики.
19. Классификация оползней.
20. Профилактические мероприятия оползней.
21. Обвалы и осыпи и их краткая характеристика.
22. Лавины и их характеристика.
23. Прогнозирование лавин и способы защиты от них.
24. Абразия берегов и её характеристика.
25. Эрозия почв и её характеристика.

## Глава 4. МЕТЕОГЕННО-БИОГЕННЫЕ ОПАСНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ

Возникающие и распространяющиеся природные пожары уничтожают фауну и лесные массивы, снижают защитные, водоохранные и другие полезные свойства леса, загрязняют атмосферу, уничтожают населенные пункты. Последствия от природных пожаров представлены на рисунке 4.1. В сухое лето число одновременных пожаров может достигать нескольких сотен.



Рис. 4.1. Последствия от возникновения природных пожаров

Ежегодно на территории России происходит более 30 тыс. пожаров. Так, в 2010 г. в Российской Федерации возникло около 33 тысяч природных пожаров, огнём было пройдено более 1,7 млн. га, уничтожено несколько десятков сельских населённых пунктов. Так, только 29 и 30 июля выгорело 9 деревень, уничтожено огнём около 2 тысяч домовладений. Количество лесных пожаров особенно велико в Сибири и на Дальнем Востоке.

Ряд субъектов Российской Федерации, таких как Московская, Тверская, Рязанская, Владимирская, Ивановская области, подвержены торфяным пожарам.

В настоящее время существует два аспекта лесопожарной проблемы:

- воспитание у населения бережного отношения к лесу;
- разработка средств и способов обнаружения и ликвидации лесных пожаров.

Охрана лесов от пожаров и своевременная их ликвидация возложены на Федеральное агентство лесного хозяйства. Для охраны лесов, характеризующихся повышенной пожарной опасностью, создаются пожарно-химические станции (ПХС). Для ликвидации масштабных

природных пожаров привлекаются силы, в том числе и авиация, МЧС России, Министерства обороны, добровольцы.

#### 4.1. Виды природных пожаров

Природный пожар – неконтролируемый процесс горения, стихийно возникающий и распространяющийся в природной среде (рис. 4.2).

Чрезвычайная лесопожарная ситуация – обстановка на определённой территории, сложившаяся в результате возникновения источника природной чрезвычайной ситуации – лесного пожара (лесных пожаров), который может повлечь или повлечь за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей и/или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Под лесным пожаром понимается неконтролируемое горение растительности, стихийно распространившееся на лесную площадь, окружённую негорящей территорией (рис. 4.2). В лесную площадь, по которой распространяется пожар, входят открытые лесные пространства (вырубки, гари и др.).

Торфяной пожар – возгорание торфяного болота, осушенного или естественного, при перегреве его поверхности лучами солнца или в результате небрежного обращения людей с огнём (рис. 4.2).

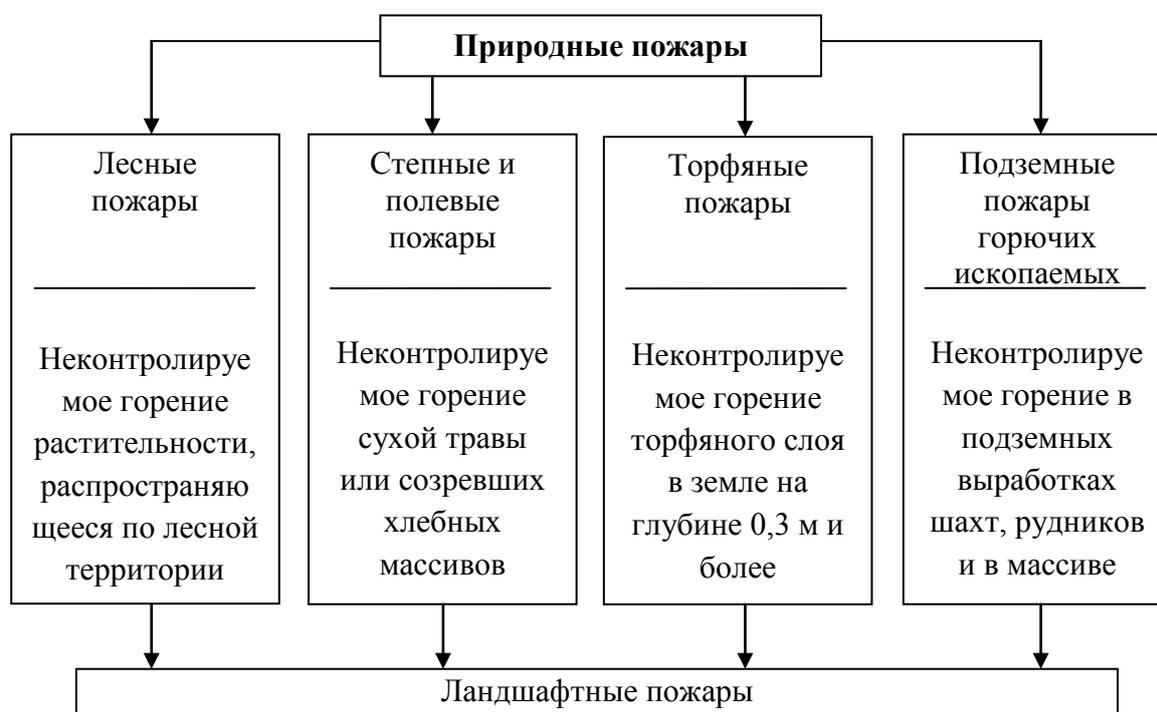


Рис. 4.2. Виды природных пожаров

Зона пожаров – территория, в пределах которой в результате стихийных бедствий, аварий или катастроф, неосторожных действий людей возникли и распространились пожары.

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. Тыл пожара – двигающаяся против ветра кромка огня. Фланги пожара – продвигающаяся перпендикулярно ветру огневая кромка.

Горение – физико-химический процесс с выделением тепла, света. Для возникновения горения необходимо наличие: горючего материала, окислителя, источника зажигания.

Лесные горючие материалы – растения лесов, их морфологические части и растительные остатки разной степени разложения, которые могут гореть при лесных пожарах. Зона горения – пространство, в котором протекает процесс горения. Зона задымления – пространство, примыкающее к зоне горения и заполненное дымом.

Пламя – пространство, в котором сгорают пары, газы, взвеси. Для всех видов пожаров характерным является: взаимодействие в слое пламени горючего вещества с кислородом или другим окислителем; выделение в зоне горения тепла, света, продуктов сгорания.

Основными причинами возникновения лесных пожаров являются: деятельность человека, грозовые разряды, самовозгорания торфяной крошки и сельскохозяйственные палы в условиях жаркой погоды или в пожароопасный сезон. Пожароопасный сезон – это период с момента таяния снегового покрова в лесу до появления полного зеленого покрова или наступления устойчивой дождливой осенней погоды.

В 80% случаев пожары являются следствием нарушения человеком требований пожарной безопасности.

Лесные пожары уничтожают деревья и кустарники, заготовленную в лесу древесину, снижаются защитные, водоохранные и другие полезные свойства леса, уничтожаются фауна и лесные массивы, сооружения, загрязняется атмосфера, нарушается тепловой баланс, уничтожаются населенные пункты. Лесные пожары представляют серьезную опасность для людей и сельскохозяйственных животных. Степень пожарной опасности участков леса определяется на основе «шкалы оценки лесных участков по степени опасности возникновения в них пожаров» (таблица 4.1).

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.

Таблица 4.1

Шкалы оценки лесных участков по степени опасности возникновения пожаров

Класс пожарной опасности	Объект загорания (типы леса, категория насаждений)	Наиболее вероятные виды пожаров, условия и продолжительность периода их возможного возникновения	Степень пожарной опасности
5	Хвойные молодняки. Сосняки. Захламлённые вырубки	В течение всего пожароопасного сезона – низовые пожары, а на участках с наличием древостоя – верховые	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, а 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

## 4.2. Лесные пожары

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

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

Зона массовых и сплошных пожаров – территория, где возникло так много загораний и пожаров, что невозможен проход или нахождение в ней соответствующих подразделений (формирований) без проведения

мероприятий по локализации или тушению, ведение спасательных работ практически исключено. Возникновение таких зон возможно при наличии: сплошной застройки лесного массива, большого количества горючих материалов и др.

Особая форма сплошного пожара – огненный шторм. Он характеризуется 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:

- наличия застройки или растекании горючих жидкостей на площади не менее 100 га;
- относительной влажности воздуха менее 30%;
- наличия определенного количества сгораемых материалов на соответствующей площади, в пересчете на древесину 200 кг/м<sup>2</sup> на площади 1 км<sup>2</sup>.

Зона пожаров и тления в завалах характеризуется сильным задымлением и продолжительным (свыше 2 суток) горением в завалах. Применение соответствующих подразделений ограничивается опасностью для жизни людей в связи с тепловой радиацией и выделением токсических 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 быть общее повышение температуры задымленной среды. Вдыхание продуктов сгорания, нагретых до 60°C, даже при 0,1%-ном содержании оксида углерода в воздухе, как правило, приводит к смертельным случаям.

В зависимости от характера возгорания и от того, в каких элементах леса (состава леса) распространяется огонь, пожары подразделяются на низовые, верховые и подземные (почвенные) (рис. 4.3).

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

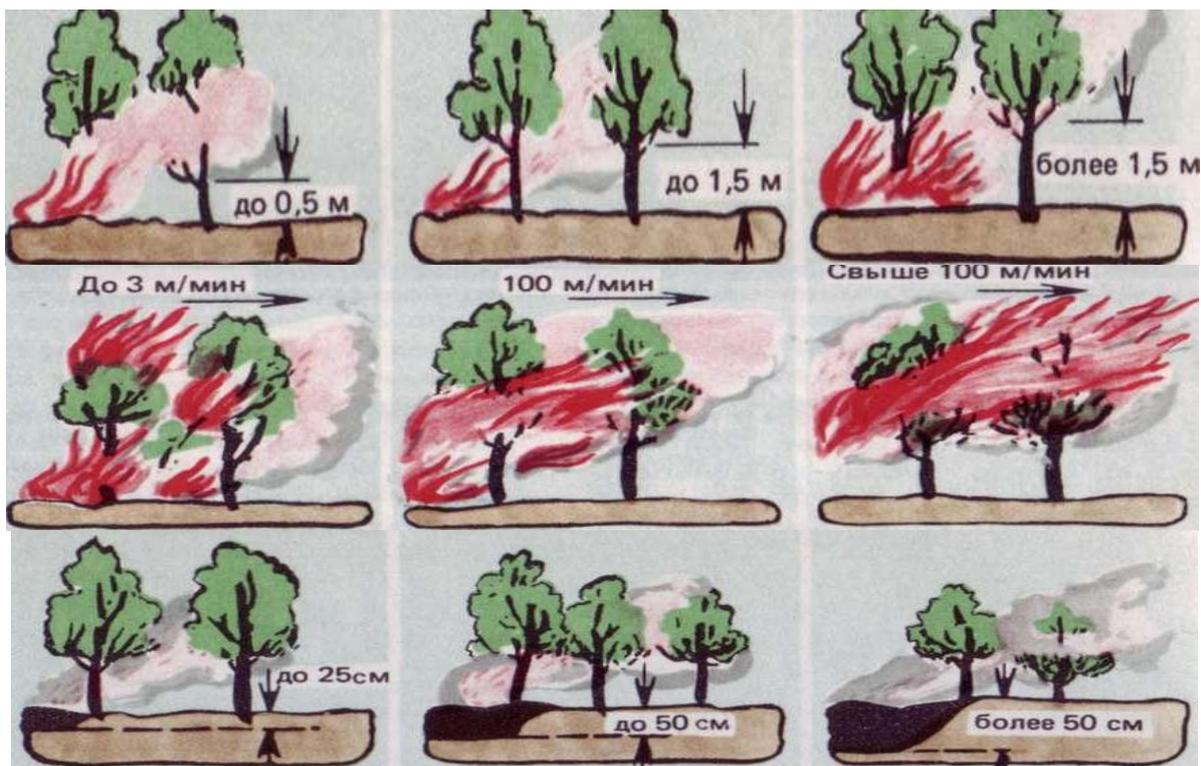


Рис. 4.3. Подразделение лесных пожаров

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 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 – 0,1 м/мин, а иногда и меньше. Высота слабого низового пожара – до 0,5 м, среднего – 1,5 м, сильного – свыше 1,5 м.

Слабым почвенным (подземным) пожаром считается такой, у которого глубина прогорания не превышает 25 см, средним – 25–50 см, сильным – более 50 см.

По площади, охваченной огнем, лесные пожары подразделяются на шесть классов:

- загорание – 0,2–0,1 га;
- малый пожар – 0,2–2,0 га;
- небольшой пожар – 2,1–20 га;
- средний пожар – 21–200 га;
- крупный пожар – 201–2000 га;
- катастрофический пожар – более 2000 га.

Особенности крупных лесных пожаров:

- возникновение 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 надпочвенного покрова (опавшие 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 пожары характеризуются быстро продвигающейся кромкой пламени и дымом светло-серого цвета, при этом быстро сгорает опад, подрост, подлесок.

Низовой беглый пожар характеризуется горением лесной подстилки, порубочных остатков, растительного покрова, коры нижней части деревьев, обнаженных корней, кустарника и подростка; скорость этого вида пожара, в зависимости от силы ветра, 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 горят 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 характеризуются сгоранием надпочвенного покрова и полосы древостоя. Эти пожары возникают из низовых как дальнейшая стадия их развития, причём низовой огонь – составная часть верхового пожара. Верховые пожары, как и низовые, имеют ясно выраженную кромку, а при ветре, кроме того, тыл, фланги и фронт. Фронт пожара продвигается в виде верхового огня. Кромка верховых пожаров в тыловой части представляет собой низовой огонь. Скорость их распространения достигает 25 км/ч. Развиваются они обычно из низовых пожаров в густых хвойных лесах, когда засуха сочетается с ветром. Верховые пожары, как и низовые, также могут быть беглыми и устойчивыми. При

устойчивых верховых пожарах 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 воспламенённого материала, летящих перед фронтом огня. При верховом устойчивом пожаре огонь, если нет ветра, распространяется в толще горючего материала (торфа), который частично или полностью сгорает до минерального слоя; деревья вываливаются и могут тоже сгорать полностью или частично, травяной покров иногда сохраняется и может желтеть.

Для беглых верховых пожаров характерен отрыв 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. При беглых пожарах распространение горения может опережать продвижение кромки низового пожара. Это происходит за счёт переноса ветром горящих искр и головней и образования новых очагов горения впереди фронта пожара.

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

Торфяные пожары – это подземные пожары. Они охватывают огромные площади. 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.

Степные (полевые) пожары возникают 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.

Конфигурация любых крупных пожаров неустойчива и зависит от направления и силы ветра, наличия участков с горючим материалом, водных рубежей, т. е. имеет вероятностный характер. В районах лесных пожаров возникают обширные зоны задымления, резко снижается видимость, нередко случаются случаи отравления людей и животных окисью

углерода. Природные пожары могут быть настоящей чрезвычайной ситуацией, особенно когда они парализуют коммуникации и задевают населенные пункты.

Скорость распространения фронта лесного пожара зависит отеговида, типа леса, класса пожарной опасности погоды, силы ветра и др. Средние скорости распространения фронта лесного пожара в зависимости от типа насаждений и вида пожара даны в таблице 4.2.

Таблица 4.2

Скорости распространения лесных пожаров в зависимости от вида насаждений и вида пожара

Вид насаждений	Вид пожара	Класс пожарной опасности погоды	Скорость распространения пожаров (в числителе – предел скорости, в знаменателе – средняя скорость, м/ч)			Примечание
			Фронт	Фланги	Тыл	
Первый класс горимости (чистые и с примесью лиственных пород хвойные насаждения, кроме лиственных насаждений)	Низовой	2	10–140/75	10–25/20	5–10/10	Минимальные скорости при ветре до 1 м/с, максимальные – более 6 м/с.
	Низовой	3–4	20–200/110	20–30/25	10–20/15	
	Верховой устойчивый	3–4	80–100/120	–	–	Верховой устойчивый пожар возникает при ветре менее 5 м/с
	Верховой беглый	3–4	3000–6000/4500	–	–	Верховой беглый пожар возникает при ветре более 5 м/с
	Почвенный	3–4	0,1	0,1	0,1	
Второй класс горимости (чистые и с примесью хвойных пород лиственные насаждения)	Низовой	2–4	120–1200/650	60–120/90	20–30/25	Минимальные скорости низовых пожаров при ветре до 1 м/с, максимальные – более 5 м/с
	Почвенный	3–4	0,1	0,1	–	

Оперативная оценка загазованности и задымления при крупномасштабных пожарах производится с учетом метеоусловий и данных о пожарной обстановке. Ожидаемые параметры среды приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3

Показатели среды при лесных пожарах

Характер лесного пожара	Концентрации			Т, °С	Опасная зона при пожаре, м	Длительность воздействия расчётной концентрации, мин
	СО, мг/л	СО, % об.	О <sub>2</sub> , % об.			
Почвенный	0,11	–	21	25	–	300
Низовой слабой интенсивности	0,55	0,2	20,7	30	до 7,0	5
Низовой сильной интенсивности	1,1	0,4	20,5	40	до 15	15
Верховой	0,33	0,15	20,8	30	до 140	до 30

### 4.3. Степные пожары

Степные (полевые) пожары возникают на открытых местностях при наличии сухой травы от созревших хлебов. Они носят сезонный характер, скорость распространения огня – 20–30 км/ч.

Степные пожары способствуют ветровой эрозии степных почв, а также деградации травяного покрова. Основной причиной степных пожаров являются антропогенные факторы, в том числе пал травы. Молнии и другие естественные факторы сравнительно редко являются причиной степных пожаров.

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

Степной пожар представляет серьезную опасность для людей и сельскохозяйственных животных.

В России степные пожары характерны для южных степных районов Поволжья, Урала, Сибири.

### 4.4. Торфяные пожары

Торфяные пожары представляют собой стадию развития низовых пожаров, либо переходят в низовой пожар при раздувании их ветром (рис. 4.4). При выгорании почвы под деревьями последние беспорядочно падают.

При наблюдении с воздуха границы недавно возникшего пожара плохо различимы, дым поднимается от всей площади возгорания, огня не видно.

Глубина горения торфа ограничивается лишь уровнем грунтовых вод или подстилающим минеральным грунтом. Торфяной пожар не боится осадков за счёт гидрофобности битумированных частиц торфа. При этом влага уходит в грунтовые воды мимо частиц торфа, а торф продолжает гореть вплоть до полного выгорания месторождения. Например, зимой 2002 года торфяники горели и под снегом, пока не началось весеннее половодье.

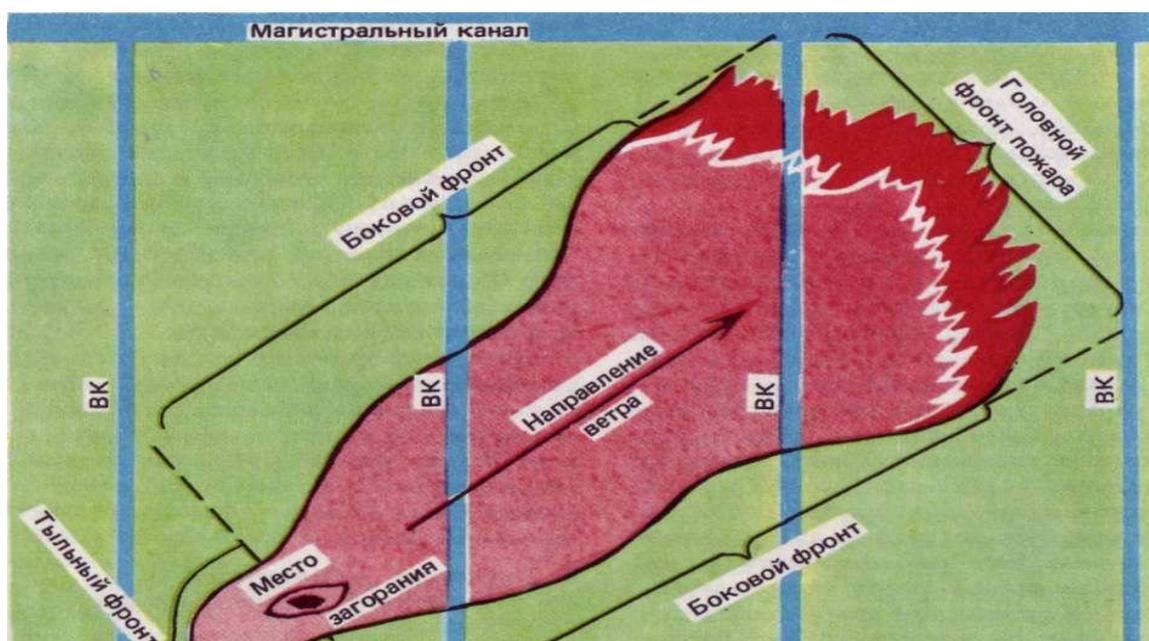


Рис. 4.4. Схема распространения торфяного пожара

Значительный (20-60%) процент возгораний наблюдается из-за грозовой активности — в частности, «сухих гроз» (удары молний без последующего ливня). По статистическим данным, от 1100 до 5100 пожаров на территории охраняемого лесного фонда возникают от молний; при этом огнём оказываются охвачены от 22 до 890 тыс. га, что почти в 3 раза превышает площадь от антропогенных источников огня. Пожары от молний могут быть труднодоступными из-за их удалённости от объектов инфраструктуры.

Торф может самовозгораться, если его влажность меньше 40%. В период массовых пожаров 2010 г. влажность торфа оценивалась в 28—30%.

#### *Тушение природных пожаров*

В борьбе с лесными пожарами большое значение имеет фактор

времени. От обнаружения лесного пожара до принятия решения по его ликвидации должно затрачиваться минимальное время. При этом важнейшей задачей является организация и подготовка сил и средств пожаротушения.

При направлении для тушения пожаров необходимых сил и средств необходимо учитывать возможную силу и скорость распространения пожара, и, особенно, степень пожарной опасности.

При тушении крупных пожаров необходимо максимально использовать уже имеющиеся в лесу рубежи и преграды, а также учитывать различную горючесть окружающих пожар участков, оперативно маневрировать силами и средствами, сосредоточивая их в первую очередь на выбранных «ключевых позициях», отрезая огню путь в наиболее опасные в пожарном отношении и ценные насаждения.

Лесные пожары, в основном, обнаруживают с наземных наблюдательных пунктов, а также при авиационном и наземном патрулировании лесов.

Работы по тушению крупного пожара можно разделить на следующие этапы: разведка пожара; локализация пожара, т. е. устранение возможностей нового распространения пожара; ликвидация пожара, т. е. дотушивание очагов горения; окарауливание пожарищ.

Разведка пожара включает в себя уточнение границ пожара, выявление вида и силы горения на кромке и ее отдельных частях в разное время суток. По результатам разведки прогнозируют возможное положение кромки пожара, ее характер и силу горения на требуемое время вперед.

На основании прогноза развития пожара, с учетом лесопирологической характеристики участков, окружающих пожар, с учетом возможных опорных линий (рек, ручьев, лощин и пр.), составляется план остановки пожара, определяют приемы и способы необходимых для этого действий.

Наиболее сложной и трудоемкой является локализация пожара. Как правило, локализация лесного пожара проводится в два этапа. На первом этапе осуществляется остановка распространения пожара путем непосредственного воздействия на его горящую кромку. На втором этапе прокладывают заградительные полосы и канавы, обрабатывают периферийные области пожара, чтобы исключить возможность возобновления. Локализованными считаются только те пожары, вокруг которых проложены заградительные полосы, либо когда имеется полная уверенность, что другие применявшиеся способы локализации пожаров не менее надежно исключают возможность их возобновления.

Дотушивание пожара заключается в ликвидации очагов горения,

оставшихся на пройденной пожаром площади, после его локализации.

Окарауливание пожарища состоит в непрерывном или периодическом осмотре пройденном пожаром площади и, в особенности, кромки пожара, с целью предотвратить возобновление распространения пожара. Окарауливание проводится путем систематических обходов по полосе локализации. Продолжительность окарауливания определяется в зависимости от условий погоды.

При тушении лесных пожаров применяются следующие способы и технические средства:

- окружение пожара или охват его с фронта или с тыла;
- устройство заградительных и минерализованных полос и канав на пути распространения огня;
- отжиг (пуск встречного низового и верхового огня) от опорной полосы;
- захлестывание огня по кромке пожара ветками;
- засыпка кромки пожара грунтом;
- тушение горячей кромки водой;
- применение химических веществ;
- искусственное вызывание осадков из облаков.

Заградительной называется полоса местности, с поверхности которой удалены лесные насаждения и горючие материалы; минерализованной – полосу местности, с которой удалены также и травяная растительность, лесная подстилка, вплоть до минерального слоя почвы.

Выбор способов и технических средств для тушения пожаров зависит от вида, силы и скорости распространения пожара, природной обстановки, наличия сил и средств пожаротушения и намеченных приемов тушения. Все пожары, независимо от их места и размеров, развиваются по одной общей закономерности. В развитии пожара выделяются три фазы.

Первая фаза – распространение пламени до охвата большей части горючих материалов. Эта фаза характеризуется сравнительно небольшой температурой и скоростью распространения пламени. В конце первой фазы наступает наиболее опасный период пожара, так как пламя достигает максимальных размеров, создается возможность его распространения на соседние объекты или слияния отдельных пожаров в один столб пламени. Скорость горения при этом относительно постоянна в течение продолжительного времени. На распространение пожара влияют внешние факторы: метеорологические условия и турбулентный обмен с вышерасположенными слоями атмосферы.

Вторая фаза – установившееся горение до момента разрушения материалов и обрушения конструкций.

Третья фаза – выгорание материалов и обрушенных конструкций.

Скорость горения в этот период невелика и тепловая радиация значительно снижается.

Пожар сопровождается химическими и физическими явлениями: химической радиацией горения, выделением и распространением продуктов сгорания, газовым обменом. Определяющее явление при пожаре – горение веществ и материалов. Горение может быть прекращено следующими способами:

- охлажденной водой, специальными растворами, углекислотой и другими огнетушащими веществами, которые отнимают часть тепла, идущего на поддержание горения;

- разбавлением реагирующих в процессе горения веществ водным паром, углекислым газом, азотом и другими газами, не поддерживающими горение;

- изоляцией зоны горения пенами, порошками, грунтом и т. п., прекращающими поступление горючих веществ или воздуха в зону горения;

- химическим торможением реакции горения специальными веществами.

Выбор способов и приемов прекращения горения зависит от условий и обстановки на пожаре, а также от наличия специальных подразделений (формирований) и технических средств, которые можно использовать для тушения. На основе анализа закономерностей развития процессов горения целесообразно применять соответствующие способы тушения. Например, открытые пожары тушатся способом охлаждения или изоляции, а горение нефтепродуктов в резервуарах – способом изоляции.

При тушении крупных и массовых пожаров территория разбивается на отдельные участки. Границы участков определяются с учетом удобства руководства подразделениями (формированиями). Они могут проходить по периметру и отдельным зонам пожара. При создании противопожарных разрывов работы по их оборудованию должны быть закончены до подхода огня к месту создаваемого разрыва.

Ликвидация лесного пожара складывается из остановки и локализации пожара, окончательной ликвидации очагов горения и охраны района пожарища (таблица 4.4) для предотвращения нового возгорания.

Полное окружение кромки пожара применяют при наличии достаточных сил и средств. При охвате пожара с фронта вначале тушится кромка пожара с фронта, а затем переходят на фланги. Иногда начинают тушить пожар охватом с тыла, постепенно продвигаясь к фронту.

При устройстве заградительных полос удаляют лесные насаждения и горючие материалы, находящиеся на поверхности земли. При создании минерализованной полосы удаляют всю растительность и подстилку до минерального слоя грунта. При слабом ветре ширина заградительной

полосы должно быть равна не менее двойной высоты пламени огня, а при сильном ветре – не менее 100 м.

Таблица 4.4

Оценочные данные по темпам выполнения инженерных работ при ликвидации последствий лесных пожаров

Виды работ	Объем работ, ед. объема в сутки
Инженерная разведка: местности; дорог; водоемов	2–5 км <sup>2</sup> 20–40 км 3–5
Эвакуация населения	2–5 тыс. человек
Продельвание проходов	10–12
Разработка завалов	0,1–0,5 км
Устройство колонных путей (дорог)	20–50 км
Обеспечение работ водой	до 10 <sup>3</sup> м <sup>3</sup> /сут.
Устройство минерализованных полос	10–20 км
Устройство траншей	10–20 км
Устройство противопожарных разрывов	30–60 км
Устройство рвов взрывным способом	10–20 км
Создание противопожарных полос	3–6 км
Устройство просек	10–20 км

Одним из способов борьбы с лесными пожарами является отжиг – искусственно вызванный контролируемый огонь, направленный в сторону пожара. Отжиг применим при локализации и тушении верховых и низовых пожаров. Пуск отжига производится от имеющихся на лесной площади рубежей (дорог, троп, рек, озёр, ручьёв и других естественных или искусственно созданных преград), а при отсутствии таких преград – от опорных полос, специально проложенных с помощью взрывчатых веществ, техники или растворов химических веществ. В качестве опорной полосы используют полосу местности, которую очищают от горючих материалов. При выборе рубежа опорной полосы учитывают направление движения огня, расстояние до его кромки, характер древостоя и надпочвенного покрова, наличие сил и средств для тушения пожаров.

Опорная полоса должна быть шириной не менее 30 м. Убираемые с опорной полосы валежник, деревья, кустарник, складывают вдоль полосы на стороне, обращенной к пожару. Когда начнет ощущаться тяга воздуха в сторону пожара, заготовленные здесь горючие материалы поджигаются по всей кромке опорной полосы. Огонь отжига, пущенный навстречу лесному пожару, создает широкую выжженную полосу, которая останавливает его распространение. Ширина выжженной полосы перед фронтом интенсивного низового пожара должна быть не менее 10 м, а перед

верховым – 50 м. Целесообразное время проведения работ по остановке пожаров – вечер и раннее утро.

Ориентировочные характеристики работ при борьбе с лесными пожарами приведены в таблице 4.5. Примерные затраты времени на выполнение отдельных работ по тушению лесных пожаров изложены в таблице 4.6.

Таблица 4.5

Характеристики работ при локализации лесных пожаров и потребности в силах и средствах на их выполнение

Виды работ	Характеристика	Затраты сил и средств	
		чел./час	маш./час
Устройство 1 км минерализованных и заградительных полос:  в лесу; на открытой местности; в мелколесье	ширина 8 м	10	8,0 (БАТ)*
	4 м	1,0	0,25 (БАТ)
	8 м	8,0	0,0 (БАТ)
Расширение 1 км противопожарных полос: разрыв в лесу до 50 м; то же, в мелколесье	10–50 м	50	40,0 (БАТ)
	10–50 м	25	20,0 (БАТ)
Отрывка 1 км траншей (канав) после прохода путепрокладчика	Глубина 1,5 м	2,0	3,0 (БТМ)**
Устройство 0,1 км заградительного рва взрывным способом	Глубина 1,5–3м, ширина по верху 5–10 м	200	600–800 кг ВВ***
Устройство 0,1 км просеки в лесу с раскряжевкой и складированием леса	ширина 20 м	100	4 мотопилы
Тушение 1 га низового пожара присыпкой грунта вручную	–	20	–
Создание 0,1 км противопожарной полосы вручную в мелколесье	ширина 25–0 м	20	–
Тушение кромки огня низового пожара шириной 0,1 км водой	–	2	2

Примечание: \*БАТ – бульдозер на артиллерийском тягаче; \*\*БТМ – быстроходная траншейная машина; \*\*\*ВВ – взрывчатое вещество.

Таблица 4.6

Затраты времени на выполнение отдельных видов работ по тушению лесных пожаров

Виды работ	Продолжительность
Тушение огня захлёстыванием (группой из 3–5 человек по кромке протяжённостью 100 м)	4–5 мин
Засыпка кромки пожара грунтом (одним человеком 10 м)	10–20 мин

Виды работ	Продолжительность
кромки)	
Удаление напочвенного покрова и подстилки (одним человеком на 100 м полосы шириной 1 м)	1,4–2 часа
Прокладка канавки лопатой (одним человеком на 100 м канавки шириной 0,3–0,4 и глубиной 0,2–0,3 м)	4–5 часов
Прокладка одинарной заградительной минерализованной полосы тракторными плугами и специальной техникой (группой из 3–5 чел на 100 м полосы)	5–7 мин
Прокладка заградительной полосы или опорной полосы с помощью взрывчатых веществ на подготовленной трассе (группой из 4 взрывников на 100 м полосы)	20–30 мин
Тушение пожара водой из местного водоисточника на 100 м кромки пожара (бригадой из 6 человек: машинист насосной установки, рабочий, два ствольщика и два подносчика рукавов)	20–40 мин
Сплошное тушение очагов водой из местного водоисточника на площади 1 га	3–5 часов
Тушение химикатами кромки пожара с помощью ранцевых опрыскивателей (одним человеком 100 м кромки)	5–10 м

Тушение торфяных подземных пожаров чрезвычайно сложно. Сложность заключается в том, что торф горит во всех направлениях ветра. Поэтому основной способ тушения таких пожаров – окапывание горячей территории со всех сторон оградительными канавами шириной не менее 0,7 м и глубиной до минерального грунта или грунтовых вод.

Степные и полевые пожары тушат захлестыванием кромки огня метлами и заливом водой. Степные пожары распространяются очень быстро (до 25 км/ч), поэтому для их тушения требуется большое число людей. При тушении степных пожаров на пути движения огня устраивают заградительные полосы шириной до 20 м.

При организации тушения любых пожаров необходимо провести разведку, оценить обстановку и выработать план тушения пожара.

Для проведения пожарной разведки назначаются и готовятся пожарные разведгруппы. Они, как правило, состоят из одного – двух отделений по 6–8 человек на машинах повышенной проходимости и ведут разведку непрерывно до полного завершения работ.

Задачи пожарных разведгрупп:

- определять местонахождение людей, устанавливать степень опасности для их жизни и выявлять пожарную обстановку в местах ведения спасательных работ;
- устанавливать пути распространения пожара;
- определять рубежи безопасности, локализации пожара, ввода подразделений (формирований) для его тушения, пути и способы эвакуации людей и материальных средств;

– уточнять необходимую потребность в силах и технических средствах для тушения пожара;

– устанавливать степень опасности распространения пожара, возможность взрывов и разрушений.

Оценка обстановки включает: определение характера пожара, времени и продолжительности, наличия и потребности огнеопасных средств, потребности и возможности по привлекаемым к тушению силам и техническим средствам, установление направлений действий как в начальный момент, так и с учетом возможного изменения обстановки. При этом учитываются размер, вид, место, интенсивность горения, огнестойкость горючих материалов, а также все те условия, которые могут затруднять действия личного состава: задымление территории прилегающей к пожару; действие теплового излучения; загромождённость проездов и выездов; отсутствие подъездов к источникам водоснабжения и т. п.

Условия, способствующие быстрому распространению огня, включают: наличие ветра, скопление сгораемого имущества и материалов, наличие и возможность взрывов паро-, газо-, пылевоздушных смесей, отсутствие достаточных разрывов между горючими материалами, деформация и обрушение отдельных конструктивных элементов сооружений и т. п.

Решение о способах тушения пожаров принимают на основании данных разведки, оценки сложившейся обстановки и учета имеющихся сил и технических средств. Решение должно включать: выбор средств, способов и приемов тушения; перечень задач, на решение которых необходимо сосредоточить основные усилия; выделяемые силы и средства на каждом направлении; последовательность выполнения задач; возможный маневр силами и средствами; определение конкретных задач подразделениям (формированиям) и вопросы их взаимодействия; организацию связи и управления; меры безопасности.

При принятии решения учитываются следующие обстоятельства:

– если огонь угрожает жизни людей, то основные усилия сосредоточиваются на обеспечении их безопасности и спасения;

– если в зоне горения находятся взрывчатые вещества и материалы, то основные силы и средства сосредоточиваются на мероприятиях по предупреждению взрыва; затем все силы и средства переносятся на локализацию пожара с целью препятствия распространению огня;

– если для тушения пожара имеющихся в наличии сил и средств недостаточно, то до прибытия дополнительных сил и средств все усилия направляются на сдерживание дальнейшего распространения огня.

При организации работ в зоне пожара все участники его ликвидации должны быть обеспечены специальной одеждой, касками,

противодымными масками или противогазами со специальными патронами для защиты от окиси углерода. В каждой группе должны быть: проводник, хорошо знающий местность; наблюдатель, следящий за направлением распространения огня, падающими деревьями, осуществляющий связь со штабом пожаротушения по средствам связи. Каждый участник работ по тушению пожара должен знать возможные укрытия от огня, пути подхода к ним и пути эвакуации из зоны пожара, а также характерные ориентиры на местности. При использовании для тушения пожара техники необходимо исключить опасность возгорания этой техники, для чего необходимо: работать группой в составе не менее двух машин и механизмов; использовать технику преимущественно на гусеничном ходу; устанавливать ее на некотором удалении от фронта горения и др.

Перед началом пуска отжига необходимо убедиться, что между линией отжига и фронтом пожара нет людей и машин. В тылу отжига необходимо оставлять патрульных для ликвидации возможных очагов образующегося огня.

К работе со специальными аппаратами и техникой должны допускаться специально подготовленные люди, а при проведении взрывных работ следует соблюдать специальные правила безопасности.

#### *Профилактика лесных и торфяных пожаров*

Профилактика лесных пожаров требует ряда организационных и технических мероприятий, связанных, в первую очередь, с проведением противопожарных профилактических работ, направленных на предупреждение возникновения, распространения и развития лесных пожаров. Для предупреждения распространения лесных пожаров предусматривают осуществление ряда лесоводческих мероприятий (санитарные рубки, очистка мест рубок леса и др.), а также проведение специальных мероприятий по созданию системы противопожарных барьеров в лесу и строительству различных противопожарных объектов. Лесные пожары можно предупредить, если очистить его от сухостоя и валежника, устранить подлесок, проложить две–три минерализованные полосы с расстоянием между ними 50–60 м, а напочвенный покров между ними периодически выжигать. Для лесопожарной профилактики проводится подготовка технических средств пожаротушения, организуются лесопожарные формирования, службы охраны лесов, создаются специальные (чрезвычайные) комиссии по борьбе с лесными пожарами.

Для повышения противопожарной устойчивости торфопредприятий территорию полей добычи и торфа делят на отдельные участки, устраивая между ними противопожарные разрывы; обеспечивают поля

узкоколейными дорогами, проездами для транспортных средств и механизмов, а также проходами для эвакуации людей. Между участками добычи и сушки торфа и прилегающими к ним лесными массивами также устраиваются противопожарные разрывы, которые очищаются от растительности. Ширина разрывов не менее 75–100 м. По внутреннему краю разрыва отрывают канал. В жаркие дни противопожарные разрывы периодически увлажняют.

На местах его складирования и хранения проводится ряд специфических мер, исключая процесс самовозгорания: торф своевременно вывозят потребителям; охлаждают и уплотняют в штабелях; изолируют очаги саморазогревания от проникновения воздуха; контролируют температуру в штабелях.

Небольшие очаги пожаров на торфопредприятиях ликвидируются силами и средствами самого предприятия. Крупные пожары ликвидируются с привлечением дополнительно территориальных сил и средств. Организация работ по тушению торфяных пожаров в целом аналогична организации работ по тушению лесных пожаров. Наиболее распространенным способом борьбы с торфяными пожарами является тушение горящего торфа водой. В целях повышения коэффициента использования воды в нее добавляют небольшое количество смачивателей, благодаря применению которых время тушения пожаров уменьшается в 4–5 раз, а глубина пропитки увеличивается в 8–10 раз, что предотвращает повторное загорание торфа. Подачу воды производят специальными приспособлениями (торфяные стволы), заглубляемыми в торфяную залежь у кромки горения по всему периметру, что обеспечивает надёжное тушение пожара. После ликвидации горения торф укатывают, при необходимости смачивая водой.

Для локализации очагов пожаров на путях распространения огня устраиваются заградительные полосы и канавы.

Меры безопасности при тушении торфяных пожаров в основном те же, что и при тушении лесных пожаров, однако, имеются особенности. При передвижении по торфяному полю следует опасаться провалов в горящий торф, так как пораженный горением торфяной участок тлеет изнутри и не имеет заметных признаков горения снаружи. Поэтому при передвижении необходимо постоянно прощупывать шестом торфяной грунт по направлению движения. Следует учитывать возможность неожиданных прорывов огня из подземных очагов торфяного пожара.

#### *Рекомендации по защите населения при лесных и торфяных пожарах*

Опасность лесных пожаров для людей связана не только с прямым действием огня, но и с большой вероятностью отравления из-за сильного

обескислороживания атмосферного воздуха, резкого повышения концентрации угарного газа, окиси углерода и других вредных примесей.

Поэтому основными мерами защиты населения от лесных пожаров являются:

- спасение людей и сельскохозяйственных животных с отрезанной огнем территории;
- исключение пребывания людей в зоне пожара путем проведения эвакуации из населенных пунктов, объектов и мест отдыха;
- ограничение въезда в пожароопасные районы;
- тушение пожаров;
- обеспечение безопасного ведения работ по тушению пожаров.

При пожарах в городах, на торфяниках и в лесах на людей, находящихся на открытом воздухе и в сооружениях, будут действовать следующие опасные факторы пожара (ОФП):

- непосредственное воздействие огня (горение);
- высокая температура газовой среды;
- теплоизлучение от пламени;
- задымление и загазованность.

На людей, находящихся в зоне пожара, могут действовать одновременно несколько факторов. Для выбора вариантов защиты населения опасные факторы пожара удобно разделить на две группы:

- связанные с тепловым воздействием (огонь, температура среды, теплоизлучение);
- действующие в образующихся при пожарах обширных зонах задымления и загазованности токсичными продуктами горения.

Если действие тепловых ОФП относительно быстротечно (период активного горения) и имеет ограниченный радиус (до нескольких десятков метров), то сформировавшиеся при пожарах зоны загазованности могут охватывать многокилометровые территории и сохраняться в силу определенных погодных условий длительное время (до нескольких суток).

Комплексное воздействие ОФП на людей диктует малые значения допустимого времени пребывания в зоне пожара, требует его экстренной локализации и тушения. Тем более что средства индивидуальной защиты в зонах загазованности неэффективны вследствие значительного содержания в продуктах горения оксида углерода.

Для защиты населения в случае возникновения и развития крупномасштабного и распространяющегося пожара могут быть эффективны следующие основные мероприятия:

- самостоятельно проводимая пешая, а также с использованием личного и общественного транспорта, эвакуация из опасной зоны (самостоятельный выход населения из опасной зоны);

- проведение спасательных и других неотложных работ;
- эвакуация населения транспортом (организованный вывод);
- укрытие населения в защитных сооружениях.

Варианты комплексов защитных мероприятий при крупномасштабных пожарах.

#### Вариант защиты № 1

При оповещении о приближении фронта пожара сообщается направление его движения и время, которое имеется в распоряжении населения для принятия соответствующих мер. Люди, находящиеся в непосредственной близости от фронта пожара, самостоятельно выходят из зоны воздействия ОФП и действуют в соответствии с поступающей информацией.

#### Вариант защиты № 2

В очагах крупномасштабных пожаров проводятся спасательные и другие неотложные работы, направленные на защиту населения, локализацию и ликвидацию стихии, снижение ее негативных последствий.

#### Вариант защиты № 3

При угрозе образования зон задымления и загазованности, в которых концентрация токсичных продуктов горения превышает предельно допустимую, а также при угрозе достижения фронтом пожара населенных пунктов, организуется эвакуация населения из опасной зоны. После оповещения люди собираются по месту постоянного жительства или в установленных пунктах посадки на транспортные средства. Производится организованный вывод населения в безопасные районы.

#### Вариант защиты № 4

Население после оповещения самостоятельно выходит из зоны воздействия ОФП. Силы РСЧС спасают население, оказавшееся в очаге пожара, локализуют его и тушат.

#### Вариант защиты № 5

Население после оповещения самостоятельно выходит из опасной зоны в указанном направлении. Осуществляется подготовка и подача транспортных средств к конечным пунктам движения населения. Производится организованный вывод людей в безопасные районы.

#### Вариант защиты № 6

Силы РСЧС осуществляют спасательные и неотложные работы в районе очага пожара и действия ОФП. После оповещения население тех населенных пунктов, которым угрожает распространяющийся пожар, собирается по месту жительства и местам посадки на транспортные средства. Затем – выезд в безопасные районы.

#### Вариант защиты № 7

Силы РСЧС осуществляют спасательные и неотложные работы в

районе очага пожара и действия ОФП. После оповещения население тех населенных пунктов, которым угрожает распространяющийся пожар, самостоятельно выходит из опасной зоны в указанном направлении. К конечным пунктам движения населения подаются транспортные средства. Производится организованный вывоз населения в безопасные районы.

#### Вариант защиты № 8

После оповещения население в течение времени, необходимого для приведения защитных сооружений в готовность, собирается по месту жительства. Затем – организованное движение к защитным сооружениям. После пребывания в них при режиме полной изоляции в течение необходимого времени население возвращается по домам.

#### Вариант защиты № 9

Население после оповещения укрывается в защитных сооружениях. После пребывания в них в течение нормативного времени в режиме полной изоляции население самостоятельно выходит из опасной зоны.

#### Вариант защиты № 10

Силы РСЧС осуществляют спасательные и неотложные работы в районе очага пожара и действия ОФП. После оповещения население укрывается в защитных сооружениях в течение действия режима полной изоляции. Далее население самостоятельно выходит из опасной зоны.

#### Вариант защиты № 11

Силы РСЧС осуществляют спасательные и неотложные работы в районе очага пожара и действия ОФП. После оповещения население укрывается в защитных сооружениях в течение действия режима полной изоляции. Далее население самостоятельно выходит из опасной зоны. После подачи транспорта население эвакуируется в безопасные районы.

#### Вариант защиты № 12

Силы РСЧС осуществляют спасательные и неотложные работы в районе очага пожара и действия ОФП. Население укрывается в защитных сооружениях в течение действия режима полной изоляции. После подачи транспорта население эвакуируется в безопасные районы.

Предложенные варианты и характеристики защитных мероприятий сведены в таблицу 4.7. Выбор вариантов при крупномасштабных пожарах проводился при следующих допущениях. При прогнозировании пожарной обстановки предполагались наиболее жесткие условия, т. е. принимались максимальные значения скоростей распространения огневого фронта и концентрации продуктов горения.

Таблица 4.7

Характеристика вариантов по защите населения  
при крупномасштабных пожарах

Вариант	Наличие способов защиты в данном варианте			
	самостоятельный выход	спасательные и неотложные работы	организованная эвакуация	укрытие в защитном сооружении
1	+	–	–	–
2	–	+	–	–
3	–	–	+	–
4	+	+	–	–
5	+	–	+	–
6	–	+	.	+
7	+	+	+	–
8	–	–	–	+
9	+	–	–	+
10	+	+	–	+
11	+	+	+	+
12	–	+	+	+

В качестве основного отравляющего компонента продуктов горения брался оксид углерода. Метеоусловия: устойчивость атмосферы – инверсия; время суток – ночь; сезонность – лето; скорость ветра – более 1 м/с. Считалось, что требующий защиты населенный пункт находится по следу распространения продуктов горения и огневого фронта. Время оповещения населения принималось как сумма времени получения, обработки, передачи и доведения сигналов до населения – 6 мин. Скорость движения людей (средняя) – 80 м/мин. Длительность пребывания людей в защитных сооружениях в режиме полной изоляции 6–12 ч.

Для определения рационального варианта защиты населения при крупномасштабных пожарах целесообразно разделить территорию вокруг очага пожара на кольцевые участки. Деление производится с помощью концентрических окружностей с переменным шагом  $d_r = 1, 1, 1, 1, 1, 2, 2, 3, 5, 5$  и т. д. Анализ обстановки при пожарах показал: необходимость проведения мероприятий по защите населения от поражающих факторов возникает не только в непосредственной близости от фронта пожара. Образовавшиеся при крупномасштабных лесных и торфяных пожарах обширные зоны загазованности могут охватывать многокилометровые зоны, размеры которых зависят от площади и вида пожаров, а также метеорологической обстановки. Для зоны загазованности можно (как и при авариях на химически опасных объектах с выбросом токсичных и

ядовитых веществ) взять круг радиусом 20 км. За пределами указанной зоны маловероятно возникновение ситуаций, требующих введения экстренных мер защиты.

Статистические данные показывают: после получения сообщения о пожаре до подачи средств пожаротушения проходит в среднем 15 мин. Этот интервал принимается в качестве минимального времени свободного развития пожара.

Важной характеристикой является время подхода к населенному пункту поражающих факторов, действующих во фронте пожара (тепловое излучение, температура, продукты горения). В качестве интервалов выбраны: 0–15, 15–60 и > 60 мин. Формирование зоны загазованности обычно происходит постепенно. В связи с этим для данного поражающего фактора более характерным является продолжительность воздействия.

За начальную площадь пожара принимался его очаг на момент принятия решения о проведении защитных мероприятий. В этом случае, рассматривая концентрические зоны вокруг очага, можно планировать и осуществлять выбор рационального варианта мероприятий. Зная расстояние от очага до населенного пункта, можно прогнозировать параметры пожарной обстановки через заданные промежутки времени и в соответствии с этим проводить эффективные защитные мероприятия.

Приближенные к очагу пожара зоны 0–5 км характеризуются возможностью быстрого распространения огня до населенного пункта (0–15 мин) как за счет непосредственного движения огневого фронта, так и переноса горящих частиц (до 3 км). Поэтому в данных зонах эффективны оперативные мероприятия – самостоятельный выход с дальнейшим или одновременным проведением спасательных и неотложных работ.

Время прихода огневого фронта в зоны, расположенные на расстоянии 5–10 км от очага пожара, будет превышать 15 мин. Наиболее эффективны в этом случае работы по локализации и тушению, если огонь невозможно остановить, самостоятельный выход и организованная эвакуация.

В населённых пунктах, удалённых от очага пожара на расстояние больше 10 км, наиболее вероятным и опасным будет воздействие на людей продуктов горения. Поскольку время создания опасных концентраций может превышать 1 ч, целесообразна организованная эвакуация. Разумеется, не обойтись без осуществления неотложных работ по локализации и тушению пожаров.

Таким образом статистика чрезвычайных ситуаций показывает, что в России доля природных пожаров и вызываемых ими чрезвычайных ситуаций составляет приблизительно 24% от общего числа чрезвычайных

ситуаций природного характера. Таким образом, проблема природных пожаров является одной из серьезных и требующих особого внимания. Для решения этой проблемы необходимо улучшить технику и оборудование МЧС для тушения пожаров. В густонаселенных районах России нужно при планировании и ведении лесного хозяйства уходить от культур, особенно опасных в пожарном отношении. Должна быть создана эффективная национальная система спутникового мониторинга пожаров, обеспечивающая прямой прием спутниковой информации всеми как государственными, так и независимыми, в том числе – общественными принимающими станциями.

С целью предупреждения и профилактики природных пожаров ограничиваются площади их распространения, осуществляется эвакуация населения из опасной зоны, производится защита животного и растительного мира. Для успешного тушения пожаров разработана и реализуется единая система государственных и общественных мероприятий, названная пожарной профилактикой. Пожарная профилактика достигается:

- разработкой, внедрением и контролем за соблюдением пожарных норм, правил и ГОСТ;
- совершенствованием системы подготовки специалистов, населения, технических средств пожаротушения;
- проведением регулярных пожарно-технических обследований территорий и объектов;
- проведением пропаганды пожарно-технических знаний среди населения.

### **Контрольные вопросы**

1. Природные пожары и их характеристика.
2. Возникновение и развитие лесных пожаров.
3. Возникновение и развитие степных пожаров.
4. Возникновение и развитие торфяных пожаров.
5. Защита населения при лесных и торфяных пожарах.

## Глава 5. ОПАСНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ

Атмосфера (от др. греч. «атуос» – пар и «сфера» – шар) - газовая оболочка (геосфера), окружающая планету Земля (рис. 5.1). Внутренняя её поверхность покрывает гидросферу и частично кору, внешняя граничит с околосферной частью космического пространства.

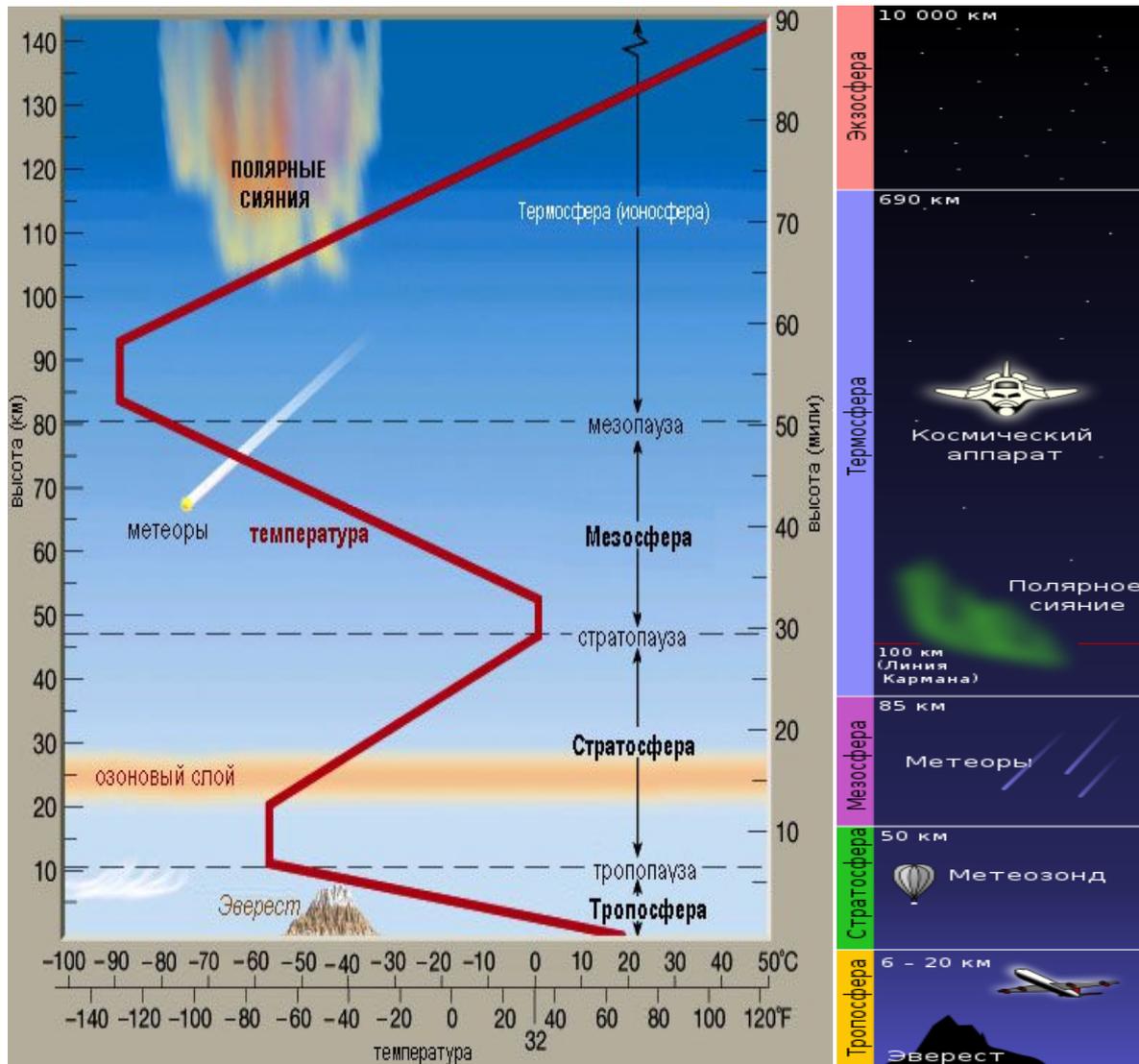


Рис. 5.1. Строение атмосферы

Атмосфера по характеру изменения температуры с высотой, делится на несколько сфер: тропосфера, стратосфера, мезосфера, термосфера, экзосфера (таблица 5.1).

Таблица 5.1

## Сферы атмосферы по характеру изменения температуры с высотой

Название слоя	Высота верхней границы	Характеристика слоя
Тропосфера	8—10 км в полярных, 10—12 км в умеренных и 16—18 км в тропических широтах; зимой ниже, чем летом	Нижний основной слой атмосферы. Содержит более 80% всей массы атмосферного воздуха и около 90% всего имеющегося в атмосфере водяного пара. В тропосфере сильно развиты турбулентность и конвекция, возникают облака, развиваются циклоны и антициклоны. Температура убывает с ростом высоты, со средним вертикальным градиентом 0,65/100 м
Тропопауза	—	Переходной слой между тропосферой и стратосферой; толщина колеблется от нескольких сотен метров до 1-2 км. Зимой тропопауза ниже, чем летом; кроме того, высота тропопаузы колеблется при прохождении циклонов и антициклонов. Средняя температура над полюсом зимой около -65°C, летом около -45°C; над экватором весь год около -70°C и ниже
Стратосфера	50-55 км	Температура с ростом высоты возрастает до уровня 0°C. Малая турбулентность, ничтожное содержание водяного пара, повышенное по сравнению с ниже- и вышележащими слоями содержание озона (максимальная концентрация озона на высотах 20-25 км)
Стратопауза	—	Пограничный слой атмосферы между стратосферой и мезосферой. В вертикальном распределении температуры имеет место максимум (около 0°C)
Мезосфера	80—85 км	Температура с высотой понижается со средним вертикальным градиентом (0,25-0,3)/100 м. Основным энергетическим процессом является лучистый теплообмен. Сложные фотохимические процессы с участием свободных радикалов, колебательно возбуждённых молекул и т. д. обуславливают свечение атмосферы
Мезопауза	—	Переходной слой между мезосферой и термосферой. В вертикальном распределении температуры имеет место минимум (около -90°C)
Термосфера	Ок. 800 км	Температура растёт до высот 200 — 300 км, где достигает значений порядка 1500 К, после чего остаётся почти постоянной до больших высот. Под действием ультрафиолетовой и рентгеновской солнечной радиации и

Название слоя	Высота верхней границы	Характеристика слоя
		космического излучения происходит ионизация воздуха — основные области ионосферы лежат внутри термосферы. На высотах свыше 300 км преобладает атомарный кислород
Экзосфера (сфера рассеяния)	—	Внешний слой атмосферы, из которого, быстро движущиеся лёгкие атомы водорода могут вылетать (ускользнуть) в космическое пространство. Температура достигает уровня более 3000 К. На больших расстояниях от Земли (2 - 3 тыс. км и более) нейтральную экзосферу образуют почти исключительно атомы водорода, на более низких высотах заметную долю составляют атомы гелия, а ещё ниже — также и атомы кислорода

Атмосферные процессы порождают опасные природные явления метеорологического характера (рис. 5.2).

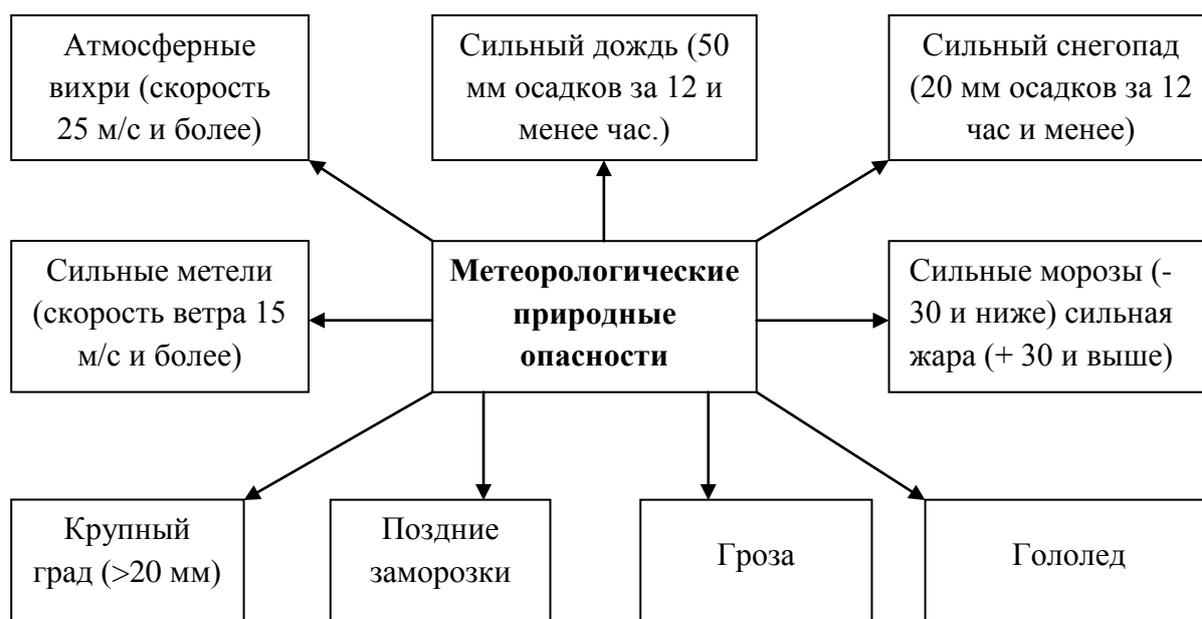


Рис. 5.2. Опасные природные явления метеорологического характера

### 5.1. Общая характеристика опасных процессов в атмосфере

Сильные ветры, значительные перепады атмосферного давления и большое количество осадков могут вызвать разрушения и человеческие жертвы. Опасные атмосферные явления связаны с возможностью образования циклонов, ураганов и торнадо, кинетическая энергия  $E$  которых дана в таблице 5.2.

Таблица 5.2

## Энергия катастрофических атмосферных явлений

Опасные явления	$E$ , Дж
Пылевые смерчи	$4 \cdot 10^7$
Торнадо	$4 \cdot 10^{10}$
Шквалы	$4 \cdot 10^{12}$
Ураганы	$4 \cdot 10^{16}$
Циклоны	$4 \cdot 10^{17}$

Опасные атмосферные вихри. В порядке уменьшения энергии и размеров к ним относятся циклоны, тайфуны, шквалы, смерчи (торнадо). Они зарождаются вокруг мощных восходящих потоков теплого влажного воздуха (циклоны и тайфуны – над океанами), быстро вращаются против часовой стрелки 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.

Циклон – общее название вихрей с пониженным давлением в центре. Это вихревое движение вызывается сочетанием двух сил:

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

- силой Кариолиса, которая представляет собой стремление любого движущегося тела на Земле или на ее поверхности отклоняться в сторону из-за вращения Земли. В Северном полушарии отклонение идет вправо от направления движения, а в Южном – влево. Сочетание этих двух сил образует циклоническую модель.

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 не только циклонов, но и вообще ураганов.

Циклоны могут иногда достигать в поперечнике 800 км и больше, хотя такие размеры являются редкими.

Циклоны обычно делят на две главных 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, и они движутся с преобладающими ветрами с запада на восток.

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

Факторами опасности при различных атмосферных вихрях являются, прежде всего, сильные ветры и интенсивные осадки.

Разрушительная способность ветра выражается в условных баллах и зависит от скорости.

## 5.2. Циклоны и бури

Для циклонов средних широт (ураганы) характерен диаметр порядка 1000 км, максимум 4000 км, существуют они до 3–4 недель, за которые проходят расстояния до 10 тыс. км, в том числе до 5–7 тыс. км над сушей со скоростью обычно 30–40 км/ч, редко до 100 км/ч. Над Северной Атлантикой циклоны рождаются круглый год и движутся в Евразию. Ежегодное их число – несколько сотен, но лишь в единичных циклонах скорость ветра достигает ураганной на побережьях Западной Европы и снижается до штормовой в Восточной Европе; на дальнейшем пути они проявляются в виде обильных осадков. Наиболее вредоносны циклоны в зимнее время, когда, помимо прочего, они сопровождаются тяжелыми снегопадами. Длительность штормового ветра при прохождении циклонов в Евразии – от немногих часов до трех суток в Западной Европе.

По среднему многолетнему числу создаваемых ими стихийных бедствий ураганы занимают второе место после наводнений; по числу жертв – первое место (в 1947–1977 гг. – почти 70% жертв), лишь в отдельные периоды, уступая его иным видам природных ЧС; по наибольшей разовой величине экономического ущерба (десятки млрд долл.) ураганы входят в ведущую группу чрезвычайных ситуаций вместе с наводнениями, землетрясениями, засухами. Число жертв при ураганах достигает сотен тысяч (300 тыс. в Бангладеш, 1970 г., когда гребни волн достигали отметок 50 м, и было залито более 2/3 площади страны), чаще измеряется сотнями – тысячами в густонаселенной Азии, десятками – сотнями в других районах.

Ураган – ветер большой разрушительной силы и значительной

продолжительности. Ураган – атмосферные вихри больших размеров со скоростью ветра до 120 км/ч, а в приземном слое – до 200 км/ч. Скорость ветра является важной характеристикой урагана, которая для удобства выражается в баллах (таблица 5.3). Важными характеристиками, необходимыми для прогнозирования ураганов, являются скорость и путь перемещения циклона, являющегося источником ураганного ветра.

Ураганы обусловлены некоторой неустойчивостью атмосферы, связанной с притоком теплого влажного воздуха. Восходящее его движение 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 ( $\rho$ ) на квадрат скорости ( $v^2$ ) воздушного потока ( $g = 0,5\rho v^2$ ).

Максимальное нормативное значение ветрового давления для территории России составляет 0,85 кПа, что при плотности воздуха 1,22 кг/м<sup>3</sup> соответствует скорости ветра:

$$\frac{2g}{\rho} = \sqrt{\frac{2 \cdot 850}{1,22}} = 37,3 \text{ м/с (134 км/ч)}.$$

Для сравнения: приведем расчетные значения скоростного напора, использованные при проектировании атомной станции в районе Карибского бассейна: для сооружений I категории – 3,44 кПа, II и III категории – 1,75 кПа и для открытых установок – 1,15 кПа.

Таблица 5.3

### Шкала ветров

Баллы	Скорость ветра		Характеристика ветра(название ветрового режима)	Признаки
	м/с	км/час		
0	0	0	Штиль (полное затишье)	Дым идёт прямо
1	0,9	3,24	Тихий	Дым изгибается
2	2,4	8,64	Лёгкий	Листья шевелятся
3	4,4	15,84	Слабый	Листья двигаются
4	6,7	24,12	Умеренный	Листья и пыль летят

Баллы	Скорость ветра		Характеристика ветра(название ветрового режима)	Признаки
	м/с	км/час		
5	9,3	33,48	Свежий	Тонкие деревья качаются
6	12,3	43,30	Сильный	Качаются толстые ветки
7	15,5	55,8	Крепкий	То же
8	19,1	68,8	Буря	Стволы деревьев изгибаются
9	22,9	79,41	Шторм, буря	Ветви ломаются
10	26,4	95,0	Сильный шторм	Черепица и трубы срываются
11	30,5	110	Жестокий шторм	Деревья вырываются с корнем
12	34,8	122	Ураган	Везде повреждения
13	39,2	145	Сильный ураган	Большие разрушения
14	43,8	158	Сильный ураган	Большие разрушения
15	48,6	175	Жестокий ураган	Большие разрушения
16	53,6	193	Жестокий ураган	Большие разрушения
17	>58	<200	Жестокий ураган	Большие разрушения

Большую опасность представляет действие обильных дождевых осадков. Как правило, действие урагана сопровождается сильными ливнями, иногда опаснее его самого. Велика также разрушительная сила ударов от предметов, уносимых ураганным ветром. Разрушения и человеческие жертвы связаны также со штормовыми волнами, обрушивающимися на прибрежные участки суши. Основными разрушительными факторами урагана являются высокая скорость ветра, скоростной напор воздушного потока, его сила и продолжительность. На величину ущерба оказывают влияние также огромные массы приливных вод на морском побережье и продолжительные ливневые дожди, вызывающие обширные наводнения. Частотным анализом годового числа ураганов установлена возможность его описания распределением Пуассона

$$f(x) = \frac{\mu^x \exp(-\mu)}{x!}, \quad (5.1)$$

где  $f(x)$  – функция распределения;

$x$  – ежегодная частота;

$\mu$  – средняя ежегодная частота (для всех ураганов Атлантического побережья США  $\mu=2$ ).

Функция распределения (5.1) вероятностей образования урагана может быть положена в основу прогноза риска возможных разрушений.

Непосредственная опасность надвигающегося урагана может фиксироваться слежением за его перемещением радиолокаторами, а также спутниками, что позволяет определить направление движения путем краткосрочного прогноза.

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

Во время холодной погоды бывают зимние метели, представляющие проявление циклонов (зона низкого давления). Крупные скопления снега, сопровождаемые сильным ветром, могут затруднить или парализовать движение автотранспорта.

В пустынях сильные ветры являются причиной пыльных и песчаных бурь. В течение песчаной бури, возможно, нарушение нормального электрического поля в атмосфере.

Имеющиеся в настоящее время средства позволяют зафиксировать возникновение, развитие, перемещение урагана. Правильное определение времени подхода урагана к данному району имеет решающее значение для своевременного проведения мероприятий, направленных на обеспечение безопасности населения и на уменьшение возможного ущерба.

Приближение урагана характеризуется резким падением атмосферного давления. Кроме того, источником информации о надвигающемся урагане являются сообщения о направлении и скорости его движения, передаваемого из тех районов, где он набрал полную силу. Эта информация служит основой для уточнения прогноза гидрометеоцентров.

Прогнозирование последствий урагана возможно лишь на основании прогноза пути движения и основных характеристик урагана, зная которые можно заранее оценить возможные разрушения зданий, сооружений, опор линий электропередач, мостов и т. п. Заблаговременность прогноза ураганов, как правило, невелика и измеряется часами. Долговременные прогнозы, осуществляемые на основе данных о ранее происшедших ураганах, отличаются небольшой точностью.

Тропические циклоны (тайфуны) отличаются от среднеширотных меньшими размерами, меньшим давлением в центре, большим запасом влаги, более сильными ветрами. Скорость в 3/4 тропических циклонов достигает штормовой, в 10–40% – ураганной. Диаметр зоны с ураганными скоростями ветра в атлантических тропических циклонах 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 урагане 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 в Канаду). В Северной Америке и Евразии разрушительные ураганы могут проникать до 60° с. ш., иногда до 70° с. ш. Продолжительность штормовых и ураганных ветров над некоторой точкой побережья – от немногих часов до 4 суток.

Тропические циклоны зарождаются над поверхностью океанов преимущественно в полосах между широтами 5 и 30°, при температуре поверхности воды не ниже 27°C. Ежегодно возникает около 50 тропических циклонов, достигающих ураганной силы, в том числе около 20 в западной части Тихого океана с движением циклонов к восточным берегам Азии, вплоть до Камчатки, 14 – в Индийском океане с движением к южным берегам Азии и восточным берегам Африки, 7–8 – в Атлантике с движением к берегам Центральной Америки и США, вплоть до полуострова Лабрадор, 6 – в восточной части Тихого океана с движением к западным берегам США. От года к году число тропических циклонов, зарождающихся в каждом районе, колеблется в пределах 50%, среднее за ряд лет – в пределах 30% с приблизительно 11-летней и более длинной ритмичностью.

Территории России разрушительные циклоны Атлантики достигают относительно редко. Наиболее сильное воздействие западных циклонов проявляется в обильных осадках, ливневых наводнениях, буранах, снегозаносах и ощущается преимущественно в европейской части страны. Случаются жертвы: разовый экономический ущерб достигает многих десятков миллионов рублей (в ценах 1980-х г.). Камчатка, Сахалин, Курильские острова в Приморье посещаются сильными тайфунами раз в несколько лет, слабыми – до 2–4 раз в год. Рекордная скорость ветра во Владивостоке – 65 м/с, довольно частая – более 40 м/с.

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

Шквалы – горизонтальные вихри 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 – первые километры, 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. Шквалы и местные шквальные бури характерны для всех территорий, охватываемых циклонической деятельностью. Их повторяемость и сезонность зависят от некоторых характеристик сталкивающихся воздушных масс и различны от места к месту. Для европейской части России представительна статистика по Нижегородской области: сезон шквальных бурь – апрель – сентябрь, максимальная повторяемость (более 1 дня из 5) – с 26 мая по 10 июня; число дней за сезон со шквалами быстрее 15 м/с – 18,1; 20 м/с – 9,3; 25 м/с – 2,4; быстрее 30 м/с – 0,8 дня.

Разрушительное воздействие шквалов определяется скоростью ветра, а также грозами и ливневыми наводнениями. На европейской части России одним шквалом могут быть повреждены посевы на площади до нескольких десятков тысяч гектаров, десятки домов и хозяйственных построек с разовым ущербом до нескольких миллионов рублей.

Шквалам подобны потоковые или струевые бури. Они связаны с атмосферными фронтами, но не имеют вертикальной конвективной составляющей, как при шквалах, и создаются потоками воздуха в долинах и по краям возвышенностей. Бури этого типа достигают скорости 40–50 м/с и длятся 12–24 часа, максимум до недели. К их числу принадлежат: новоземельская, новороссийская, адриатическая бора, ороси в Японии, сарма и баргузин на Байкале, мистраль в долине Роны (Франция), трамонтана в Италии, чинук со Скалистых гор в Канаде, хазри вдоль восточного края Кавказа у Каспия и другие местные бури.

Вызванные ими опасные явления разнообразны в зависимости от времени года и местных условий. Назовем некоторые примеры: новороссийская бора зимой – шторм в Цемесской бухте, забрызгивание и обледенение (толщина льда – до 4 м) портовых строений; балхашская бора с хр. Чингиз – зимой буран, летом пыльная буря; фен в Альпах зимой и весной – экстремальное снеготаяние, наводнения, сели, оползни, а при недостаточно высокой температуре воздуха – жестокие бураны и т.д.

Смерч – это восходящий вихрь, состоящий из чрезвычайно быстро вращающегося воздуха, а также частиц влаги, песка, пыли и других взвесей. Он представляет собой быстро вращающуюся воронку, свисающую из кучево-дождевого облака и ниспадающую как «воронкообразное облако».

Смерчи, называемые в Северной Америке торнадо – 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 грозное облако. Из него начинается выпадение дождя и града в кольце вокруг восходящей струи. В некоторый 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. Смерч – 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 требуются продолжение подачи влажного воздуха вверх (что облегчается пониженным давлением в трубе) и определенная плотность вращающейся стенки дождя и града.

Смерчи образуются во многих областях земного шара, как над водной поверхностью, так и над сушей, возникая чаще всего вдоль фронта встречи двух воздушных течений: тёплого и холодного. Начальное условие – мощное грозное облако и обильные осадки из него достигается при комбинировании тепловой конвекции и поднятия теплого воздуха подтекающим под него клином холодного. Поэтому 90% смерчей связаны с холодными фронтами, остальные – с экстремально сильной внутримассовой конвекцией.

Среднее время существования смерча – 10–30 мин, а при наилучших условиях подпитки по пути – до 1 ч на Русской равнине, 5 ч в Великобритании, 7,5 ч в США. Смерчи движутся со скоростью атмосферного фронта, на котором они родились (в среднем 50–60 км/ч, редко более 150 км/ч), и проходят путь длиной до 50 км на Русской равнине, 300 км в Великобритании, 500 км в США, в среднем 10–30 км. Средний диаметр смерча у земли – 200–400 м, максимальный зарегистрированный – до 2,5 км, на Русской равнине – до 1 км. Площадь разрушений менее 1 км<sup>2</sup>, максимум до 400 км<sup>2</sup>. По силе и площади разрушений крупный долгоживущий смерч сравним с атомной бомбой.

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

Главное оружие смерча – огромная скорость вращения стенок; измеренные скорости достигали 115 м/с (420 км/ч), рассчитанные по разрушениям – более 300 м/с. Второе оружие – перепад 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 – до десятков тонн на 1 м<sup>2</sup>) способен разрушить капитальные строения; перепад давления вызывает «взрывы» зданий, к которым прикасается смерч; восходящий поток воздуха (скорость до 70–90 м/с) способен поднять и перенести на значительные расстояния частицы почвы, людей, животных, автомашины, «бомбардировка» поднятыми смерчем предметами опасна для прочных крыш. 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.

Чаще всего смерч хорошо виден со стороны. Одной из особенностей движения смерча является его прыгание. Холмы, леса, водные бассейны не являются преградой для движения смерча. Чаще всего смерчи подразделяют по строению на плотные (резко ограниченные) и расплывчатые (неясно ограниченные). Кроме того, различают:

- смерчи – пылевые вихри;
- малые смерчи – короткого действия (до километра по длине пути);
- малые смерчи – длительного действия;
- смерчи – ураганные вихри;
- водные смерчи.

В практических целях используется классификация интенсивности смерчей Фуджиты-Пирсона, сходная с шкалой Бофорта:

- классы 0, 1 и 2 – максимальные скорости ветра 18–32, 33–49 и 50–69 м/с, длина пути до 16 км, ширина до 160 м; повреждения отвечают ветру 8–10, 10–12, 2 и 12,2 – 12,5 баллов по шкале Бофорта;

- класс 3 – 70–92 м/с, длина пути 16–51 км, ширина 160–510 м; серьезные разрушения: некоторые здания разрушены полностью, перевернуты автомобили и железнодорожные поезда, большинство деревьев в лесу вырвано с корнем;

- класс 4 – 93–116 м/с, 51–160 км, 510–1600 м; опустошительные повреждения: от домов остались груды обломков, сильно разрушены стальные конструкции, автомобили и поезда отброшены в сторону, с деревьев сорвана кора, в воздухе летят крупные предметы;

– класс 5 – 117–142 м/с, 161–507 км, 1600–5070 м; потрясающие повреждения: сильно повреждены железобетонные конструкции, в воздухе летят предметы размером с автомобиль;

– класс 6 – скорости ветра и другие показатели – еще выше; невообразимые разрушения; в т. ч. вторичные – от падающих тяжелых предметов.

В горизонтальном сечении торнадо 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 торнадо имеются также сильные нисходящие потоки, способные вдавливать в грунт отдельные доски на глубину до 45 см. Средняя скорость движения центра торнадо относительно земли – 27 м/с.

Катастрофические торнадо наблюдаются редко, поэтому для их прогноза затруднительно использовать статистический подход. Обычно ориентируются на то, что торнадо могут возникнуть в любом из тех районов, где они уже происходили раньше, и следует принять соответствующие меры предосторожности. Если ведутся атмосферные наблюдения и если торнадо обнаружен, делается соответствующее предупреждение.

Поскольку вероятность появления торнадо в каком-либо конкретном районе весьма мала при проектировании обычных промышленных и гражданских зданий и сооружений нагрузки от торнадо строительными нормами не учитываются (по экономическим соображениям). Нагрузки от торнадо учитываются при выборе площадок для атомных электростанций как в России, так и за рубежом. При этом учитываются скорость ветра (скоростной напор ветра), изменение атмосферного давления при прохождении торнадо над сооружением, удары летящих предметов.

Разрушения, причиняемые торнадо, как и ураганами, определяются давлением скоростного напора ветрового потока, но, кроме того, взрывным эффектом от быстрого падения давления в центре торнадо. Железобетонные сооружения обычно являются устойчивыми к действию торнадо. Наилучшим укрытием от торнадо являются убежища гражданской обороны, а при их отсутствии – прочные подвалы зданий.

Смерчи распространены повсеместно, где происходят столкновения влажных воздушных масс со значительно более холодными и где зародившиеся вихри могут получать подпитку влагой с подстилающей поверхности в течение хотя бы несколько минут. Этим условиям отвечают равнины и моря в климатических поясах от субэкваториального до умеренного (южнее 60–65° с. ш.), а в их пределах более всего – равнины субтропического пояса США.

На территории бывшего СССР смерчи возможны повсеместно южнее 65–66° с.ш., кроме пустынь Средней Азии и горных районов. Наблюдения

за ними отрывочны. С 1844 по 1986 г. зарегистрировано 248 смерчей, от 2 до 18 в год, в среднем 8–10 в год. Наибольшее количество наблюдений приходится (в порядке убывания) на побережья Черного моря, Центрально-Черноземный район, Белоруссию, Прибалтику. Фактическое же территориальное распределение, возможно, иное; в частности, по повторяемости разрушительных смерчей на единицу площади ведущим может оказаться Волго-Вятский район или Прибайкалье. Наиболее сильны (известны) смерчи в Московской, Ярославской, Нижегородской и Ивановской областях. Наиболее вероятны они в июне – августе в 12–18 часов. В средствах массовой информации встречаются сообщения о смерчах с площадью разрушений и повреждений до сотен гектаров, с силой, губительной для зданий, ЛЭП и т. п.

В настоящее время каких-либо методов прогнозирования времени и места возникновения смерчей, а также их параметров не существует. Крайне сложно также прогнозировать пути перемещения смерчей.

Анализируя случаи возникновения смерчей, можно сделать вывод о том, что наиболее благоприятны для образования смерчевых облаков обширные равнины, над которыми происходит встреча теплых и холодных воздушных течений. Мероприятия, направленные на снижение негативных последствий смерчей такие же, как и при ураганах.

Пыльная буря является разновидностью суховея, отличающаяся сильным ветром, переносящая на большие расстояния огромные массы частиц почвы и песка. Пыльные или песчаные бури засыпают сельскохозяйственные угодья, здания, сооружения, дороги и т. п. слоем пыли и песка, достигающим нескольких десятков сантиметров. При этом площадь, на которой выпадает пыль или песок, может достигать сотен тысяч, а иногда миллионов квадратных километров.

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 в других районах мира. Песчаная пыль, поднимаемая высоко в воздух, затрудняет полеты самолетов, покрывает тонким слоем палубы кораблей, дома и поля, дороги, аэродромы. Выпадая на воду океана, пыль погружается в его глубины и осаждается на океаническом дне.

Пылевые бури не только вздымают огромные массы песка и пыли в тропосферу – наиболее «беспокойную» часть атмосферы, где постоянно дуют сильные ветры на разных высотах (верхняя граница тропосферы в экваториальной зоне находится на высотах 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, песок образует величественные холмы, называемые дюнами и барханами. Они имеют самую разнообразную форму и высоту. В пустыне 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.

В России северная граница распространения пыльных бурь проходит через Саратов, Уфу, Оренбург и предгорья Алтая.

Вихревые бури представляют собой сложные вихревые образования, обусловленные циклонической деятельностью и распространяющиеся на большие площади.

Потоковые бури – это местные явления небольшого распространения. Они своеобразны, резко обособлены и по своему значению уступают вихревым бурям. Вихревые бури подразделяют на пыльные, беспыльные, снежные и шквальные (или шквалы). Пыльные бури характерны тем, что воздушный поток таких бурь насыщен пылью и песком (обычно на высоте до нескольких сот метров, иногда у больших пыльных бурь – до 2 км). В беспыльных бурях, благодаря отсутствию пыли, воздух остается чистым. В зависимости от пути своего движения беспыльные бури могут превращаться в пыльные (при движении воздушного потока, например, над пустынными районами). Зимой вихревые бури нередко превращаются в снежные бури. В России такие бури называют пургой, бураном, метелью.

Особенностями шквальных бурь являются быстрое, почти внезапное, образование, крайне непродолжительная деятельность (несколько минут), быстрое окончание и нередко значительная разрушительная сила. Например, в течение 10 мин скорость ветра может возрасти с 3 м/с до 31 м/с.

Потоковые бури подразделяются на стоковые и струевые. При стоковых бурях поток воздуха движется по склону сверху вниз. Струевые бури характерны тем, что поток воздуха движется горизонтально или даже вверх по склону. Стоковые бури образуются при стоке воздуха с вершин и гребней гор вниз, в долину или к берегу моря. Нередко в данной, характерной для них местности, они имеют свои местные названия (например, Новороссийская бора, Балхашская бора, Сарма, Гармсилль). Струевые бури характерны для природных коридоров, проходов между цепями гор, соединяющих различные долины. Они также часто имеют свои местные наименования (например, Норд, Улан, Санташ, Ибэ, Урсатьевский ветер).

Прозрачность атмосферы в значительной степени зависит от процентного содержания в ней аэрозолей (понятие «аэрозоль» в данном случае включает пыль, дым, туман). Увеличение содержания аэрозолей в атмосфере уменьшает количество приходящей к поверхности Земли солнечной энергии. В результате этого возможно охлаждение поверхности Земли. А это вызовет понижение средней планетарной температуры и возможность, в конечном счете, начала нового ледникового периода.

Ухудшение прозрачности атмосферы способствует созданию помех для движения авиации, судоходству и других видов транспорта и нередко является причиной крупных транспортных чрезвычайных ситуаций. Загрязнение воздуха пылью оказывает вредное воздействие на живые организмы и растительный мир, ускоряет разрушение металлоконструкций, зданий, сооружений и имеет ряд других отрицательных последствий.

Пыль содержит твердые аэрозоли, которые образуются в процессе выветривания земной породы, лесных пожаров, вулканических извержений и других природных явлений; твердые аэрозоли промышленных выбросов и космическую пыль, а также частицы в атмосфере, образующиеся в процессе дробления при взрывах.

По происхождению пыль подразделяется на космическую, морскую, вулканическую, золовую и промышленную. Постоянное количество космической пыли составляет менее 1% от общего содержания пыли в атмосфере. В образовании пыли морского происхождения моря могут участвовать только путем отложения солей. В заметной форме это проявляется изредка и на небольшом удалении от берега. Пыль вулканического происхождения – один из наиболее значительных загрязнителей атмосферы. Золовая пыль образуется вследствие выветривания земной породы, а также при пыльных бурях.

Промышленная пыль – одна из основных составляющих воздуха. Ее содержание в воздухе определяется развитием индустрии и транспорта и имеет выраженную тенденцию к росту. Уже сейчас во многих городах мира создано опасное положение вследствие запыленности атмосферы промышленными выбросами.

#### *Мероприятия по уменьшению последствий ураганов и бурь*

Для успешного проведения работ по уменьшению последствий действий ураганов и бурь большое значение имеет налаженная служба наблюдения за ураганами и оповещения об ураганной опасности.

При получении предупреждения о приближении урагана или сильной бури необходимо приступить к работам по укреплению наземных зданий и сооружений, обращая внимание на недостаточно прочные конструкции,

трубы, крыши. В зданиях закрываются двери, окна, чердачные помещения, вентиляционные отверстия. Окна и витрины защищают ставнями или щитами, а двери с подветренной стороны оставляют открытыми. С крыш, лоджий, балконов убирают все предметы. В ряде случаев отключают коммунально-энергетические сети, проверяют системы водостоков. Из легких построек людей переводят в более прочные здания, иногда в убежища гражданской обороны. Людей и сельскохозяйственных животных, находящихся в лесных массивах, выводят на открытые пространства или укрывают. Наружные строительные и погрузочно-разгрузочные работы прекращают, а строительные краны разводят и крепят. Крупные суда, стоящие на рейде, выходят в открытое море или швартуются в портах, а небольшие – заходят в протоки либо каналы и дополнительно крепятся. К местам возможных аварий подвозят необходимые строительные материалы, инструменты, механизмы. В районах, где могут быть наводнения, проводят мероприятия в целях ограничения распространения воды.

Проводятся мероприятия по созданию запасов питьевой воды, не скоропортящихся продуктов питания, средств медицинской помощи, аварийных источников электроснабжения. Приводятся в готовность средства передвижения. С приближением урагана или сильной бури усиливается регулирование движения на автомагистралях, иногда движение транспорта прекращается полностью. Особо опасные участки ограждаются предупредительными знаками и возле них выставляются посты.

Большое значение в районе урагана или бури имеют работы по предотвращению пожаров.

При угрозе возникновения снежной бури проводят те же мероприятия, что и при приближении урагана. Особое внимание обращают на обеспечение бесперебойного движения транспорта по основным дорогам. В этих целях для борьбы с заносами организуют непрерывное патрулирование снегоочистительной техники. Аналогичные работы проводятся и при угрозе пыльной бури. На всех объектах в зоне урагана приводятся в готовность необходимые силы (аварийные команды, формирования гражданской обороны).

#### *Рекомендации по поведению при ураганах и бурях*

После получения предупреждения о приближении урагана или сильной бури (по радио, телевидению, по средствам связи, и другими способами) необходимо принять меры, направленные на уменьшение возможных последствий урагана: защитить окна; убрать в помещение или закрепить все предметы, находящиеся во дворе, создать запасы

инструмента и материалов для защиты строений от ветра и дождя; привести в состояние готовности средства передвижения; из низинных участков перегнать на возвышенные домашний скот; обеспечить необходимые запасы питьевой воды, продуктов питания, медикаментов; позаботиться об аварийных источниках освещения, топлива, средствах приготовления пищи; подготовить средства пожаротушения и привести в готовность радиоприемники, работающие на элементах питания.

Во время урагана или сильной бури, находясь в здании, следует остерегаться ранений осколками оконного стекла. При сильных порывах ветра отойти от оконных проемов и стать вплотную к простенку. В качестве защиты можно использовать прочную мебель или внутренний дверной проем. Самым же безопасным местом во время урагана являются подвальные помещения или внутренние помещения на первом этаже здания (если им не грозит затопление). Нельзя выходить на улицу сразу после ослабления ветра, так как через несколько минут может возникнуть новый его порыв. В случае вынужденного пребывания под открытым небом надо держаться в отдалении от наземных зданий и сооружений, столбов, деревьев, мачт, опор, проводов. Недопустимо находиться на мостах, путепроводах, в непосредственной близости от объектов, на территории которых имеются легковоспламеняющиеся или аварийно-химические опасные вещества. Следует помнить, что наиболее часто травмы наносятся поднятыми ветром в воздух осколками стекла, шифера черепицы, кусками кровельного железа и т. п. Если ураган застал под открытым небом, то лучше всего укрыться в любой близлежащей выемке, лечь в нее на дно и плотно прижаться к земле.

После урагана не рекомендуется заходить в поврежденные строения, так как они могут обрушиться. Особую опасность представляют порванные и не обесточенные электрические провода.

Во время снежной или пыльной бури покидать помещение разрешается только в исключительных случаях, причем не в одиночку. Перед выходом из помещения во время снежной бури предварительно необходимо тепло одеться, сообщить остающимся о своем маршруте и времени возвращения.

При потере ориентации на местности во время передвижения на автомобиле или при поломке автомобиля не следует отходить от автомобиля за пределы видимости.

### **5.3. Экстремальные осадки и снежно-ледниковые явления**

Экстремальное количество и продолжительность выпадения осадков сами оказываются опасными для людей и различных объектов и возбуждают другие виды опасных чрезвычайных ситуаций:

– интенсивные снегопады парализуют транспорт, вызывают

повреждения деревьев, ЛЭП, зданий под снеговой нагрузкой, сход снежных лавин в горах, а при выпадении в обычно бесснежных районах или в теплое время года приносят ущерб сельскому хозяйству;

- интенсивные ливни возбуждают наводнения, эрозию, сели и оползни в горах; несвоевременные и затяжные дожди вредоносны для урожая;

- экстремально малые суммы осадков означают засуху, опасность лесных пожаров, обмеление рек, трудности для судоходства и водоснабжения т. д.

Рассмотрим условия выпадения особо больших осадков. Максимальные значения интенсивности осадков выше летом вблизи поставляющих влагу океанов, на наветренных склонах гор, в наиболее влажных районах экваториального и тропического климатических поясов. В этих же условиях относительно невелики колебания максимальных значений интенсивности. В противоположных условиях абсолютные величины интенсивности ниже, но выше их колебания. Поэтому и в сухих районах возможны наводнения и другие последствия ливней, причем даже более тяжелые для населения, поскольку оно здесь хуже подготовлено.

Рекорды минутной интенсивности принадлежат конвективным (грозовым) ливням тропиков Центр. Америки – до 20–25 мм/мин при средней более 10–20 мм/мин. Конвективные ливни охватывают небольшие территории (до 200 км<sup>2</sup>), непродолжительны (в тропиках до 2–4 ч., чаще до 1 ч; в средней полосе – до 30 мин), неравномерны, начинаются и заканчиваются резко.

Фронтальные ливневые дожди длятся от нескольких часов до 4 суток, с перерывами до 2–3 недель, охватывают территории площадью до сотен тысяч квадратных километров. При тропических циклонах интенсивность ливней превышает 150 мм/сут. и достигает 500–800 мм/сут. Чаще всего ливень длится 5–10 ч. За 10–20 ч может выпасть вся годовая норма осадков. В районах, где эта норма особенно велика (например, на Филиппинах 2000–3000 мм), ее могут набирать интенсивные ливни в течение 60–70 ч. Наибольшая часовая интенсивность может быть близка к суточной, хотя чаще равна 1/3–1/4 от суточной. В Батуми интенсивность ливней превышает 250 мм/сут., что отвечает нескольким метрам снега в близлежащих горах Аджарии. В умеренном климатическом поясе величины интенсивности еще меньше: в Молдавии, Украине 100–200 мм/сут., 40–60 мм/ч, в центральных районах европейской части России – 50–100 мм/сут., 30–50 мм/ч, в северных районах – до 50 мм/сут.

По своему механизму многие из явлений, связанных со снегом, льдом и холодом, могут быть отнесены к различным категориям, рассмотренным выше. Однако своеобразие снежно-ледовых явлений побуждает к их

отдельному рассмотрению.

Снежный покров – это слой снега на поверхности Земли, возникающий в результате снегопадов. Различают временный и устойчивый снежные покровы. Устойчивый снежный покров распространяется в районах со средней температурой самого холодного месяца  $0^{\circ}\text{C}$  и ниже, неустойчивый снежный покров и редкие снегопады возможны при температуре этого месяца  $10\text{--}12^{\circ}$  выше нуля. Названным условиям отвечают почти  $2/3$  площади суши, причем приблизительно на  $1/4$  суши снежный покров держится не менее четырех месяцев в году. Области с многолетней мерзлотой, подземными льдами и наледями занимают около  $1/7$  суши, акватория с морскими льдами и айсбергами –  $1/4$  поверхности морей и океанов. В районах, где зимой устанавливается снежный покров, размещается  $1/5$  населения мира и еще почти столько же – в районах, где возможен неустойчивый снежный покров и редкие снегопады.

Благодаря малой теплопроводности снежный покров предохраняет почву от сильного выхолаживания и озимые посевы от вымерзания. В нём содержатся снегозапасы, являющиеся источником пресной воды при таянии снега. Снежный покров оказывает большое влияние на климат, рельеф, гидрологические и почвообразовательные процессы. Он используется в хозяйственных целях путём снегозадержания и снежной мелиорации.

Величина снежного покрова характеризует снежность зимы. По абсолютной снежности выделяют бесснежные районы (толщина снежного покрова менее 10 см), малоснежные (с покровом 10–30 см, в континентальных районах – до 40–50 см) и многоснежные (с большой высотой снежного покрова). По относительной снежности различают: малоснежные зимы с высотой снежного покрова ниже нормы (подразделяются на зимы с устойчивыми морозными днями и малым количеством осадков и оттепельными зимы со значительным количеством осадков); среднеснежные зимы с постепенным нарастанием высоты снежного покрова, близкой к средней многолетней неустойчивой зимы со значительными колебаниями снежного покрова в течение всей зимы; многоснежные зимы с высотой снежного покрова, значительно превышающей среднюю многолетнюю.

По режиму и форме воздействия на население и объекты народного хозяйства снежноледниковые явления весьма разнообразны. Стихийные бедствия связаны с эпизодическими событиями – экстремальными снегопадами и холодами, массовым сходом лавин, крупными заторами льда на реках. В целом по миру эти стихийные бедствия находятся на четвертом или пятом месте по величине наносимого ими ущерба, но в

отдельных районах выходят на 3–4 место. Разовый ущерб от экстремальных снегопадов в обычно малоснежных Молдавии, Закавказье, предгорьях Средней Азии достигает сотен миллионов рублей. Защита городов и дорог от неблагоприятных и опасных снежноледовых явлений способна вызвать удорожание строительства и эксплуатации до 100–200%.

Снеговые нагрузки могут ломать 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  $250 \text{ кг/м}^2$ , нагрузки от разовых снегопадов –  $100 \text{ кг/м}^2$ ; 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 – тысячи квадратных километров.

Метель (вьюга) – 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 основная масса его переносится в слое высотой менее 1,5 м. Рыхлый снег поднимается и переносится ветром при скорости 3–5 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, то есть переносящие предельно возможное при данной скорости ветра количества снега, и ненасыщенные. Последние наблюдаются при нехватке снега или при большой прочности снежного покрова. Твердый расход насыщенной низовой метели пропорционален третьей степени скорости ветра, верховой метели – первой ее степени. При скорости ветра до 20 м/с метели относятся к слабым и обычным, при скорости 20–30 м/с – к сильным, при большой скорости – к очень сильным и сверхсильным (фактически это уже – штормы и ураганы). Слабые и обычные метели длятся до нескольких суток, более сильные – до нескольких часов. Снегонакопление при метельном переносе превышает аккумуляцию снега, которая наблюдается в результате снегопадов при безветренной погоде. Отложение снега происходит в результате уменьшения скорости ветра вблизи наземных препятствий. Форма и размер запасов определяется формой и размером препятствий и их ориентацией по отношению к направлению ветра. В России сильным снежным заносам подвержены многоснежные районы Заполярья, Сибири, Урала, Дальнего Востока и Севера Европейской части. В Заполярье

снежный покров сохраняется до 240 дней в году и достигает 60 см, в Сибири, соответственно – до 240 дней и 90 см, на Урале – до 200 дней и 90 см, на Дальнем Востоке – до 240 дней и 50 см, на севере Европейской части России до 160 дней и 50 см.

Дополнительный отрицательный эффект при снежных заносах возникает за счет сильного мороза, сильного ветра при метелях и обледенений. Последствия снежных заносов могут быть достаточно тяжелыми. Они в состоянии парализовать работу большинства видов транспорта, приостановив перевозку людей и грузов. Люди, оказавшиеся на местности в изоляции из-за снежных заносов, подвергаются опасности обморожения и гибели, а в условиях буранов – теряют ориентировку. При сильных заносах небольшие населенные пункты могут оказаться отрезанными от коммуникаций снабжения. Осложняется работа предприятий коммунального и энергетического хозяйства. При сопровождении заносов сильными морозами и ветрами могут выходить из строя системы электроснабжения, теплоснабжения, связи. Аккумуляция снега на крышах зданий и сооружений свыше избыточных нагрузок приводит к обрушению.

В целях уменьшения ущерба от снежных заносов и ликвидации их последствий принимаются предупредительные и оперативные меры, носящие пассивный и активный характер.

В многоснежных районах проектирование и строительство зданий, сооружений и коммуникаций (особенно дорог) должно проводиться с учетом уменьшения их снегозаносимости. Для предупреждения заносов используют снегозащитные ограждения, выполняемые из приготовленных заранее конструкций или подручных материалов в виде снежных стенок, валов и т. д. Ограждения сооружаются на снегоопасных направлениях, особенно вдоль железных и важных шоссе дорог. При этом они устанавливаются на расстоянии не менее 20 м от обреза дороги. Предупредительной мерой является оповещение органов власти, организаций и населения о прогнозе снегопадов и метелей.

Для ориентировки пешеходов и водителей транспортных средств, застигнутых бураном, вдоль дорог устанавливают вехи и другие указатели. В горных и северных районах практикуется растяжка канатов на опасных участках троп, дорог, от здания к зданию. Держась за них, в условиях бурана, люди ориентируются на маршруте.

В предвидении бурана на строительных и других промплощадках производят крепление стрел кранов, других конструкций, не защищенных от воздействия ветра. Прекращаются работы на открытой местности и высоте. Усиливается швартовка судов в портах.

При получении угрожающего прогноза приводятся в готовность силы

и средства, предназначенные для борьбы с заносами, проведения возможных аварийно-восстановительных работ. Основной мерой борьбы со снежными заносами является расчистка от них дорог и территорий. В первую очередь основные силы и средства направляют на расчистку от заносов железнодорожных и автомобильных магистралей, взлетно-посадочных полос аэродромов, пристанционных путей железнодорожных станций, а также на оказание помощи автотранспорту, застигнутому бедствием в пути. В наиболее тяжелых случаях, парализующих жизнедеятельность населенных пунктов, к расчистке от снега привлекается все трудоспособное население. Одновременно с расчисткой заносов организуются работы по непрерывному метеонаблюдению, розыску и освобождению от снежного плена людей и транспортных средств, оказанию помощи пострадавшим, регулированию движения и проводке транспорта, защите и восстановлению систем жизнеобеспечения, доставке экстренных грузов специальным снегопроходимым транспортом в блокированные населенные пункты. В случае необходимости организуются частичная эвакуация населения и специальные маршруты коммунального транспорта колоннами, а также прекращается работа учебных заведений и учреждений.

На европейской части России среднее число дней с метелью находится в пределах 30–40, средняя продолжительность метели 6–9 ч. Опасные метели составляют около 25%, особо опасные – около 10% общего их количества. На территории всей страны ежегодно бывает 5–6 сильнейших буранов, способных парализовать железные и автодороги, обрывать линии связи и электропередачи и т. д.

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 в диапазоне от 0°... +3°, особенно при температуре +1... –3° и ветре 10–20 м/с. Диаметр отложений снега на проводах достигает 20 см, вес 2–4 кг на 1 м. Провода рвутся не столько под тяжестью снега, сколько от ветровой нагрузки. На полотне автодорог в таких условиях образуется скользкий снежный накат, парализующий движение. Такие явления характерны для приморских районов с мягкими влажными зимами (запад Европы, Сахалин и т. д.), но распространены также во внутриконтинентальных районах в начале и конце зимы.

При выпадении дождя на промороженную землю и при намокании и последующем замерзании поверхности снежного покрова образуются ледяные корки, называемые гололедицей. Она опасна для пастбищных животных: например, на Чукотке в начале 80-х гг. гололедица вызвала массовую гибель оленей. К типу гололедицы относится также явление

обледенения причалов, морских платформ, судов вследствие намерзания брызг воды во время шторма. Обледенение опасно для небольших судов, палуба и надстройки которых невысоко подняты над водой. Такое судно может набрать ледяную нагрузку критической величины за считанные часы. Набрызговые наледи на берегах Охотского и Японского морей достигают толщины 3–4 м, мешая хозяйственной деятельности в прибрежной полосе.

При намерзании переохлажденных капель тумана на различные предметы образуются гололедные и изморозевые корки, первые – при диапазоне температуры воздуха от 0... –5°C, реже –20°C, вторые – при температуре –10... –30°C, реже до –40°C.

Вес гололедных корок может превышать 10 кг/м (до 35 кг/м на Сахалине, до 86 кг/м на Урале). Такая нагрузка разрушительна для большинства проводных линий и для многих мачт. Повторяемость гололеда наиболее высока там, где часты туманы при температуре воздуха от 0 до –5°C. На территории России она достигает местами десятков дней в году. Воздействие гололеда на хозяйство наиболее заметно в южных районах бывшего СССР и носит в основном угнетающий характер. Изредка создаются чрезвычайные ситуации. Например, в феврале 1984 г. в Ставропольском крае гололед с ветром парализовал автодороги и вызвал аварии на 175 высоковольтных линиях; их нормальная работа возобновилась лишь через 4 сут. При гололеде в Москве количество автомобильных аварий увеличивается втрое.

Подземные льды определяют физико-механические свойства горных пород, и прежде всего рыхлых в талом виде. Зона многолетнемерзлых пород неустойчивого состояния отвечает районам со среднегодовой температурой от 0... –1,5°C; здесь обычны пластично мерзлые грунты с малой несущей способностью. Зона многолетнемерзлых пород относительно устойчивого состояния характеризуется среднегодовой температурой от –1,5... –3°C; в ней прерывистое распределение мерзлоты переходит в сплошное. Зона устойчивого состояния многолетнемерзлых пород и «твердомерзлых» грунтов отвечает среднегодовой температуре ниже –3°C. Во всех этих зонах главным опасным явлением оказывается разрушение мерзлоты, ведущее к снижению несущих свойств грунта. Примером является разрушение многих вспомогательных сооружений и угроза основным зданиям Анадырской ТЭЦ в 80-х гг. вследствие растопления мерзлоты и деформации фундаментов. Для сооружений, располагающихся на поверхности сезонно промерзающего слоя или на основаниях, углубленных в него, главную опасность представляют мерзлотные деформации – пучения, перекосы и т. п. Проявляясь пусть и слабо в отдельных эпизодах, мерзлотные деформации оказываются

многочисленными, широко распространяющимися и ежегодно повторяющимися, что делает их сильным угнетающим фактором.

Наледи – это ледяные тела разной площади, мощности и формы, формирующиеся в результате последовательного излияния и замерзания природных (речных и подземных), в меньшей степени – техногенных (хозяйственно-бытовых и промышленных) вод.

Образующиеся ледяные массивы (наледи) нередко имеют огромные размеры (до 100 и больше км<sup>2</sup>). Например, длина и ширина известной Момской наледи сопоставима по размерам с крупнейшим на Памире ледником Федченко. Ледяные образования подобного типа часто встречаются в Якутии и Верхояно-Колымской горноскладчатой области. В наледях Евро-азиатского материка аккумулируется более 100 км<sup>3</sup> воды, а общая площадь этих образований составляет около 0,5% всей площади с многолетней мерзлотой. Наледи представляют собой визитную карточку районов прерывистого распространения многолетней мерзлоты и образуются за счет грунтовых вод, выходящих из слоя между многолетнемерзлым и сезонномерзлым горизонтами при зимнем нарастании последнего. Крупнейшие наледи – тарыны достигают площади 30 км<sup>2</sup> при толщине льда до 10–12 м; общая площадь наледей – до 3–5% площади территории, длина наледей вдоль рек, – до 100 км. В более холодных районах наледи развиты слабее из-за уменьшения объемов грунтовых вод, в более теплых – из-за того, что в них в зимнее время не так часто складываются условия выдавливания грунтовых вод на поверхность. Наибольшие площади наледей в тех и других районах – до нескольких квадратных километров, толщина – до 2–5 м. Повсеместно в зоне многолетнемерзлых пород имеется опасность антропогенного образования наледей на местах нарушения рельефа, теплоизолирующей растительности, водного стока. Такие наледи оказываются значительно меньше естественных, но приносят больше неудобств, проявляясь на полках дорог, в карьерах, в населенных пунктах и т. д.

Процессы наледообразования вызывают серьезные, даже катастрофические осложнения при строительстве и эксплуатации железных и автомобильных дорог, мостов, трубопроводов, жилых поселков и разного рода инженерных сооружений. В некоторых условиях, например, вдоль полотна дорог, образуются грунтово-наледные бугры пучения диаметром до 200, высотой до 6 м. При росте и при разрывах таких бугров внутренним давлением воды возможно разрушение полотна дорог, мостов, расположенных на бугре построек. Абсолютное большинство наледей формируется в пределах территорий, охваченных многолетним промерзанием. Этому способствует криогенное преобразование подземного стока, проявляющееся в его концентрации в

пределах существующих несквозных и сквозных таликов и в подмерзлотных зонах пластовой проводимости или трещиноватости пород. В силу этого крупные наледи являются хорошим диагностическим признаком повышенной водообильности пород. Они служат поисковым критерием месторождений подземных вод на территории с многолетним промерзанием пород.

В части регионов криолитозоны, в которых зимы отличаются многоснежностью (правобережье р. Колымы в районе Юкагирского плоскогорья, Камчатка, Охотское побережье, Кольский полуостров), условия для наледообразования неблагоприятны и крупные наледи там редки. Наледи могут формироваться во внутри континентальных регионах и вне криолитозоны. Последнему способствуют низкие зимние температуры воздуха, малая снежность и наличие водопроявлений поверхностного и подземного происхождения. Однако объемы накапливающегося в такого рода наледях льда за зимний период несравненно меньше, если их соотносить с регионами криолитозоны. Многие наледи на территориях с отсутствием многолетнемерзлых пород приурочиваются к местам, где нарушены естественные условия обводнения и сезонного промерзания. Это выемки, карьеры, участки размещения открытых поверхностному влиянию канав и т. д.

Процесс перераспределения наледями поверхностного и подземного стока в течение года называют сезонным наледным регулированием. Зимой за счет наледообразования этот сток уменьшается. Весной и летом законсервированные в виде наледи воды возвращаются в речную сеть.

За счет многократных процессов наледообразования в одних и тех же местах формируются овалоподобные расширения русловых и пойменных частей долин и создаются наледные поляны и наледные долины. Наледи образуются на неглубоких водотоках с каменными перекатами, порогами и водопадами, с распластанными галечниковыми руслами и конусами выноса из боковых притоков и т. д. В регионах, характеризующихся контрастной и активной неотектоникой, наледи могут формироваться в глубокооврезанных каньонах, заполняя их к концу зимы.

Речной поток в местах наледообразования разбивается на множество рукавов и проток. Визуально места наледообразования представляют собой относительно ровные, безлесные, плоские и широкие пространства, сложенные сортированным гравийно-галечниковым или валунно-галечниковым материалом. На участках сохраняющегося в пределах наледных полян леса стволы деревьев выбелены соевым налетом. По уровенному положению этих солевых проявлений на стволах можно судить о мощностях наледного льда в данном месте. Уклоны участков наледообразования, как правило, меньше уклонов речного русла выше и

ниже по потоку.

Формирование наледных полей и наледных долин обусловлено активным физическим выветриванием пород в периферических частях наледи, интенсивной боковой эрозией тальми водами, постоянным перемывом и переотложением аллювиальных (наледных) отложений многочисленными, меняющимися во времени и пространстве, водными потоками под и поверх наледи, а также по границам блоков наледного тела, разрозненных в процессе таяния, и эродирующей деятельности внешних водных потоков.

В наледном процессе в холодный период года можно выделить следующие стадии его развития.

1. Детская – растекание наледобразующих вод по наледной поляне. Это характерно для начала зимы после устойчивых переходов среднесуточных температур воздуха через 0°C. Наледь нарастает по площади.

2. Юная – площадь, мощность и объем льда нарастают наиболее интенсивно. Формируются основные контуры наледи. Это характерно для периода до февраля. Зарождаются наледные бугры и гидроакколиты.

3. Зрелая – наледь и ее объем увеличиваются за счет ее нарастания по мощности. Это характерно для периода после февраля. Происходят взрывы наледных бугров и растрескивание льда с излиянием и выбросом на поверхность воды.

4. Старческая – начинается таяние и разрушение наледи. Характерна для начала весны и всего летнего периода.

Классификация наледей по площади и объёму приведена в таблице 5.4.

Таблица 5.4

Классификация наледей по площади и объёму

Категория	Наледи	Площадь, м <sup>2</sup>	Мощность, м	Объём, м <sup>3</sup>	Мощность, м
I	Очень малые	100–1000	1,0	800–10000	<0,75
II	Малые	100–10000	1,21	800–10000	0,75–1,0
III	Средние	1000–100000	1,48	10000–1000000	1,0–1,3
IV	Большие	10000–1000000	1,75	100000–10000000	1,3–1,7
V	Очень большие	100000–10000000	2,21	500000–100000000	1,7–2,0
VI	Гигантские	1000000–10000000	2,7	1000000–100000000	>2,4

Можно выделить наледи по причинам образования:

– за счет поверхностных вод: речных, озерных, снеговых, ледниковых и т. д.;

– за счет подземных вод: верховодки, вод сезонно-талого слоя, несквозных и сквозных грунтово-фильтрационных и напорно-фильтрационных таликов, напорных вод подмерзлотного стока и смешанного происхождения из сочетаний различных типов подземных вод;

– смешанного типа вод поверхностного и подземного происхождения: озерных, речных с грунтовыми, трещинными и пластово-трещинными различных типов таликов и водами глубокого подмерзлотного стока.

Самыми крупными и значительными по размерам и объемам накапливающегося льда являются наледи смешанного происхождения, а также наледи подземных вод (ключевые). Причиной формирования многих из них являются мощные, неиссякающие в течение зимы источники, соответствующие концентрированным выходам подземных вод. Последние приурочены к региональным зонам разломов. Причем, в первую очередь, это касается тех участков зон, которые являются живыми в неотектоническом отношении, соответствуя областям контрастных блоковых движений и активной в настоящее время или в недавнем прошлом вулканической деятельности. Многие из рассматриваемых наледей могут быть классифицированы как гигантские и очень большие. Они постоянно нарастают в течение холодного времени года.

Большие и средние по своим параметрам наледи характерны для большинства категорий природных подземных вод. Некоторая часть из подобного рода наледей в силу резкой сработки запасов подземных вод к концу зимы заметно сокращается и даже прекращает формирование.

Малые и очень малые наледи типичны для поверхностных и подземных вод с ограниченными запасами (верховодки, вод сезонно-талого слоя и несквозных таликов с истощающимися к середине зимы грунтово-фильтрационными потоками).

Речные, озерные, морские льды. Большинство рек и озер Евразии и Сев. Америки выше 350 с. ш. зимой частично или полностью покрывается льдами. Их общая площадь достигает почти 2 млн. км<sup>2</sup>, в том числе более половины – в Евразии, где малые реки Сибири зимой промерзают до дна, а в устьевых частях больших рек толщина льда достигает 2 м.

Природные опасности и неудобства, связанные с речными и озерными льдами, разнообразны (например, зажорные и заторные наводнения). Кроме того, сами льды оказывают препятствие судоходству. Они осложняют работу водозаборных устройств и оказывают динамическое

давление на гидротехнические сооружения, опоры мостов и т. п. Во время ледохода нагрузки на препятствия могут достигать 10–15 т/м<sup>2</sup>. Плывущие льдины постепенно истирают поверхность сооружений; периодическая нагрузка, создаваемая льдом, ведет к деформациям и появлению «усталости» металлических конструкций.

Морские льды в наиболее холодные месяцы занимают акваторию площадью до 16 млн. км<sup>2</sup> в Северном и до 20 млн. км<sup>2</sup> в Южном полушарии, летом же – около 1/3 названных площадей. Толщина сезонных льдов достигает 2 м, многолетних – 3–6 м, торосов – 5–9 м в открытом море и до 20 м у берегов. В категорию морских льдов входят также айсберги, разносимые течениями далеко на юг, местами до субтропического пояса. Морские льды создают помеху судоходству и представляют опасность для разработки нефтегазовых месторождений. В морях Арктики на акваториях со сплоченным льдом в условиях сжатия различной степени происходит 10–25% длины трасс летом, 20–40% зимой. Наиболее сильны сжатия в прибрежных акваториях шириной до 50 км, где к ветровому дрейфу льдов добавляется их смещение приливно-отливными течениями. Для проводки транспортных судов требуются ледоколы (стоимость ледокола типа «Арктика» 150 млн руб.), но и они не всегда способны двигаться в условиях сжатия. Айсберги могут также сильно выпахивать отмели, что представляет опасность для любых подводных сооружений – трубопроводов, кабелей и т. д.

#### **5.4. Грозы, градобития**

Грозы – наиболее распространённое опасное атмосферное явление. Грозы – интенсивные ливни, сопровождаемые молниями (электрические разряды), а иногда – градом, и возникающие при особенно быстром поднятии теплого влажного воздуха. Внутримассовые грозы характерны в экваториальном и субэкваториальном поясах, фронтальные (в основном на холодных фронтах) – в тропиках, субтропиках и на юге умеренного пояса Северного полушария. Начинается гроза с воздушного столба, образующего высокое белое облако, которое быстро набухает. Грозовые облака – великаны, их толщина достигает 10 км. Внизу это грозовое облако плоское, оно всегда раздаётся вверх и в стороны. Когда верхняя его граница достигает стратосферы, облако как бы сплющивается и принимает форму наковальни. Поднимается ураганный ветер, иногда в передней части облаков может возникнуть шквал – резкое усиление ветра, происходящее внезапно.

Гроза – это атмосферное явление, при котором в мощных кучево-дождевых облаках и между облаками и землей возникают сильные электрические разряды – молнии, сопровождаемые громом. При грозе

выпадают интенсивные ливневые осадки, нередко град, наблюдается усиление ветра, часто до шквала и смерчей, и ливневые наводнения. Грозы разделяются на внутримассовые, возникающие при конвекции над сушей, преимущественно в послеполуденные часы, а над морем в ночные часы, и фронтальные, появляющиеся на атмосферных фронтах, т. е. на границах между тёплыми и холодными воздушными массами.

Грозы возникают в мощных кучевых облаках с вершинами на высотах 7–15 км, где наблюдаются температуры ниже 15 – 20°C. Такие облака состоят из смеси переохлажденных капель и кристаллов. Потенциальная энергия грозового облака превышает  $10^{13} - 10^{14}$  Дж, т. е. равна энергии взрыва термоядерной мегатонной бомбы. Электрические заряды грозового облака падающей молнии равны 10–100 Кл и разнесены на расстояния до 10 км, а электрические токи достигают до 100 А. Напряжённость электрического поля внутри грозового облака равна  $(1-3) \cdot 10^5$  Вт, а эффективная электропроводность в 100 раз меньше, чем в окружающей атмосфере. Средняя продолжительность одного грозового цикла составляет 30 мин и обычно менее 1 ч. Но иногда перед холодным фронтом образуется целый ряд мощных гроз, длящихся часами, сопровождаемых смерчами и шквалами (линия шквалов). Электрический заряд каждой вспышки молнии соответствует 20–30 Кл и может образоваться на участке грозовой тучи радиусом до 2 км.

Для оценки последствий от удара молнии важным является разряд между слоями атмосферы и землей. При этом может пострадать электротехническое оборудование. На равнинной местности обычно грозовой процесс 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 движется вниз ступеньками по 50–100 м, пока не достигнет земли (ступенчатый лидер). 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. Обычно ступенчатый лидер переносит вниз отрицательный заряд. Иногда он переносит и положительный заряд, при этом время нарастания, а затем уменьшения тока более продолжительно, а максимальные значения заряда достигают 200 Кл и тока 218 кА.

Молнии представляют собой электрический искровой разряд большой мощности в атмосфере, проявляющийся яркой вспышкой света и сопровождающийся громом (рис. 5.3). Наиболее часто молния возникает в кучевых облаках, иногда в слоисто-дождевых облаках, при вулканических

извержениях, смерчах и пылевых бурях. Обычно наблюдаются линейные молнии, длина которых составляет несколько сот метров. Молнии могут проходить в сами облака – внутриоблачные, или ударять в землю – наземные.



Рис. 5.3. Вид молнии

Процесс развития молнии состоит из нескольких стадий. По мере продвижения лидера к Земле напряженность поля на его конце усиливается и под его действием из выступающих на поверхности Земли предметов выбрасывается ответный стример.

Молния характеризуется токами порядка десятков тысяч ампер. В облаках происходит трение молекул, в результате чего возникает электрическое напряжение. Температура молнии достигает  $30000^{\circ}\text{C}$ . Молния сильно разогревает окружающий воздух, что он стремительно расширяется и с грохотом преодолевает звуковой барьер. Грохот этот доходит до нас и мы говорим: гремит гром. Длительность молнии составляет от десятых до сотых долей секунды. Вспышка молнии распространяется в воздушной среде со скоростью света, так что мы видим ее практически в то же мгновение, когда происходит разряд, а грохот расширяющегося воздуха пролетает километр примерно за три секунды. Если молния и гром следуют один за другим сразу же, то можно сказать,

что гроза где-то рядом, а если вспышка молнии опережает раскаты грома, то гроза находится на каком-либо расстоянии. Чем дальше гроза, тем дольше не гремит гром после молнии. Вспышки невидимых и неслышимых молний при отдаленной грозе, освещающих изнутри облака, называются зарницами.

Особый вид молнии – шаровая, своеобразное электрическое явление, природа которой ещё не выявлена. Она представляет собой форму светящегося шара диаметром 20–30 см, движущегося по неправильной траектории, который обладает большой удельной энергией. Длительность существования от нескольких секунд до минут, а исчезновение её может сопровождаться взрывом, вызывающим разрушения и человеческие жертвы, или беззвучно.

Удары молнии иногда сопровождаются разрушениями, вызванными ее термическими и электродинамическими воздействиями, а также некоторыми опасными последствиями, возникающими от действия 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 с взрывом. Это приводит к разрыву или расщеплению объекта, пораженного молнией, и воспламенению горючих элементов.

Возможно также возникновение большой разности потенциалов и электрических разрядов между отдельными предметами внутри сооружений. Такие разряды могут явиться причиной пожаров и поражения людей электрическим током. Часто прямым ударам молнии подвергаются сооружения, возвышающиеся над окружающими строениями, например, металлические дымовые трубы, башни, пожарные депо и строения в открытой местности.

Весьма опасны прямые удары молнии в воздушные линии связи с металлическими опорами. Оценка опасности воздействия молнии основана на статистике частоты гроз с опасными молниями в данном районе. Повторяемость опасных молний относят к единице площади, что дает возможность получить величину риска. Повреждения, наносимые молнией, обусловлены высоким напряжением, большой силой тока в канале молнии и температурой, достигающей 40000 К. Сильный ток, прошедший через тело человека от удара молнии, вызывает остановку сердца.

Защита зданий и сооружений от молний состоит в заземлении электрических импульсов, т. е. в применении громоотводов. Громоотвод притягивает приблизившегося ступенчатого лидера, образуя защитный

конус с углом  $90^\circ$  ниже вершущки громоотвода. Ударное расстояние  $h$  для ударов молнии от головной части лидера к точке заземления представляют как функцию от высоты грозового облака  $H$  и величины заряда  $Q$ . Удар происходит, если напряженность поля между головой лидера и заземленной точкой превысит пробивное напряжение поля, равное в воздухе  $3 \text{ кВ/см}$ . Практический интерес представляет зависимость  $H$  от максимальной силы тока  $I$ . При средней продолжительности разряда молнии  $100 \text{ мс}$ , имеем выражение для силы тока  $i = 2 \cdot 10^4 Q$ . Значения ударного расстояния  $h$  для молний с различными величинами разряда  $i$  и высотами грозового облака  $H$  представлены на рисунке 5.4. Этот график может быть использован для проектирования защиты от молний, позволяя установить зону, в которой молния с определенной величиной разряда будет притянута.

Для защиты человека от молнии на открытом месте необходимо найти заземленное убежище. Таким убежищем может служить лес. Отдельно стоящее дерево представляет опасность, так как является громоотводом, и не исключен пробой между деревом и человеком.

В бывшем СССР наибольшее число гроз (до 40–70 дней в году) отмечается, на Северном Кавказе и в Закавказье. На основной части европейской территории бывшего СССР и в Западной Европе среднее годовое число дней с грозами 15–30, севернее – 10 и менее. От года к году число дней с грозой колеблется (в Европе на 30–40%) относительно среднегодового в зависимости от особенностей циркуляции атмосферы и в корреляции с ходом температуры воздуха и осадков.

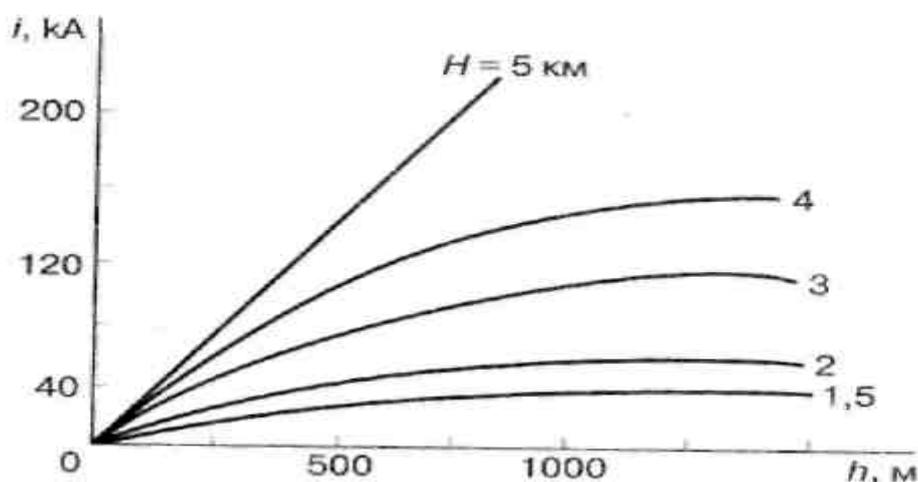


Рис. 5.4. Ударное расстояние  $h$  для различных разрядов  $i$  в зависимости от высоты  $H$  грозовой тучи

При грозах опасны интенсивные ливни, градобития, удары молний, порывы ветра и вертикальные потоки воздуха (для авиации).

Опасность градобитий определяется диаметром (массой) градин и размерами поражаемой площади – «градовых дорожек». Диаметр градин не менее нескольких миллиметров и увеличивается вместе со скоростью и высотой поднятия грозовых облаков. Град – это атмосферные осадки в виде шариков льда и смеси льда и снега, выпадает во время прохождения холодного фронта или во время грозы. Наибольшие градины представляют собой простые структуры, образованные при условии, 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 от 1,2 до 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 бывает 10–15 раз в год, у экватора на суше, где более мощные восходящие потоки, – 80–160 раз в год. Какими бы ни были способы образования, выпадение града приводит к поразительным разрушениям и к человеческим жертвам.

В России разработаны методы определения градоопасных облаков и созданы службы борьбы с градом. Опасные облака «расстреливают» снарядами, снаряжёнными специальными химическими веществами. В бывшем СССР наиболее градоопасны территории в предгорьях Карпат, Кавказа, Средней Азии. На Северном Кавказе диаметр градин достигает 6–7 см, масса 60–70 г (рекорд 0,5 кг). В июле 1991 г. град повредил 18 самолетов в аэропорту Минеральные Воды. Крупный град разбивает виноградники, крыши зданий, теплицы, автомашины и т. д.; град обычного размера повреждает и уничтожает посевы. Около 9/10 ущерба урожаю наносят редкие (около 10% общего числа) сильные градобития. «Градовые дорожки» достигают в длину 50–60 км, в ширину до 10 км, но обычно – в 5–10 раз меньше. Тяжелые повреждения посевам наносятся, когда слой выпавшего града составляет хотя бы немногие сантиметры.

Молнии губят людей, скот, вызывают пожары, повреждения электросетей т. д. В мире от гроз и их последствий ежегодно гибнет до 10000 человек (по этому показателю они находятся в первой пятерке природных опасностей).

Опасность молнии заключается в том, что электрический заряд поражает не только то, во что попадает, но и всех, кто находится или что находится рядом. Вот почему во время грозы нужно немедленно прекращать движение и искать укрытие. Грозу безопаснее переждать в ложбине, канаве, яме. Если поблизости нет никаких углублений, нужно лечь на землю и ждать, пока гроза не прекратится. Во время грозы не

рекомендуется бегать.

Прятаться под кроной одинокого раскидистого дерева опасно. Надежное убежище – гуща леса. Подмечено: в одни деревья молнии ударяют чаще, в другие – реже, а третьи почти не трогают. Особенно значительны «боевые» шрамы у дуба. Кроме него, наиболее часто молнии поражают тополь, ель, сосну, реже березу, липу и почти не трогают орешник.

На воде молния бьет так же, как и на суше, – купаться в грозу рискованно.

### **5.5. 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 и интенсивности атмосферной циркуляции от нормы. В многолетней 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 во многие сотни километров и на период от одной до многих недель.

Экстремальные морозы в умеренном поясе также устанавливаются при антициклональной погоде, причем температура на возвышенных (теплее) и котловинных участках может различаться на 5–6°C на западе Русской равнины, до 15–17°C в горах Якутии. Морозы парализуют жизнь городов, губительно воздействуют на посевы, увеличивают вероятность технических аварий (при температуре ниже –30°C увеличивается ломкость деталей машин). Экстремальные вторжения холодных масс, сопровождающиеся снегопадами, могут быть сравнительно кратковременны (немногие дни), но губительны для сельскохозяйственных культур в субтропическом поясе, а в весеннее время и в южной части умеренного пояса.

Явление понижения температуры воздуха ниже 0°C вечером и ночью после дня с положительными температурами называется заморозками. В Европейской части России заморозки случаются весной или осенью, – тогда, когда вторгаются холодные воздушные массы или приходит антициклон, при котором интенсивное ночное тепловое излучение от земной поверхности охлаждает почву, растительный покров и воздух. Заморозки причиняют большой ущерб сельскому хозяйству, особенно в районах

низин, где может застаиваться холодный воздух. Для борьбы с заморозками используют костры, образующие дым, который прикрывает земную поверхность и защищает её от охлаждения.

В мире среднегодовой ущерб морозов и снегопадов занимает пятое место после ущерба от ураганов, наводнений, землетрясений и засух.

Смертность пожилых и больных людей существенно возрастает как при морозах, так и при жаре, причем отклонение температуры от нормы более значимо, чем абсолютная ее величина. Имеет значение также скорость похолодания или потепления: при резких изменениях температуры число автокатастроф увеличивается на 25% при холодных вторжениях, на 56% при наступлении жаркой погоды.

Значительный недостаток осадков в течение длительного времени весной или летом при повышенной температуре воздуха называется засухой, в результате чего запасы влаги в почве сильно уменьшаются, растения плохо развиваются, а урожай может погибнуть полностью. Засуха – частое явление в тропических широтах, полупустынных и особенно степных зонах, где находится основная площадь пахотных земель, весной и летом вследствие длительного (до 2 месяцев) господства антициклонной погоды.

Засухи возникают тогда, когда в атмосфере долгое время сохраняется высокое давление воздуха, то есть стоит антициклон. Нисходящие потоки в атмосфере препятствуют возникновению дождей, а ясная погода приводит к нагреванию и иссушению воздуха и почв. Засухи – явление, существенное для сельского и лесного хозяйства, бытового и промышленного водоснабжения, судоходства и работы ГЭС. Они могут быть оценены различными геофизическими показателями – от дефицита осадков (по величине, продолжительности, распространению) до сложных коэффициентов, включающих величины отклонений от нормы температуры воздуха, осадков, запасов влаги в почве (рис. 5.5), а также экономическими показателями недобора урожая, потерь производства гидроэлектроэнергии и т. п. Засухи создаются отклонением интенсивности атмосферной циркуляции от нормы по причинам, кроющимся в колебаниях Солнечной активности и в автоколебаниях в системе «океан-атмосфера», особенно в энергоактивных зонах (Эль-Ниньо и других). Как правило, сильные засухи на одних территориях сопровождаются повышением осадков на других.



Рис. 5.5. Почвенная засуха

Засуха называется также суховей. Суховей – жаркий или очень тёплый ветер, отмечающийся в степях, полупустынях и пустынях. Он способствует порче урожая зерновых и плодовых культур. Они дуют в Северном Казахстане, степях России и Украины.

Засухи почти всегда сопровождаются как суховеями, так и пыльными бурями, которые усиливают испарение влаги с поверхности почв, поэтому борьба с засухами, суховеями и пыльными бурями заключается в накоплении влаги в различных почвах. С этой целью проводится снегозадержание, создание полезащитных лесных полос, прудов и водоёмов в оврагах и балках, боронование почвы и другие агромероприятия. К устойчиво сухим и засушливым районам относится 40–45% площади континентов; здесь проживает более 1/3 населения планеты. На территориях, где засухи возможны хотя бы изредка, размещается 3/4 населения, в бывшем СССР под угрозой засух находилось 70% площади пахотных земель. Для основных сельскохозяйственных районов России причиной засух служит аномальное развитие антициклонов арктического и субтропического происхождения, блокирующих обычные пути атлантических циклонов.

Тяжелые засухи случаются в мире почти ежегодно. По числу жертв и экономическому ущербу они находятся в первой пятерке видов чрезвычайных ситуаций, по наибольшему разовому количеству жертв и величине прямого экономического ущерба (десятки миллиардов долларов) они в числе крупнейших чрезвычайных ситуаций.

Большинство стихийных бедствий, к счастью, кратковременны. Землетрясение обычно длится не более минуты. Торнадо проносится над городом Среднего Запада за пять минут. Циклоны и ураганы бушуют над городами в течение часа. Даже длительность наводнений измеряется всего

лишь несколькими днями. Но совсем по-другому обстоят дела с засухой и возникающим голодом вследствие неё. Эти стихийные бедствия могут длиться неделями, а их последствия накладывают отпечаток на поколения.

Причины засухи и голода, как правило, носят комплексный характер. Существуют четыре основных вида засухи:

- постоянная засуха, характерная для пустынь – мест, с засушливым климатом, где растения не растут без ирригации;

- сезонная засуха характерна для климатических зон с явно выраженными сухим и дождливым сезонами;

- непредсказуемая засуха, наступающая при неожиданном уменьшении осадков;

- невидимая засуха, которая является пограничным состоянием, когда высокие температуры способствуют усиленному испарению, так что даже регулярные дожди не в состоянии в достаточной степени увлажнить почву, и урожай засыхает на корню.

Засуха часто приводит к голоду. И естественные причины голода, не поддающиеся влиянию человека, порой находятся вне пределов пострадавших районов. Могут пересохнуть истоки главной реки, снабжающей водой обширные территории. Истоки реки могут быть расположены за сотни километров от места засухи, даже за пределами данного государства. Наиболее часто в мире подвержен засухам и наводнениям Китай. Совсем немного отстала от него Индия. В этих странах есть обширные участки земли, орошаемые водами рек, истоки которых лежат за границами государства. А потребности различных стран в воде часто противоречат друг другу, что и является причиной ужасных засух и голода. В СССР чаще всего засухи поражали Среднее и Нижнее Поволжье и бассейн р. Урал. Наиболее засушливыми были 1891, 1911, 1921, 1931, 1936, 1946, 1954, 1957, 1967, 1971, 1972, 1975 гг.

В Индии летом 1987 г. недостаток питьевой воды испытывали около 250 млн. чел., многие ГЭС резко уменьшили или прекратили выработку электроэнергии. В начале 1990 г. скудность зимних осадков в субтропиках Средиземноморья породила засуху, дефицит воды для бытового водоснабжения, засоление грунтовых вод в Италии и Греции и т. д.

Засухи подталкивают процесс опустынивания – уменьшения продуктивности возделываемых земель и пастбищ под воздействием их антропогенной перегрузки. От наступления пустынь страдают около 100 стран и 12% населения Земли, опустыниванию подвергаются 5–7 млн. га в год. В целом пустыни и опустыненные земли занимают 1/5 территории обжитых материков. На них размещается более 850 млн. человек.

Таким образом, информация о состоянии атмосферы широко используется в сельском хозяйстве, транспорте, энергетике, строительстве, водоснабжении, в предупреждении о стихийных бедствиях (наводнениях, засухах, селявых потоках и сходе снежных лавин) и опасной для человека степени загрязнения воздуха. Организация наблюдений, передачи, обработки, хранения и распространения информации требует научного обоснования, а результаты наблюдений служат основанием для глобальных и локальных обобщений по состоянию атмосферы.

### **Контрольные вопросы**

1. Общая характеристика опасных природных явлений в атмосфере.
2. Характеристика циклонов средних широт и тропических циклонов.
3. Шквальные бури и смерчи и их характеристика.
4. Действия населения в условиях угрозы возникновения урагана или бури.
5. Экстремальные осадки и снежно-ледниковые явления и их влияние на жизнедеятельность населения.
6. Характеристика гроз, градобитий и опасности исходящие от них.
7. Экстремальные температуры воздуха и их влияние на жизнедеятельность человека.

## Глава 6. ОПАСНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ В ГИДРОСФЕРЕ

Наводнение является опасным стихийным бедствием, влекущим за собой большой материальный ущерб, гибель и травмирование населения, сельскохозяйственных животных, ущерб окружающей природной среде. Классификация опасных природных явлений в гидросфере представлена на рис. 6.1.



Рис. 6.1. Классификация опасных природных явлений в гидросфере

По повторяемости, площади распространения и суммарному среднегодовому материальному ущербу наводнения на территории Российской Федерации занимают первое место среди стихийных бедствий, а по количеству человеческих жертв, травмированию людей и удельному материальному ущербу – второе место после землетрясений. Наводнение может происходить в результате подъема уровня воды во время половодья или паводка, при заторе, зажоре, вследствие нагона в устье реки.

## 6.1. Гидрологические опасные природные процессы и явления во внутренних водоемах

Природно-географическими условиями возникновения наводнений являются: выпадение осадков в виде дождя, таяние снега и льда, цунами, тайфуны, опорожнение водохранилищ. Наиболее часто наводнения бывают дождевого-речного типа. Другой тип – затопление побережья в результате подъёма уровня моря при шторме (наводнения нагонного типа).

Факторами опасности (ущерба) являются:

- высота изменения уровня, влияющая на площадь заливаемой или осушающейся территории;
- скорость изменения уровня воды;
- продолжительность периода отклонения уровня воды от нормы;
- для наводнений – также сопровождающие явления (ветер, температура воздуха, оползания и размывы грунта и т. п.).

Реки отличаются друг от друга различными условиями формирования стока воды. По условиям формирования стока и, следовательно, по условиям возникновения наводнений реки Российской Федерации подразделяются на четыре типа (таблица 6.1).

Таблица 6.1

Типы рек

Условия формирования максимального стока воды	Районы распространения на территории РФ
Весеннее таяние снега на равнинах	Европейская часть и Западная Сибирь
Таяние горных снегов и ледников	Северный Кавказ
Выпадение интенсивных дождей	Дальний Восток и Сибирь
Снеготаяние и выпадение осадков	Северо-Западный регион

Многообразие наводнений можно свести к пяти группам по причинам возникновения и характеру проявления (таблица 6.2). На территории Российской Федерации преобладают наводнения первых двух видов (70–80% всех случаев). Они встречаются на равнинных, предгорных и горных реках, в северных и южных, западных и восточных районах страны. Остальные три вида наводнений имеют локальное распространение.

Таблица 6.2

Виды наводнений

Виды наводнения	Причины	Характер проявления
Половодье	Весеннее таяние снега на равнинах или весенне-летнее таяние снега и дождевые осадки в горах.	Повторяются периодически в один тот же сезон. Характеризуются значительным и длительным подъёмом уровней воды.

Виды наводнения	Причины	Характер проявления
Паводок	Интенсивные дожди и таяние снега при зимних оттепелях.	Отсутствует чётко выраженная периодичность. Интенсивный и сравнительно кратковременный подъём уровня воды.
Заторные, зажорные (заторы, зажоры)	Большое сопротивление водному потоку, образующееся на отдельных участках русла реки, возникающее при скоплении ледового материала в сужениях или излучинах реки во время ледостава (зажоры) или во время ледохода (заторы).	Заторные – в конце зимы или весны. Высокий и сравнительно кратковременный подъём уровня воды в реке. Зажорные – в начале зимы. Значительный (не менее чем при заторе) подъём уровня воды и более значительная, по сравнению с заторами, продолжительность.
Нагонные наводнения (нагоны)	Ветровые нагоны воды в морских устьях рек и наветренных участках побережья морей, крупных озёр, водохранилищ.	В любое время года. Отсутствие периодичности и значительный подъём уровня воды.
Затопления при прорыве плотин	Излив воды из водохранилища или водоема, образующийся при прорыве сооружений напорного фронта (плотины, дамбы и т. п.), при аварийном сбросе воды из водохранилища, при прорыве естественной плотины, создаваемой природой при землетрясениях, оползнях, обвалах, движении ледников.	Образование волны прорыва, приводящей к затоплению больших территорий и к разрушению или повреждению встречающихся на пути объектов (зданий и сооружений и др.).

Факторы, оказывающие влияние на величину максимального подъема уровня воды при различных видах наводнений, приведены в таблице 6.3. По исходным причинам наводнения делятся на нагонные, ливневые (дождевые), половодья (связаны с таянием снега и ледников), зажорные и заторные, завальные и прорывные.

Таблица 6.3

Факторы влияния на масштабы наводнения

Вид наводнения	Факторы, оказывающие влияние на величину максимального подъема уровней воды
Половодье	Запас воды в снежном покрове перед началом весеннего таяния; атмосферные осадки в период снеготаяния и половодья; осенне-зимнее увлажнение почвы к началу весеннего снеготаяния; ледяная корка на почве; интенсивность снеготаяния; сочетание волн половодья крупных притоков речного бассейна; озёрность, заболоченность и лесистость бассейна; рельеф бассейна

<b>Вид наводнения</b>	<b>Факторы, оказывающие влияние на величину максимального подъема уровней воды</b>
Паводок	Количество осадков, их интенсивность, продолжительность, площадь охвата, предшествующее выпадение осадков, увлажненность и водопроницаемость почвы, рельеф бассейна, величина уклонов рек, наличие и глубина мерзлоты
Затор, зажор	Поверхностная скорость течения воды, наличие в русле сужений, излучин, мелей, крутых поворотов, островов и других русловых препятствий, температура воздуха в период ледостава (при зажоре) или в период ледохода (при заторе), рельеф местности
Нагон	Скорость, направление и продолжительность ветра, совпадение по времени с приливом или отливом, уклон водной поверхности и глубина реки, расстояние от морского побережья, средняя глубина и конфигурация водоема, рельеф местности
Затопления при прорывах плотин	Величина перепада уровня воды в створе плотины: объем, заполненный водой в водохранилище, на момент прорыва; уклон дна водохранилища и реки; размеры прорана и время образования прорана; расстояние от плотины, рельеф местности

Наводнения, проходящие по рекам, делят по высоте:

- на низкие или небольшие (затапливаются низкие поймы);
- средние (затапливаются высокие поймы, частично заселенные);
- сильные или выдающиеся (частично затапливаются города, коммуникации, требуется эвакуация населения);
- катастрофические (существенно затапливаются города, требуются крупные аварийно-спасательные работы, массовая эвакуация).

В каждом районе случаются разные типы наводнений, причем сильные и катастрофические создаются обычно совпадением двух и более факторов (например, снеготаяние плюс ливни, ливни плюс прорыв плотин и т.п.), что позволило разработать классификацию наводнений с учётом масштабов их распространения и повторяемости (таблица 6.4).

Таблица 6.4

#### Классификация наводнений

<b>Класс наводнений</b>	<b>Масштабы наводнения</b>	<b>Повторяемость (годы)</b>
Низкие (малые)	Наносят незначительный ущерб. Охватывают небольшие прибрежные территории. Затопляется менее 10 % сельскохозяйственных угодий, расположенных в низких местах. Почти не нарушают ритма жизни населения	5–10

Класс наводнений	Масштабы наводнения	Повторяемость (годы)
Высокие	Наносят ощутимый материальный и моральный ущерб, охватывают большие земельные участки речных долин, затапливают 10–15% сельскохозяйственных угодий. Существенно нарушают хозяйственный и бытовой уклад населения. Приводят к частичной эвакуации людей	20–25
Выдающиеся (сильные)	Наносят большой материальный ущерб, охватывая речные бассейны. Затапливают 50–70% сельскохозяйственных угодий, некоторые населенные пункты. Парализуют хозяйственную деятельность и резко нарушают бытовой уклад населения. Приводят к необходимости массовой эвакуации населения и материальных ценностей из зоны затопления и защиты важных хозяйственных объектов	50–100
Катастрофические	Наносят огромный материальный ущерб и приводят к гибели людей, охватывая громадные территории в пределах одной или нескольких речных систем. Затапливается 70% сельскохозяйственных угодий, множество населенных пунктов, промышленных предприятий и инженерных коммуникаций. Полностью парализуется хозяйственная и производственная деятельность, временно изменяется жизненный уклад населения	100–200

Наводнения (не считая нагонных, которые сопровождают ураганы) занимают в мире первое место по числу создаваемых или стихийных бедствий (40% всех ЧС), второе-третье место по числу жертв, место в первой тройке по средней многолетней и по максимальной разовой величине прямого экономического ущерба.

В России основную угрозу на Дальнем Востоке создают экстремальные осадки, снеготаносы, ливневые наводнения, зона которых распространяется до Прибайкалья.

Ливневые (дождевые) наводнения – наиболее распространенный тип наводнений. Они 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 создаются обильными осадками и 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 в районах с малой водопоглощающей способностью грунтов – в горах с большой долей скальных поверхностей, в области распространения многолетней мерзлоты, в асфальтированных

городах. Особо быстрое повышение расходов создается при относительно кратких грозových ливнях, когда месячная норма осадков выливается за немногие часы. Но они охватывают относительно небольшие водосборы (площадь до 1000 км<sup>2</sup>) и опасны, в основном, для городов.

Более распространены и дорогостоящи наводнения, обусловленные длительными интенсивными фронтальными дождями.

В странах Западной Европы зоны вероятного затопления при катастрофических наводнениях занимают до 4% территории, в них проживает 1–4% населения. В 80-х гг. сильные ливневые наводнения отмечались в Португалии, Испании, Франции, Бельгии, Великобритании, Германии, Швейцарии, Австрии и других странах. Повреждались населенные пункты, дороги, ЛЭП, сельскохозяйственные угодья.

В России ливневые наводнения наиболее часты на Дальнем Востоке с его муссонным климатом и западнее до Читинской области, куда достигает влияние тихоокеанских циклонов, а также на Северном Кавказе и в Закавказье. Уровень р. Амур и других на Дальнем Востоке может подниматься на 10 м и более. В июле 1990 г. при тайфуне в Приморье, когда выпало более двух месячных норм осадков, ущерб от наводнения превысил 100 млн. руб. В июле 1991 г. ливневые дожди в верховьях р. Амур и в Восточном Прибайкалье (выпадение нормы осадков) привели к наводнениям с экономическим ущербом более 600 млн. руб.

Половодья и паводки снеготаяния распространены в областях, где бывает снежный покров, приблизительно на 1/3 площади суши. На равнинах половодья длятся 15–20 дней на малых и до 2–3 месяцев на больших реках, в горах – все лето. Паводки – пики половодья длятся до 15–35 дней. В северной части умеренного пояса и во внутриконтинентальных районах, где обильные ливни редки, паводки снеготаяния могут быть главной причиной наводнений. На территории России сильные (выдающиеся) наводнения этого типа происходят один раз в 10–25 лет. Для них требуется сочетание обильного осеннего увлажнения грунта и бурного снеготаяния, обеспечиваемого приходом масс теплого воздуха с дождями. При этом количество снега должно соответствовать количеству пришедшего тепла таким образом, чтобы в снежном покрове могли возникнуть озерки талой воды, дружно прорывающиеся под воздействием дождя. В оврагах и в холмистых местностях при этом возникают водоснежные потоки (сели снеготаяния). Эффекты прорыва талых вод прогнозируются трудно. Примером служит наводнение в Башкирии в апреле – мае 1990 г. Бурное снеготаяние сопровождалось проливными теплыми дождями, уровень рек поднялся на 9 м выше обычного (в р. Белой) и на 3 м выше прогнозного. Затронуты более 130 населенных пунктов, включая г. Уфу, разрушено 90 мостов, 100

животноводческих ферм; прямой экономический ущерб – около 250 млн. руб. Погибло 12 человек.

Зажорные и заторные наводнения приурочены к предгорным и равнинным участкам рек, покрывающихся льдами. Зажоры представляют собой скопление шуги и мелкобитого льда, образующиеся в зимнее время, заторы – скопления льдин во время весеннего ледохода. На территории бывшего СССР на 1100 реках насчитывается более 2400 зажорных и заторных участков. Толщина зажорных скоплений льда на Ангаре, Амударье достигает 10–15 м, длина – 25 км, сокращение площади сечения русла – на величину до 80%. Продолжительность существования зажоров меняется, в зависимости от обстановки, от нескольких дней до всей зимы. Глубина воды увеличивается в 4–5 раз в сравнении с открытым руслом. Несмотря на малую водность рек в зимнее время, зажорный подъем уровня может превышать паводочный и создавать угрозу наводнений на Кавказе, Карелии, Средней Азии, местами в верховьях Енисея, на Камчатке. Зажорный подъем уровня достигает 5–6 м на Сев. Двине, Зап. Двине, реках Алтая, 6–7 м на Ангаре и Енисее, до 12 м на р. Нарын.

Затор льда образуется в весенний период при вскрытии рек во время разрушения ледяного покрова. Затор состоит из крупно- и мелкобитых льдин. Главной причиной образования затора льда является задержка процесса вскрытия на тех реках и больших по длине участках рек, где кромка ледяного покрова весной смещается сверху вниз по течению. При этом движущийся сверху раздробленный лед встречает на своем пути ненарушенный ледяной покров. При величинах поверхностной скорости течения воды (во время вскрытия ледяного покрова), равных 0,6–0,8 м/с и более, происходит торошение льда, подвижки и пр. Наличие разного рода русловых препятствий (крутых поворотов, сужений, островов) усиливает процесс образования затора льда. В районах таких русловых препятствий у верхнего края ледяного покрова под напором приносимого течением ледового материала происходит торошение льда и образуется хаотическое нагромождение крупно- и мелкобитых льдин. Русло здесь в наибольшей мере стеснено льдом, в результате чего уровень воды в реке повышается, в том числе на некотором участке выше места стеснения, т. е. в пределах зоны подпора.

Заторы характерны для рек, вскрытие которых ото льда начинается с верховьев и происходит механическим путем. Это – все реки, текущие на север, прежде всего реки Сибири и севера европейской части России. В низовьях Лены длина заторов достигает 50–100 км. Продолжительность существования заторов – до 12–15 дней. Заторный подъем воды над максимальным уровнем половодья достигает 4–6 м, максимум до 10 м. Максимальная на территории России высота поднятия заторного уровня

воды отмечена на Нижней Тунгуске в сужениях долины – до 35–40 м. Для образования заторов необходимо большое количество льда и дружное весеннее половодье. На крупных реках Сибири такие условия выдерживаются почти ежегодно, повторяемость заторов 70–100%. Наиболее известны заторные наводнения на Сев. Двине у Архангельска (повторяемость один раз в 4 года, высота поднятия уровня воды до 10 м); на Оби и ее притоках, где под постоянной угрозой находятся Тобольск, Кемерово и другие города; на Енисее и его притоках.

17 и 18 мая 2001 года в городе Ленске в результате небывалых по величине ледовых заторов на реке Лена произошло наводнение (рис. 6.2). Численность населения, подвергнувшаяся затоплению, составила 30,8 тыс. человек. Погибли 6 человек. Было разрушено более 3300 домов. Суммарный ущерб от стихийного бедствия составил около 6 миллиардов рублей.



Рис. 6.2. Затопленный город Ленск

Зажор льда наблюдается в начале зимы в период формирования ледяного покрова. Решающее значение при образовании зажора имеет поверхностная скорость течения воды (более 0,4 м/с), а также температура воздуха в период замерзания. Образованию зажоров способствуют различные русловые препятствия: острова, отмели, валуны, крутые повороты и сужения русла, участки в нижних бьефах гидроэлектростанций. Скопления шуги и другого рыхлого ледового материала, образующиеся на этих участках в результате непрерывного

процесса образования внутриводного льда и разрушения ледяного покрова, вызывают стеснение водного сечения русла реки, следствием чего является подъем уровня воды выше по течению. Образование сплошного ледяного покрова в месте зазора задерживается.

Завальные и прорывные наводнения менее регулярны, чем наводнения предшествующих типов. Они бывают в горных районах и связаны с оползнями и обвалами (преимущественно сейсмогенными) и подвижками ледников.

С 1910 г. такие события в мире случаются в 10–15 раз в год (в том числе разрушения крупных плотин – раз в 2–3 года).

Из последствий завалов в бывшем СССР наиболее известно Сарезское озеро глубиной до 500 м, возникшее на р. Мургаб на Памире вследствие землетрясения 1911 г.

Более или менее регулярные подвижки ледников возможны во всех ледниковых районах мира. Около 5% горных ледников относятся к пульсирующим (с интервалом в годы – десятилетия). При подвижке они перекрывают водотоки и обеспечивают накопление временных, раньше или позже, прорывающихся озер. Длительно существующие при ледниковые озера также могут прорываться, если они подпружены рыхлым льдосодержащим моренным валом. Волны прорыва проходят вниз по долинам, принимая характер селей. Паводки такого рода случаются в горных долинах не реже одного раза в 10–20 лет, а по каждому горному району в целом один раз в 2–5 лет.

В Гималаях за последние 200 лет отмечено 35 катастрофических прорывных паводков.

Изменение русел, увеличивающее высоту наводнений, происходит путем их непреднамеренного антропогенного заиления и обмеления, а также при неправильных русловыправительных работах (чрезмерное сужение и спрямление). Изменение условий поверхностного стока происходит при осушении болот, сведении лесов, распашке, а в городах – при создании больших водонепроницаемых поверхностей. При осушении болот максимальный поверхностный сток возрастает в 1,5–2,5 раза; при сведении лесов и распашке – в 2–4 раза, а на малых водосборах – еще больше, что и способствует заилению, прежде всего, малых рек.

Увеличение площади водоупорных покрытий в городах ведет к такому же росту расхода ливневых паводков и к еще большему сокращению времени «добегания» паводковой волны, что резко увеличивает максимальные расходы.

Температурный режим рек умеренного и более холодных поясов меняется при создании водохранилищ: у выхода реки из водохранилища зимой постоянно поддерживается полынья, что увеличивает

повторяемость зажоров, а в некоторых случаях – и высоту зажорных уровней в сравнении с естественными (на нижнем бьефе Красноярской ГЭС – на 2,5 м и более). На верхнем бьефе водохранилищ происходит увеличение зажорности и заторности, местами – повышение уровня заторного поднятия над прежним максимальным уровнем весеннего паводка.

Локальные изменения полей осадков и снеготаяния происходят в крупных городах. Они создают над собой факелы запыленного и теплого воздуха, что увеличивает повторяемость и интенсивность грозových ливней, а в целом – рост осадков до 20% в сравнении с окрестностями.

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 (объемное расширение) 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 последние годы внимание привлекают вертикальные тектонические колебания небольших участков земной коры (площадью от нескольких до тысяч квадратных километров) с амплитудой и периодом, оцениваемыми величинами до 5–6 м и сотен лет. В прибрежной полосе они обернулись бы такими же колебаниями уровня моря и, соответственно, интенсивности различных опасных явлений.

Бессточные озера известны на всех континентах. Бессточные области занимают 25% площади суши, не считая Антарктиды. Крупнейшие бессточные озера: Каспий, Арал, Балхаш, Лобнор, Эйр, Амадиес и др. Их уровни колеблются с периодом 25–45 лет и испытывают длительные изменения под воздействием климатических причин. За 1870–1970 гг. уровень Каспия снизился на 3,5 м, Арала на 8,5 м, Балхаша на 3,7 м, Иссык-Куля на 3,2 м, Мертвого моря на 6,3 м. В последние десятилетия наступил новый период поднятия уровня: в Большом Соленом озере на 2 м лишь за 1983–1985 гг., в оз. Девилс-Лейк (США) на 7 м после 1950 г., на Каспии на 2,1 м в 1978–1993 гг.

#### *Превентивные мероприятия при угрозе затопления населённых пунктов и территорий*

Меры защиты от наводнений подразделяются на оперативные (срочные) и технические (предупредительные).

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

Технические меры включают заблаговременное проектирование и

строительство специальных сооружений. К ним относятся: регулирование стока в русле реки; отвод паводковых вод; регулирование поверхностного стока на водосбросах; обвалование; спрямление русел рек и дноуглубление; строительство берегозащитных сооружений; подсыпка застраиваемой территории; ограничение строительства в зонах возможных затоплений и др.

Наибольший экономический эффект и надежная защита пойменных территорий от наводнений могут быть достигнуты при использовании обширного комплекса мероприятий, сочетании активных методов защиты (регулирование водостока) с пассивными методами (обвалование, руслоуглубление и т. п.). Выбор способов защиты зависит от ряда факторов: гидравлического режима водотока, рельефа местности, инженерно-геологических и гидрогеологических условий, наличия инженерных сооружений в русле и на пойме (плотины, дамбы, мосты и т. д.), расположения объектов экономики, подвергающихся затоплению.

Основными направлениями действий органов исполнительной власти при угрозе затопления являются:

- анализ обстановки, выявление источников и возможных сроков затопления;
- прогнозирование видов (типов), сроков и масштабов возможного затопления;
- планирование и подготовка комплекса типовых мероприятий по предупреждению затоплений;
- планирование и подготовка к проведению аварийно-спасательных работ в зонах возможного затопления.

На федеральном уровне МЧС России осуществляет планирование и подготовку мероприятий общегосударственного масштаба. На региональном уровне региональными центрами МЧС России планируются и готовятся мероприятия, входящие в их компетенцию. На уровне области, края, республики планируются и готовятся мероприятия на их территориях. В период угрозы затопления в режиме повышенной готовности функционируют органы управления ГОЧС субъектов Российской Федерации. При угрозе затопления противопаводковые комиссии работают в дежурном режиме:

- организуют круглосуточный контроль за паводковой обстановкой в зоне своей ответственности, используя посты Росгидромета и своих наблюдателей;
- поддерживают постоянную связь и обмениваются информацией с комиссиями по чрезвычайным ситуациям и оперативными дежурными органов управления ГОЧС;
- проводят учения (тренировки) по противопаводковой тематике и

организуют обучение населения правилам поведения и действиям во время наводнений;

- отправляют донесения в вышестоящие органы управления;
- уточняют и корректируют планы противопаводковых мероприятий с учетом складывающейся обстановки;
- решением глав администраций территорий организуют круглосуточные дежурства спасательных сил и средств;
- уточняют (предусматривают) места (районы) временного отселения пострадавших жителей из подтопленных (разрушенных) домов, организуют подготовку общественных зданий или палаточных городков к размещению эвакуируемых;
- предусматривают обеспечение эвакуируемого населения всем необходимым для жизни;
- согласуют с местными органами МВД РФ и местного самоуправления порядок охраны имущества, оказавшегося в зоне затопления;
- организуют круглосуточные дежурства по наблюдению за изменением уровня воды в источниках наводнения;
- участвуют в организации и оборудовании объездных маршрутов транспорта взамен подтопленных участков дорог;
- организуют (контролируют) укрепление имеющихся и сооружение новых дамб и обвалований;
- организуют и поддерживают взаимодействие с органами управления МО РФ, МВД РФ, территориальными управлениями (отделами) Росгидромета, территориальными подразделениями Всероссийской службы медицины катастроф.

В период угрозы весеннего половодья и паводков на реках противопаводковые комиссии должны предусмотреть:

- границы и размеры (площади) зон затопления, количество административных районов, населенных пунктов, объектов экономики, дорог, мостов, линий связи и электропередач, попадающих в зоны подтоплений и затоплений;
- число пострадавших, а также временно отселяемых из зоны затопления, разрушенных (аварийных) домов, построек и т. п.;
- объемы откачки воды из затопленных сооружений;
- количество голов погибших сельскохозяйственных животных;
- местоположение и размеры сооружаемых дамб, запруд, обвалований, креплений откосов берегов, водоотводных каналов, ям (сифонов);
- предварительный размер материального ущерба;

- численность привлекаемых сил и средств;
- мероприятия по защите населения.

В подготовительный период важную роль играет анализ обстановки и прогнозирование возможного затопления населенных пунктов. Анализ обстановки предусматривает выявление возможных причин возникновения угрозы затопления населенных пунктов, среди которых могут быть половодье и паводок, а также факторы, способствующие возникновению затопления и подтопления. При этом выявляются возможные сценарии развития ЧС, при которых:

- существенно нарушаются условия жизнедеятельности людей на территории административных районов субъекта Российской Федерации;
- возможны человеческие жертвы или ущерб здоровью большому количеству людей;
- могут быть значительные материальные потери;
- возможен значительный ущерб окружающей среде.

Выявление перечисленных вариантов ЧС, связанных с затоплением территорий, производится на основании: статистических данных о наводнениях и данных многолетних наблюдений по данной территории; изучения планов действий промышленных объектов в случае возникновения ЧС; собственных оценок территориальных органов управления РСЧС.

По выявленным факторам, способствующим возникновению ЧС, а также вторичным факторам, представляющим угрозу населению и объектам экономики, производится: оценка вероятности возникновения ЧС; оценка масштабов возможной ЧС.

Под масштабами следует понимать: количество погибших; количество пострадавших; величину материального ущерба; объем эвакуационных мероприятий и защиты, связанный с эвакуацией населения; затраты на ликвидацию ЧС и восстановительные работы; косвенные потери (недовыпуск продукции, затраты на пособия, компенсационные выплаты, пенсии и т. д.) и др.

Оценка вероятности возникновения и масштабов ЧС, вызванных авариями на промышленных объектах, системах жизнеобеспечения вследствие воздействия вторичных факторов, производится администрацией соответствующих объектов. Прогнозирование и оценку масштабов ЧС следует проводить с учетом требований законов, других нормативно-правовых актов и методик, рекомендуемых МЧС России. В случае отсутствия таких документов для отдельных конкретных случаев органы исполнительной власти субъектов РФ организуют проведение исследований по оценке вероятности возникновения ЧС и по оценке масштабов ЧС силами субъекта РФ.

Результаты выявления факторов, способствующих возникновению ЧС,

связанных с затоплением территорий и населенных пунктов, служат основой для принятия решений на проведение профилактических мероприятий. На основе анализа обстановки осуществляется планирование мероприятий по предупреждению затоплений. Планирование регламентируется Федеральным законом «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера», нормативно-правовыми актами органов государственной власти субъектов Российской Федерации и органов местного самоуправления. При этом целесообразно различать предметное (целевое) и оперативное планирование.

Предметное планирование должно предусматривать проведение организационных, финансово-экономических и инженерно-технических мероприятий по предотвращению или снижению риска затоплений. Оперативное планирование предусматривает комплекс организационно-технических мероприятий по подготовке населения, объектов экономики и территорий к чрезвычайной ситуации. Эти мероприятия должны отражаться в планах социально-экономического развития территорий, планах развития отраслей экономики, объектов экономики.

Типовой порядок планирования мероприятий по предупреждению ЧС, вызванных затоплениями, включает:

- выявление организаций и учреждений, которые могут быть задействованы в организации и выполнении мероприятий по предупреждению ЧС;

- разработку и технико-экономическое обоснование организационных и инженерно-технических мероприятий по предотвращению или снижению риска возникновения ЧС;

- разработку и технико-экономическое обоснование мероприятий по снижению тяжести последствий воздействия ЧС на население, объекты экономики и окружающую среду.

Разработанные планы согласовываются с заинтересованными органами и организациями, утверждаются соответствующими руководителями органов исполнительной власти и направляются исполнителям. Контроль за реализацией планов осуществляется исполнительной властью территории через территориальные органы управления РСЧС.

Рассмотрим основные мероприятия по уменьшению последствий заторов и зажоров. Заторы ликвидировать нельзя, их можно лишь несколько ослабить или переместить на другое место. При борьбе с заторными наводнениями требуется регулирование стока ледового материала. Эффективными мерами борьбы с заторами являются:

- разрушение путем подрывов ледяных полей зарядами взрывчатых веществ, бомбометания, артиллерийского обстрела;

- химическое разрушение льда путем посыпки различными солями;
- взламывание льда ледоколами или судами на воздушной подушке;
- маневрирование расходом воды через плотину.

Взрывной способ борьбы целесообразно применять в период образования затора. На широких реках подрыв ледяных полей начинают ниже затора и вдоль берегов. На узких и средних реках лед следует подрывать сверху вниз по течению или одновременно по всей длине затора.

При химическом способе разрушения льда понижают его температуру плавления распределением соли по его поверхности. Иногда для разрушения ледяного покрова его посыпают молотым шлаком с добавкой соли, т. е. зачерняют лед с нормой расхода 1–3 т/га, рассыпая полосами шириной 5–10 м в местах будущих трещин и у берегов.

При разрушении ледяных полей и самого тела затора ледоколами последние должны двигаться снизу вверх по руслу реки и создавать зигзагообразный канал в теле затора шириной не менее длины судна. Суда на воздушной подушке применяются для разрушения ледяного покрова толщиной до 1 м.

Самым радикальным средством борьбы с заторами является маневрирование расходом воды через плотину. Эффективность этого метода зависит от мощности затора, объема и продолжительности пропуска воды, ледовой обстановки и погодных условий.

#### *Рекомендации населению по поведению при наводнениях*

1. Жители любого населенного пункта должны знать, находится ли населенный пункт, в котором они проживают, в зоне возможного затопления. Если находится, то необходимо знать: куда, в какие районы должна проводиться эвакуация в случае угрозы наводнения и по каким маршрутам. Эвакуация должна проводиться при получении информации об угрозе наводнения. По возможности эвакуируются и домашние животные.

2. Перед тем как покинуть дом, необходимо выключить электричество, газ. При эвакуации необходимо взять с собой документы, ценности, наиболее нужные вещи и запас продуктов питания. Часть имущества, которую невозможно взять с собой, целесообразно предохранить от затопления, перенести на верхние этажи, на высокие места.

3. Во время наводнения необходимо:

- постараться собрать все, что может пригодиться: плавсредства, спасательные круги, веревки, лестницу, сигнальные средства;
- спасти людей, отсеченных стихией от остальных, оказывать

первую помощь пострадавшим;

- если есть опасность оказаться в воде, то до прибытия помощи снять обувь и освободиться от тяжелой и тесной одежды;

- наполнить рубашку и брюки легкими плавающими предметами (мячики, пустые закрытые пластмассовые бутылки и т. п.);

- использовать столы, автомобильные шины, запасные колеса, спасательные пояса, чтобы удержаться на поверхности;

- прежде чем соскользнуть в воду, нужно вдохнуть воздух, схватиться за первый попавшийся предмет и плыть по течению, пытаясь сохранить спокойствие;

- прыгать в воду только в последний момент, когда нет надежды на спасение.

4. Переправа (вывод) людей при начавшемся наводнении разрешается только по обозначенному для этой цели броду глубиной не более 1 м. В необходимых случаях эвакуация производится на плотках, лодках, катерах, вездеходах и других средствах.

5. После окончания наводнения перед тем как войти в здание, убедиться, что оно не угрожает обвалом, осмотреть имеющиеся повреждения. При этом нельзя пользоваться открытым огнем. Следует проверить, отключено ли электропитание, нет ли оголенной электропроводки и возможности короткого замыкания, нет ли утечки газа.

6. Нельзя употреблять в пищу продукты питания, которые были в контакте с водами наводнения. Необходимо также проверить питьевую воду перед её использованием.

7. Наводнения могут сопровождаться такими стихийными явлениями, как оползни, селевые потоки, а также тем, что в число вызванных наводнением опасностей входят вспышки эпидемий, падеж скота, уничтожение урожая сельскохозяйственных культур, разрушение линий канализаций, загрязнение воды, разрушение линий газо- и электроснабжения.

8. Рекомендации населению по действиям в условиях угрозы и возникновения нагонных, заторных и зажорных наводнений практически такие же, как и в случае паводковых наводнений.

### *Прогнозирование наводнений*

Прогнозирование наводнений – это один из видов гидрологических прогнозов. В зависимости от времени упреждения гидрометеорологические прогнозы разделяются на краткосрочные (менее 12–15 дней) и долгосрочные (с большей заблаговременностью).

Методы краткосрочного прогнозирования базируются на использовании закономерностей движения воды в руслах и

закономерностей притока (стока) воды к рассматриваемым участкам этих русел, на расчетах перемещения и трансформации водного потока по отдельным участкам реки. В результате таких прогнозов выдается информация об ожидаемых максимальных расходах и уровнях воды в интересующих створах. Исходными данными при этом являются гидрографы (зависимости расходов воды от времени).

Долгосрочные гидрологические прогнозы применяются, как правило, для предсказания масштабов действия наводнения. Методики долгосрочного прогнозирования максимальных расходов (уровней) воды в рассматриваемых пунктах за период половодья базируются на зависимости между величиной расхода и стоком в половодье, которые устанавливаются для каждого пункта по материалам многолетних гидрометрических наблюдений. Результаты прогнозных расчетов весеннего половодья на территории страны вначале каждого года Гидрометцентр выдает пользователям в виде карт, на которых изолиниями обозначены бассейны с различными значениями возможных максимальных превышений (или снижений) уровня воды относительно среднего многолетнего уровня. Для каждого населенного пункта, попадающего в зону действия наводнения, в соответствующем территориальном органе Госкомгидромета имеются Каталоги опасных отметок уровней (расходов) воды, так называемых критических уровней воды. Критический (опасный) уровень – это уровень воды по ближайшему гидрологическому посту, с превышения которого начинается затопление данного населенного пункта. При этом может быть несколько значений критического уровня, характеризующих последовательность затопления города по мере повышения уровня воды в реке.

Методика прогнозирования наводнений заключается в следующем:

- по прогнозным картам устанавливается максимально возможное ожидаемое превышение уровня воды в реке для данного пункта;
- величина превышения суммируется с соответствующей величиной среднего многолетнего уровня воды в реке для данного пункта, которые также имеются в органе Госкомгидромета;
- сравнивая полученную величину отметки с величиной критического уровня получаем информацию о той или иной возможной степени затопления интересующих пунктов.

Главная задача прогнозирования заторов и зажоров – оценить максимальные возможные заторные и зажорные уровни воды.

На первой стадии прогнозирования оценивается возможность образования затора или зажора, определяются затороопасные и зажороопасные участки в руслах рек. Определить такие участки для всех рек страны можно с помощью «Каталога заторных и зажорных участков

рек», который имеется в органах Госкомгидромета. Исходными данными для прогнозирования максимальных заторных и зажорных уровней являются данные наблюдений гидрологических постов. Результаты прогноза выдаются в виде карт или сводок с ожидаемыми величинами максимальных заторных и зажорных уровней. Методы прогноза максимальных заторных и зажорных уровней основываются на прямой или косвенной оценке величины расхода воды у кромки ледяного покрова по пути её перемещения в пределах водосборного участка реки. Существуют эмпирические зависимости максимального заторного или зажорного уровней от расхода воды у кромки ледяного покрова. Эти зависимости различны для разных физико-географических условий речных бассейнов на территории России. Так как основная опасность затора (зажора) льда заключается в значительном подъеме уровня воды в реке, при котором вода выходит из берегов и затопляет прилегающую местность, то, в дальнейшем, полученные расчетом ожидаемые значения максимальных уровней сравниваются с соответствующими величинами критических уровней, т. е. отметок уровней, превышение которых представляет опасность для населенных пунктов, предприятий, мостов и других объектов. В результате получаем информацию о той или иной возможной степени затопления интересующих пунктов.

В понятие прогноза нагонных наводнений входит оценка величины подъема уровня воды, а также ориентировочное время, к которому этот подъем уровня ожидается. Прогноз нагонного наводнения периодически уточняется по мере продвижения волны нагона. В соответствии с физико-географическими и климатическими условиями для каждого района, в котором имеют место нагонные явления, разрабатываются конкретные методики прогноза нагонных наводнений. Исходным материалом для разработки такой методики являются результаты анализа данных обо всех имевших место ранее в данном районе нагонных наводнениях.

## **6.2. Типизация и характеристика морских опасных природных явлений. Абразия морских берегов и ветровой нагон. Цунами**

Рассмотрим ряд морских гидрологических опасных явлений (тропические циклоны (тайфуны), сильное волнение, сильное колебание уровня моря, сильный тягун в портах, ранний ледяной покров и припай, напор льдов, непроходимый (труднопроходимый) лёд, обледенение судов и портовых сооружений, отрыв прибрежных льдов) наиболее опасное морское гидрологическое явление природного происхождения – цунами, что в переводе с японского языка, означает «высокая волна в заливе».

Абразия (от лат. «абразо» — брею, соскабливаю) — разрушение морских берегов волнами, прибоем и течениями. Основную

разрушительную работу совершает прибой и в меньшей мере различные течения (прибрежные, донные), а также приливы и отливы. Морская абразия изменяет очертания береговой линии и отодвигает ее в сторону суши (рис. 6.3).

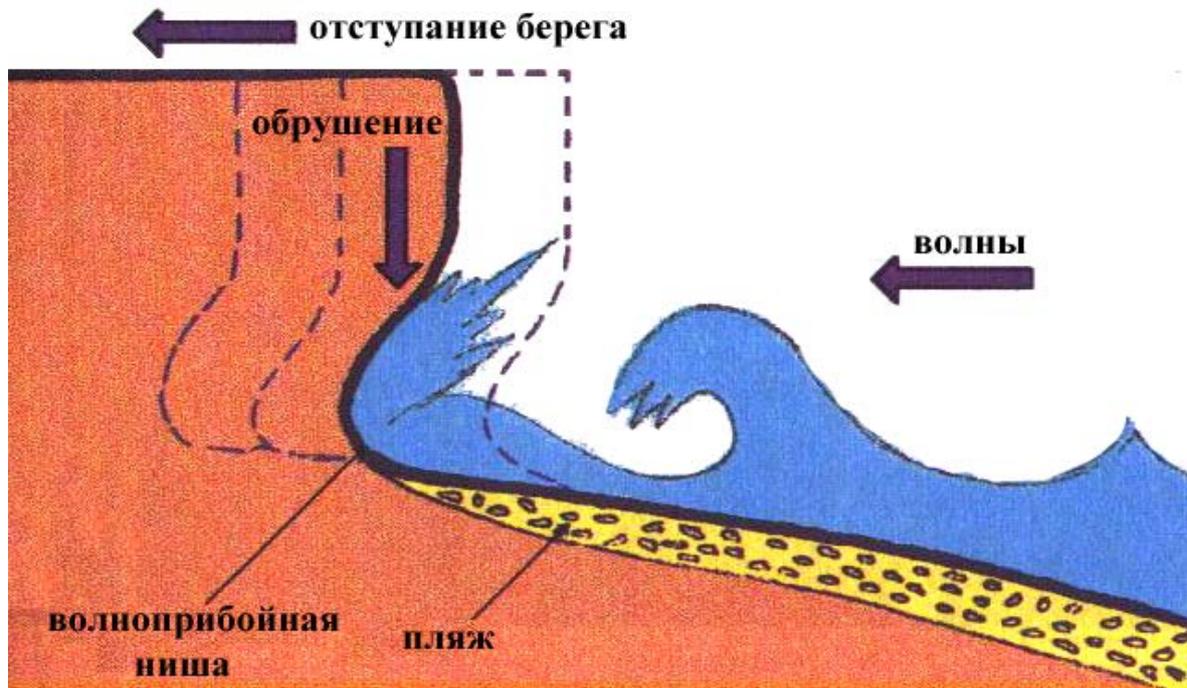


Рис. 6.3. Схема образования морской абразии

Абразионная деятельность моря представляет значительную угрозу для различных сооружений, расположенных на прибрежных территориях (жилых и промышленных зданий, железных и автомобильных дорог и т. д.) (рис. 6.4). Морская абразия сокращает полезную площадь приморских городов (Сочи, Одесса, Ялта и др.), активизирует развитие опасных геологических процессов (оползней, обвалов и др.).



Рис. 6.4. Абразионная деятельность на сооружение

Интенсивность абразии морских берегов зависит от многих факторов, среди которых важнейшие:

- ударная сила волн. Во время сильных штормов высота волн может достигать 15—20 м и более, а сила удара 10—30 т/м<sup>2</sup>. Удары штормовых волн у берегов Испании и Франции регистрируются сейсмическими станциями ФРГ и Швейцарии;

- литологический состав, строение и состояние горных пород. Больше всего подвержены разрушению рыхлые песчано-глинистые породы, а также сильнотрещиноватые выветренные скальные породы, особенно при падении их в сторону моря;

- высота и крутизна берегового склона; интенсивность абразии при прочих равных условиях значительно больше в случае высоких обрывистых берегов;

- современные тектонические колебательные движения; абразия усиливается при повышении уровня моря (трансгрессия). Отступление моря (регрессия) ослабляет абразию.

Известную роль в развитии морской абразии играют приливы и отливы, а также морские береговые течения, регулирующие накопление обломочного материала вдоль береговой линии.

Морфология морского берега. В типичном профиле побережья моря в верхней части берегового склона выделяют отвесный береговой уступ (клиф), образующийся в результате обрушения волноприбойной ниши (см. рис. 6.3). В нижней части уступа начинает формироваться новая волноприбойная ниша, над которой в определенный момент вновь

обрушиваются горные породы. Уступ в результате этих процессов постепенно отступает в сторону суши, оставляя за собой слабонаклоненную к морю подводную абразионную террасу (бенч).

Полоса между береговым уступом и террасой, полого спускающаяся в сторону моря и сложенная галькой, гравием или песком, называется пляжем. В период шторма пляж заливается волнами. К абразионной террасе в зоне моря примыкает аккумулятивная терраса, на которую сносится и откладывается рыхлый материал.

Геологическая работа моря — это не только разрушение береговой зоны, но и накопление (аккумуляция) продуктов разрушения. Береговые осадки накапливаются в форме пляжей, аккумулятивных террас, береговых валов, песчаных кос и других аккумулятивных форм рельефа. Со строительной точки зрения они могут вызывать определенные трудности (заиление и др.) при эксплуатации приморских гидротехнических сооружений. С другой стороны, пляжевые накопления, узкой полосой протягивающиеся вдоль морского берега, являются лучшей его природной защитой от разрушения.

Основная задача инженерно-геологических изысканий для обоснования строительства в районах активной абразионной деятельности моря — детальное изучение геолого-гидрогеологических и геоморфологических особенностей прибрежной территории, волно-ветрового режима моря и других факторов и оценка их роли в изменении береговой линии.

Мероприятия по борьбе с морской абразией. Выше уже отмечалось, что важнейшим условием, предотвращающим разрушения морского берега от волнового воздействия, является сохранение пляжа. При наличии пляжа достаточной ширины (более 20 м) энергия штормовых волн практически полностью гасится в его пределах. Практика показывает, что это условие нередко не выполняется, в частности происходит изъятие песчаного и гравийно-галечного материала пляжей для строительных целей. Например, в недалеком прошлом на отрезке протяженностью 100 км между городами Туапсе и Адлером за год на пляж из горных рек поступило 170 тыс. м<sup>3</sup> гальки, а потери составляли 320 тыс. м<sup>3</sup> (изъятие галечника для строительства).

Ослабляют процессы формирования пляжа и другие причины, пример, неправильное заложение портовых и берегоукрепительных сооружений, изменяющих установившиеся пути движения морских донных осадков.

Важнейшей задачей в борьбе с абразией морского берега является возведение защитных инженерных сооружений: пассивных и активных.

К пассивным относятся берегоукрепительные сооружения, которые

принимают удары морских волн на себя и временно задерживают разрушение берега (волноотбойные стены, набережные, каменные наброски, прямые и ступенчатые откосные сооружения, волногасящие бермы из фигурных массивов и т. д.).

Эти сооружения, как правило, недолговечны, в особенности на крутых берегах. Например, имеются примеры разрушения набережных через 8—10 лет после их возведения.

В состав берегозащитных сооружений активного типа входят сооружения, которые служат не только для гашения энергии волн, но и для накопления и удерживания наносов, слагающих пляж. С их помощью человек активно вмешивается в берегоформирующие процессы. Главнейшие представители пляжеудерживающих сооружений — буны и подводные волноломы.

Буны— поперечные бетонные массивы, дамбы из каменной наброски и др., устанавливаемые под прямым углом к линии берега. Их назначение — прервать вдольбереговое перемещение наносов и способствовать их накоплению на берегу. За счет этого образуется (или стабилизируется) пляж необходимой ширины. Расстояние между бунами принимается равным не менее одной длины буны.

Волноломы— это дамбы из каменной наброски или массивы бетона, которые, в отличие от бун, создают параллельно защищаемому берегу на расстоянии 30-40 м от него и на глубине от 2-4 м. В необходимых случаях устраивают несколько параллельных рядов волноломов. Их назначение формировать и удерживать пляжевые наносы.

В настоящее время общей тенденцией морской берегозащиты является переход к комплексной инженерной защите морского берега сочетающей одновременное возведение бун, волноломов, волноотбойных стен, а также периодическую подсыпку пляжей песчано-щебенистым материалом. Обязательны профилактические меры например, регулирование стока рек, впадающих в море, для увеличения объема наносов, сохранение естественного дернового покрова, деревьев и кустарников в береговой полосе, примыкающей к пляжу другим берегозащитным сооружениям.

Нагонные наводнения возникают на приморских территориях при прохождении глубоких циклонов, особенно ураганов (тайфунов). Нагон воды представляет собой подъем уровня, вызванный воздействием ветра на водную поверхность (рис. 6.5). Нагоны, приводящие к наводнениям, случаются в морских устьях крупных рек, на больших озерах и водохранилищах. Нагон возникает на наветренном берегу водоема за счет касательного напряжения на плоскости раздела вода–воздух. Вовлекаемые ветром в движение в сторону наветренного берега, поверхностные слои

воды испытывают лишь сопротивление нижних слоев воды. С образованием уклона водной поверхности, под действием силы тяжести нижние слои начинают двигаться в противоположном направлении, уже испытывая гораздо большее сопротивление шероховатости дна. Из-за неравенства расходов воды, движущейся в противоположных направлениях, возникает подъем уровня у наветренного берега водоема и спад у подветренного.

Ветровой нагон (так же, как половодье, паводок, затор, зазор) является стихийным (особо опасным) гидрологическим явлением. Главным условием возникновения нагонных наводнений является сильный и продолжительный ветер. Основной характеристикой, по которой можно судить о величине нагона, является нагонный подъем уровня воды, выражающийся в метрах.



Рис. 6.5. Нагонные наводнения

Другими величинами, характеризующими нагон, являются глубина распространения нагонной волны, площадь затопления, продолжительность затопления. На величину нагонного уровня в морских устьях рек влияют скорость и направление ветра. Для каждой конкретной местности, подверженной нагонным наводнениям, можно определить направление ветра над водоемом, при котором нагонные явления будут максимальными.

Общим для морских устьев рек является то, что нагон может совпасть по времени с приливом или отливом; соответственно он будет либо несколько большим, либо меньшим. Нагонная волна распространяется вверх по реке тем на большее расстояние, чем меньше уклон и больше

глубина реки. Продолжительность затопления составляет от нескольких часов до нескольких суток. На величину подъема нагонного уровня крупных водоемов влияют:

- скорость, направление ветра;
- длина разгона ветра над водоемом;
- средняя глубина водоема по длине разгона;
- величина и конфигурация водоема.

Чем крупнее водоем, меньше его глубина, чем ближе его конфигурация к кругу или эллипсу, тем больших размеров достигают нагоны и стоны воды. Основными характеристиками последствий от нагонных наводнений являются практически те же характеристики, что и при паводковых наводнениях.

Нагонные наводнения обусловлены: барическим поднятием уровня моря (до 1 м, редко до 2,5 м); длинными волнами, обусловленными собственно нагоном (высота до 8–12 м); ветровыми короткими волнами. В итоге уровень воды может надолго подняться над нормальным на 4–5 м на Охотском побережье, на 6–8 м на атлантическом побережье Сев. Америки, на 8–10 м в Японии, на 12–13 м в Австралии. В областях воздействия среднеширотных циклонов высота нагонных наводнений не превышает 3–4 м. При этом гребни волн поднимаются еще выше – до 40–50 м над штилевым уровнем моря в Японии, Бангладеш и на берегах Сев. Атлантики (Массачусетс, США; Британские острова), до 30 м на о. Тайвань. Передняя волна нагона часто идет как «стена воды» высотой в несколько метров, опережая максимум скорости ветра на время до получаса. Вправо и влево от центра циклона расходятся более низкие боковые волны, достигающие берегов часто еще при безветрии. Высота нагона и гребней волн зависят от топографии прибрежной полосы. Максимальный уровень нагона держится недолго, иногда лишь 10–20 мин, затем несколько более низкий – до 10 ч. Продолжительность полного снижения уровня к норме определяется окончанием урагана и равна 1–1,5 суток, редко до 4 суток.

Цунами – длинные морские волны, которые могут возникать в результате подводных землетрясений, а также вулканических извержений или оползней на морском дне. Кроме того, цунами возможны при обрушении берегов. Источник цунами – место на дне океана, где произошло подводное землетрясение, оползень или извержение вулкана.

Для образования волны цунами необходимо вертикальное смещение морского дна, хотя выявлено и много случаев возникновения цунами при эпицентре толчка на суше (рис. 6.6). Морские волны могут возникать также в результате прохождения поверхностных волн через мелководный континентальный шельф или, возможно, вдоль подводного каньона. Цунами

возникают, как правило, при подводных землетрясениях с магнитудой более 7. Энергия цунами обычно составляет 1–10% энергии вызвавших землетрясений.

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 (рис. 6.7). Над отмелями волна тормозится до скорости порой лишь 50 км/ч, её высота увеличивается до 10–20 м, фронт разворачивается параллельно берегу. Высота крупных волн у побережья составляет 5–20 м, 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 волной. Часто перед началом цунами вода отступает далеко от береговой линии. Наибольшей высотой обычно обладает не первая волна, но одна из первых десяти. Суммарная продолжительность их накатывания на берег может достигать несколько часов. Разрушительные воздействия цунами складываются из подъёмной силы воды, давления водного потока, ударов влекомого материала.

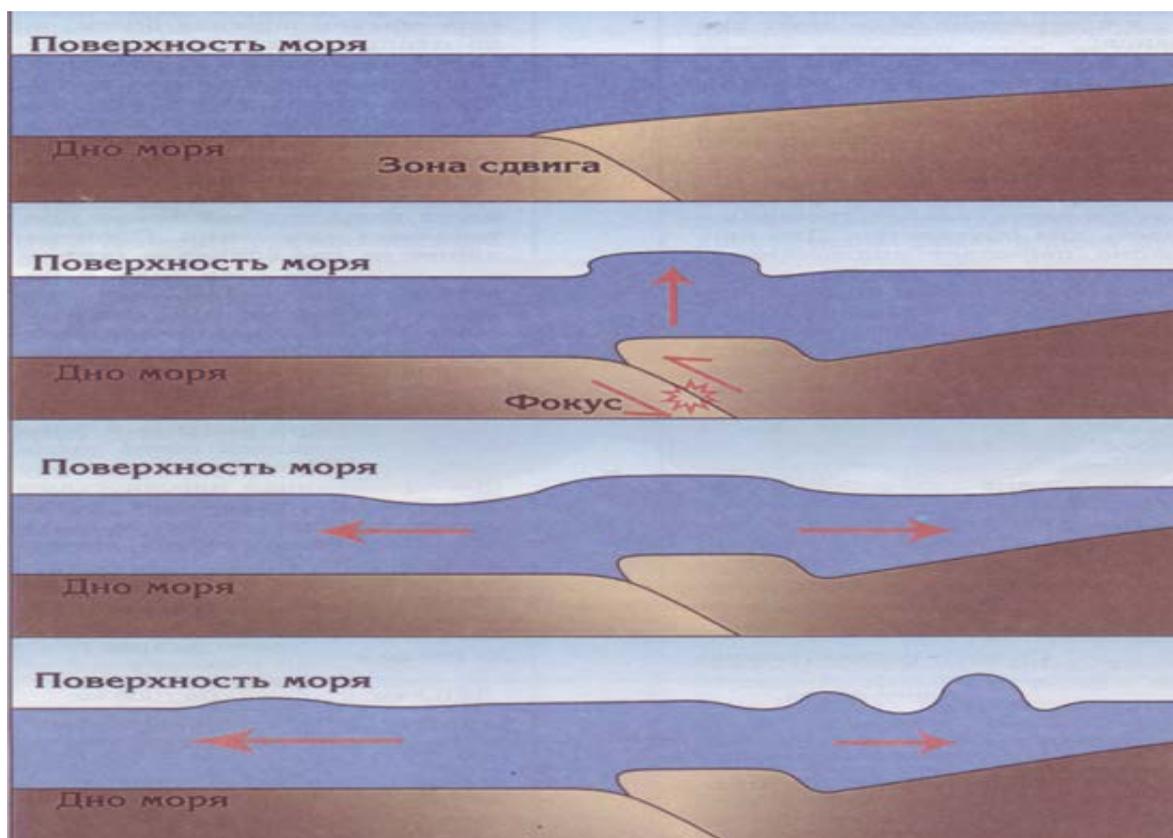


Рис. 6.6. Механизм образования волны цунами

Основными характеристиками цунами являются: магнитуда; интенсивность на конкретном побережье; скорость движения волны.

За магнитуду цунами принят натуральный логарифм амплитуды колебаний уровня воды (в метрах), измеренный стандартным мореграфом у береговой линии на расстоянии от 3 до 10 км от источника цунами.

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

Сейсмогенные цунами в области возникновения имеют высоту в немногие дециметры, редко до 5 м. Скорость движения волны цунами определяет время добегания волны от источника до любого побережья и, в зависимости от глубины моря, может быть от 100 до 1000 км/ч.

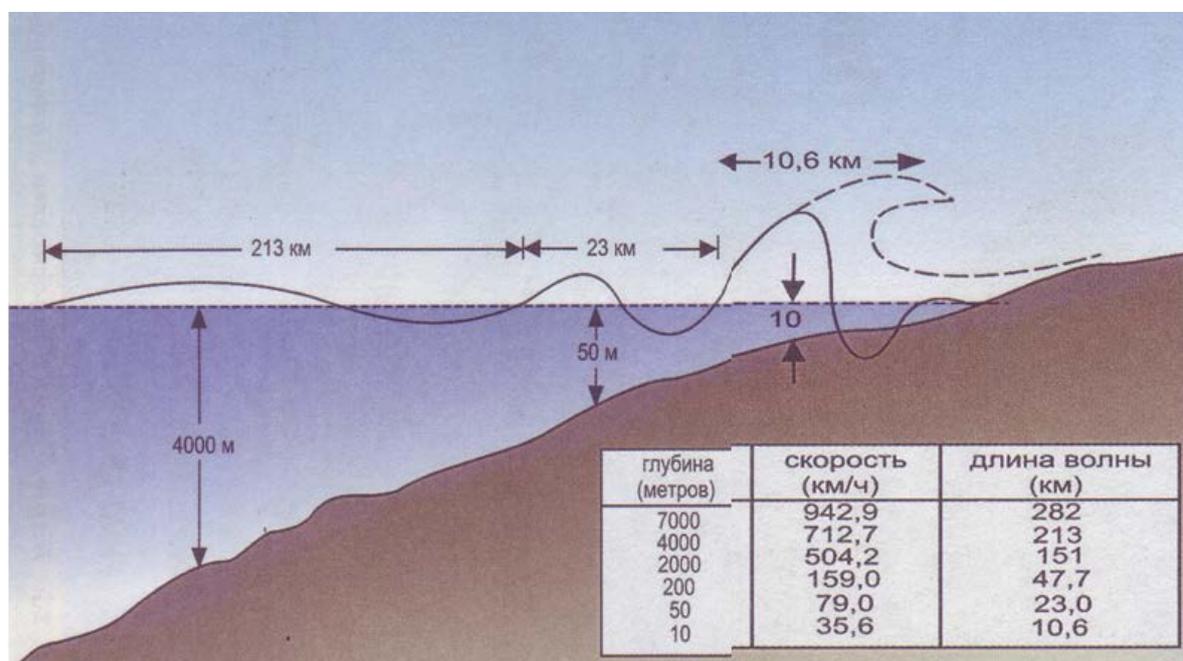


Рис. 6.7. Распространение волн цунами

Для характеристики опасности цунами принимается шкала интенсивности К. Ииды и А. Имамуры:

*0 баллов* – слабое цунами. Высота волны до 1 м. Повторяемость в мире – несколько раз в год;

*1 балл* – умеренное цунами. Высота волны до 2 м. Заметное затопление плоских берегов. Повреждения легких построек. Лодки и легкие суда прибывают к берегу. Повторяемость – дважды в год;

*2 балла* – сильное цунами. Высота волн 2–4 м, максимальная – до 6 м. 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. Повторяемость – раз в год;

*3 балла* – очень сильное цунами. Средняя высота волн 4–8 м, максимальная до 10–20 м. 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. Повторяемость – раз в 2 года;

*4 балла* – разрушительное цунами. Средняя высота волн 8–16 м, максимальная – до 30 м. В прибрежной полосе длиной 500 км – сильное повреждение или разрушение всех построек, уничтожение садов. Сильное повреждение крупнейших судов. Много жертв. Повторяемость приблизительно раз в 10 лет.

В последние 50 лет в мире отмечено 70, в последние 180 лет – около 170 сейсмогенных цунами опасных размеров, из них 4% в Средиземном море, 8% в Атлантике, остальные – в Тихом океане. Наиболее опасны берега Японии, Гавайских и Алеутских островов, Камчатки, Курил, Аляски, Канады, Соломоновых островов, Филиппин, Индонезии, Чили, Перу, Новой Зеландии, Эгейского, Адриатического и Ионического морей. Разовый прямой экономический ущерб измеряется десятками миллионов долларов. В пределе же вероятен ущерб до 1 млрд. долл. По этому показателю цунами находятся в конце первого десятка природных чрезвычайных ситуаций.

### *Прогнозирование цунами*

Волны цунами – одно из стихийных явлений в океане, представляющее опасность для населения и хозяйства прибрежной полосы суши в цунами опасных районах. В 95% случаев цунами возникают вследствие достаточно сильных землетрясений под дном океана (моря). Поэтому сам факт регистрации подобного землетрясения уже несет информацию о возможных волнах цунами. Более детальная обработка сейсмических данных о землетрясении позволяет определить координаты его эпицентра и магнитуду, а также ряд дополнительных критериев, позволяющих судить о цунами опасности землетрясения, т. е. его способности вызвать опасную, высотой у берега более одного метра, волну цунами. Между моментами начала регистрации землетрясения и прихода волны к берегу всегда есть пауза, которая составляет от нескольких минут до суток. Наличие этой паузы дает возможность предупредить населенные пункты о надвигающейся опасности и осуществить мероприятия по предотвращению возможного ущерба на берегу. В настоящее время в цунами опасных регионах развернута и функционирует служба

предупреждения о цунами. В основу работы этой службы положено использование не только данных сейсмических наблюдений, но и данных прямых наблюдений за состоянием поверхности океана на достаточном расстоянии от берега с помощью гидрофизических станций.

#### *Мероприятия по уменьшению последствий цунами*

Сочетание прогнозирования, заблаговременных административных и защитных мероприятий, как показывает практика, ведет к резкому снижению человеческих жертв и материального ущерба от последствий цунами. В затопляемой зоне запрещается новое строительство, не вызванное производственной необходимостью, а также производится перенос в безопасные места существующих зданий и сооружений. Для защиты от цунами бухт и устьев рек в них строят волноломы, а на берегу – дамбы и другие защитные сооружения. Посадка по побережью лесозащитных полос является эффективным средством борьбы с цунами. Единственным средством защиты населения от цунами является эвакуация из прибрежной и возможно затопляемой зон. Поэтому население должно знать сигналы оповещения, признаки предупреждения о цунами, а также маршруты эвакуации. Необходимо оставаться в безопасном месте до получения сигнала отбоя опасности цунами. Так как цунами могут сопровождаться сильным наводнением, то необходимо соблюдать меры защиты, характерные для обычного наводнения.

### **6.3. Подземные воды и их воздействие**

Все воды земной коры, находящиеся ниже поверхности Земли в горных породах в газообразном, жидком и твёрдом состояниях, называются подземными водами.

Подземные воды составляют часть гидросферы – водной оболочки земного шара. Они встречаются в буровых скважинах на глубине до нескольких километров. По данным В.И. Вернадского, подземные воды могут существовать до глубины 60 км в связи с тем, что молекулы воды даже при температуре 2000°С диссоциированы всего на 2%. На рисунке 6.8 представлен круговорот воды в природе.



Рис. 6.8. Круговорот воды в природе

Приблизительные подсчёты запасов пресной воды в недрах Земли до глубины 16 километров дают величину 400 миллионов кубических километров, т.е. около 1/3 вод Мирового океана (таблица 6.5).

Таблица 6.5

Показатели испарения воды

Наименование показателя		Объем
1.	Испарения с океана	447,9 тыс. км <sup>3</sup>
2.	Испарения с суши	70,7 тыс. км <sup>3</sup>
3.	суммарное испарение	518,6 тыс. км <sup>3</sup>
4.	Осадки на поверхность океана	411,6 тыс. км <sup>3</sup>
5.	Осадки на поверхность суши	107,0 тыс. км <sup>3</sup>
6.	Суммарные осадки	518,6 тыс. км <sup>3</sup>
7.	Сток рек и подземных вод	36,3 тыс. км <sup>3</sup>

Накопление знаний о подземных водах, начавшееся с древнейших времен, ускорилось с появлением городов и поливного земледелия. Искусство сооружения копанных колодцев до несколько десятков метров было известно за 2000-3000 тысячи лет до н.э. в Египте, Средней Азии, Индии, Китае. В этот же период появилось и лечение минеральными водами.

В первом тысячелетии до нашей эры появились первые представления о свойствах и происхождении природных вод, условиях их накопления и круговороте воды на Земле (в работах Фалеса и Аристотеля – в Древней Греции; Тита Лукреция Кара и Витрувий – в Древнем Риме, и др.).

Изучению подземных вод способствовало расширение работ, связанных с водоснабжением, строительством каптажных сооружений (например, кяризов у народов Кавказа, Ср. Азии), добычей соленых вод для выпаривания соли путем копания колодцев, а затем и бурения (территория России, 12-17 века). Позже возникли понятия о водах ненапорных, напорных (поднимающихся снизу вверх) и самоизливающихся. Последние получили название артезианских - от провинции Артуа (древнее название "Артезия") во Франции.

В эпоху Возрождения и позднее подземным водам и их роли в природных процессах были посвящены работы многих ученых - Агриколлы, Палисси, Стено и др.

В России первые научные представления о подземных водах как о природных растворах, их образовании путем инфильтрации атмосферных осадков и геологической деятельности подземных вод были высказаны М.В. Ломоносовым в сочинении «О слоях земных» (1763 г.).

До середины 19 века учение о подземных водах развивалось как составная часть геологии. Затем оно обособляется в отдельную дисциплину - гидрологию.

Общая гидрогеология изучает происхождение подземных вод, их физические и химические свойства, взаимодействие с вмещающими горными породами.

Изучение подземных вод в связи с историей тектонических движений, процессов осадконакопления и дианогенеза позволило подойти к истории их формирования и способствовало появлению в 20 веке новой отрасли гидрогеологии - палеогидрогеологии (учение о подземных водах прошлых геологических эпох).

К подземным относятся воды, находящиеся в недрах Земли в жидком, парообразном и твердом состоянии и заполняющие поры, пустоты и трещины в горных породах.

По происхождению различают несколько типов подземных вод:

- инфильтрационные, образованные в результате проникновения атмосферных осадков в толщу горных пород; инфильтрационные воды образуются благодаря просачиванию с поверхности Земли дождевых, талых и речных вод. По составу они преимущественно гидрокарбонатно-кальциевые и магниевые. При выщелачивании гипсоносных пород формируются сульфатно-кальциевые, а при растворении соленосных — хлоридно-натриевые воды;

- конденсационные, образованные из влаги атмосферного влажного воздуха, проникающего в почву или выходящие на дневную поверхность породы, обычно в засушливых областях; конденсационные подземные воды образуются в результате конденсации водяных паров в порах или трещинах пород;

- седиментационные, образованные в результате захоронения вод морского происхождения, высокоминерализованные и сильно измененные под влиянием давления и температуры; седиментационные воды формируются в процессе геологического осадкообразования и обычно представляют собой измененные захороненные воды морского происхождения — хлоридно-натриевые, хлоридно-кальциево-натриевые и др. К ним же относятся погребённые рассолы солеродных бассейнов, а также ультрапресные воды песчаных линз в моренных отложениях;

- межаморфогенные, образованные в результате дегидратации под действием температуры и давления минералов, содержащих в своем составе воду. Воды, образующиеся из магмы при её кристаллизации и вулканическом метаморфизме горных пород, называются магматогенными, или ювенильными (по терминологии Э. Зюсса).

Вода в горных породах может находиться в парообразном, жидком и твердом состоянии, в связанном (кристаллизационная, конституционная, гигроскопическая, пленочная и капиллярная вода) и свободном (гравитационная) виде.

По условиям залегания выделяют три типа подземных вод: верховодку, грунтовые и напорные, или артезианские (рис. 6.9).

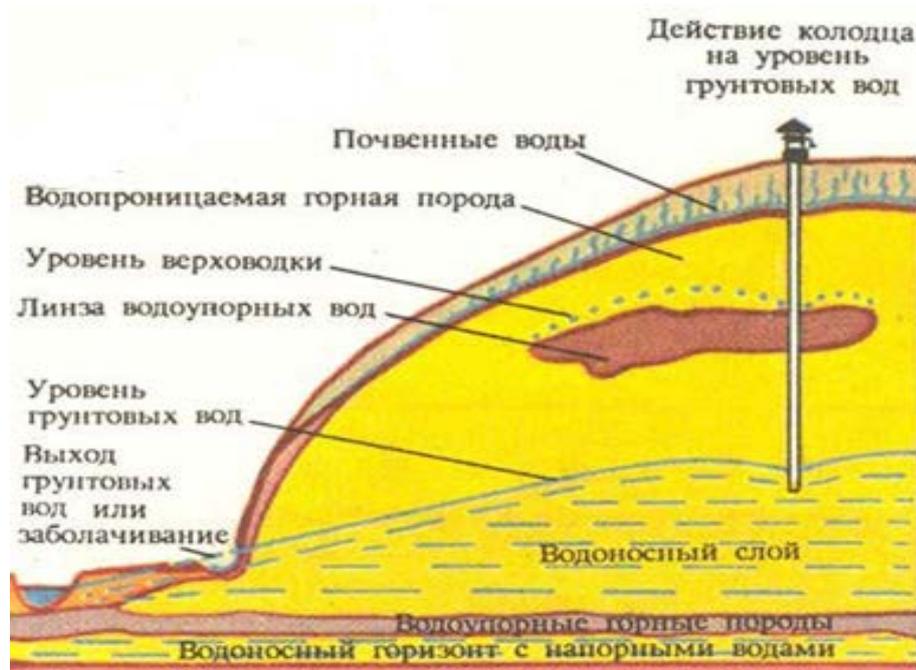


Рис. 6.9. Уровни залегания подземных вод

Верховодкой называются подземные воды, залегающие вблизи поверхности земли и отличающиеся непостоянством распространения. Обычно верховодка приурочена к линзам водоупорных или слабо проницаемых горных пород, перекрываемых водопроницаемыми толщами.

Верховодка занимает ограниченные территории, это явление – временное, и происходит оно в период достаточного увлажнения; в засушливое время гола верховодка исчезает. Верховодка относится к первому от поверхности земли водоупорному пласту. В тех случаях, когда водоупорный пласт залегаёт вблизи поверхности или выходит на поверхность, в дождливые сезоны развивается заболачивание.

К верховодке нередко относят почвенные воды, или воды почвенного слоя. Почвенные воды представлены почти связанной водой. Капельно-жидкая вода в почвах присутствует только в период избыточного увлажнения.

Грунтовые воды. Грунтовыми называются воды, залегающие на первом водоупорном горизонте ниже верховодки. Обычно они относятся к водонепроницаемому пласту и характеризуются более или менее постоянным притоком воды. Грунтовые воды могут накапливаться как в рыхлых пористых породах, так и в твёрдых трещиноватых коллекторах. Уровень грунтовых вод представляет собой неровную поверхность, повторяющую, как правило, неровности рельефа в сглаженной форме: на возвышенностях он ниже, в пониженных местах – выше.

Грунтовые воды перемещаются в сторону понижения рельефа. Уровень грунтовых вод подвержен постоянным колебаниям - на него влияют различные факторы: количество и качество выпадающих осадков, климат, рельеф, наличие растительного покрова, хозяйственная деятельность человека и многое другое.

Грунтовые воды, накапливающиеся в аллювиальных отложениях – один из источников водоснабжения. Они используются как питьевая вода, для полива. Выходы подземных вод на поверхность называются родниками, или ключами.

Напорные, или артезианские воды. Напорными называют такие воды, которые находятся в водоносном слое, заключённом между водоупорными слоями, и испытывают гидростатическое давление, обусловленное разностью уровней в месте питания и выхода воды на поверхность. Область питания у артезианских вод обычно лежит выше области стока воды и выше выхода напорных вод на поверхность Земли. Если в центре такой чаши заложить артезианскую скважину, то вода из нее будет вытекать в виде фонтана по закону сообщающихся сосудов.

Размеры артезианских бассейнов бывают весьма значительными – до сотен и даже тысячи километров. Области питания таких бассейнов

зачастую значительно удалены от мест извлечения воды. Так, воду, выпавшую в виде осадков на территории Германии и Польши, получают в артезианских скважинах, пробуренных в Москве; в некоторых оазисах Сахары получают воду, выпавшую в виде осадков над Европой.

Артезианские воды характеризуются постоянством воды и хорошим качеством, что немаловажно для её практического использования.

Гравитационная вода содержится в порах пород, может перемещаться и выполнять механическую и химическую работу, поэтому собственно эта вода и является подземной.

Различают подземные воды принадлежащие к зонам аэрации и насыщения.

В зоне аэрации различают воды:

- почвенные, связанные с инфильтрацией атмосферных осадков и различных поверхностных вод;

- верховодку – воды, образующиеся на небольшой глубине, задерживаемые линзами и прослоями водоупорных пород.

В зоне насыщения различают воды:

- грунтовые, залегающие на первом водоупорном горизонте, из – за отсутствия водоупорной кровли подпитываемые атмосферной влагой;

- межпластовые воды (ненапорные) – залегают между двумя водоупорными толщами с областями питания, значительно удаленными от водоносного горизонта и выходят на поверхность. Режим грунтовых вод из-за сезонных колебаний подвержен значительным колебаниям. В сельской местности - источник водоснабжения. Верхняя граница грунтовых вод – уровень или зеркало грунтовых вод. Порода, насыщенная водой, называется водоносным горизонтом. По направлению уклона местности подземные воды движутся под действием собственного веса по порам и трещинам. Разгрузка происходит в пониженных участках в виде исходящих источников (родников).

- напорные подземные воды (артезианские) залегают между двумя водоупорными толщами, насыщают весь водоносный горизонт и обладают гидростатическим напором. Большие скопления напорных вод – артезианские бассейны, находятся обычно в прогибах. При снятии напора вода поднимается выше уровня грунтовых вод. Артезианские воды способны образовывать восходящие источники, «бьющие ключи». Не загрязнены. Область питания находится на значительном расстоянии от области распространения.

#### **6.4. Разрушительная работа подземных вод. Карст, суффозия**

Разрушительная деятельность подземных вод проявляется главным образом в химическом разрушении и выщелачивании горных пород, что связано с содержанием в них кислорода, углекислоты, различных органических и неорганических веществ.

Совокупность геологических явлений, сопровождающихся растворением и размывом горных пород с образованием крупных полостей, называется карстом. Карстующиеся породы – известняки, доломиты, гипсы и ангидриты.

Формы карстового рельефа:

Кары – углубления в виде борозд, канавок, образующие карровые поля. Карстовые воронки, колодцы наиболее распространены. В карстовых областях исчезают реки (в Башкирии река Янан – яма 40 км. под землей и 17 км. на поверхности). Воды образуют горизонтальные ходы и пещеры (самая крупная – Мамонтова, в США, штат Кентукки, до 100 км., в России – Четырдаг, Кунгурская пещера).

В результате наполнения поверхностными водами рыхлых пород образуются такие формы как:

оплывины- мелкие смещения, захватывающие только верхнюю выветренную часть склонов. Происходит смещение – суглинки и супеси по глинам и специальным суглинкам.

оползни – смещение горных пород более крупных масштабов по берегам рек, озер и морей, сложенных рыхлыми породами. Слои имеют наклон в сторону откоса. Образованию оползней способствуют дожди, землетрясения, подмывы рекой или прибоем и т. д. (берега Волги, Черного моря и т. д.).

Созидательная деятельность подземных вод.

Насыщение минеральными солями подземных вод приводит к выпадению их из раствора и образованию, например, из  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  минерала арагонита. В пещерах образуются на стенах натечные корки, посреди – сталактиты и сталагмиты. Полости могут постепенно заполняться ими из вод, насыщенных кремниевой кислотой, образуя кремниевые туфы (гейзериты). В местах выхода на земную поверхность насыщенных углекислотой подземных вод откладывается углекислая известь в виде известкового туфа – травертина, а с Fe – массы бурого железняка.

#### **6.5. Колебания уровня грунтовых вод и эрозионная деятельность рек**

Колебания уровня грунтовых вод. Различают пояса:

- пояс сезонных колебаний температур подземных вод;

- ниже – пояс постоянных температур неизменных в течении всего года;

- еще ниже – температура повышается с глубиной: холодные – до 20°C; теплые – 20 – 42°C; горячие (или термальные) > 42°C (Пятигорск > 27°C).

Движение грунтовых вод в рыхлых породах в сравнении с движением поверхностных очень медленно. Таким образом, скорость движения подземных вод будет больше в крупнозернистых породах и при высокой температуре, уменьшающей вязкость; повышение температуры на 30° увеличивает скорость почти вдвое. Поэтому, при прочих равных условиях, подземные воды в экваториальной зоне будут двигаться быстрее. Если вода протекает по широким трещинам и пустотам, она имеет так называемое турбулентное движение (неравномерное, с пульсациями скоростей), наподобие движения воды в трубах и открытых каналах.

#### Сезонный режим грунтовых вод

Весенний подъем обусловлен повсеместно инфильтрацией талых вод и начинается обычно с наступления положительных температур и оттаивания мерзлого слоя почвогрунта. Как правило, весенний подъем является годовым максимумом стояния уровня грунтовых вод.

Осенне-зимний спад уровня характеризуется непрерывным снижением, что связано, с одной стороны, с отсутствием инфильтрации атмосферных осадков, с другой — с постоянным расходом подземного потока. Минимальное годовое положение уровня приходится обычно на конец осенне-зимнего спада и соответствует предвесеннему стоянию.

Большое разнообразие геолого-гидрогеологических условий и геоморфологического строения территории обуславливает различный характер формирования сезонного режима грунтовых вод и значительные диапазоны изменения его параметров.

Так, на междуречных массивах особенно четко выделяются периоды подъема и спада уровня. При этом подъем, обычно резкий и кратковременный, длится 20—30 дней, а спад, несколько пологий, продолжается до двух-трех месяцев. Максимум устанавливается в мае — июне. Амплитуды колебания уровня в зависимости от литологического состава водовмещающих пород и мощности зоны аэрации изменяются от 0,2 до 3 м в песках и суглинках и от 0,5 до 13 м в известняках и гранитах.

Особенностью сезонного режима на склонах являются некоторая сглаженность хода режимных элементов и отсутствие непосредственного влияния на него резких смен метеорологических условий. Отмечается некоторая симметрия между плавным длительным подъемом и равномерным медленным спадом. Максимальное положение уровня грунтовых вод приходится на июль — август, по сравнению с

междуречьем наблюдается запаздывание на один-два месяца. Годовые амплитуды колебания уровня на склонах варьируют от 0,15 до 2 м.

Сезонный режим грунтовых вод, взаимосвязанных с поверхностными, формируется в основном под влиянием гидрологического фактора, поэтому в приречной и приозерной полосе грунтовые воды имеют довольно тесную связь с поверхностными. По мере удаления от водоемов эта зависимость постепенно затухает, и режим грунтовых вод определяется уже климатическими факторами.

Сезонный режим грунтовых вод определяется также колебаниями уровня поверхностных вод и характеризуется резким весенним подъемом, связанным с паводком. Подъем уровня в скважинах следует одновременно за подъемом поверхностных вод или с небольшим запаздыванием. Причем во время паводка в течение 10—15 дней уровень грунтовых вод находится ниже уровня речных или озерных вод. Следовательно, в это время они питаются за счет поверхностных вод. Вслед за паводком наблюдается довольно быстрый спад, при этом абсолютная отметка зеркала грунтовых вод остается выше отметки поверхностных вод. Максимум стояния уровня приходится на апрель — май. По мере удаления от реки значительно уменьшается величина подъема и происходит запаздывание в наступлении максимума.

Основные проблемы использования и защиты подземных вод.

В силу своего местонахождения подземные воды лучше защищены от внешних воздействий, чем поверхностные, однако имеются серьёзные симптомы неблагоприятного изменения режима подземных вод на больших площадях и в широком диапазоне глубин. К ним относятся: истощение и понижение уровня подземных вод из-за чрезмерного отбора; внедрение на побережье морских солёных вод; образование депрессионных воронок и другие.

Большую опасность представляет загрязнение подземных вод. Можно выделить два типа загрязнений – бактериальное и химическое. В определённых условиях в водоносные горизонты могут проникать сточные и техногенные промышленные воды, загрязнённые поверхностные воды и атмосферные осадки.

При создании водохранилищ в результате подпора происходит повышение уровня грунтовых вод. Положительным следствием такого изменения режима является увеличение их ресурсов в прибрежной зоне водохранилища; отрицательными – подтопление прибрежной зоны, что вызывает заболачивание территории, а так же засоление почв и грунтовых вод вследствие повышенного их испарения при неглубоком залегании.

Ввиду небольших паводковых явлений (или вообще их отсутствия) на зарегулированных реках паводочное питание подземных вод значительно

уменьшено. Скорости течения на таких реках снижаются, что способствует заилению русла; поэтому взаимосвязь речных и подземных вод затруднена.

В определённых условиях отбор подземных вод может оказать существенное влияние на качество поверхностных вод. В первую очередь это относится к промышленной эксплуатации и сбросу минерализованных вод, сбросу шахтных и попутных нефтяных вод. Поэтому должно предусматриваться комплексное использование и регулирование ресурсов поверхностных и подземных вод. Примерами такого подхода могут служить использование подземных вод для орошения в маловодные годы, а так же искусственное восполнение запасов подземных вод и сооружение подземных водохранилищ.

Геодинамическая деятельность техногенных вод проявляется при изменении подвижности подземных вод и связанных геодинамических, а иногда и сейсмических событий.

Одним из проявлений геодинамической деятельности техногенных подземных вод является закачка больших объемов поверхностных вод при разработке нефтяных и газовых залежей.

Другим видом является закачка промышленных стоков в подземные горизонты, при этом возможен гидравлический разрыв пластов и загрязнение горизонтов пресных вод, проникновение газа в горизонты пресных вод при создании подземных хранилищ газа и т.п.

Геотермическая деятельность техногенных вод связана с изменением естественной температуры в недрах, вызванной закачкой техногенных вод с другой температурой.

Инженерно-геологическая деятельность техногенных вод связана с изменением прочностных (или других) свойств горных пород в основании инженерных сооружений, либо проявлении экзогенных геологических процессов, осложняющих инженерное освоение территории, или эксплуатацию зданий.

Отбор воды из недр и его геологические последствия. Они проявляются в опускании территории (реже подъеме). В районах интенсивного отбора воды (города, крупные промышленные объекты) иногда отбор подземных вод превышает их восполнение. При этом образуются глубокие воронки депрессии.

Например, глубина депрессионных воронок составляет в Лондоне – 100 м.; в Киеве – 65 м.; в Москве – около 60 м. Большие воронки образуются при осушении карьеров (Микашевичи).

Понижение уровня подземных вод приводит к уплотнению горных пород, появлению просадок земной поверхности, а в городах этому способствует и нагрузка о больших зданий. Такие осадки поверхности

достигают нескольких метров в Мехико, Токио, Венеции, Таллинне. Иногда это приводит к сдвигу тубингов метро. Угроза затопления существует в Венеции. При этом, следует учитывать, что за последние 65 лет уровень Мирового океана поднялся по разным оценкам на 12 – 15 см.

Годовое потребление воды в мире составляет  $2600 \text{ км}^3$ , из которых 10% - это подземные воды. Примерно половина –  $1300 \text{ км}^3/\text{год}$  поступает в океан, что составляет подъем океана  $0.36 \text{ мм}/\text{год}$ .

В итоге, воздействие человека на подземную гидросферу сопровождается многими геоэкологическими последствиями – от нарушения общей экологической ситуации до снижения биологической продуктивности и характера природных ландшафтов.

Эрозионная деятельность рек.

Атмосферные осадки, выпадая на дневную поверхность, распределяются различным образом. Часть из них просачивается в глубину и идет на пополнение запасов подземных вод, часть возвращается обратно в атмосферу в результате испарения, часть же стекает по поверхности. В комплексе экзодинамических процессов на суше работа поверхностных текучих вод охватывает наибольшие площади. Особенно велика роль рек. «Реки, - говорил академик А.П. Павлов, - часто называют водными артериями, сравнивая их с артериями человеческого тела, несущие питание и омовение всем органам человека».

Геологическая деятельность поверхностных текучих вод зависит от массы воды и скорости ее движения, скорость же зависит от уклона. Чем больше масса воды и скорость ее течения, тем больше совершаемая работа. Она складывается из: смыва, размыва (эрозии), перемещения продуктов смыва и эрозии (транспортировка), и отложения перемещенных продуктов (аккумуляция). Все эти показатели не остаются неизменными, а изменяются по сезонам года и в многолетнем разрезе. Изменение этих данных представляет собой режим реки.

Мощные водные потоки рек, расчленяющие огромные пространства суши, производят значительную эрозионную, переносную и аккумулятивную деятельность. Это наиболее динамические системы, преобразующие рельеф. Интенсивность работы рек определяется их живой силой, т.е. кинетической энергией, равной  $mv^2/2$ , где  $m$  - масса воды;  $v$  - скорость течения. Последняя зависит от уклона продольного профиля. Под уклоном понимается величина перепада высот, деленная на расстояние по горизонтали, на котором наблюдается этот перепад. На интенсивности процессов в речных долинах сказывается турбулентный характер течения, когда молекулы воды движутся беспорядочно или по перекрещивающимся траекториям, наблюдаются различные завихрения, вызывающие перемешивание всей массы воды от дна до ее поверхности. Наибольшие

скорости наблюдаются в приповерхностной части потока на стрежне, меньше у берегов и в придонной части, где поток испытывает трение о породы, слагающие русло. Вдоль реки скорость течения также меняется, что связано с наличием перекатов и плёсов, нарушающих равномерность уклона. В зависимости от характера и интенсивности питания изменяются режим рек, количество и уровень воды, а также скорость ее течения. В соответствии с изменением уровня воды в реке говорят о высоком горизонте, соответствующем половодью, и низком меженном горизонте, или межени, наступающей после спада половодья. Помимо этого, в реках наблюдаются периодические паводки, соответствующие кратковременному повышению уровня воды от затяжных дождей.

Речная эрозия. Выделяют два типа эрозии:

- донная, или глубинная, направленная на врезание речного потока в глубину;

- боковая, ведущая к подмыву берегов и в целом к расширению долины.

Соотношение донной и боковой эрозии изменяется на разных стадиях развития долины реки. В начальных стадиях развития реки преобладает донная эрозия, которая стремится выработать профиль равновесия применительно к базису эрозии - уровню бассейна, куда она впадает. Базис эрозии определяет развитие всей речной системы - главной реки с ее притоками разных порядков. Первоначальный профиль, на котором закладывается река, обычно характеризуется различными неровностями, созданными до образования долины. Такие неровности могут быть обусловлены различными факторами: наличием выходов в русле реки неоднородных по устойчивости горных пород (литологический фактор); озера на пути движения реки (климатический фактор); структурные формы - различные складки, разрывы, их сочетание (тектонический фактор) и другие формы. В процессе регрессивной эрозии река, углубляя свое русло, стремится преодолеть различные неровности, которые со временем сглаживаются, и постепенно вырабатывается более плавная (вогнутая) кривая, или профиль равновесия реки. Считается, что этот выровненный профиль соответствует на каждом отрезке долины динамическому равновесию при данных гидрологических условиях и постоянном базисе эрозии.

Анализ развития речных долин, как в равнинных, так и в горных областях показывает, что в выработке профиля равновесия реки играют большую роль не только главный базис эрозии, но и местные, или локальные, базисы, к которым относятся различные уступы, или пороги. На месте порога, или уступа, возникают водопады, которые размывают дно уступа, а с другой стороны подмывают его основание вследствие

возникающих водоворотов. В результате уступ разрушается и отступает. Так, например, суммарное отступление известного Ниагарского водопада, низвергающегося с высоты около 50 м, с 1875 г. составило около 12 км, что соответствует приблизительно скорости отступления около 1,0-1,2 м/год. Такой уступ с водопадом является локальным (местным) базисом эрозии.

Часть реки, расположенная выше уступа, будет развиваться регрессивно применительно к нему, а ниже расположенная часть реки - к главному базису эрозии. Только после уничтожения уступа развитие профиля долины будет контролироваться главным базисом эрозии. Такими же местными базисами могут быть озера, расположенные в депрессиях первичного рельефа. До тех пор, пока это озеро не будет спущено или заполнено осадками, верхняя часть реки будет развиваться применительно к озеру. Таким образом, продольный профиль реки превращается в единый только по мере выравнивания кривой продольных уклонов местных базисов эрозии.

По мере выработки продольного профиля, приближающегося к стадии динамического равновесия, закономерно изменяется и форма поперечного профиля долины. На ранних стадиях ее развития, при значительном преобладании глубинной эрозии реки вырабатываются крутостенные узкие долины, дно которых почти целиком занято руслом потока. Поперечный профиль долины представляет или каньон с почти вертикальными, иногда ступенчатыми склонами и ступенчатым продольным профилем дна, или имеет V-образную форму (по сходству с латинской буквой *v*) с покатыми склонами. Эта первая стадия развития реки называется стадией морфологической молодости. Такие формы особенно хорошо выражены в пределах молодых горных сооружений (Альпы, Кавказ и др.) и высоких плоскогорий, где глубина речных долин достигает сотен метров, а местами 1 – 2 км.

Боковая эрозия. По мере выработки профиля равновесия и уменьшения уклонов русла донная эрозия постепенно ослабевает и все больше начинает сказываться боковая эрозия, направленная на подмыв берегов и расширение долины. Это особенно проявляется в периоды половодий, когда скорость и степень турбулентности движения потока резко увеличиваются, особенно в стрежневой части, что вызывает поперечную циркуляцию. Возникающие вихревые движения воды в придонном слое способствуют активному размыву дна в стрежневой части русла, и часть донных наносов выносятся к берегу. Накопление наносов приводит к искажению формы поперечного сечения русла, нарушается прямолинейность потока, в результате чего стрежень потока смещается к одному из берегов. Начинается усиленный подмыв одного берега и

накопление наносов на другом, что вызывает образование изгиба реки. Такие первичные изгибы, постепенно развиваясь, превращаются в излучины, играющие большую роль в формировании речных долин.

Перенос. Реки переносят большое количество обломочного материала различной размерности - от тонких илистых частиц и песка до крупных обломков. Перенос его осуществляется волочением (перекатыванием) по дну наиболее крупных обломков и во взвешенном состоянии песчаных, алевритовых и более тонких частиц. Переносимые обломочные материалы еще больше усиливают глубинную эрозию. Они являются как бы эрозионными инструментами, которые дробят, разрушают, шлифуют горные породы, слагающие дно русла, но и сами измельчаются, истираются с образованием песка, гравия, гальки. Влекомые по дну и взвешенные переносимые материалы называют твердым стоком рек. Помимо обломочного материала реки переносят и растворенные минеральные соединения. Часть этих веществ возникает в результате растворяющей деятельности речных вод, другая часть попадает в реки вместе с подземными водами. В речных водах гумидных областей преобладают карбонаты Ca и Mg, на долю которых приходится около 60% ионного стока (О.А. Алекин). В небольших количествах встречаются соединения Fe и Mn, чаще образующие коллоидные растворы. В речных водах аридных областей помимо карбонатов заметную роль играют хлориды и сульфаты. Соотношение влекомых, взвешенных и растворенных веществ различно в горных и равнинных реках. В первых из них наблюдается резкое преобладание взвешенных частиц при близких количествах растворенных веществ и влекомых наносов, представленных преимущественно галечниками, иногда с крупными валунами. В равнинных реках преобладают растворенные вещества, на втором месте взвеси и сравнительно малое число влекомых, представленных преимущественно песками с примесью гравия.

Аккумуляция. Наряду с эрозией и переносом различного материала происходит и его аккумуляция (отложение). На первых стадиях развития реки, когда преобладают процессы эрозии, возникающие местами отложения оказываются неустойчивыми и при увеличении скорости течения во время половодий они вновь захватываются потоком и перемещаются вниз по течению. Но по мере выработки профиля равновесия и расширения долин образуются постоянные отложения, называемые аллювиальными, или аллювием (лат. «аллювио» - нанос, намыв).

В накоплении аллювия и в формировании речных долин большую роль играют указанные выше изгибы рек, возникающие главным образом в результате турбулентного характера течения потока, когда поступательные

движения воды сочетаются с поперечной циркуляцией. Но изгибы могут возникать и при наличии различных неровностей рельефа. Двигаясь по дуге изгиба, вода испытывает воздействие центробежной силы, и стрежень потока прижимается к вогнутому берегу, где вода опускается вниз, вызывая усиленный размыв дна, борта русла и захват обломочного материала. От подмываемого крутого берега придонные токи воды направляются к противоположному выпуклому берегу, где начинается интенсивная аккумуляция и образуется так называемая прирусловая отмель, частично обнажающаяся при спаде воды во время межени. Это начальный этап формирования аллювия.

Таким образом, информация о состоянии гидросферы широко используется в сельском хозяйстве, транспорте, энергетике, строительстве, водоснабжении, в предупреждении о стихийных бедствиях (наводнениях, землетрясениях вызывающих высокие волны цунами, разрушениях гидротехнических сооружений с образованием волны прорыва) и опасной для человека степени загрязнения речных, морских и океанических бассейнов. Организация наблюдений, передачи, обработки, хранения и распространения информации требует научного обоснования, а результаты наблюдений служат основанием для глобальных и локальных обобщений по состоянию гидросферы.

В силу своего местонахождения подземные воды лучше защищены от внешних воздействий, чем поверхностные, однако имеются серьёзные симптомы неблагоприятного изменения режима подземных вод на больших площадях и в широком диапазоне глубин. К ним относятся: истощение и понижение уровня подземных вод из-за чрезмерного отбора; внедрение на побережье морских солёных вод; образование депрессионных воронок и другие.

Большую опасность представляет загрязнение подземных вод. Можно выделить два типа загрязнений - бактериальное и химическое. В определённых условиях в водоносные горизонты могут проникать сточные и промышленные воды, загрязнённые поверхностные воды и атмосферные осадки.

При создании водохранилищ в результате подпора происходит повышение уровня грунтовых вод. Положительным следствием такого изменения режима является увеличение их ресурсов в прибрежной зоне водохранилища; отрицательными - подтопление прибрежной зоны, что вызывает заболачивание территории, а так же засоление почв и грунтовых вод вследствие повышенного их испарения при неглубоком залегании.

Ввиду небольших паводковых явлений (или вообще их отсутствия) на зарегулированных реках паводочное питание подземных вод значительно уменьшено. Скорости течения на таких реках снижаются, что способствует

заиленю русла; поэтому взаимосвязь речных и подземных вод затруднена.

В определённых условиях отбор подземных вод может оказать существенное влияние на качество поверхностных вод. В первую очередь это относится к промышленной эксплуатации и сбросу минерализованных вод, сбросу шахтных и попутных нефтяных вод.

Отсюда следует, что должно предусматриваться комплексное использование и регулирование ресурсов поверхностных и подземных вод. Примерами такого подхода могут служить использование подземных вод для орошения в маловодные годы, а так же искусственное восполнение запасов подземных вод и сооружение подземных водохранилищ.

### **Контрольные вопросы**

1. Основные понятия и характеристики гидрологических опасных явлений.
2. Описание гидрологических опасных явлений.
3. Классификация наводнений и их характеристика.
4. Превентивные мероприятия при угрозе затопления населённых пунктов и территорий.
5. Действия населения при угрозе и возникновении наводнения.
6. Методы прогноза наводнений и их характеристика.
7. Цунами и их основные характеристики.
8. Типы подземных вод по происхождению.
9. Типы подземных вод по условию залегания.
10. Разрушительная деятельность подземных вод.
11. Режимы грунтовых вод.

## Глава 7. ИНФЕКЦИОННЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ ЛЮДЕЙ, СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ И РАСТЕНИЙ

К природным опасностям также относятся массовые заболевания людей, животных и растений (таблица 7.1).

Таблица 7.1

Классификация природных опасностей - массовых заболеваний

Инфекционные болезни людей	Инфекционные болезни животных	Особо опасные болезни растений
<p>Заболевания, вызываемые болезнетворными микроорганизмами и передающиеся от зараженного человека или животного к здоровому. Появляются в виде эпидемических очагов.</p>	<p>Группа болезней, имеющая такие общие признаки, как наличие специфического возбудителя, цикличность развития, способность передаваться от больного животного к здоровому и принимать эпизоотическое распространение (эпизоотический очаг).</p>	<p>Нарушение нормального обмена веществ клеток органов и целого растения под влиянием фитопатогена или неблагоприятных условий среды, приводящее к снижению продуктивности растений или к полной их гибели</p>

Эпидемический очаг - место заражения и пребывания заболевшего, окружающие его люди и животные, а также территория, в пределах которой возможно заражение людей возбудителем инфекционных болезней.

Эпизоотический очаг - место пребывания источника возбудителя инфекции на определенном участке местности, где при данной ситуации возможна передача возбудителя болезни восприимчивым животным (помещение и территория с находящимися там животными).

Эпидемия - широкое распространение инфекционной болезни, значительно превышающее обычно регистрируемый на данной территории уровень заболеваемости.

Пандемия - необычно большое распространение заболеваемости, как по уровню, так и по масштабам распространения с охватом ряда стран, целых континентов и всего Земного шара.

Инфекционные болезни отличаются от всех других болезней тем, что они вызываются живыми возбудителями. Из бесчисленного количества микроорганизмов, населяющих Землю, свойством вызывать заболевание обладают только патогенные (болезнетворные) виды.

Таким образом, под инфекцией понимают процесс взаимодействия патогенного (болезнетворного) микроба с животным (растительным) организмом в сложных условиях внешней среды.

Более просто, под инфекцией понимают проникновение патогенного (болезнетворного) микроба в организм и размножение в нём.

Способности микроорганизма размножиться в тканях макроорганизма и, преодолевая его защитные функции, вызывать заболевание связано с наличием у болезнетворных микробов факторов патогенности. К их числу относятся инвазионность, токсикогенность и способность образовывать капсулу.

Инвазионность, или способность проникать в организм и распространяться в его тканях, обуславливается различными ферментами, вырабатываемыми микроорганизмом.

Под токсикогенностью понимается способность образовывать ядовитые для макроорганизма вещества – токсины.

Токсин, выделяемый живым микробом, получил название экзотоксина, а токсин, освобождающийся при разрушении микроба, называется эндотоксином. Некоторые микробы способны после проникновения в организм образовывать защитную оболочку – капсулу.

Патогенность у одного и того же вида микробов непостоянна и может колебаться в значительных пределах.

Для обозначения степени патогенности применяется термин «вирулентность». В качестве единицы измерения вирулентности применяется минимальная смертельная доза (DLM), т. е. то наименьшее количество живых микробов, которое вызывает смертельное заболевание подопытных животных. В последнее время для измерения вирулентности чаще стали пользоваться средней летальной дозой (DLM50), которая вызывает гибель 50 % подопытных животных.

Для возникновения инфекционного заболевания необходимо, чтобы вирулентный микроб проник в восприимчивый организм в достаточном количестве и специфическим для него путем. Механизм заражения имеет настолько большое эпидемиологическое значение, что положен в основу современной классификации инфекционных болезней. По этому признаку инфекционные болезни подразделяются на кишечные инфекции, инфекции дыхательных путей, кровяные инфекции, инфекции наружных покровов, инфекции с различным механизмом передачи.

### **7.1. Инфекционные заболевания у людей**

Чума. Источник инфекции – грызуны, больной человек, верблюд (рис. 7.1).

Пути передачи – через блох, воздушно-капельный. Возможны другие пути (выделения больных, снятие шкурки и разделка туш грызунов и других животных) (рис. 7.1).

Инкубационный период – 6 дней (от 1 до 6 дней в исключительных случаях и у привитых до 8–10 дней).



Рис. 7.1. Источники и пути передачи

Основные клинические признаки – при любой клинической форме чумы начало заболевания внезапное, острое. Сильный озноб, быстрое повышение температуры до 38–40°C, резкая головная боль, головокружение, раннее нарушение сознания, бессонница, бред, рвота. Состояние беспокойства, возбуждения. У других больных заторможенность, оглушенность. Лицо покрасневшее, одутловатое, затем становится осунувшимся, черты его заостряются. Глаза окружены темными кругами. Страдальческое выражение лица, нередко полное страха, ужаса. Язык обложен («натерт мелом»). Сухость слизистых полости рта. Миндалины могут быть увеличены. Быстро нарастают явления сердечно-сосудистой недостаточности. Через сутки развиваются характерные признаки болезни. Кожная, кожно-бубонная встречаются сравнительно редко. При кожной форме, переходящей в кожно-бубонную, выявляются изменения в виде язв, фурункула, кровоточащего воспаления кожи. Язвы при чуме на коже отличаются длительностью течения, заживают медленно, образуя рубцы.

Бубонная форма (наиболее частая): основным признаком является бубон (воспаление ближайшего к месту внедрения возбудителя чумы лимфатического узла). Бубон резко болезненный, плотный, спаянный с окружающей подкожной клетчаткой (неподвижный).

Легочная форма: на фоне общетоксических признаков появляются боли в грудной клетке, одышка, рано наступает угнетение психики, бред, кашель появляется с самого начала заболевания. Мокрота часто пенистая, с прожилками алой крови. Характерно несоответствие между данными объективного обследования легких и общим тяжелым состоянием больного.

Септическая: раннее тяжелое отравление организма токсинами, чрезвычайно тяжелые общие симптомы заболевания и быстрая смерть (резкое падение кровяного давления, кровоизлияние в слизистых, коже, кровотечение из внутренних органов). Не исключена возможность развития чумного менингита с тяжелым течением, заканчивающегося неблагоприятным исходом. Широкое применение антибиотиков, изменяющих клиническую картину чумы, может привести к появлению слабовыраженных и нетипичных форм болезни.

Холера. Источник инфекции – больной человек, виброноситель.

Пути передачи – водный, пищевой, контактный.

Инкубационный период – 5 дней (от 1 до 5 дней).

Основные клинические признаки:

Различают: легкое течение холеры, при котором жидкий стул и рвота могут быть однократными. Обезвоживание почти не выражено. Самочувствие удовлетворительное. Жалобы на сухость во рту и повышенную жажду. Больные за медицинской помощью не обращаются, выявление их затруднительно. Без бактериологического исследования зачастую невозможно провести дифференциальный диагноз с желудочно-кишечными заболеваниями другого характера. Продолжительность болезни 1–2 дня.

При среднетяжелом течении холеры наблюдаются характерные признаки. Начало острое, с появлением обильного стула (иногда может предшествовать рвота). Стул становится более частым – 15–20 раз в сутки, постепенно теряет каловый характер и приобретает вид рисового отвара (может быть желтоватым, коричневым с красноватым оттенком). Понос не сопровождается болями в животе, болезненными позывами на испражнения. Иногда могут быть умеренные боли в области пупка, урчание в животе. Вскоре к поносу присоединяется обильная рвота, без тошноты. Нарастает обезвоживание организма. Появляются судороги отдельных групп мышц. Голос сиплый. Жалобы больных на сухость во

рту, жажду, недомогание, слабость. Отмечается посинение губ. Снижается упругость кожи. Язык сухой.

Тяжелое течение холеры характеризуется выраженной степенью обезвоживания и нарушением гемодинамики. У больных частый, обильный водянистый стул, рвота, выраженные судороги мышц. Отмечается падение артериального давления. Пульс слабый, частый. Одышка, посинение кожных покровов, уменьшение или прекращение выделения почками мочи. Черты лица заострившиеся, глаза и щеки впалые, голос сиплый. Упругость кожи резко снижена, кожная складка не расправляется. Пальцы ног и рук морщинистые. Язык сухой. Урчание в животе, легкая болезненность в околопупочной области. Больные жалуются на слабость, неутолимую жажду. Потеря жидкости, достигающая 8–10% от веса тела больного, а также болевой дефицит приводят к развитию состояния, известного как алгид. При алгиде падает артериальное давление вплоть до его исчезновения. Пульс отсутствует, резкая одышка (до 50–60 в мин). Выражено общее посинение кожных покровов, судороги мышц конечностей, живота, лица. Температура тела – до 35,5°C. Кожа холодная, упругость ее резко снижена. Объем стула уменьшается до прекращения. В крови увеличение числа красных кровяных клеток (сгущение), белых кровяных клеток. Особую диагностическую трудность представляет собой бессимптомное вибрионоительство. В клиническом отношении вибрионосители – практически здоровые люди. Выявление их основывается лишь на положительных результатах бактериологического исследования.

Лихорадка Ласса. Источник инфекции: грызуны (многососковая крыса), больной человек.

Пути передачи: от грызунов к человеку передается контактным и воздушно-пылевым путем. Предполагают воздушно-капельный, контактный способы передачи, а также при подкожном впрыскивании и внутривенном вливании лекарственных веществ.

Инкубационный период: в раннем периоде болезни симптомы часто неспецифичны. Начало болезни постепенное, повышение температуры, озноб, недомогание, головная, мышечные боли. На первой неделе развивается тяжелое воспаление слизистой оболочки глотки, с появлением белых пятен или язв на слизистой глотки, миндалин мягкого неба. Затем присоединяются тошнота, рвота, понос, боли в груди и в животе. На второй неделе понос проходит, но боли в животе и рвота могут сохраняться. Нередко отмечают головокружение, снижение зрения и слуха. Появляется пятнистая сыпь. При тяжелой форме болезни нарастают симптомы отравления, появляются нарушения со стороны органов дыхания. Кожа лица и груди становится красной, лицо и шея отекают,

температура около 40°C, сознание спутано. Отмечается уменьшение количества выделяемой почками мочи. Могут увеличиваться подкожные кровоизлияния на руках, ногах, животе. Нередки кровоизлияния в плевру, причиняющие острую боль в груди. Лихорадочный период длится 7-21 день. Смерть чаще всего наступает на второй неделе болезни от острой сердечно-сосудистой недостаточности. Наряду с тяжелыми встречаются легкие формы заболевания.

Клещевой энцефалит — природно-очаговая трансмиссивная (передающаяся клещами) вирусная инфекция, характеризующаяся преимущественным поражением центральной нервной системы.

Заболевание отличается полиморфизмом клинических проявлений и тяжестью течения (от легких стёртых форм до тяжёлых прогрессивных). Первое клиническое описание болезни дали в 1936—1940 гг. советские учёные А.Г. Панов, А.Н. Шаповал, М.Б. Кроль, И.С. Глазунов. Возбудитель клещевого энцефалита — фильтрующийся вирус — был также открыт советскими учёными Л.А. Зильбером, Е.Н. Левковичем, А.К. Шубладзе, М.П. Чумаковым, В.Д. Соловьёвым, А.Д. Шеболдаевой в 1937 г.

Клещевой энцефалит встречается не только на территории России, но и во многих других странах. Список территорий эндемичных по клещевому энцефалиту постоянно расширяется. В настоящее время точно известно, что клещевой встречается в следующих странах: Албания, Австрия, Беларусь, Босния, Венгрия (запад), Германия (юг и центр), Дания (о. Борнхольм, Италия (с-восток и центр), Италия (с-восток и центр), Китай (север), Литва, Латвия, Норвегия (юг), Польша, Россия, Сербия, Словакия, Словения, Украина, Финляндия, Франция (восток), Хорватия, Чехия, Швейцария, Швеция (юг), Эстония, Япония (о. Хоккайдо).

Выделяют три разновидности возбудителя — дальневосточный подвид, центрально европейский подвид и возбудитель двух волнового менингоэнцефалита. Вирионы вируса клещевого энцефалита имеют сферическую форму с диаметром 40—50 нм. Внутренним компонентом является нуклеокапсид. Он окружен наружной липопротеидной оболочкой, в которую погружены шипы, состоящие из гликопротеида, обладающего гемагглютинирующими свойствами. Нуклеокапсид содержит однонитчатую РНК. Вирус длительное время сохраняется при низких температурах (оптимальный режим минус 60°C и ниже), хорошо переносит лиофилизацию, в высушенном состоянии сохраняется много лет, но быстро инактивируется при комнатной температуре. Кипячение инактивирует его через 2 мин, а в горячем молоке при 60 С вирус погибает через 20 мин. Инактивирующим действием обладают также формалин, фенол, спирт и другие дезинфицирующие вещества, ультрафиолетовое.

Клещевой энцефалит относится к группе природно-очаговых болезней человека. Основным резервуаром и переносчиком вируса в природе являются иксодовые клещи. Вирус обнаружен в организме более чем 10 видов клещей из родов *Ixodes*, *Dermacentor* и *Haemaphysalis*, но основную роль в передаче играют два вида — *Ixodes persulcatus* и *Ixodes ricinus*. Клещи могут передавать вирус потомству (трансовариальная передача).

Дополнительным резервуаром вируса являются грызуны (рыжая полевка, бурундук, полевая мышь), зайцы, насекомоядные (ёж, бурозубки), птицы (дрозд, шегол, чечетка, зяблик), хищники (волк), копытные (лось, олени).

Для заболевания характерна строгая весенне-летняя сезонность заболевания. Динамика заболеваемости находится в тесной связи с видовым составом клещей и наибольшей их активностью. Чаще болеют лица в возрасте 20—40 лет. Основным путём инфицирования человека является трансмиссивная передача через укусы клещей. Возможна также передача инфекции алиментарным путём при употреблении в пищу сырого молока коз и коров, а также передача при раздавливании клеща в момент его удаления с тела человека (в случае контакта клеща с ранками на коже) и, наконец, воздушно-капельным путём при нарушении условий работы в лабораториях. При алиментарном заражении обращает на себя внимание наличие семейно-групповых случаев болезни.

Инфекционный процесс развивается вследствие внедрения нейротропного вируса и взаимодействия его с организмом человека. Эти взаимоотношения определяются путём внедрения, свойствами и дозой возбудителя, а также резистентностью и реактивностью макроорганизма. Вирус клещевого энцефалита проникает в организм человека в естественных условиях через кожу при присасывании клеща или через сырое молоко домашних животных. После присасывания клеща вирус распространяется гематогенно и быстро проникает в мозг, фиксируясь здесь клетками. Параллельно с накоплением вируса развиваются воспалительные изменения сосудов и оболочек мозга. Соответствие места укуса клеща последующей локализации сегментарных расстройств указывает на возможность лимфогенного пути проникновения вируса в центральную нервную систему (ЦНС). В отдельных случаях преобладает тот или иной путь, что отражается в клинических особенностях клещевого энцефалита. Возникновение менингеальных и менингоэнцефалических синдромов соответствует гематогенному, а полиомиелитических и радикулоневритических — лимфогенному пути распространения вируса. Инвазия нервной системы возможна также и невральным путём посредством центростремительного распространения вируса через обонятельный тракт. Редкость поражения нижних конечностей при

клещевом энцефалите не соответствует частоте присасывания клещей в кожных областях, иннервируемых поясничными и крестцовыми сегментами спинного мозга, что указывает на известную тропность вируса к клеткам шейных сегментов и их аналогов в бульбарных отделах продолговатого мозга.

Выделяют следующие клинические формы болезни: лихорадочную; менингеальную; менингоэнцефалитическую; полиомиелитическую; полирадикулоневритическую.

Независимо от клинической формы у больных наблюдаются общие инфекционные проявления болезни, характеризующиеся лихорадкой и другими признаками синдрома общей инфекционной интоксикации.

Инкубационный период клещевого энцефалита длится в среднем 7—14 суток с колебаниями от одних суток до 30 дней. У ряда больных началу заболевания предшествует продромальный период, длящийся 1—2 дня и проявляющийся слабостью, недомоганием, разбитостью; иногда отмечаются легкие боли в области мышц шеи и плечевого пояса, боли в поясничной области в виде ломоты и чувства онемения, головная боль.

При всех вышеописанных клинических формах клещевого энцефалита могут наблюдаться эпилептиформный, гиперкинетический синдромы и некоторые другие признаки поражения нервной системы. Это зависит от эпидемического очага (западный, восточный), от способа заражения (трансмиссивный, алиментарный), от состояния человека в момент инфицирования и от методов терапии. Гиперкинетический синдром регистрируется сравнительно часто (у 1/4 больных), причем преимущественно у лиц до 16 лет. Синдром характеризуется появлением спонтанных ритмических сокращений (миоклонии) в отдельных мышечных группах паретических конечностей уже в остром периоде болезни.

Лечение больных клещевым энцефалитом проводят по общим принципам независимо от проводимых ранее профилактических прививок или применения с профилактической целью специфического гамма-глобулина. В остром периоде болезни, даже при легких формах, больным следует назначать постельный режим до исчезновения симптомов интоксикации. Почти полное ограничение движения, щадящее транспортирование, сведение к минимуму болевых раздражений отчетливо улучшают прогноз заболевания. Не менее важную роль в лечении имеет рациональное питание больных. Диета назначается с учетом функциональных нарушений желудка, кишечника, печени. Принимая во внимание наблюдаемые у ряда больных нарушения витаминного баланса, необходимо назначение витаминов группы В и С. Аскорбиновая кислота, стимулирующая функцию надпочечников, а также улучшающая

антитоксическую и пигментную функции печени, должна вводиться в количестве от 300 до 1000 мг/сутки.

Этиотропная терапия заключается в назначении гомологичного гамма-глобулина, титрованного против вируса клещевого энцефалита. Препарат оказывает четкий терапевтический эффект, особенно при средне-тяжелом и тяжелом течении болезни. Гамма-глобулин рекомендуют вводить по 6 мл внутримышечно, ежедневно в течение 3 суток. Лечебный эффект наступает через 12—24 ч после введения гамма-глобулина — температура тела снижается до нормы, общее состояние больных улучшается, головные боли и менингеальные явления уменьшаются, а иногда и полностью исчезают. Чем раньше вводится гамма-глобулин, тем быстрее наступает лечебный эффект. В последние годы для лечения клещевого энцефалита применяют сывороточный иммуноглобулин и гомологичный полиглобулин, которые получают из плазмы крови доноров, проживающих в природных очагах заболевания. В первые сутки лечения сывороточный иммуноглобулин рекомендуют вводить 2 раза с интервалами 10—12 ч по 3 мл при легком течении, по 6 мл — при среднетяжелом и по 12 мл — при тяжелом. В последующие 2 дня препарат назначают по 3 мл однократно внутримышечно. Гомологичный полиглобулин вводят внутривенно по 60—100 мл. Считается, что антитела нейтрализуют вирус (1 мл сыворотки связывает от 600 до 60 000 смертельных доз вируса), защищают клетку от вируса, связываясь с её поверхностными мембранными рецепторами, обезвреживают вирус внутри клетки, проникая в неё путём связывания с цитоплазматическими рецепторами.

Для специфического противовирусного лечения клещевого энцефалита используется также рибонуклеаза — ферментный препарат, приготовляемый из тканей поджелудочной железы крупного рогатого скота. РНК-аза задерживает размножение вируса в клетках нервной системы, проникая через гематоэнцефалический барьер. Рибонуклеазу рекомендуют вводить внутримышечно в изотоническом растворе натрия хлорида (препарат разводят непосредственно перед выполнением инъекции) в разовой дозе 30 мг через 4 ч. Первую инъекцию выполняют после десенсибилизации по Безредко. Суточная доза вводимого в организм фермента составляет 180 мг. Лечение продолжают в течение 4—5 дней, что обычно соответствует моменту нормализации температуры тела.

Современным способом лечения вирусных нейроинфекций является применение препаратов интерферона (реаферона, лейкинферона и др.), которые можно вводить внутримышечно, внутривенно, эндолумбально и эндолимфатически. Следует учитывать, что большие дозы интерферона (ИФН) 1—3—6- 106 МЕ — обладают иммунодепрессивным свойством, а

устойчивость клеток к проникновению вируса не прямо пропорциональна титрам ИФН. Поэтому целесообразно использовать относительно небольшие дозы препарата, либо применять индукторы интерферона (двуспиральная РНК фага 2, амиксин, камедон и др.), обеспечивающие невысокие титры ИФН и обладающие иммуномодулирующим свойством. Двуспиральную РНК фага (ларифан) вводят внутримышечно по 1 мл с интервалом 72 ч от 3 до 5 раз. Амиксин в дозе 0,15-0,3 г назначают перорально с интервалом 48 ч от 5 до 10 раз. Патогенетическая терапия при лихорадочной и менингеальной формах клещевого энцефалита, как правило, заключается в проведении мероприятий, направленных на уменьшение интоксикации. С этой целью производят пероральное и парентеральное введение жидкости с учетом водно-электролитного баланса и кислотно-основного состояния. При менингоэнцефалитической, полиомиелитической и полирадикуло-невритической формах болезни дополнительное назначение глюкокортикоидов является обязательным. Если у больного нет бульбарных нарушений и расстройств сознания, то преднизолон применяют в таблетках из расчета 1,5—2 мг/кг в сутки. Назначают препарат равными дозами в 4—6 приемов в течение 5—6 дней, затем дозировку постепенно снижают (общий курс лечения 10-14 дней). Одновременно больному назначают соли калия, щадящую диету с достаточным содержанием белков. При бульбарных нарушениях и расстройствах сознания преднизолон вводят парентерально при увеличении вышеуказанной дозы в 4 раза. При бульбарных нарушениях (с расстройством глотания и дыхания) с момента появления первых признаков дыхательной недостаточности должны быть обеспечены условия для перевода больного на ИВЛ. Люмбальная пункция при этом противопоказана и может быть произведена только после устранения бульбарных устройств. Для борьбы с гипоксией целесообразно систематическое введение увлажненного кислорода через носовые катетеры (по 20—30 мин каждый час), проведение гипербарической оксигенации (10 сеансов под давлением 0,2—0,25 МПа), использование нейроплегиков и антигипоксантов: внутривенное введение натрия оксибутирата по 50 мг/кг массы тела в сутки или седуксена по 20-30 мг/сут. Кроме того, при психомоторном возбуждении можно использовать литические смеси. Центральные параличи лечат антиспастическими средствами (мидокалм, мелликтин, баклофен, лиорезал или др.), препаратами, улучшающими микроциркуляцию в сосудах и трофику мозга в очагах поражения и клетках, берущих на себя функцию погибших структур (сермион, трен-тал, кавинтон, стугерон, никотиновая кислота на глюкозе внутривенно) в обычных дозировках. Миорелаксирующим действием обладают седуксен, скутамил Ц, сибазон.

Судорожный синдром требует длительного (4—6 мес) приема противозепилептических средств: при джексоновской эпилепсии — фенобарбитал, гексамидин, бензонал или конвулекс; при генерализованных припадках — сочетание фенобарбитала, дефинина, суксилепа; при кожевниковской эпилепсии — седуксен, ипразид или фенобарбитал. При полиморфных припадках с несудорожным компонентом присоединяются финлепсин, триметин или пикнолепсин в общепринятых дозах. Гиперкинетический синдром лечат с помощью ноотропила или пирасетама, в остром периоде или при миоклонических припадках используют натрия оксипутират и литий внутривенно. При бросковых гиперкинезах, похожих на синдром Жиль де ла Туретта, рекомендуют комбинацию меллерила, элениума и седуксена в обычных дозировках. При полиомиелитической форме могут использоваться живые энтеровирусные вакцины (в частности, поливалентная противополиомиелитическая вакцина по 1 мл на язык трехкратно с интервалом 1-2 недели). В результате усиливается индукция интерферона, стимулируются фагоцитоз и функциональная активность иммунокомпетентных клеток.

Уничтожение клещей в очагах затруднено, так как они обладают достаточно высокой устойчивостью к ядохимикатам по сравнению с многими другими членистоногими. Более важную роль играет предотвращение укусов клещей. Лицам, не привитым от клещевого энцефалита, не следует посещать очаги в период активности клещей. В любом случае следует обеспечить защиту от укусов. При посещении очагов в период активности клещей брюки должны быть заправлены в носки, рубашка или куртка - в брюки, обшлага должны плотно облепать запястья, а голова должна быть закрыта платком или капюшоном. Не реже одного раза в час следует проводить само- и взаимоосмотр и удалять клещей с одежды. В случае укуса клеща его необходимо удалить как можно быстрее, выкручивая из кожи с помощью пинцета. Если головка (гнатосома) клеща оторвалась и осталась в коже, ее следует удалить так же, как занозу. Место укуса необходимо после удаления клеща продезинфицировать. В течение первых суток (а при невозможности достичь лечебного учреждения в первые сутки - в течение 2-3 суток) после присасывания клеща — экстренная профилактика: донорский иммуноглобулин (титр 1:80 и выше) внутримышечно в дозе 1,5 мл детям до 12 лет, 2 мл — от 12 до 16 лет, 3 мл — лицам в возрасте 16 лет и старше. Основная мера профилактики - проведение профилактических прививок. Имеется несколько вакцин (отечественная и зарубежные), видимо, примерно равных по безопасности и эффективности. Первичная вакцинация проводится двукратно с интервалом от одного до семи месяцев

(вторая доза вакцины вводится не менее чем за две недели после выезда в очаг), повторная вакцинация через год обеспечивает стойкий иммунитет на три года. В России вакцинация для большинства групп населения платная и проводится по эпидемиологическим показаниям (перед посещением очагов). В некоторых странах Европы (например, в Швейцарии) проводится плановая бесплатная вакцинация всего населения, что приводит к резкому снижению заболеваемости.

Грипп (итал.*influenza*, лат.*influentia*, дословно — влияние, греч.Γρίππ) — острое инфекционное заболевание дыхательных путей, вызываемое вирусом гриппа.

Входит в группу острых респираторных вирусных инфекций (ОРВИ). Периодически распространяется в виде эпидемий и пандемий. В настоящее время выявлено более 2000 вариантов вируса гриппа, различающиеся между собой антигенным спектром.

Вирус гриппа относится к семейству ортомиксовирусов (лат.*Orthomyxoviridae*) и включает три серовара А, В, С. Вирусы сероваров А и В составляют один род, а серотип С образует другой. Каждый серовар имеет свою антигенную характеристику, которая определяется нуклеопротеинами (NP) и матричными (М) белковыми антигенами. Серовар А включает подтипы, которые различаются по характеристике своего гемагглютинаина (H) и нейраминидазы (N). Для вирусов серовара А (реже В) характерно частое изменение антигенной структуры при пребывании их в естественных условиях. Эти изменения обуславливают множество названий подтипов, которые включают место первичного появления, номер и год выделения, характеристика HN — например А/Moscow/10/99 (H3N2), А/New Caledonia/120/99 (H1N1), В/Hong Kong/330/2001.

Вирус гриппа имеет сферическую форму диаметром 80—120 нм, в центре находятся РНК-фрагменты, заключённые в липопротеидную оболочку, на поверхности которой имеются «шипы» состоящие из гемагглютинаина (H) и из нейраминидазы (N). Антитела, вырабатываемые в ответ на гемагглютинин (H), составляют основу иммунитета против определённого подтипа возбудителя гриппа

К гриппу восприимчивы все возрастные категории людей. Источником инфекции является больной человек с явной или стёртой формой болезни, выделяющий вирус с кашлем, чиханием и т. д. Больной заразен с первых часов заболевания и до 3—5-х суток болезни. Характеризуется аэрозольным (вдыхание мельчайших капель слюны, слизи, которые содержат вирус гриппа) механизмом передачи и чрезвычайно быстрым распространением в виде эпидемий и пандемий.

Эпидемии гриппа, вызванные серотипом А, возникают примерно каждые 2—3 года, а вызванные серотипом В — каждые 4—6 лет. Серотип С не вызывает эпидемий, только единичные вспышки у детей и ослабленных людей. В виде эпидемий встречается чаще в осенне-зимний период. Периодичность эпидемий связана с частым изменением антигенной структуры вируса при пребывании его в естественных условиях (таблица 7.2). Группами высокого риска считаются дети, люди преклонного возраста, беременные женщины, люди с хроническими болезнями сердца, лёгких, а также индивидуумы, имеющие хроническую почечную недостаточность.

Таблица 7.2

Грипп известен с конца XVIвека:

Год	Подтип	Распространение
1889— 1890	H2N8	Тяжёлая эпидемия
1900— 1903	H3N8	Умеренная эпидемия
1918— 1919	H1N1	Тяжёлая пандемия (испанский грипп)
1933— 1935	H1N1	Средняя эпидемия
1946— 1947	H1N1	Средняя эпидемия
1957— 1958	H2N2	Тяжёлая пандемия (азиатский грипп)
1968— 1969	H3N2	Умеренная пандемия (гонконский грипп)
1977— 1978	H1N1	Средняя пандемия
1995— 1996	H1N1 и H3N2	Тяжёлая пандемия
2009	A(H1N1), т. н. «свиной грипп»	Умеренная пандемия

Инкубационный период может колебаться от нескольких часов до 3-х дней, обычно 1-2 дня. Тяжесть заболевания варьирует от лёгких до тяжёлых гипертоксических форм. Некоторые авторы указывают, что Типичная гриппозная инфекция начинается обычно с резкого подъёма температуры тела (до 38 С — 40°С), которая сопровождается ознобом, лихорадкой, болями в мышцах, головной болью и чувством усталости. Выделений из носа, как правило, нет, напротив есть выраженное чувство сухости в носу и глотке. Обычно появляется сухой, напряжённый кашель, сопровождающийся болью за грудиной. При гладком течении эти

симптомы сохраняются 3-5 дней, и больной выздоравливает, но несколько дней сохраняется чувство выраженной усталости, особенно у пожилых больных. При тяжёлых формах гриппа развивается сосудистый коллапс, отёк мозга, геморрагический синдром, присоединяются вторичные бактериальные осложнения. Клинические находки при объективном исследовании не выражены — только гиперемия и отёк слизистой зева, бледность кожи, инъецированные склеры. Следует сказать, что грипп представляет большую опасность из-за развития серьёзных осложнений, особенно у детей, пожилых и ослабленных больных.

Частота возникновения осложнений заболевания относительно не велика, но в случае их развития они могут представлять значительную опасность для здоровья больного. Среднетяжёлые, тяжёлые и гипертоксические формы гриппа, могут являться причиной серьёзных осложнений. Причинами возникновения осложнений при гриппе могут быть следующие особенности инфекционного процесса: вирус гриппа оказывает выраженное капилляротоксическое действие, способен подавлять иммунитет, разрушает тканевые барьеры, облегчая тем самым агрессию тканей резидентной флорой.

Различают несколько основных видов осложнений при гриппе:

Лёгочные: бактериальная пневмония, геморрагическая пневмония, формирование абсцесса лёгкого, образование эмпиемы.

Внелёгочные: бактериальные риниты, синуситы, отиты, трахеиты, вирусный энцефалит, менингит, неврит, радикулоневрит, поражение печени синдром Рея, миокардит, токсико-аллергический шок.

В наше время смерть от гриппа считается исключительным событием. Чаще всего летальные исходы при гриппе наблюдаются среди детей младше 2-х лет и пожилых людей старше 65 лет.

До последнего времени лечение было обычно симптоматическое, в виде жаропонижающих, противокашлевых и отхаркивающих средств, а также витамины, особенно витамин С в больших дозах. Центр CDC рекомендует пациентам покой, достаточное количество жидкости, избегать курения и спиртных напитков.

Предупреждение и раннее лечение простудных заболеваний высокими дозами витамина С (аскорбиновой кислоты) пропагандировалось Лайнусом Полингом, двукратным лауреатом Нобелевской премии. Благодаря его авторитету этот способ получил широкое распространение, однако недавнее подробное исследование показало, что приём 1—4 г аскорбиновой кислоты в сутки не приводит к уменьшению количества простудных заболеваний, хотя и несколько облегчает их течение.

Предполагается, что противовирусные препараты, действующие на ту или иную фазу развития вирусной инфекции *in vitro*, способны показать

эффективность и *in vitro*, особенно — как профилактическое средство. В целом, начало лечения противовирусными препаратами должно быть начато ещё до проявления клинических проявлений гриппа, более позднее начало их приёма практически неэффективно.

Сибирская язва (синонимы: злокачественный карбункул; anthrax - англ.; milzbrand - нем.; charbon, anthrax carbon - франц.) - острая инфекционная болезнь, протекающая преимущественно в виде кожной формы, реже наблюдается легочная и кишечная формы. Относится к зоонозам.

Возбудитель - *Bacillus anthracis* представляет собой довольно крупную палочку длиной 6-10 мкм и шириной 1-2 мкм. Она неподвижная, образует споры и капсулу. Хорошо растет на различных питательных средах. Вегетативные формы быстро погибают без доступа воздуха, при прогревании, под воздействием различных дезинфицирующих средств. Споры сибирской язвы весьма устойчивы во внешней среде, они могут сохраняться в почве до 10 лет и более. Споры образуются вне организма при доступе свободного кислорода. Вирулентность возбудителя обусловлена наличием капсулы и экзотоксина. Помимо пенициллина возбудитель сибирской язвы чувствителен также к антибиотикам тетрациклиновой группы, левомицетину, стрептомицину, неомицину.

Источник инфекции - домашние животные (крупный рогатый скот, овцы, козы, верблюды, свиньи). Заражение может наступать при уходе за больными животными, убое скота, обработке мяса, а также при контакте с продуктами животноводства (шкур, кожи, меховые изделия, шерсть, щетина), обсемененными спорами сибиреязвенного микроба. Заражение имеет преимущественно профессиональный характер. Заражение может наступать через почву, в которой споры сибиреязвенного возбудителя сохраняются в течение многих лет. Споры попадают в кожу через микротравмы; при алиментарном инфицировании (употребление зараженных продуктов) возникает кишечная форма. Передача возбудителя может осуществляться аэрогенным путем (вдыхание инфицированной пыли, костной муки). В этих случаях возникают легочные и генерализованные формы сибирской язвы. В странах Африки допускается возможность передачи инфекции посредством укусов кровососущих насекомых. Заражения человека от человека обычно не наблюдаются. Сибирская язва широко распространена во многих странах Азии, Африки и Южной Америки. В США и странах Европы наблюдаются единичные случаи заболеваний сибирской язвой.

Воротами инфекции чаще служит кожа. Обычно возбудитель внедряется в кожные покровы верхних конечностей (около половины всех случаев) и головы (20-30%), реже туловища (3-8%) и ног (1-2%). В

основном поражаются открытые участки кожи. Уже через несколько часов после заражения начинается размножение возбудителя в месте ворот инфекции (в коже). При этом возбудители образуют капсулы и выделяют экзотоксин, который вызывает плотный отек и некроз. Из мест первичного размножения возбудители по лимфатическим сосудам достигают регионарных лимфатических узлов, а в дальнейшем возможно гематогенное распространение микробов по различным органам. При кожной форме в месте первичного воспалительно-некротического очага вторичная бактериальная инфекция особой роли не играет.

При аэрогенном заражении споры фагоцитируются альвеолярными макрофагами, затем они попадают в медиастенальные лимфатические узлы, где происходит размножение и накопление возбудителя, некротизируются и лимфатические узлы средостения, что приводит к геморрагическому медиастениту и бактериемии. В результате бактериемии возникает вторичная геморрагическая сибирезвенная пневмония.

При употреблении инфицированного (и недостаточно прогретого) мяса споры проникают в подслизистую оболочку и регионарные лимфатические узлы. Развивается кишечная форма сибирской язвы, при которой возбудители также проникают в кровь и заболевание переходит в септическую форму. Таким образом, септическое течение может возникнуть при любой форме сибирской язвы. В патогенезе сибирской язвы большое значение имеет воздействие токсинов, образуемых возбудителем. Перенесенное заболевание оставляет после себя стойкий иммунитет, хотя и имеются описания повторных заболеваний через 10-20 лет после первого заболевания.

Симптомы и течение. Инкубационный период колеблется от нескольких часов до 8 дней (чаще 2-3 дня). Различают кожную, легочную (ингаляционную) и кишечную формы сибирской язвы, последние две формы характеризуются гематогенной диссеминацией микроорганизмов и объединяются иногда под названием генерализованной (септической) формы, хотя по изменениям в области ворот инфекции эти две формы различаются между собой. Чаще всего наблюдается кожная форма (у 95%), редко легочная и очень редко (менее 1%) кишечная.

Чаще всего язва локализуется на верхних конечностях: пальцы, кисть, предплечье, плечо (498 случаев из 1329), далее идут лоб, виски, темя, скула, щека, веко, нижняя челюсть, подбородок (486 больных), шея и затылок (193), грудь, ключица, грудные железы, спина, живот (67), на нижних конечностях язва локализовалась лишь у 29 человек. Остальные локализации были редкими.

Признаки общей интоксикации (лихорадка до 40°C, общая слабость, разбитость, головная боль, адинамия, тахикардия) появляются к концу

первых суток или на 2-й день болезни. Лихорадка держится в течение 5-7 дней, температура тела снижается критически. Местные изменения в области язвы постепенно заживают, и к концу 2-3-й недели струп отторгается. Обычно бывает единичная язва, хотя иногда могут быть и множественные (2-5 и даже 36). Увеличение числа язв заметного влияния на степень тяжести течения заболевания не оказывает. Большее влияние на тяжесть течения болезни оказывает возраст больного. До введения в практику антибиотиков среди больных старше 50 лет летальность была в 5 раз выше (54%), чем у лиц более молодого возраста (8-11%). У привитых против сибирской язвы кожные изменения могут быть весьма незначительными, напоминая обычный фурункул, а общие признаки интоксикации могут отсутствовать.

Легочная форма сибирской язвы начинается остро, протекает тяжело и даже при современных методах лечения может закончиться летально. Среди полного здоровья возникает потрясающий озноб, температура тела быстро достигает высоких цифр (40°C и выше), отмечается конъюнктивит (слезотечение, светобоязнь, гиперемия конъюнктив), катаральные явления со стороны верхних дыхательных путей (чихание, насморк, хриплый голос, кашель). Состояние больных с первых часов болезни становится тяжелым, появляются сильные колющие боли в груди, одышка, цианоз, тахикардия (до 120-140 уд/мин), АД понижается. В мокроте наблюдается примесь крови. Над легкими определяются участки притупления перкуторного звука, сухие и влажные хрипы, иногда шум трения плевры. Смерть наступает через 2-3 дня.

Кишечная форма сибирской язвы характеризуется общей интоксикацией, повышением температуры тела, болями в эпигастрии, поносом и рвотой. В рвотных массах и в испражнениях может быть примесь крови. Живот вздут, резко болезненный при пальпации, выявляются признаки раздражения брюшины. Состояние больного прогрессивно ухудшается и при явлениях инфекционно-токсического шока больные умирают.

Лечение. Для этиотропного лечения используют антибиотики, а также специфический иммуноглобулин. Чаще всего назначают пенициллин при кожной форме 2 млн-4 млн ЕД/сут. парентерально. После исчезновения отека в области язвы можно назначать препараты пенициллина перорально (ампициллин, оксациллин еще в течение 7-10 дней). При легочной и септической формах пенициллин вводят внутривенно в дозе 16-20 млн ЕД/сут, при сибиреязвенном менингите такие дозы пенициллина сочетают с 300-400 мг гидрокортизона. При непереносимости пенициллина при кожной форме сибирской язвы назначают тетрациклин в дозе 0,5 г 4 раза в день в течение 7-10 дней. Можно использовать также и эритромицин (по

0,5 г 4 раза в день 7-10 сут). В последнее время рекомендуют ципрофлоксацин по 400 мг через 8-12 ч, а также доксициклин по 200 мг 4 раза в день, а затем по 100 мг 4 раза в день.

Специфический противосибиреязвенный иммуноглобулин вводят внутримышечно в дозе 20-80 мл/сут (в зависимости от клинической формы и тяжести болезни) после предварительной десенсибилизации. Вначале для проверки чувствительности к лошадиному белку вводят внутрикожно 0,1 мл иммуноглобулина, разведенного в 100 раз. При отрицательной пробе через 20 мин вводят подкожно 0,1 мл разведенного (1:10) иммуноглобулина и через 1 ч - всю дозу внутримышечно. При положительной внутрикожной реакции от введения иммуноглобулина лучше воздержаться.

Профилактика и мероприятия в очаге. Выявление и ликвидация очагов инфекции по линии ветеринарной службы. Лицам, подвергающимся опасности заражения сибирской язвой (работникам предприятий по переработке кожевенного сырья и шерсти, мясокомбинатов, ветеринарным работникам, работникам лабораторий, работающим с возбудителем сибирской язвы), проводят профилактические прививки сибиреязвенной живой сухой вакциной (СТИ). Непосредственно перед прививками ампулу с сухой вакциной вскрывают, шприцом вводят в нее 1 мл 30% раствора глицерина (приложен к коробке с вакциной), слегка встряхивают до получения равномерной взвеси. На кожу верхней трети плеча наносят (после предварительной обработки кожи спиртом или эфиром) 2 капли вакцины и делают насечки через каждую каплю.

Больных госпитализируют в отдельную палату, проводят текущую дезинфекцию. Выписывают после полного выздоровления и эпителизации язв.

За лицами, контактировавшими с больными животными, устанавливается медицинское наблюдение в течение 2 недель.

Геморрагическая лихорадка Эбола. Лихорадка Эбола – тяжелое вирусное заболевание, отличительной особенностью которой является обильные кровотечения, в том числе и внутренних органов. Заболеванию подвержены человекообразные обезьяны и люди. Возбудителем лихорадки является вирус, который получил название Эбола по названию реки, протекающей на севере Конго, и на берегах которой были зафиксированы первые вспышки инфекции. Симптомы Эбола имеют особенность проявляться внезапно, которые представлены на рисунке 7.2.

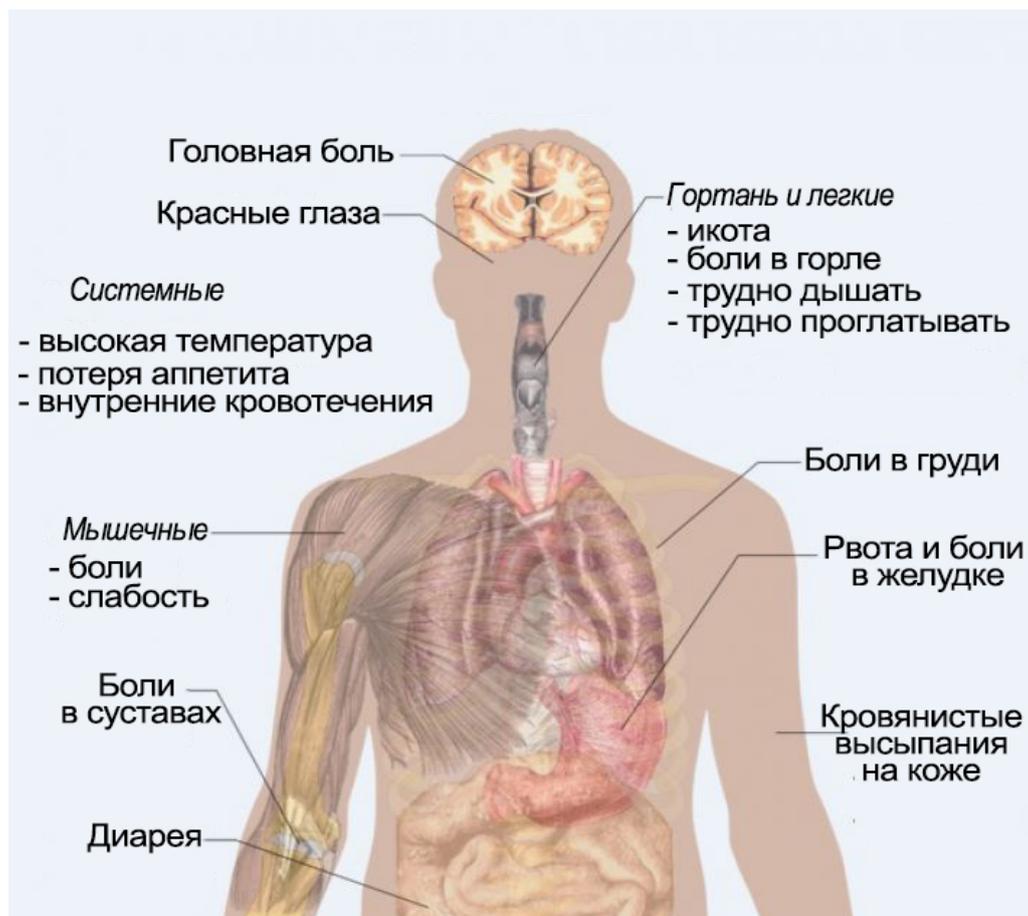


Рис. 7.2. Симптомы лихорадки Эбола

## 7.2. Инфекционные заболевания сельскохозяйственных 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.

Выделяются следующие виды эпизоотий:

- по масштабам распространения – частные, объектовые, местные и региональные;

- по степени опасности – легкие, средней тяжести, тяжелые и чрезвычайно тяжелые;

- по экономическому ущербу – незначительные, средние и большие.

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. Из страны прекратился экспорт мясных изделий, что

поставило ее животноводство на грань разорения. Кроме того, потребление мяса в Европе значительно уменьшилось и, как следствие, произошла дестабилизация европейского рынка мясных изделий.

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

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

Как только человек стал одомашнивать диких зверей, возникла проблема защиты их от инфекционных болезней. На данный момент ветеринарной медицине известны методы профилактики и способы излечения многих инфекционных заболеваний животных. Несмотря на это, в мире ежегодно от инфекций их гибнут миллионы.

К наиболее опасным и распространенным видам инфекционных заболеваний относятся африканский сап, энцефалит, ящур, чума, туберкулез, грипп, сибирская язва, бешенство. Возникновение эпизоотии возможно лишь при наличии комплекса взаимосвязанных элементов, представляющих собой так называемую эпизоотическую цепь: источник возбудителя инфекции (больное животное), факторы передачи возбудителя инфекции (объекты неживой природы) или живые переносчики (восприимчивые к болезни животные). Характер эпизоотии, длительность ее течения зависят от механизма передачи возбудителя инфекции, сроков инкубационного периода, соотношения больных и восприимчивых животных, условий содержания животных и эффективности противоэпизоотических мероприятий. Проведение последних в значительной мере предотвращает развитие эпизоотии.

Некоторые из этих болезней переносятся животными без лечения или же при незначительном лечении. Смертность от них невелика. При других болезнях, например, бешенстве, лечение животных запрещено, их сразу же уничтожают. Категорически недопустимо вскрытие животных, павших от сибирской язвы, так как они являются основным источником заражения данной болезнью для человека. Большинство из особо опасных болезней требует серьезного медицинского вмешательства. При возникновении эпизоотии осуществляется ряд карантинных мероприятий: необходимо не допустить распространение болезни от больных к здоровым животным, для чего следует перемещать скот (перегонять, перевозить, переносить), создавать ограждения, проводить дезинфекции. Больные животные должны быть подвергнуты лечению, а при необходимости – уничтожению.

При угрозе или возникновении эпизоотии организуется ветеринарная разведка, которая выявляет вид возбудителя болезни, источник инфекции и определяет границы очага поражения. В случае возникновения особо опасных инфекций в очаге поражения вводится карантин, который включает в себя 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.

В очаге ЧС проводятся следующие мероприятия:

- выявление, изоляция и лечение (убой) заболевших животных;
- выявление и обезвреживание источников возбудителя инфекции;
- создание или повышение невосприимчивости животных к заболеванию (оздоровительные мероприятия, профилактика и иммунизация).

Для предупреждения распространения эпизоотии и ликвидации последствий ЧС проводятся:

- обеззараживание кормов и животноводческой продукции;
- утилизация трупов животных;
- мероприятия по дезинфекции, дезинсекции и дератизации.

Вынужденный убой сельскохозяйственных животных проводится в целях установления диагноза и предотвращения распространения болезни. В зависимости от характера инфекционной болезни убою подлежат больные, подозреваемые в заражении животные, или 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.). Трупы животных, в зависимости от характера болезни, при невозможности их утилизации подлежат уничтожению, то есть сжиганию, закапыванию на скотомогильниках или уничтожению в биотермических ямах. Трупы животных, павших от сибирской язвы, чумы и туляремии, подлежат обязательному сжиганию.

Работы по ликвидации последствий эпизоотии осуществляются специалистами зооветеринарной службы. Спасатели, привлекаемые к работе, должны пройти инструктаж по технике безопасности.

### **7.3. Инфекционные заболевания сельскохозяйственных растений**

Эпифитотия - 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 - массовое заболевание растений и резкое увеличение численности вредителей растений на территории нескольких стран или континентов.

Эпифитотии включают:

- ржавчину хлебных злаков, при поражении которой потери урожая составляют 40–70%;

- пиокулариоз риса – заболевание вызывается грибом, потери урожая могут достигать 90%;

- фитофтороз (картофельная гниль) – заболевание, поражающее грибом листья, стебли и клубни картофеля и др.

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, как стимуляторы роста и созревания.

Большой вред сельскому хозяйству наносят растения-паразиты, полностью или частично живущие за счет питательных веществ других растений. Они снижают урожайность сельскохозяйственных культур или уничтожают их. Например, цветковые растения-паразиты снижают урожай подсолнечника, томатов, табака и др.

Саранча наносит ни с чем несравнимый ущерб сельскому хозяйству во многих странах Африки, Азии и Ближнего Востока. Ее налетам подвержено 20% поверхности земного шара. Саранча, передвигаясь со скоростью 0,5–1,5 км/ч, уничтожает на своем пути буквально всю растительность. Так, в 1958 г. одна лишь стая уничтожила в Сомали за день 400 тыс. т зерна. Под тяжестью оседающих стай саранчи ломаются деревья и кустарники. Личинки саранчи питаются по 20–30 раз в день. Серьезными вредителями сельского хозяйства являются грызуны (сурки, суслики, серые полевки и др.). Во время массовых размножений их численность может возрасти в 100–200 раз. Это увеличенное число грызунов требует огромного количества пищи, которой и становятся сельскохозяйственные культуры, особенно зерновые.

Вспышки распространения биологических вредителей происходят постоянно. Большой вред лесонасаждениям наносит сибирский шелкопряд. От него в Восточной Сибири погибли сотни тысяч гектаров хвойной тайги, прежде всего кедровой. Чрезвычайно вредят постройкам, растительности и продовольствию термиты. Известен случай уничтожения термитами г. Джонстауна на о. Святой Елены. Основными действиями,

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

При возникновении эпифитотии организуется фитопатологическая разведка, которая проводит обследование сельскохозяйственных угодий, мест хранения и переработки продукции растительного происхождения и прилегающей к ним территории, устанавливает вид возбудителя и границы зон заражения.

Основными мероприятиями по защите растений от инфекционных болезней являются:

- выведение и возделывание устойчивых к болезням сортов сельскохозяйственных культур;
- соблюдение правил агротехники;
- уничтожение очагов возникшей инфекции;
- проведение карантинных мероприятий;
- химическая обработка посевов, посевного и посадочного материала и др.

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

Таким образом, информация о состоянии патогенности, эпизоотии, эпифитотии широко используются в социальной сфере, в сельском хозяйстве, в предупреждении развития неблагоприятных факторов. Организация наблюдений, передачи, обработки, хранения и распространения информации требует научного обоснования, а результаты наблюдений служат основанием для глобальных и локальных обобщений по состоянию эпидемиологической обстановки.

### **Контрольные вопросы**

1. Приемы и методы профилактики эпидемий, эпизоотий, эпифитотий.
2. Локализация и ликвидация эпидемий, эпизоотий, эпифитотий.
3. Характерные случаи и территориальные признаки эпидемий, эпизоотий, эпифитотий.
4. Прогноз эпидемий, эпизоотий, эпифитотий.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опасные природные процессы и явления не поддающиеся влиянию человека, являются результатом действия сил природы. Опасные природные процессы и явления это катастрофические ситуации, возникающие, как правило, внезапно, приводящие к нарушению повседневного уклада жизни значительных групп людей, часто сопровождающиеся человеческими жертвами и уничтожением материальных ценностей.

Опасные природные процессы и явления являются трагедией для любого государства и, особенно, для тех районов, где они возникают. В результате опасных природных процессов и явлений страдает экономика страны, так как при этом разрушаются производственные предприятия, уничтожаются материальные ценности, гибнут люди. Кроме того, опасные природные процессы и явления создают неблагоприятные условия для жизни населения, что может быть причиной вспышек массовых инфекционных заболеваний. Количество пострадавших от опасных природных процессов и явлений людей может быть весьма значительным, а характер поражений очень разнообразным.

Одна из главных задач, которая выходит сегодня на первый план, - правильное прогнозирование возникновения и развития опасных природных процессов и явлений, заблаговременное предупреждение органов власти и населения о приближающейся опасности. Очень важны и крайне необходимы работы по всемерной локализации опасных природных процессов и явлений с целью сужения зоны разрушений, оказания своевременной помощи пострадавшим.

Человек бессилён предотвратить сами природные процессы и явления, но в его силах избежать жертв и ущерба.

## Литература

1. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Кн. 1 /Под ред. чл. кор. РИА Е. Е. Кочеткова, проф. В. А. Котляревского и проф. А. В. Забегаева и др. – М.: Изд. ассоциации строительных ВУЗов, 1995. – 320 с.
2. Акимов В.А., Дурнев Р.А., Соколов Ю.И. Опасные гидрометеорологические явления на территории России / МЧС России. – М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2009. – 316 с.: ил.
3. Баринов А. В., Саулин В. И., Сычёв В. И. Стихийные явления в литосфере. – Новогорск: АГЗ МЧС РФ, 1999. – 320 с.
4. Баринов А. В. Чрезвычайные ситуации природного характера и защита от них: Учеб. пособие. – М.: Издательство ВЛАДОС-ПРЕСС, 2003. – 496 с.
5. Баринов А.В., Седнёв В.А., Шевчук А.Б. и др. Опасные природные процессы. Учебник.-М.: Академия ГПС МЧС России, 2011 г. – 334 с.
6. Баринов А.В., Седнёв В.А., Шевчук А.Б., Неровных А.Н. Чрезвычайные ситуации природного характера. Ч 1. Чрезвычайные ситуации в литосфере: Учеб. пособие – М.: Академия ГПС МЧС России, 2010 – 180 с.
7. Баринов А.В., Седнёв В.А., Неровных А.Н., Лысенко И.А., Кошечкина Е.И. Чрезвычайные ситуации природного характера. Ч 2. Чрезвычайные ситуации в атмосфере и гидросфере: Учеб. пособие – М.: Академия ГПС МЧС России, 2010 – 53 с.
8. Большая советская энциклопедия – Т. 1, 1970.
9. География лавин /Под ред. С. М. Мягкова, Л. А. Канаева. – Москва: МГУ, 1992. – 332 с.
- 10.ГОСТ Р. 22.0.03-95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения. – М.: Госстандарт России, 1995. – 11 с.
- 11.ГОСТ Р. 22.0.06–95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники природных чрезвычайных ситуаций. Поражающие факторы. Номенклатура параметров поражающих воздействий. – М.: Госстандарт России, 1995. – 8 с.
- 12.ГОСТ Р.22.1.09–99. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования. – М.: Госстандарт России, 1999. – 9 с.
- 13.ГОСТ 33.0.04-95. Безопасность в ЧС.
- 14.Дэвис Ли. Природные катастрофы. Т.1. – Смоленск: Русич, 1996. – 384 с.
- 15.Дэвис Ли. Природные катастрофы. Т.2. – Смоленск: Русич, 1996. – 400 с.
- 16.Дж. Гир, Х. Шах. Зыбкая твердь. – М.: Мир, 1988. – 220 с.
- 17.Еганов Ю. В. Обеспечение защиты персонала предприятий и населения в чрезвычайных ситуациях: Ч. 1. – Обнинск: ЦИПК Минатома России, 1992. – 209 с.
- 18.Мазур И. И., Иванов О. П. Опасные природные процессы. – М.: Экономика, 2004. – 702 с.
- 19.Мягков С. М. География природного риска. – М.: Изд. МГУ, 1995. – 224 с.
- 20.Природные опасности России. Сейсмические опасности / Под общ. ред. В.И.Осипова, С. К. Шойгу. – М.: «Крук», 2000. – 295 с.
- 21.Рекомендации по комплексам мероприятий защиты населения при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера. – М.: ВНИИ ГОЧС, 1993. – 166 с.
- 22.Россия в цифрах. 2015: Краткий статистический сборник. Росстат. – М., 2015. – 543 с.

Учебное издание

Неровных Александр Николаевич  
Заворотный Александр Григорьевич  
Бутенко Виталий Михайлович  
Сарычев Владимир Валентинович  
Резниченко Сергей Анатольевич

# ОПАСНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Издано в авторской редакции

Подписано в печать \_\_\_\_\_. Формат 60×90 1/16.  
Печ. л. 19,0. Уч.-изд. л. 14,0. Бумага офсетная.  
Тираж 300 экз. Заказ \_\_\_\_\_

Академия ГПС МЧС России  
129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4