

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова

Е. А. Фанина

Утверждено
научно-методическим советом
университета

НОКСОЛОГИЯ
ОПАСНОСТИ ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРА

*Учебное пособие
для студентов направления подготовки
28.03.02 Наноинженерия*

Белгород
2017

УДК 504
ББК 20.1я73
Ф21

Фанина, Е.А.

Ф21 Ноксология. Опасности природного характера: учеб. пособие / Е. А. Фанина. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2017.– 203 с.

В пособии рассматриваются основные понятия в области чрезвычайных ситуаций природного характера и дана характеристика опасностей, включая стихийные явления в литосфере, атмосфере, гидросфере, космическом пространстве; мероприятия по предотвращению и ликвидации опасностей природного характера. Изложены экономические основы смягчения последствий чрезвычайных ситуаций природного характера.

Учебное пособие предназначено для студентов направления подготовки 28.03.02 Наноинженерия

**УДК 504
ББК 20.1я73**

© Белгородский государственный
технологический университет
(БГТУ) им. В. Г. Шухова, 2017

Введение

В настоящее время перед человечеством встали задачи повышения уровня безопасности своего существования и сохранения природы в условиях развития техносферы. Это привело к необходимости распознавать, оценивать и прогнозировать опасности, действующие на человека и природу в условиях их непрерывного взаимодействия с техносферой. Человеко- и природозащитную деятельность необходимо вести не только в практической области, но и на научной основе, создавая прежде всего теоретические предпосылки к формированию новой области научного знания – ноксологии.

Научно-технический прогресс не только способствовал повышению производительности труда, росту благосостояния общества, но и привел к появлению большого количества новых угроз для отдельного человека и для цивилизации в целом. В современной техносфере формируются новые негативные факторы; условия труда и жизни человека значительно превышают адаптационные, физиологические и психологические возможности организма. По мере ускорения темпов технического прогресса воздействие хозяйственной деятельности человека на природу становится все более разрушительным. Поэтому проблема обеспечения безопасности жизнедеятельности человека становится все более актуальной. Необходимо задуматься о путях и возможностях поддержания качества среды обитания на уровне, необходимом для сохранения здоровья людей и устойчивого существования всех земных живых популяций, иначе человечество окажется перед фактом возникновения в природе необратимых процессов глобального масштаба, приводящих к гибели всего живого.

В предлагаемом пособии рассмотрены источники возникновения естественных опасностей, методы их предупреждения, предотвращения и ликвидации. Изучение курса позволяет студентам получить систематизированное представление об опасностях природного характера и их прогнозировании, научиться оценивать их влияние на жизнь и здоровье человека, усвоить алгоритмы безопасного поведения с учетом складывающихся условий и возможностей.

Глава 1. Ноксология как основа научного анализа и синтеза мира опасностей

1.1. Основные понятия ноксологии

Ноксология (греч. «ноксо» – опасность) – наука об опасностях материального мира Вселенной. Ноксосфера – сфера опасностей, являющаяся предметом изучения науки ноксологии.

Общей целью изучения ноксологии является углубление и развитие знаний о системе обеспечения безопасности в условиях негативных факторов техносферы, а также формирование навыков практического использования знаний в области обеспечения безопасности при осуществлении организационно-управленческой и эксплуатационной профессиональной деятельности.

Задачи ноксологии:

- дать представления об опасностях современного мира и их негативном влиянии на человека и природу;
- описать источники и зоны влияния опасностей;
- сформировать представления об особенностях взаимодействия в системах «человек–среда обитания», «природа–техносфера»;
- сформировать критерии и методы оценки опасностей;
- дать основы анализа источников опасности и представления о путях и способах защиты человека и природы от опасностей.

По современным представлениям научные знания в ноксологии опираются на следующие основные принципы:

1. Принцип существования внешних негативных воздействий на человека и природу. Человек и природа могут подвергнуться негативным внешним воздействиям. На человека и природу постоянно воздействуют внешние по отношению к ним системы. Вполне вероятно, что некоторые из них будут способны причинять ущерб здоровью человека или угрожать природе.

2. Принцип антропоцентризма. Человек есть высшая ценность, сохранение и продление жизни которого является целью его существования. Реализация этого принципа делает приоритетной деятельность, направленную на сохранение здоровья и жизни человека при воздействии на него внешних систем. К ней относятся такие направления исследований как идентификация опасностей и зон их действия, разработка и применение человекозащитных средств, контроль их состояния и т.п.

3. **Принцип природоцентризма.** Природа – лучшая форма среды обитания биоты, ее сохранение – необходимое условие существования жизни на земле. Реализация этого принципа означает, что защита природы является второй по важности задачей ноксологии. При этом изучается негативное воздействие промышленных и бытовых отходов, техногенных аварий, селитебных и промышленных зон на региональные природные территории и акватории; анализируется воздействие опасных техногенных объектов на природу в межрегиональных, межконтинентальных и глобальных масштабах.

Деятельность по реализации второго и третьего принципов связана с идентификацией опасностей и зон их действия, возникающих при применении техники и технологий; с разработкой и применением экобиозащитных средств; с контролем качества их эксплуатации; с мониторингом опасностей в зоне пребывания людей и в природных зонах, испытывающих негативное влияние техносферы. В то же время такие направления исследования и практические разработки, как достижение высокой надежности технических систем и технологий, создание высокопрочных строительных конструкций и т.п. в ноксологии имеют прикладное значение, поскольку они реализуются авторами проектов технических объектов для достижения таких показателей, как допустимые отходы и допустимый техногенный риск.

4. **Принцип возможности создания качественной техносферы.** Создание человеком качественной техносферы принципиально возможно и достижимо при соблюдении в ней предельно допустимых уровней воздействия на человека и природу. Этот принцип указывает на возможность достижения качественной техносферы и определяет пути достижения этой цели, основанные на знании человеком необходимости соблюдения нормативных требований по допустимым внешним воздействиям на человека и природу.

5. **Принцип выбора путей реализации безопасного техносферного пространства.** Безопасное техносферное пространство создается за счет снижения значимости опасностей и применения защитных мер. При защите от естественных опасностей воздействие на их источники невозможно, а защита от антропогенных опасностей достигается только за счет совершенствования источника опасностей (человека, его знаний об опасностях).

6. **Принцип отрицания абсолютной безопасности.** Абсолютная безопасность человека и целостность природы – недостижимы. Этот принцип справедлив, так как:

– во-первых, на Земле всегда существуют естественные опасности и процессы потребления ресурсов и захоронения отходов,

- во-вторых, неизбежны антропогенные опасности;
- в-третьих, практически неустранимы полностью и техногенные опасности.

7. **Принцип «Эволюция любой системы идет в направлении снижения потенциальной опасности»** (принцип Ле-Шателье). Рост знаний человека, совершенствование техники и технологии, применение защиты, ослабление социальной напряженности в будущем неизбежно приведут к повышению защищенности человека и природы от опасностей. Этот принцип указывает на позитивный вектор движения общества к решению проблем удовлетворения потребностей человека в безопасности. Путь движения многовариантен и основан, прежде всего, на росте культуры общества в вопросах безопасности жизнедеятельности человека и защиты окружающей среды.

1.2. Параметры состояния жизненного пространства техносферы и представление об опасности

Опасность – негативное свойство живой и неживой материи, способное причинять ущерб самой материи: людям, природной среде, материальным ценностям.

Понятие «опасность» – свойство человека и компонент окружающей среды, способные причинять ущерб живой и неживой материи. Опасности техносферы возникают при достижении ее внешними потоками вещества, энергии и/или информации значений, превышающих способность к их восприятию любым объектом защиты без нарушения своей функциональной целостности, т.е. без причинения ущерба.

В определении понятия «опасность» формально отсутствует указание на необходимость совпадения координат и времени передачи опасных потоков от источника к объекту защиты. Этого не требуется, так как опасен весь материальный мир, окружающий человека, общества людей и т.п. Иными словами, вероятность проявления опасности по отношению к другим материальным объектам существует всегда и везде.

Понятие «источник опасности» – это компоненты биосферы и техносферы, космическое пространство, социальные и иные системы, излучающие опасность. Для каждого источника опасности характерно наличие уровня, зоны и продолжительности действия. Для описания источника опасности с позиций его негативного влияния на человека и природу используют величину материальных отходов (выбросов,

сбросов и отбросов), интенсивность энергетических излучений и его вероятность воздействия (риск).

Источниками (носителями) опасностей являются естественные процессы и явления, техногенная среда и действия людей. Источником опасности может быть все живое и неживое. Опасности не обладают избирательным свойством, при своем возникновении они негативно воздействуют на всю окружающую их материальную среду. Влиянию опасностей подвергается человек, природная среда, материальные ценности.

1.3. Таксономия опасностей

Различают опасности естественного (природного), техногенного и антропогенного происхождения.

По видам потоков в жизненном пространстве: массовые, энергетические, информационные.

По интенсивности потоков: опасные и чрезвычайно опасные.

По длительности воздействия: постоянные, переменные (периодические), импульсные.

По видам зоны воздействия: производственные, бытовые, городские, зоны ЧС.

По размерам: локальные, региональные, межрегиональные, глобальные.

По степени завершенности: потенциальные, реальные, реализованные.

Таксономия опасностей – классификация опасностей по различным признакам. Потенциальная опасность – опасность общего характера, не связанная с координатами пространства и временем воздействия. Идентификация опасностей – процесс распознавания и параметрического описания опасностей в поле их действия. Квантификация опасностей – количественная оценка опасностей.

Понятие «безопасность объекта защиты» – состояние объекта защиты, при котором внешнее воздействие на него потоков вещества, энергии и информации из окружающей среды не превышает максимально допустимых для объекта значений.

Понятие «защита от опасностей» – способы и методы снижения уровня и продолжительности действия опасностей на человека и природу. Принципиально защиту объекта от опасностей реализуют снижением негативного влияния источников опасности (сокращением значения риска и размеров опасных зон); выведением объекта из опас-

ной зоны; применением экобиозащитной техники и средств индивидуальной защиты.

Техногенные опасности (ТО) – это совокупность вредных и травмирующих факторов техносферы, отрицательно воздействующих на человека и окружающую его среду. Источниками ТО являются элементы техносферы, деятельность которых сопровождается выбросами и сбросами загрязнителей, образованием твердых отходов, генерированием энергетических полей и излучений.

Антропогенные опасности (АО) возникают в результате ошибочных или несанкционированных действий человека или групп людей.

Все опасности классифицируют по ряду признаков, табл. 1.1.

В системе «человек-опасность» человек может выполнять следующие три роли: быть **«объектом защиты»**, **«средством защиты»** и **«источником опасности»**.

В реальных случаях на объект защиты могут действовать одновременно несколько опасностей или источников опасностей, создавая поле опасностей. Анализ таких систем существенно усложняется. Для правильного проведения исследований необходимо соблюдать правило единственности объекта защиты в сфере опасностей (ноксосфере).

Теоретический анализ и практическую деятельность по обеспечению безопасности необходимо проводить только для одного объекта защиты (человек, сообщество людей, рабочая зона, техносфера, регион и т.п.). Нормативы безопасности также индивидуальны для каждого объекта защиты.

Термин «безопасность» можно применять только в сочетании с системой «объект защиты – источник(и) опасности». Отсутствие объекта защиты и, тем более, источника опасности переводит обсуждение проблем безопасности в беспредметную область.

Защищая один объект, можно попутно защитить и другие объекты, но такая ситуация возникает не всегда. Большинство негативных факторов техносферы (такие как загрязнители, шум, вибрации) оказывают прямое воздействие на человека и окружающую среду. В последние годы широкое распространение получают вторичные факторы (фотохимический смог, кислотные дожди и др.), возникающие в среде обитания в результате взаимодействия первичных факторов между собой или с компонентами биосферы.

Потоки масс веществ, энергий и информации – основа сохранения жизни. «Жизнь осуществляется путем движения через живой организм потоков вещества, энергии и информации», – закон Ю.Н. Куражковского.

Классификация опасностей

Признак классификации	Вид (класс)
По видам источников опасности	Естественные Антропогенные Техногенные
По видам потоков в жизненном пространстве	Энергетические Массовые Информационные
По величине потоков в жизненном пространстве	Допустимые Предельно допустимые Опасные Чрезвычайно опасные
По моменту возникновения опасности	Прогнозируемые Спонтанные
По длительности воздействия опасности	Постоянные Переменные, периодические Кратковременные
По объектам негативного воздействия	Действующие на человека Действующие на природную среду Действующие на материальные ресурсы Комплексного воздействия
По количеству людей, подверженных опасному воздействию	Личные Групповые (коллективные) Массовые
По размерам зоны воздействия	Локальные Региональные Межрегиональные Глобальные
По видам зон воздействия	Действующие в помещении Действующие на территориях
По способности человека идентифицировать опасности органами чувств	Ощущаемые Неощущаемые
По виду негативного воздействия на человека	Вредные Травмоопасные
По вероятности воздействия на человека и среду обитания	Потенциальные Реальные Реализованные

В процессе жизнедеятельности человек потребляет и выделяет потоки кислорода, воды, пищи, потоки механической, тепловой, солнечной, других видов энергии, потоки отходов жизнедеятельности, формирует и потребляет потоки информации и др. В социальной среде (социуме) формируются специфические факторы, которые способны формировать негативные потоки (войны, болезни, страх, эмоции, го-

лод, курение, потребление алкоголя, наркотиков, обман, шантаж, разбой, убийства и др.).

Основные потоки в техносфере:

- 1) потоки сырья, энергии, продукции и отходов в производственной сфере;
- 2) потоки, возникающие при техногенных авариях;
- 3) транспортные потоки;
- 4) световые потоки при искусственном освещении;
- 5) информационные и другие потоки.

Потоки в естественной среде – это:

- 1) солнечное излучение, космическая пыль, излучение звезд, планет, электрическое и магнитное поля Земли;
- 2) круговороты веществ в биосфере;
- 3) пищевые цепи в экосистемах и биогеоценозах;
- 4) атмосферные, гидросферные, литосферные и другие явления создают основные потоки вещества и энергии в естественной среде.

Потоки масс, энергий и информации, распределяясь в земном пространстве, образуют среду обитания человека. Человек и окружающая его среда гармонично взаимодействуют и развиваются лишь в условиях, когда потоки энергии, вещества и информации находятся в пределах, благоприятно воспринимаемых человеком и природной средой. Превышение привычных уровней потоков в естественных условиях может приводить к изменению климата, возникновению стихийных явлений и оказывать негативное воздействие на человека и природную среду. Любое превышение привычных уровней потоков сопровождается негативными воздействиями на человека, техносферу и/или природную среду.

Опасности реализуются в виде потоков энергии, вещества и информации, они существуют в пространстве и во времени. Опасности возникают, если повседневные потоки вещества, энергии и информации в техносфере превышают пороговые значения. Изменяя потоки в среде обитания от минимально значимых до максимально возможных, можно получить ряд характерных состояний в системе «человек – среда обитания», а именно: комфортное (оптимальное), допустимое, опасное, чрезвычайно опасное.

Комфорт – это оптимальное сочетание параметров микроклимата и удобств в зонах деятельности и отдыха человека. Комфортное состояние среды обитания реализуется, когда потоки создают оптимальные условия для деятельности, отдыха и проявления наивысшей работоспособности при сохранении здоровья человека и целостности компонентов среды обитания.

Допустимое состояние реализуется, когда потоки, воздействуя на человека и среду обитания, приводят к дискомфорту, снижают эффективность деятельности человека, но не оказывают негативного влияния на здоровье, не выходя за пределы адаптации организма. При этом интенсивность негативных воздействий находится в пределах толерантности человеческого организма и окружающей природной среды, когда возможные негативные последствия обратимы.

Толерантность – способность организмов выносить отклонения факторов среды от оптимальных для них. Опасное состояние реализуется, когда потоки превышают допустимые уровни и оказывают негативное влияние на здоровье человека, вызывая при длительном воздействии заболевания, и могут приводить к деградации техносферы и природной среды. Чрезвычайно опасное состояние возникает, когда потоки высоких уровней за короткий период времени могут привести к травмированию человека вплоть до летального исхода и вызвать разрушения в техносфере и в природной среде. Из четырех характерных состояний взаимодействия человека со средой обитания лишь первые два (комфортное и допустимое) соответствуют позитивным условиям повседневной жизнедеятельности, а два других (опасное и чрезвычайно опасное) – недопустимы для процессов жизнедеятельности человека, сохранения и развития природной среды.

Причинно-следственное поле воздействий на человеческий организм целесообразно реализовать в виде совокупности факторов первого, второго, третьего и иных кругов опасности, расположенных вокруг человеческого организма. При этом считается, что основное влияние на организм оказывают факторы первого круга, а факторы второго круга влияют в основном на факторы первого круга и т.д.

1.4. Понятие о системах «человек-среда обитания» и «природа-техносфера»

В процессе эволюционного развития мира совершенствовался человек, нарастала численность населения Земли и уровень его урбанизации, изменялся общественный уклад и социальная основа общества. Изменялась и среда обитания: увеличивалась территория поверхности Земли и степень освоения человеком ее недр; естественная природная среда испытывала все возрастающее влияние человеческого сообщества, появились искусственно созданная человеком бытовая, городская и производственные среды. Человек и среда обитания непрерывно находятся во взаимодействии, образуя постоянно действующую си-

стему «человек – среда обитания». С возникновением техносферы образовалась постоянно действующая система «природа – техносфера».

Среда обитания – окружающая человека среда, обусловленная совокупностью факторов (физических, химических, биологических информационных, социальных), способных оказывать прямое или косвенное, немедленное или отдаленное воздействие на жизнедеятельность человека, его здоровье и потомство.

В нокологии используют ряд установившихся понятий. К ним, прежде всего, относятся: понятие совокупности систем «человек–техносфера» и «природа – техносфера». Эти системы используются для описания процессов негативного взаимодействия человека (коллектива людей, населения города, региона, страны, планеты Земля, (далее «человека») с окружающей его техносферой и для описания взаимодействия природы с техносферой. В современном мире для человека существует два полярных вида среды обитания – природная (биосфера) и техносфера (производственная, селитебная и бытовая). Последняя наиболее характерна. Для описания негативного влияния техносферы на природу используют совокупность систем «природа – техносфера».

Обусловленные техногенными причинами выбросы различных загрязнителей и энергетическое загрязнение окружающей среды (шум, вибрация, электромагнитное излучение, тепловое загрязнение и др.) за несколько лет создают неаномалии среды обитания человека (природной, городской, промышленной, бытовой) с повышенной частотой заболеваний и смертностью, с деградацией окружающей природной среды. Радиус действия таких неаномалий может составлять 5–8 км, иногда влияние этой области распространяется до 40–50 км и более. Для обеспечения безопасности человека и сохранности природной среды устанавливают пороговые или предельно допустимые значения потоков воздействия.

Различают простые и сложные факторы воздействия. К простым факторам могут быть отнесены: температура воздуха, атмосферное давление, температура нагретых поверхностей, инфракрасное и ультрафиолетовое излучение, магнитное поле, электрический ток, звук, микроорганизмы и т.д. К сложным факторам относят: взрыв, пожар, горение, землетрясения, наводнения, вулканы, сели, снежные лавины, туман, осадки, гололед, магнитные бури, оползни, цунами, ураганы, смерчи, паника, суициды и др. Фактор внешней среды может превратиться в опасность в результате роста величины (например, темпера-

тура, электрическое напряжение), накопления малых воздействий в течение длительного времени – кумулятивный эффект (например, ионизирующее излучение) и совместного воздействия нескольких факторов.

1.5. Классификация опасностей природного характера

Наибольшую практическую ценность имеет классификация опасностей по характеру лежащих в ее основе базовых явлений и процессов (например, явления в литосфере), типам (например, геофизические опасные явления) и видам (например, землетрясение) с одновременным учетом общего характера последствий (табл. 1.2).

По масштабу возможных последствий опасности подразделяются на: локальные (частные, объектовые); местные; территориальные; региональные; национальные (федеральные); глобальные (трансграничные).

В основу такого деления заложены два критерия: собственно масштабы зоны чрезвычайной ситуации, т. е. территория, которая подверглась воздействию опасности и на которой распространились ее последствия; характер и состав сил и средств, привлекаемых для ликвидации последствий опасностей природного характера.

Важной является также классификация, построенная по масштабу распространения чрезвычайных событий.

К чрезвычайным ситуациям природного характера относятся все те, которые отклоняют состояние природной среды от диапазона, оптимального для жизни человека и для ведущего им хозяйства.

Таблица 1.2

Классификация опасностей природного характера

Группа	Тип	Вид
1	2	3
1. Явления в литосфере	1.1. Геофизические опасные явления	Землетрясения. Извержение вулканов
	1.2. Геологические опасные явления	Оползни; сели; обвалы, осыпи; лавины. Склоновый смыв. Просадка лессовых пород. Просадка (провал) земной поверхности в результате карста. Абразия, эрозия. Курумы; пыльные бури
	1.3. Природные пожары	Лесные пожары. Пожары степных и хлебных массивов. Торфяные пожары. Пожары горючих ископаемых

1	2	3
2. Явления в атмосфере	2.1. Метеорологические и агрометеорологические опасные явления	Бури (9–11 баллов). Ураганы (12–15 баллов). Смерчи, торнадо. Шквалы. Вертикальные вихри. Крупный град. Сильный дождь, ливень. Сильный снегопад. Сильный гололед. Сильный мороз. Сильная жара. Сильный туман. Засуха. Суховей. Заморозки.
3. Явления в гидросфере	3.1. Морские гидрологические опасные явления	Тропические циклоны (тайфуны). Цунами. Сильное волнение (5 баллов и более). Сильное колебание уровня моря. Сильный тягун в портах. Ранний ледяной покров и припай. Напор льдов, интенсивный дрейф льдов. Непроходимый (труднопроходимый) лед. Обледенение судов и портовых сооружений. Отрыв прибрежных льдов
	3.2. Гидрологические опасные явления	Высокие уровни воды (наводнения). Половодье. Дождевые паводки. Затопы и зажоры. Ветровые нагоны. Низкие уровни воды. Ранний ледостав и появление льда на судоходных водоемах и реках
	3.3. Гидрогеологические опасные явления	Низкие уровни грунтовых вод. Высокие уровни грунтовых вод
4. Биологические явления	4.1. Биологические повреждения в литосфере, гидросфере, атмосфере	Появление микро- и макроорганизмов обусловленных биоповреждениями объектов техногенного характера
	4.2. Инфекционная заболеваемость людей	Единичные случаи экзотических и особо опасных инфекционных заболеваний. Групповые случаи опасных инфекционных заболеваний. Эпидемия. Пандемия. Инфекционные заболевания людей невыявленной этиологии
	4.3. Инфекционная заболеваемость сельскохозяйственных животных	Единичные случаи экзотических и особо опасных инфекционных заболеваний. Энзоотии. Эпизоотии. Панзоотии. Инфекционные заболевания сельскохозяйственных животных невыявленной этиологии
	4.4. Поражение сельскохозяйственных растений болезнями и вредителями	Прогрессирующая эпифитотия. Панфитотия. Болезни сельскохозяйственных растений невыявленной этиологии. Массовое распространение вредителей растений

Глава 2. Опасности в литосфере

2.1. Землетрясения

Землетрясения – подземные удары (толчки) и колебания поверхности земли, вызванные процессами высвобождения энергии внутри нее (главным образом тектоническими). По своим разрушительным последствиям землетрясения не имеют себе равных среди стихийных бедствий. Вся поверхность земного шара делится на несколько огромных частей земной коры, которые называются тектоническими плитами. Это: североамериканская, евроазиатская, африканская, южноамериканская, тихоокеанская и атлантическая плиты. Тектонические плиты находятся в постоянном движении (могут раздвигаться, сдвигаться или скользить одна относительно другой), и оно составляет несколько сантиметров в год. Землетрясения являются результатом столкновения этих плит и сопровождаются изменениями поверхности земли в виде складок, трещин и т. п., которые могут простираться на большое расстояние. Районы, расположенные вблизи границ тектонических плит, в наибольшей степени подвержены землетрясениям. Иногда случаются землетрясения во внутренних частях плит – так называемые *внутриплитовые землетрясения*.

Землетрясения могут возникать и по другим причинам. Одной из таких причин является вулканическая деятельность (в местах, где раздвигаются тектонические плиты). Другой причиной является обрушение кровли шахт или подземных пустот с образованием упругих волн. Землетрясения, возникающие при развитии крупных оползней, называют обвальными. Кроме того, землетрясения могут вызываться и инженерной деятельностью человека (заполнение водохранилищ, закачка воды в скважины).

Опасные последствия землетрясений разделяются на природные и связанные с деятельностью человека. К природным относятся: сотрясение грунта, нарушение грунта (трещины и смещения), оползни, лавины, сели, разжижение грунта, оседания, цунами, сейши.

К последствиям землетрясений, связанным с деятельностью человека относятся: разрушение или обрушение зданий, мостов и других сооружений; наводнения при прорывах плотин и водопроводов; пожары при повреждениях нефтехранилищ и разрывах газопроводов; повреждение транспортных средств, коммуникаций, линий энерго- и водоснабжения, а также канализационных труб; радиоактивные утечки при повреждении ядерных реакторов.

Область возникновения подземного удара – очаг землетрясения – представляет собой некоторый объем в толще земли, в пределах которого происходит процесс высвобождения накапливающейся длительное время энергии. В центре очага выделяется точка, именуемая *гипоцентром*. Проекция гипоцентра на поверхность земли – *эпицентр*.

Одной из главных характеристик землетрясения является энергия, излучаемая при сейсмическом толчке в форме упругих волн. Энергия сейсмических волн или *магнитуда* может составлять до сотен тысяч миллионов кВт/час (10^{20}). Немецкий ученый Рихтер для характеристики энергии землетрясения в качестве эталона (точки отсчета) предложил принять такую энергию, при которой на расстоянии 100 км от эпицентра стрелка сейсмографа стандартного типа отклоняется на 1 мкм, т. е. энергия землетрясения определяется как десятичный логарифм отношения амплитуды сейсмических волн замеренных на каком-либо расстоянии от эпицентра, к эталону. Изменение отношения на 10 соответствует изменению значения интенсивности колебания грунта на поверхности земли на 1 балл. Например, амплитуда землетрясения равна 300 000, эталон равен 10. По шкале Рихтера амплитуда землетрясения составит:

$$300\,000 : 10 = \log 30\,000 = 4,48.$$

Наивысший балл по шкале Рихтера – 10.

В ряде Европейских стран используется 12-балльная шкала MSK (авторы: Медведев, Спонхвер, Карник), которая характеризует силу землетрясения в соответствии с его последствиями. Эта шкала учитывает не только энергию землетрясения, но и особенности разрушений, в отличие от шкалы Рихтера, и используется с 1964 г. Землетрясения создаются ударными волнами и упругими колебаниями земной коры. Причиной неглубинных землетрясений (глубина очага не менее 60 км) могут служить скольжение литосферных блоков вдоль разломов земной коры, скачкообразное изменение давления паровых газов в коре, вулканическая деятельность. Более глубокие землетрясения вызываются изменениями фазового состояния магмы, подстилающей земную кору. Наиболее часты и сильны мелко фокусные (глубина очага менее 15 км) землетрясения, обусловленные относительными смещениями блоков.

Помимо естественных землетрясений, происходят и могут быть разрушительными землетрясения, вызванные человеческой деятельностью. Примером такой деятельности является заполнение глубоких (более 100 м) водохранилищ, образование подземных полостей вследствие добычи полезных ископаемых. Разрушительная способность

землетрясения зависит от его магнитуды и от глубины очага и характеризуется в условных баллах интенсивности. В России принята 12-балльная Международная сейсмическая шкала интенсивности MSK-64 (шкала Меркалли), описывающая результат землетрясения в его эпицентре, а для разрушительных (6–9 баллов) землетрясений – дополнительная собственная шкала 1973 г. В ней рассмотрены следующие типы зданий:

А – глинобитные или из кирпича-сырца, или из рваного камня;

Б – кирпичные или из тесаного камня, или из крупных блоков;

В – каркасные железобетонные, каменные или деревянные хорошей постройки.

Оценка интенсивности землетрясений по характеру повреждений зданий и сооружений производится на основании показателей типа строений и степени разрушения зданий и сооружений при землетрясениях.

Характеристика степени повреждения зданий и сооружений:

1 степень – легкие – тонкие трещины в штукатурке.

2 степень – умеренные – небольшие трещины в стенах, откалывание довольно больших кусков штукатурки, падение кровельной черепицы, трещины в дымовых трубах, падение частей дымовых труб.

3 степень – тяжелые – большие, глубокие или сквозные трещины в стенах, падение дымовых труб.

4 степень – разрушения – обрушение внутренних стен, проломы во внешних стенах, обрушение частей зданий, разрушение связей между отдельными элементами зданий.

5 степень – обвалы – полное разрушение зданий.

С учетом этих степеней разрушения зданий и сооружений шкала интенсивности землетрясений (последствия по масштабам разрушений) выглядит следующим образом:

6 баллов – 1-я степень повреждений в отдельных зданиях типа Б и во многих типах А, 2-я – в отдельных типа А; в немногих случаях оползни; на сырых грунтах возможны трещины шириной до 1 см; в горных районах – отдельные случаи оползней;

7 баллов – 1-я степень повреждений во многих зданиях типа В, 2-я – в отдельных случаях типа Б и во многих типа В, 3-я – в отдельных типа Б и во многих типа А, 4-я – в отдельных типа А; в отдельных случаях оползни дорожных откосов на крутых склонах, трещины на дорогах; нарушения стыков трубопроводов; отдельные случаи оползней на крутых песчаных и гравелистых берегах рек;

8 баллов – 2-я степень повреждений во многих зданиях типа В, 3-я – во многих типа Б и в отдельных типа В, 4-я – во многих типа А и в отдель-

ных типа Б, 5-я – в отдельных типа А; сдвигаются памятники, разрушаются каменные ограды; небольшие оползни на крутых откосах дорожных выемок и насыпей; трещины в грунте шириной до нескольких сантиметров; во многих случаях изменяется дебит источников, уровень воды в колодцах;

9 баллов – 3-я степень повреждений во многих типах зданий типа В, 4-я – в отдельных типах В и во многих типа Б, 5-я – в большинстве зданий типа А и в отдельных типа Б; памятники и колонны опрокидываются; значительные повреждения берегов искусственных водоемов; разрывы подземных трубопроводов; в отдельных случаях – искривление рельсов железных и повреждение полотна автомобильных дорог, трещины в грунте шириной 10 см; частые оползни, обвалы, осыпания грунта;

10 баллов – сохраняется незначительная часть зданий типа А и отдельные здания Б;

11 баллов – сохраняются отдельные здания типа А;

12 баллов – тотальные разрушения.

Статистика чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации последних лет показывает, что доля землетрясений от природных опасностей составляет 8 %. Территория России, подверженная землетрясениям с интенсивностью более 7 баллов, составляет 20 %, около 6 % территории занимают особенно опасные 8–9 – балльные зоны (Камчатка, Сахалин, Северный Кавказ, Прибайкалье и Якутия). Более 20 млн. россиян проживают в зонах возможных разрушительных землетрясений.

Землетрясение есть следствие распространяющегося разрыва (гигантской трещины) в глубинах Земли. Излучаемые движущимися берегами разрыва упругие волны достигают земной поверхности через несколько секунд, что и вызывает при сильных землетрясениях разрушение зданий, ведет к гибели людей. Землетрясения возникают в результате внезапной разрядки существующих в Земле механических напряжений. Последние обусловлены постоянно идущими в земных недрах процессами дифференциации земного вещества, конвективными течениями горных масс, находящимися в неравновесном состоянии по плотности и температуре. Это неравновесное состояние есть следствие истории образования Земли как планеты и разогрева в результате распада радиоактивных элементов.

Первыми достигают поверхности Земли волны сжатия–растяжения (продольные волны), распространяющиеся в горных породах со скоростью несколько километров в секунду. Далее приходят волны сдвига (поперечные волны), скорость которых в среднем в 1,7 раза меньше.

Далее вдоль верхней кровли Земли распространяются поверхностные волны, которые при сильных землетрясениях могут несколько раз обегать вокруг земного шара, постепенно уменьшаясь по амплитуде.

Землетрясение – подземные толчки и колебания земной поверхности, возникающие в результате внезапных смещений и разрывов в земной коре или верхней части мантии и передающиеся на большие расстояния в виде упругих колебаний. Движение грунта при землетрясениях носит волновой характер. Волновое движение грунта характеризуется продольным, поперечным и поверхностным типом волн, распространяющихся с различными скоростями. Колебания грунта в сейсмических волнах возбуждают колебания зданий и сооружений, вызывая в них инерционные силы. При недостаточной прочности (сейсмостойкости) конструкций происходят их повреждения различной степени или разрушения.

К основным характеристикам землетрясений относятся: очаг землетрясения; магнитуда землетрясения (сила землетрясения); глубина очага; интенсивность сейсмических колебаний грунта.

Очаг землетрясения представляет собой разрыв или систему разрывов, возникших в земной коре во время землетрясения. Освобождение накопленной упругой энергии происходит в результате деформации, высвобождаемой при движении берегов разрыва. Энергия землетрясения снимается и перераспределяется в некотором, окружающем разрыв объеме пород, однако границы этого объема неопределимы и зависят от строения и напряженно-деформированного состояния земной коры. Не всякий разрыв излучает упругие волны в изучаемом сейсмологией частотном спектре (10^{-3} – 10^2 Гц), а лишь распространяющийся динамически, со скоростью несколько километров в секунду. При очень сильных землетрясениях вызвавшие их разрывы иногда достигают поверхности земли. В таких случаях говорят, что очаг вышел на поверхность. Длина разрывов для самых сильных землетрясений достигает нескольких сотен километров. Относительные смещения берегов разрыва на поверхности земли – вертикальные или горизонтальные – достигают нескольких метров.

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

$$M = \lg\left(\frac{A}{T}\right) + B \cdot \lg \Delta \varepsilon, \quad (2.1)$$

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

Шкала магнитуд дает 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

$$E = c \cdot \left(\frac{A}{T}\right)^2 \cdot t, \quad (2.2)$$

где c – сила землетрясения.

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

Из сопоставления формул (2.1) и (2.2) видно, что не должно существовать линейного соответствия между магнитудой и энергией землетрясения. Примерная оценка соотношения между ними приводится в табл. 2.1.

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

$$\lg E = a \cdot M + b. \quad (2.3)$$

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

$$K = 1,8M + 4,6; \quad (2.4)$$

для Дальнего Востока

$$K = 1,5M + 4,6. \quad (2.5)$$

Обобщенную зависимость между длиной разрыва и магнитудой можно представить формулой

$$\lg L = c \cdot M + d, \quad (2.6)$$

аналогичную зависимость между длиной разрыва и энергетическим классом формулой

$$\lg L = e \cdot K (\text{Дж}) + f. \quad (2.7)$$

Таблица 2.1

**Соотношения между магнитудой М и энергией Е
землетрясений**

<i>M</i>	<i>E</i> , 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 (2.7) $e = 0,244$, $f = -2,266$, 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 магни-

тудой 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

$$\lg D = g \cdot \lg L + h. \quad (2.8)$$

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

Магнитуда землетрясения является мерой общего количества энергии, излучаемой при сейсмическом толчке в форме упругих волн. Она определяется как логарифм отношения амплитуд волн данного землетрясения к амплитудам таких же волн некоторого «стандартного» землетрясения. Магнитуда землетрясения измеряется по максимальной амплитуде записи, полученной сейсмографом стандартного типа на фиксированном расстоянии (150 км) от эпицентра. Статистика землетрясений с различными магнитудами приведена в табл. 2.2.

Таблица 2.2

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	$30 \cdot 10^{16}$

Глубина очага может колебаться в различных сейсмических районах от 0 до 730 км. Очаг, т. е. точка под землей, которая является источником землетрясения, называется *гипоцентром*. Прямо над гипоцентром на поверхности земли находится *эпицентр*, вокруг которого располагается область, называемая эпицентральной, испытывающая наибольшие колебания грунта.

Интенсивность сейсмических колебаний грунта на поверхности земли измеряется в баллах. Интенсивность в разных пунктах наблюде-

ния разная, однако, магнитуда у толчка только одна. Для оценки интенсивности используются шкалы интенсивности: MSK, Росси-Форея или модифицированная шкала Меркалли и другие. Магнитуда и энергия характеризуют силу землетрясения в его очаге. В то же время разрушительные эффекты этого стихийного бедствия проявляются главным образом на поверхности земли. Интенсивность сейсмических колебаний I на поверхности определяется *шкалой интенсивности*. Существуют два принципиально разных типа шкал интенсивности:

- макросейсмические, построенные на основании обследования разрушений различного типа сооружений;
- инструментальные, созданные на основе регистрации параметров сейсмических колебаний соответствующими приборами.

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

Разрушительные 7-балльные колебания наблюдаются обычно при землетрясениях, начиная с магнитуды 5,5 и в районе их эпицентров. При сильнейших землетрясениях с магнитудами 8 и выше они проявляются даже на расстояниях от эпицентра в 300–500 километров.

Чем ближе очаг землетрясения к поверхности, тем больше интенсивность колебаний в эпицентральной зоне, но в то же время она быстрее убывает с расстоянием.

Площадь разрушений S растет в зависимости от магнитуды M землетрясения (табл. 2.3).

Таблица 2.3

Площадь 7-балльной зоны S_7 при очаге на глубине 40 км в зависимости от магнитуды M

M	5	6	7	8
$S_7, \text{км}^2$	100	500	3000	20000

Количество человеческих жертв при землетрясениях зависит от ряда факторов. К числу таких факторов относятся: время начала землетрясения, магнитуда, глубина очага, удаление от населенных пунктов, тип построек и их качество, наличие в зоне землетрясения взрыво- и пожароопасных объектов, водохранилищ и плотин и т. п.

Основная причина гибели людей – обрушение зданий, что приводит к различным последствиям, определяющихся интенсивностью землетрясений (табл. 2.4).

Таблица 2.4

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

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

Интенсивность землетрясения зависит от его силы, глубины залегания очага, качества грунтов и может быть определена по 12-балльной Международной сейсмической шкале MSK-64 (шкале Меркалли).

Сейсмическая опасность при землетрясениях определяется как интенсивными колебаниями грунта, так и вторичными факторами, среди которых: лавины, оползни, обвалы, опускание и перекосы земной поверхности, разжижение грунта, наводнения при разрушении и прорыве плотин и защитных дамб, а также пожары.

Интенсивность землетрясений оценивается в сейсмических баллах или определяется величиной магнитуды. Сейсмическая шкала используется для оценки интенсивности землетрясения на поверхности земли. Для оценки энергии сейсмических волн, возникающих при землетрясениях, применяют шкалу Рихтера – сейсмическую шкалу магнитуд. Соотношение между магнитудой землетрясения по шкале Рихтера и его силой в эпицентре по 12-балльной шкале зависит от глубины очага.

Среднее число землетрясений, происходящих ежегодно на земном шаре, приведено в табл. 2.5.

Таблица 2.5

**Среднее число землетрясений, происходящих ежегодно
на земном шаре**

Характеристика землетрясений	Количество
Катастрофические землетрясения	не более 1
С обширными разрушениями	около 10
С разрушительными толчками	около 100
Вызывающие отдельные повреждения	1000
Не вызывающие разрушений	10 000
Регистрируемые современными приборами	100 000

Участок на поверхности Земли, в пределах которого сила подземных толчков достигает наибольшей величины, называется *эпицентром*; по мере удаления от эпицентра во все стороны сила толчков уменьшается до степени едва заметных колебаний почвы. Если соединить линиями пункты, в которых толчки проявились с одинаковой силой, получают так называемые изосейсты. Изосейста наиболее сильных толчков землетрясения охватывает эпицентр, крайняя периферическая изосейста (обычно 3- или 4-балльная) оконтуривает область распространения слабых колебаний при данном землетрясении. Площади распространения колебаний по своим размерам различны. Известны случаи, когда колебания распространялись от эпицентра в сторону всего на несколько километров.

Эпицентр в большинстве случаев не является непосредственным источником колебаний, а представляет собой лишь проекцию на по-

верхности Земли очага или гипоцентра землетрясения, т. е. того участка в глубине Земли, в котором возникло землетрясение. Очаги могут находиться на разных глубинах – до 600–700 км ниже поверхности Земли. Основная масса сейсмических очагов лежит в пределах земной коры, т. е. не опускается ниже 100 км.

В самой толще земной коры очаги землетрясения располагаются неравномерно – чем ближе к поверхности, тем их больше. Так, очаги землетрясения в Крыму находятся на глубине от 10 до 40 км, в северных частях Средней Азии они редко опускаются ниже 60 км.

По поверхности Земли землетрясения распределены неравномерно. На равнинах, или точнее на платформах, очагов землетрясений нет; сюда редко доходят в ослабленной форме лишь колебания от удаленных очагов. Основная масса очагов, в том числе очагов разрушительных землетрясений, лежит в пределах современных складчатых зон, т. е. в тех частях земной коры, которые испытывают в настоящий момент интенсивные движения, сопровождающиеся деформациями земной коры.

Причиной землетрясений служат тектонические движения, происходящие в толще Земли. Они выражаются в появлении многочисленных, часто сложных и крупных дислокаций (т. е. образований складок, разрывов и вертикальных перемещений отдельных участков в толще коры), в глубокой метаморфизации (изменении) всех толщ земной коры, в интенсивном вулканизме и др. Нередко наблюдается тесное соответствие между распространением тектонических структур (обычно разрывов) и изосейст. Изосейсты протягиваются вдоль тектонических разрывов, оконтуривая узкие, удлинённые полосы наибольших разрушений, лежащих вблизи тектонических разрывов.

Кроме тектонических, известны вулканические, связанные с вулканическими извержениями, а также обвальные, связанные с обрушением подземных карстовых пустот; при этих землетрясениях толчки не достигают большой силы и распространяются недалеко. Выделяются также моретрясения, представляющие те же землетрясения, но их очаги расположены под дном моря или океана. Накопление тектонических напряжений, процесс разрядки этих напряжений в форме землетрясений, а также распространение возникших в очаге сейсмических волн в толще земного шара – явления, связанные с упругими свойствами горных пород и вообще твердого вещества Земли. При сильных землетрясениях выделяется энергия до $1 \cdot 10^{24}$ – $1 \cdot 10^{25}$ эрг, это соответствует энергии, которую может дать Днепровская ГЭС при непрерывной работе в течение 300–350 лет. При землетрясении в очаге возникает комплекс колебательных движений, в систему которых вовлекаются поочередно

все более и более удаленные от очага частицы. Это, прежде всего, продольные волны, распространяющиеся по толще земного шара со скоростью (V_p), достигающей 7–14 км в секунду. Их можно понимать как реакцию среды на внезапное изменение объема.

Примером продольных волн, распространяющихся в газообразной среде, могут служить звуковые волны, возникающие как реакция воздуха на колебание, например, струны, и вызывающие быструю смену сжатия и разрежения воздуха в соседстве со струной.

Поперечные волны распространяются по толще Земли со скоростью (V_s), равной 4–10 км в секунду. При продольных волнах частицы колеблются в направлении от очага колебаний к периферии, вдоль так называемого сейсмического луча. При поперечных волнах частицы колеблются в плоскости, перпендикулярной к направлению сейсмического луча.

В связи с тем, что продольные волны являются следствием сопротивляемости среды изменениям объема, а сопротивляемость характерна для всех агрегатных состояний вещества, продольные волны могут распространяться как в твердых, так и в жидких и газообразных телах. Поперечные волны, возникающие в результате сопротивляемости среды изменениям формы, распространяются только в твердых телах; жидкость и газы не сопротивляются изменениям формы. Скорость продольных и поперечных волн определяется формулами:

$$V_p = \sqrt{K + 4,3 \frac{\mu}{p}}, \quad (2.9)$$

$$V_s = \sqrt{p \cdot \mu}, \quad (2.10)$$

где K – модуль всестороннего сжатия; μ – модуль сдвига; p – плотность среды.

Кроме продольных и поперечных волн, выделяются еще так называемые волны Рэлея, возникающие на свободной поверхности твердого упругого пространства (на поверхности раздела земля – воздух), наподобие того, как появляются волны на поверхности жидкости под влиянием ветра. Однако в твердом веществе волны Рэлея вызываются упругими силами, а не силой тяжести, как в жидкости. Наконец, выделяют еще поперечные поверхностные длиннопериодные волны, возникающие в том случае, если упругий слой лежит на поверхности упругого полупространства.

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/см², 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/см² в год. Энергия землетрясения черпается из окружающего очаг объема пород. Поскольку максимальная упругая энергия, которую может накопить горная порода до разрушения, определена как 10³ эрг/см³, 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. Мы приходим, таким образом, к понятию *сейсмического цикла*.

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

$$\lg T_{(\text{лет})} = \frac{1}{3} \lg E_{(\text{Дж})} - 3,5. \quad (2.11)$$

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:

$$T(K) = a \cdot 10^{bK}, \quad (2.12)$$

$$R(K) = c \cdot L. \quad (2.13)$$

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, которая находится по соотношению (2.7); 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 $K_{\text{ср}}$ сейсмоактивная зона делится на перекрывающиеся элементарные объемы V , в каждом из которых рассчитываются значения $K_{\text{ср}}$ за интервал времени ΔT_j , увеличивающийся с некоторым шагом Δt , по формуле:

$$K_{\text{ср}} = \frac{N^{\frac{1}{3}}}{L}, \quad (2.14)$$

где N – число землетрясений в единице объема; L – средняя длина разрывов этих землетрясений, вычисляемая как

$$L = \frac{\sum L_i}{N}. \quad (2.15)$$

Длина разрыва в очаге i -го землетрясения вычисляется по формуле (2.7).

Из (2.14) следует, что $K_{\text{ср}}$ 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 Хайченским землетрясением с $M = 7,3$ (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 $M > M_a$, 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 землетрясе-

ния, 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 (дилатно-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 γ -типа, представленные опусканием реперов в зонах тектонических разломов в условиях субгоризонтального растяжения.

2. При субгоризонтальном сжатии регистрируются аномалии β -типа, представляющие подъем поверхности на большей базе по сравнению с аномалиями γ -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 γ -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 со-

ставляла 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 γ -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 внутривывихового давления. Относительная деформация пород в зоне аномалии γ -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 г. 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 электроки-

нетическим 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 *электрогеофизических предвестников* (ЭГП) проведены в начале 60-х гг. на Камчатке. Особенностью их была синхронная регистрация на нескольких станциях, причем на каждой станции для исключения приэлектродных процессов 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 «дальное действие» (до нескольких сотен километров от эпицентра землетрясения). Кроме того, показано, что аномалии ЭГП 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 сут до землетрясения в Карпатах 4 марта 1977 г. с $M = 7$ и глубиной очага 120 км отмечалось постепенное увеличение числа сигналов на приемную 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 замедление прохождения сигналов над эпицентральной областью. 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 самоизливающих 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

$$H = \frac{H_1 T_1}{T_1} + \frac{H_2 T_2}{T_2}. \quad (2.16)$$

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 установленные 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.

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 балльности (т. е. силы вероятных землетрясений) для всех населенных пунктов сейсмических районов РФ. Согласно этой карте, различные сейсмические зоны занимают соответствующие площади (табл. 2.6).

Таблица 2.6

Карта сейсмического районирования

Район	Баллы			
	9	8	7	6
	Площадь сейсмических зон, тыс. км ²			
Кавказ	1	47	130	165
Западная Сибирь	–	23	246	411
Восточная Сибирь	–	46	122	355
Приморье	–	12	108	270
Камчатка	18	77	47	61
Всего	221	540	905	1604

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 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 обработке 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. Геогра-

фические 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 балльности) 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. Прогнозировать последствия от разрушительных землетрясений можно также с помощью сейсмических шкал. Например, в шкале *MSK–64* принята следующая классификация: по типам зданий (табл. 2.7); 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.

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; оперативно-го построения изосейст, в том числе на основе сейсмического микро-районирования; определения зоны средней балльности и балльности для различных зданий и сооружений.

Таблица 2.7

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

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 допускаяемые 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 балльности.

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

Протяженные объекты характеризуются размерами в плане (длина и ширина), один из размеров значительно превышает другой и пре-

вышает ширину зоны средней балльности.

Сейсмическое микрорайонирование – количественная оценка изменения (увеличения или уменьшения) сейсмической балльности 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, характеризуемая магнитудой; глубина очага землетрясения, км. При необходимости построения изосейст на основе микрорайонирования к указанным данным добавляются инженерно-геологические условия местности (населенного пункта, объекта).

Параметры поражающих факторов землетрясений определяют следующим образом.

Интенсивность землетрясения определяется по формуле

$$I_6 = 1,5M - 3,51g\sqrt{R^2 + h^2} + 3, \quad (2.17)$$

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

Для определения расстояния от эпицентра, где возможно возникновение определенной интенсивности землетрясения в баллах, используется зависимость

$$R = h\sqrt{10^{0,57(I_0 - I_6)} - 1}, \quad (2.18)$$

где I_0 – максимальная интенсивность землетрясения (в эпицентре).

$$I_0 = 1,5M - 3,5\lg + 3. \quad (2.19)$$

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

$$I = I_6 - (\Delta I_6 - \Delta I), \quad (2.20)$$

где I – искомая балльность изосейсты или местонахождения здания или сооружения; I_6 – балльность базисной изосейсты, проходящей по территории с известными инженерно-геологическими условиями; ΔI_6 – приращение балльности в известных инженерно-геологических условиях по сравнению с гранитом; ΔI – приращение балльности по сравнению с гранитом за счет изменения инженерно-геологических условий местности, по которой проходят недостающие изосейсты, или где находятся конкретные здания или сооружения. Величины ΔI и ΔI_6 определяются по табл. 2.8.

Таблица 2.8

Величина приращений ΔI и ΔI_6

№ п/п	Тип инженерно-геологических условий	ΔI и ΔI_6
1	Гранит	0
2	Известняк и песчаники	0,62
3	Полускальный грунт (гипс, мергель)	0,92
4	Крупнообломочные (щебень, гравий, галька)	1,36
5	Песчаные	1,6
6	Глинистые (глина, суглинки, супеси)	1,61
7	Насыпные рыхлые	2,60

Время прихода продольных сейсмических волн – I фаза землетрясения, t_1 , с определяют по формуле

$$t_I = \frac{\sqrt{(R^2 + H^2)}}{V_{np}}, \quad (2.21)$$

где V_{np} – средняя скорость распространения продольных волн, км/с.

Для гранита $V_{np}=6,9$ км/с; осадочных пород – 6,1 км/с; песчаники, известняки – 1,5-5,6 км/с; полускальные (гипс, мергель, глинистые сланцы) – 1,4-3,6 км/с; крупнообломочные (галька, гравий) – 1,1-2,1 км/с; насыпные грунты – 0,2-0,5 км/с; песок – 0,7-1,6 км/с; глина, суглинок, супесь – 0,5-1,5 км/с.

Время прихода поверхностных сейсмических волн – главная (II) фаза землетрясения, t_{II} , с:

$$t_{II} = \frac{H}{V_{np}} + \frac{R}{V_{пов}}, \quad (2.22)$$

где $V_{пов}$ – средняя скорость распространения поверхностных волн. Для гранита $V_{пов}=5,6$ км/с; известняки – 4,0 км/с; щебень, гравий, галька – 1,5 км/с; песчаный грунт – 1,2 км/с; глинистый грунт – 1 км/с; насыпной грунт – 0,35 км/с.

Интервал времени от наступления первой фазы землетрясения до наступления главной фазы Δt , с определяют

$$\Delta t = t_{II} - t_I. \quad (2.23)$$

Степени разрушения зданий и сооружений при землетрясениях определяем по табл. 2.9.

Пример. Оценить обстановку и степень разрушения малоэтажных (до четырех кирпичных зданий) на расстоянии $R=50$ км от эпицентра землетрясения в 6 баллов (J_0). Глубина гипоцентра $H=30$ км. Дома построены на насыпном грунте, остальной грунт песчаный.

Решение.

1. Магнитуда землетрясения в эпицентре:

$$M = \frac{3,5 \cdot \lg H - 3 + J_0}{1,5} = \frac{3,5 \cdot \lg 30 - 3 + 6}{1,5} = 5,5 \text{ б.}$$

2. Интенсивность землетрясения на $R = 50$ км:

$$J_R = 1,5 \cdot 5,5 - 3,5 \cdot \lg \sqrt{50^2 + 30^2} + 3 = 8,3 - 3,5 \cdot \lg \sqrt{60} + 3 = 5,0 \text{ б.}$$

3. Реальная интенсивность, в районе расположения поселка:

$$J_R^* = J_R - (1,6 - 2,6) = 5,0 - (-1) = 6,0 \text{ баллов.}$$

4. Время наступления 1 фазы землетрясения (толчки):

$$t_I = \frac{\sqrt{(50^2 + 30^2)}}{6,1} = 10 \text{ с.}$$

Таблица 2.9

Характеристика землетрясений

Интенсивность (J), шкала MSK, балл	Тип землетрясения	Магнитуда, M	Последствия разрушения
IV	Среднее	3	Разрешение остекления, ощущаются толчки в помещениях
V-VI	Сильное	5	Средние разрушения деревянных зданий: слабые – кирпичных
VII	Очень сильное	5,5–6	Сильные разрушения деревянных зданий: средние – кирпичных: слабые – промышленных каркасных зданий
VIII	Разрушительное	6–6,5	Полное разрушение деревянных зданий: сильные – кирпичных: среднее – ж/б промышленных зданий: трещины в почве: возможны пожары
IX	Опустошительное	7	Полное разрушение деревянных, кирпичных, промышленных зданий: сильное – ж/б. каркасных; разрыв коммуникаций; пожары
X	Уничтожающее	7,5	Обвалы, разрушение магистралей, полное разрушение всех зданий; пожары
XI-XII	Катастрофическое. Абсолютное	8-9	Полное разрушение зданий, оползни, обвалы. Изменение течения рек и рельефа, пожары

5. Время наступления главной фазы землетрясения:

$$t_{II} = \frac{30}{6,1} + \frac{50}{1,2} = 4,5 + 46 = 50,5 \text{ с.}$$

Выводы и предложения. Землетрясение на расстоянии $R = 50$ км сильное, магнитуда равна 5,5 баллов. Интенсивность J_R^* баллов. Здания получают слабые повреждения (трещины, разрушение остекления), толчки будут ощущаться через 10 с. При первых толчках выбежать из здания, если здание двух- или трехэтажное; при невозможности покинуть помещение, встать у капитальной стены или в проеме двери, закрыть голову: выключить газ, электричество.

2.2. Извержение вулканов

Проблема вулканической опасности. Вулканизм, проявляющийся на поверхности Земли в виде извержений расплавленного внутрипланетного вещества – магмы, представляет собой гигантское космическое явление, которое существует на всех планетах земной группы. Современные достижения планетологии дают многообразные описания вулканизма и магматизма, ответственных за перемещение глубинных масс Земли и тепла от внутренних уровней до поверхности. Этот процесс конвективного теплопереноса не только порождает значительную часть радиационного тепла, излучаемого Землей в космическое пространство ($4,5 \cdot 10^{13}$ Вт), но и ответственен за образование радиально-сферических оболочек планеты. С данным процессом тесно связан ротационный режим Земли, флуктуации которого проявляются, в частности, в изменении климата на планете. Вулканизм и магматизм, кроме того, обуславливают в значительной степени и формирование глубинных и поверхностных геологических структур, с которыми тесно связаны все основные месторождения рудных полезных ископаемых, большое число нефтегазовых проявлений.

Основные характеристики и негативные последствия вулканических извержений. Вулкан (от лат. *vulcanus* – огонь, пламя) – геологическое образование, возникающее над каналами и трещинами в земной коре, по которым на земную поверхность извергается лава, пепел, горячие газы, пары воды и обломки горных пород. В России опасность извержения вулканов имеется на Камчатке, Курильских островах, Сахалине. Сейчас на Камчатке в стадии активной деятельности находятся 29 вулканов, на Курильских островах – 39. В зоне вулканической деятельности расположено 25 населенных пунктов на Ку-

рилах и несколько городов на Камчатке.

Наиболее активные вулканы извергаются в среднем один раз в несколько лет, все активные – в среднем один раз в 10–15 лет. По группам вулканов наблюдается повышенная активность в периоды усиления и учащения землетрясений на соответствующих участках сейсмических поясов, за 10 – 20 лет до сильных землетрясений. Извержение вулкана – это выход на поверхность планеты расплавленного вещества земной коры и мантии Земли, называемого магмой (от греч. «магма» – «тесто», «паста»).

Извержения не одинаковы: одни происходят относительно спокойно: жидкая магма, достигнув поверхности, изливается на нее лавовыми потоками, распространяющимися на большие расстояния; 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. 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.

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»). Способ и скорость отделения газовых компонентов от магмы и определяют три главных типа извержений: эффузивное, эксплозивное и экструзивное

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 (SiO_2) и оксидов некоторых других веществ (алюминия, железа, марганца и др.), находящихся в растворенном состоянии или в виде пузырьков газа.

Магма, поднимаясь к поверхности, – это сложная система, состоящая из жидкости, газа 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. Продукты извержений вулканов бывают жидкими, твердыми и газообразными.

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 °С базальтовые лавы сохраняют текучесть даже при 700 °С. Базальтовые «реки» текут со скоростью до 40–50 км/ч. Выходя на ровное место, они растекаются на обширной площади.

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.

Вулканические обломки меньше 7 см называют лапилли (от лат. *lapillus* – «шарик», «маленький камень»).

Вулканические частицы размером менее 2 мм называются пеплом. 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. Также пепел возникает при сильном дроблении более древних вулканических пород; в других случаях он может состоять только из обломочков кристаллов.

Кроме жидких и твердых продуктов вулканических извержений всегда выделяются различные газы, доля которых в общем объеме вулканических продуктов очень велика. Именно горячие газы поднимают пепловые частицы на высоту в десятки километров. Газы являются постоянным спутником вулканических процессов и выделяются не только во время бурных извержений, но и в периоды ослабления вулканической деятельности. Через трещины в кратерах или на склонах вулканов спокойно или бурно холодные или нагретые до 1000 °С газы вырываются наружу.

Многочисленные пробы показывают, что в любых вулканических газах преобладает водяной пар, составляющий 95–98 %. Часть этой

воды является *ювенильной* (от лат. *juvenilis* – «юный»), т. е. водой, выделившейся из магмы, где она ранее входила в состав различных химических соединений, а при уменьшении давления и понижении температуры перешла в знакомый нам водяной пар. Другая часть водяного пара является *вадозной* (от лат. *vadosus* – «неглубокий»), т. е. атмосферной, водой, проникшей внутрь вулканической постройки по трещинам и нагретой там теплом магмы. Второе место после водяного пара в составе вулканических газов занимает двуокись углерода (CO_2); далее следуют газы, содержащие серу (S , SO_2 , SO_3), хлористый водород (HCl) и другие менее распространенные газы типа фтористого водорода (HF), аммиака (NH_3), окиси углерода (CO) и т. д.

Места выходов вулканических газов на поверхность называют *фумаролами* (от лат. *fumus* – «дым»). Температура газов в них колеблется от 40–50 до 1000 °С. Иногда фумаролы действуют в течение тысяч лет. Фумаролы могут выделять «холодный» газ с температурой 100 °С и ниже. Такие выделения холодных газов называют *мофеттами* (от лат. *tofeta* – «испарение»). Для их состава характерен углекислый газ. Скапливаясь в понижениях, он представляет смертельную опасность для всего живого, так как в нем можно сразу же погибнуть от удушья.

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.

Всего на суше имеется от 450 до 600 действующих и около тысячи «спящих» вулканов. В опасной близости от активных вулканов находится около 7 % населения Земли. На срединно-океанических хребтах имеется несколько десятков крупных подводных вулканов. В России опасности вулканических извержений и цунами подвергаются Камчатка, Курильские острова и Сахалин. Потухшие (или «спящие») вулканы есть на Кавказе и в Закавказье. Наиболее активные вулканы извергаются в среднем раз в несколько лет, все активные ныне – в среднем один раз в 10–15 лет. В деятельности каждого вулкана имеются периоды относительного понижения и повышения активности, измеряемые тысячами лет. По группам вулканов повышенная активность наблюдается в периоды усиления и учащения землетрясений на соответствующих участках сейсмических поясов.

Вулканические извержения по своим последствиям опасны для людей, проживающих в близости к действующим вулканам. К числу наиболее опасных явлений относятся лавовые потоки, выпадения тефры, вулканические грязевые потоки, вулканические наводнения, пая-

щая вулканическая туча и вулканические газы.

Лавовые потоки состоят из лавы – расплава горных пород, разогретых до температуры 900–1000 °С. В зависимости от состава горных пород лава может быть жидкой или вязкой. При извержении вулкана лава изливается из трещин в склоне вулкана, либо переливается через край кратера вулкана и стекает к его подножию. Лавовый поток передвигается тем быстрее, чем мощнее сам лавовый поток, больше уклон конуса вулкана и жиже лава. Диапазон скоростей лавовых потоков достаточно широк: от нескольких сантиметров в час до нескольких десятков километров в час. В отдельных случаях, скорость лавовых потоков может достигать 100 км в час. Чаще всего скорость движения не превышает 1 км в час. Лавовые потоки при смертоносных температурах представляют опасность лишь тогда, когда на их пути оказываются населенные пункты.

Тефра состоит из обломков застывшей лавы, более древних подповерхностных горных пород и раздробленного вулканического материала, образующего конус вулкана. Тефра образуется при вулканическом взрыве, сопровождающем извержение вулкана. Наиболее крупные обломки тефры именуются вулканическими бомбами, несколько меньшие по размеру – лапиллами, еще более мелкие – вулканическим песком, а мельчайшие – пеплом. Вулканические бомбы отлетают на несколько километров от кратера. Лапиллы и вулканический песок могут распространяться на десятки километров, а пепел в высоких слоях атмосферы может несколько раз обогнуть земной шар. Объем тефры при некоторых вулканических извержениях значительно превосходит объем лавы; иногда выбросы тефры составляют десятки кубических километров. Выпадение тефры приводит к уничтожению животных, растений, возможна гибель людей. Вероятность выпадения тефры на населенный пункт в значительной степени зависит от направления ветра. Мощные слои пепла на склонах вулкана находятся в неустойчивом положении. Когда на них ложатся новые порции пепла, они соскальзывают со склона вулкана. В некоторых случаях пепел пропитывается водой, в результате чего образуются вулканические грязевые потоки. Скорость грязевых потоков может достигать нескольких десятков километров в час. Такие потоки обладают значительной плотностью и могут во время своего движения увлекать крупные глыбы, что увеличивает их опасность. Из-за большой скорости движения грязевых потоков затрудняется проведение спасательных работ и эвакуация населения.

При таянии ледников во время вулканических извержений может сразу образоваться огромное количество воды, что приводит к вулка-

ническим наводнениям. Точно подсчитать, какое количество воды спустил ледник, трудно, хотя это весьма важно для планирования мер защиты от вулканического наводнения. Это объясняется тем, что ледники имеют много внутренних полостей, заполненных водой, которая добавляется к воде, возникающей при таянии ледников во время вулканического извержения.

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

Вулканические газы представляют собой смесь сернистого и серно-го окислов, сероводорода, хлористоводородной и фтористоводородной кислот в газообразном состоянии, а также углекислого и угарного газов в больших концентрациях, смертельно опасных для человека. Выделение газов может продолжаться десятки миллионов лет даже после того, как вулкан перестал выбрасывать лаву и пепел. Резкие колебания климата обусловлены изменением теплофизических свойств атмосферы за счет ее загрязнения вулканическими газами и аэрозолями. При крупнейших извержениях вулканические выбросы распространяются в атмосфере над всей планетой. Примесь углекислого газа и силикатных частиц может создавать парниковый эффект, ведущий к потеплению земной поверхности; большинство же аэрозолей в атмосфере приводит к похолоданию. Конкретный эффект извержения зависит от химического состава, количества выброшенного материала и от расположения его источника.

При извержениях островных и подводных вулканов часто возникают цунами. Кроме того, образующиеся при подводных извержениях облака вспыхивающих газов и пара могут служить причиной гибели морских судов. Газ способен выделяться не только в точках извержения, но и на соседних с ним больших пространствах морского дна, покрытого отложениями с высоким содержанием газогидратов. Последние могут распадаться на воду и газ при довольно малых изменениях давления, температуры, химического состава вышележащей толщи воды.

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

По первому признаку различают четыре типа вулканов.

1-й 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.

2-й 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.

3-й 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.

4-й 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.

Современные области вулканической активности содержат огромный запас геотермальной энергии, в том числе перегретого до нескольких сотен градусов водяного пара, который можно использовать для получения электроэнергии, отопления жилищ, теплиц и т. д. Это делается в Исландии, Новой Зеландии, Италии, в России (на Камчатке) и других местах. На юге Камчатского п-ова в районе реки Паужетки построена геотермальная электростанция мощностью 5 тыс. кВт, работающая на перегретом вулканическом паре. Наибольшую трудность при использовании вулканического тепла представляет агрессивный характер кипящей воды, содержащей кислоты, и пара, которые быстро разъедают металлические трубы и детали машин. Это вызывает необходимость нагревать природным паром сначала обычную чистую пресную воду и только потом пускать пар в турбины.

Полученные данные о глубинном строении вулканических структур позволили сформулировать фундаментальные представления о вулканическом процессе, о законах расположения первичных и периферических источников магм различного состава.

Строение верхней мантии под вулканами изучается сейсмологическими методами и методами сейсмической трехмерной томографии по данным регистрации землетрясений. Под каждым вулканом на достаточно больших глубинах существуют первичные очаги магматических расплавов, от которых магма затем поднимается вверх по системе «магмоводов», образуя систему уровневых магмоотстойников по мере ее продвижения по вертикали.

Геодинамика включает широкий круг вопросов, связанных как с условиями протекания тектонических процессов, так и с причинами их вызывающими. Геодинамика как дисциплина изучает взаимоотношение сил и напряжений, проявляющееся геологической ситуацией, картируемой на поверхности. Под геодинамикой понимается:

- тектонические процессы, которые определяют местоположение вулканов;
- выявление временных и пространственных соотношений между сейсмичностью и вулканизмом;
- оценка термодинамических параметров, которые ответственны за явление разрыва (отрыва – *detachment*) сейсмофокальной зоны и связь этих зон с вулканизмом;
- механизмы подъема магмы, которые определяют не столько непосредственное ее движение по зонам проникания в земной коре и верхней мантии от источника до поверхности Земли, сколько оценку термодинамических условий этого движения и причин возникновения расплавов на различных уровнях в земной коре и верхней мантии, а

также оценку термодинамических параметров, которые определяют остановку движений расплавов и начало раскристаллизации на определенных «высотных уровнях»;

– оценка термодинамических условий, которые определяют соотношение между вулканизмом и внутрикоровым магматизмом.

Крупные вулканические центры и вулканические группы располагаются в зоне пересечения крупных разнонаправленных тектонических нарушений, а большая часть крупнейших извержений предваряется достаточно сильными землетрясениями. Условия растяжения-раскрытия трещинных магмоводов, вызванные сдвиг-раздвиговыми (рифтогенными) движениями, обеспечивают условия для продвижения расплавов к дневной поверхности: «вулканизм проявляется в условиях растяжения, а не сжатия».

Процессы «переработки» самой верхней оболочки Земли, обусловленные вулканизмом и магматизмом, имеют основополагающее значение на границах разнонаправленных тектонических движений и процессов и определяющее – при поиске тех или иных полезных ископаемых в тех регионах, где эти процессы давно прекратились.

Прогноз вулканических извержений. Предвестником извержения являются вулканические землетрясения, которые связаны с пульсацией магмы, продвигающейся вверх по подводящему каналу. Специальные приборы – наклонометры – регистрируют изменение наклона земной поверхности вблизи вулканов. Перед извержением меняются местное магнитное поле и состав вулканических газов, выделяющихся из фумарол.

На вулканических территориях действует ряд вулканических станций. Как и для землетрясений, составляются карты вулканической опасности (риска). 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.

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

Краткосрочный прогноз – наиболее точный. Вывод о времени предстоящего извержения делают на основе совокупности результатов всех методов. Физической основой прогноза является постепенное и непрерывное возрастание давления в магматическом очаге и выводном канале вулкана перед извержением. Возрастание давления в выводном канале вызывает напряжения и упругие деформации в окружающих его твердых породах, изменение их физических свойств, что отражается в физическом поле в районе вулкана.

Установления закономерностей связи изменений физического поля вулкана с его деятельностью и непрерывные наблюдения за этими изменениями и составляют суть краткосрочного прогноза извержений. К характерным явлениям, предвещающим извержения, относятся: деформации земной поверхности, вулканические землетрясения; изменения гравитационного, магнитного и электрического полей в окрестностях вулкана; разогрев вулкана; изменение температуры и химического состава фумарольных газов и вод горячих источников. Наиболее перспективными считаются методы, основанные на наблюдениях за вулканическими землетрясениями, за деформациями земной поверхности и за газогидрохимическими явлениями на вулканах.

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 характери-

стики, 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.

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 удаётся 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 излияние 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. Лаво-

вый 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 каменные 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).

2.3. Экзогенные геологические явления

2.3.1. Склоновые процессы

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

может быть вызвано *отседанием* – отделением от склона крупного блока породы. Отседание типично для крутых склонов, сложенных плотными трещиноватыми породами (например, известняками). В зависимости от сочетания этих факторов склоновые процессы приобретают различный облик.

К склоновым процессам относится большая группа процессов движения масс грунта и снега, происходящего за счет силы тяжести: обрушения, камнепады, оползни, солифлюкционные потоки, смещения курумов и каменных глетчеров, снежные лавины, подвижка ледников и т. п. 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 подошве сдвигающегося 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.

Камнепады, обвалы грунта, обрушения ледников происходят в форме свободного падения на значительной части пути, но имеют существенные различия в зависимости от масштаба явления. На крутых (30° и более) склонах распространены камнепады – случаи движения одиночных камней или небольших групп. Движение камней происходит в форме неоднократных «прыжков» со скоростью 40–60 м/с (150–200 км/ч). Причинами падения камней служит выдувание или вымывание из-под них мелкозема, сталкивание их языками оползающего грунта, а также процессы намерзания и таяния под ними льда. Наиболее крупные камнепады возбуждаются сильными ливнями.

Обвалы отличаются от камнепадов не просто большим объемом, а сплоченностью облака обрушивающегося материала, что меняет характер его движения. В движение вовлекается воздух, тело обвала приобретает обтекаемую (каплевидную) форму, обволакивается попутным воздушным потоком (воздушная волна) и проходит большое расстояние. Скорость движения обвалов на отдельных участках пути может достигать (90 м/с) 300 км/ч, длина пути – многих километров. Причиной крупных обвалов служат землетрясения. Горный склон как бы вскипает и приходит в движение. Масса камня и земли несется вниз, разделяясь на потоки. Они сливаются с потоками с противоположного склона и устремляются вниз по долине, обогащаясь водой и мелкоземом.

Обвалы снега, возможные для склонов 25° и более, относительной высотой 20–40 м и более, при толщине снежного покрова более 30–40 см над поверхностью микрорельефа называются снежными лавинами. Скорость степных лавин достигает нескольких десятков м/с, объем – млн. м^3 , давление на препятствие – 100 т/м^2 (давление 3 т/м^2 разрушает деревянные постройки, 100 т/м^2 – каменные здания), толщина лавинных завалов на дне долин 30–50 м.

Потоки шириной до десятков метров и длиной до сотен метров – это оползни. Они распространены по всем склонам разных долин и абразионных террас. Например, на европейской части России от них страдают десятки городов, расположенных на высоких берегах рек. Оползни, распространены вне зоны многолетней мерзлоты, относятся к категории оползней скольжения и возникают, чаще всего, за счет подрезки склонов эрозией или абразией, водной смазки подошвы, сотрясения или дополнительной нагрузки на склон. Оползень может быть почти или вовсе неподвижен в течение многих лет и испытать несколько периодов краткосрочной активизации, когда скорость его движения может достигать десятков метров в час. К особому виду оползней, характерному для области многолетней мерзлоты, относятся каменные глетчеры, распространенные в горноледниковом поясе в 20–40 % долин. Естественные каменные глетчеры с их большой массой (ширина – десятки метров, длина – сотни метров, толщина – до 20–30 м) и постоянным, хотя и медленным движением, могли бы представлять угрозу для любых сооружений, оказавшихся на их пути.

Массовое смещение рыхлого покрова склонов происходит повсеместно, где нет оползней и других более сильных склоновых процессов, и остается единственным типом этих процессов на тех склонах, что положе угла естественного откоса. Оно затрагивает обычно верхний слой толщиной в дециметры – немногие метры, идет со скоростью до дециметров в

год. Причинами смещения могут служить сильное увлажнение, изменение объема грунта при замерзании – оттаивании или при нагревании – охлаждении. В соответствии с этими причинами выделяют виды таких процессов – солифлюкцию, десерпцию, конжелифлюкцию и др. Минимальные углы наклона, при которых заметны такие смещения, находятся в интервале 5–10 °. В диапазоне углов наклона 10–30 ° скорости смещений приблизительно пропорциональны квадрату уклона. Если не считать «быструю солифлюкцию» (тонкие оползни – сплывы размокшего грунта), массовое смещение рыхлого покрова опасно там, где происходит дифференцированно, полосами. Наибольшие скорости таких потоков находятся обычно в диапазоне 0,1–0,5 м/год, но этого достаточно для того, чтобы изгибать и изламывать трубопроводы.

2.3.2. Сели

Селевые потоки. *Сели* – это русловые потоки, включающие большое количество обломочного материала (не менее 10–15 % по объему), имеющие плотность в 1,5–2 раза больше плотности воды, движущиеся в виде волны с высотой фронта до 20–40 м и со скоростью до 20–30 м/с (10–100 км/час) и оказывающие 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. Свое название сели получили от арабского «сайль» – бурный поток. Селевые потоки характерны для горных долин с наклоном русла 6–200; они длятся обычно десятки минут, реже 4–5 ч, могут эродировать русло на глубину до десятков метров, проходить путь длиной в километры, реже – несколько десятков километров, образуют конусы шириной в десятки, длиной в сотни метров при толщине разовых отложений обычно до 5, редко до 10 м. Сели образуются во всех горных районах мира, кроме Антарктиды.

Селевыми потоками называют стремительные русловые потоки, состоящие из смеси воды и обломков горных пород, внезапно возникающие в бассейнах небольших горных рек. Они характеризуются резким подъемом уровня, волновым движением, кратковременностью действия (от 1 до 3 ч), значительным эрозионно-аккумулятивным разрушительным эффектом. Сель является стихийным (особо опасным) гидрологическим явлением, если селевой поток угрожает населенным пунктам, спортивным и санаторно-курортным комплексам, железным и автомобильным дорогам, оросительным системам и другим важным объектам экономики.

Потенциальный селевой очаг – участок селевого русла или селевого бассейна, имеющий значительное количество рыхлообломочного грунта или условий для его накопления, где при определенных условиях обводнения зарождаются сели. Селевые очаги делятся на селевые врезы, рытвины и очаги рассредоточенного селеобразования.

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

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

Под очагом рассредоточенного селеобразования понимают участок крутых (35–55 °) обнажений, сильно разрушенных горных пород, имеющих густую и разветвленную сеть борозд, в которых интенсивно накапливаются продукты выветривания горных пород и происходит формирование микроселей, объединяющихся затем в едином селевом русле. Они приурочены, как правило, к активным тектоническим разломам, а их появление обусловлено крупными землетрясениями. Площади селевых очагов достигают 0,7 км² и редко больше.

Вид селевого потока определяется составом селеобразующих пород. Селевые потоки бывают: водно-каменными, водно-песчаными и водно-пылеватыми; грязевыми, грязекаменными или каменно-грязевыми; водно-снежно-каменными.

Водно-каменный сель – поток, в составе которого преобладает крупнообломочный материал с преимущественно крупными камнями, в том числе с валунами и со скальными обломками (объемный вес потока 1,1–1,5 т/м³). 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 мелкозема.

Грязевой селя 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/м³).

Грязекаменный селя характеризуется значительным содержанием в твердой 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/м³).

Каменно-грязевой селя содержит преимущественно крупнообломочный материал, по сравнению с грязевой составляющей.

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

Формирование селей обусловлено сочетанием геологических, климатических и геоморфологических условий: наличием селеформирующих грунтов, источников интенсивного обводнения этих грунтов, а также геологических форм, способствующих образованию достаточно крутых склонов и русел.

Источниками твердого питания селей могут быть: ледниковые морены с рыхлым заполнением или без него; русловые завалы и загромождения, образованные предыдущими селями; древесно-растительный материал. Источниками водного питания селей являются: дожди и ливни; ледники и сезонный снежный покров (в период таяния); воды горных озер.

Наиболее часто образуются сели дождевого питания (дождевые). Они характерны для среднегорных и низкогорных селевых бассейнов, не имеющих ледникового питания. Основным условием формирования таких селей является количество осадков, способных вызвать смыв продуктов разрушения горных пород и вовлечь их в движение.

Для высокогорных бассейнов с развитыми современными ледниками и ледниковыми отложениями (моренами) характерны гляциальные сели. Основным источником их твердого питания являются морены, которые вовлекаются в процесс селеобразования при интенсивном таянии ледников, а также при прорыве ледниковых или моренных озер. Формирование гляциальных селей зависит от температуры окружающего воздуха.

Непосредственными причинами зарождения селей служат ливни, интенсивное таяние снега и льда, прорыв водоемов, реже – землетрясения, извержения вулканов. Несмотря на разнообразие причин, механизмы зарождения селей могут быть сведены к трем главным типам: эрозионному, прорывному и обвально-оползневому. Таким образом, при образовании и развитии селей прослеживаются три стадии формирования:

- более или менее длительная подготовка на склонах и в руслах горных бассейнов материала, служащего источником для формирования селевых потоков (в результате выветривания горных пород и горной эрозии);

- быстрое перемещение скального, потерявшего равновесие материала, с повышенных участков горных водосборов в пониженные по горным руслам в виде селевых потоков;

- аккумуляция селевых выносов в пониженных участках горных долин в виде русловых конусов или других форм селевых отложений.

Формирование селей происходит в *селевых водосборах*, наиболее распространенной формой которых в плане является грушевидная с водосборной воронкой и веером ложбинных и долинных русел, переходящих в основное русло. Селевой водосбор состоит из трех зон, в которых формируются и протекают селевые процессы: *зона селеобразования*, где происходит питание водой и твердым материалом; *зона транзита* (движения селевого потока); *зона разгрузки* (массового отложения селевых выносов).

Для образования селевых потоков необходимо наличие:

- достаточного количества продуктов разрушения горных пород на склонах бассейна;

- достаточного объема воды для смыва или сноса со склонов рыхлого твердого материала и последующего его перемещения по руслам;

- крутого уклона склонов и водотока.

Основным условием возникновения селей является норма дождевых осадков, способная вызвать смыв продуктов разрушения горных пород и вовлечение их в движение.

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

Площади селевых водосборов колеблются от 0,05 до нескольких десятков квадратных километров. Длина русел колеблется в пределах от 10–15 м (микросели) до нескольких десятков километров, а их крутизна в транзитной зоне – от 25–30 ° в верхней части до 8–15 ° в нижней. При меньших уклонах движение селей затухает и начинается процесс отложения селевой массы. Полностью движение селя прекращается при крутизне 2–5°.

В бассейнах и водосборах ливневого и сезонно-снегового питания, где имеется постоянный запас рыхлообломочного материала, сели повторяются довольно часто (от нескольких раз в году до одного раза в 2–4 года) и связаны, в основном, с периодами выпадения значительных осадков. Чем круче склоны бассейна, тем чаще в таких бассейнах образуются сели. В бассейнах, где такого запаса не имеется и рыхлообломочный материал накапливается в межселевые периоды, повторяемость селей зависит от времени, необходимого для такого накопления. В сильно расчлененных водосборах с весьма крутыми склонами и руслами сели образуются чаще, чем в водосборах с более пологими склонами.

Повторяемость гляциальных селей зависит от сочетания интенсивности ледникового стока с состоянием увлажнения моренного материала. Во многих бассейнах гляциального питания прохождение селей отдельно друг от друга наблюдалось через промежутки 15–20 лет. Крупные катастрофические сели в каждом отдельном бассейне – явление редкое и их повторяемость 1–3 случая за 100 лет.

Повторяемость селей характеризует селеактивность данного бассейна. В то же время в некоторых бассейнах сели хотя и возникают редко, но единовременный объем селевых выносов весьма значительный (селеопасность высокая). Поэтому при оценке селеопасности горных районов в период планирования и проведения каких-либо работ необходимо учитывать оба показателя. Вероятность селепроявления на территории выявленных селевых бассейнов основывается на прогнозе дождевой и гляциальной селеопасности. Прогноз дождевой селеопасности базируется на метеопрогнозе количества осадков. В большинстве горных районов суточные осадки 1 %-ной обеспеченности (повторяющиеся 1 раз в 100 лет) составляют 80–120 мм, что, как правило, приводит к образованию селей. Даже величины суточных максимумов осадков 20 % обеспеченности (повторяющиеся 1 раз в 5 лет) способствуют формированию селей ливневого происхождения во всех горных районах. Для каждого района существует своя критическая норма осадков, превышение которой может привести к возникновению селеопасной ситуации.

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

Техногенными причинами являются: неправильно организуемые отвалы отработанной горной породы горнодобывающими предприятиями; массовые взрывы горных пород или прокладка железных и авто-

мобильных дорог и других сооружений; отсутствие рекультивации земель при строительстве и взрывных работах в карьерах по добыче полезных ископаемых; переполнение искусственных водоемов и нерегулируемый выпуск воды из ирригационных каналов, проходящих по горным склонам; повышенная загазованность воздуха отходами промышленных предприятий, губительно действующая на почвенно-растительный покров.

Характеристики селей. Объем или мощность селя может составлять десятки и сотни тысяч, а иногда и миллионы кубических метров селевой массы. Максимальный расход селевого потока (твердой и жидкой фазы) без заторов во время движения примерно в 1,2–1,4 раза больше расхода воды, а при заторах – в 3–5 раз больше. Величина максимального расхода селевого потока может составлять от несколько десятков до 2000 м³/с. Скорость движения селей колеблется от 2 до 10 м/с, иногда и более. Сель, в отличие от водного потока, часто движется не непрерывно, а отдельными валами, то останавливаясь, то ускоряя движение. Это происходит, в основном, вследствие задержки селевой массы в сужении русла, на крутых поворотах, в местах резкого уменьшения уклона. Если обычно скорость течения селевого потока составляет 2,5–4,0 м/с, то при прорывах заторов она достигает 10 м/с, при этом расходы воды увеличиваются в 3–5 раз. Максимальная скорость превышает среднюю в 1,5–2 раза.

При движении сель представляет собой сплошной поток из грязи, камней и воды. Крутой передний фронт селевой волны высотой от 5 до 15 м образует «голову» селя. Максимальная высота вала водогазевого потока достигает 25 м. Структурный состав селевого потока определяется составом и долей твердого материала в объеме потока, которая в зависимости от геологических условий изменяется от 10 до 70 %. Обычно доля твердого материала составляет не менее 100 кг в 1 м³ воды, при плотности породы 2,4–2,6 г/см³ приводит к плотности селевых потоков 1,07–1,1 г/см³. Нередко используется такая характеристика, как средняя и максимальная плотность селевого потока, или его объемный вес. Плотность селевого потока колеблется в пределах 1,2–1,9 т/м³.

Иногда применяются такие характеристики, как средняя и максимальная глубина и ширина селя. Ширина селя зависит от ширины русла, по которому движется селевой поток, и колеблется от 3 до 100 м. Глубина селевого потока колеблется от 1,5 до 15 м, длина русел селей – от нескольких десятков метров до нескольких десятков километров.

Высота селевого потока может составлять: для мощных и катастрофических селей – 3–10 м, для маломощных – 1–2 м. Скорость движения селевого потока в транзитных условиях (в зависимости от глубины потока, уклона русла и состава селевой массы) составляет от 2-3 до 7-8 м/с, иногда и более.

Для селевого потока учитывают расход водной и твердой составляющих селевой смеси. Расход твердого материала может превышать расход воды в 15–20 раз. Максимальные расходы селей колеблются от нескольких десятков до 1000–1500 м³/с. В необходимых случаях используется максимальная сила удара селевого потока о препятствие. Она составляет от 5 до 12 т/м². Объем селевых отложений (объем рыхлообломочной породы в естественном залегании, вынесенный из селевого очага и русла) определяет зону воздействия селя. Как правило, суммарный объем селевого выноса определяет тип селя и его разрушительное действие на сооружения. Для большинства селевых бассейнов России характерны сели малой и средней мощности.

Рассмотрим характеристики водно-снежных потоков.

Водно-снежные потоки – слабо изученное, хотя и широко распространенное явление (районы Субарктики и Арктики), разновидности которого называют снежными селями, слякотными лавинами, гидронапорными лавинами. Водно-снежные потоки обладают некоторыми чертами снежных оползней, лавин и селей и образуются при прорыве снежных запруд – наметенных, лавинных или только что образованных сползшим со склона пластом снега. Но наиболее характерно его образование путем всплывания водонасыщенного слоя снега в русле в период интенсивного снеготаяния. По внешнему виду такое событие напоминает начало весеннего ледохода на реке. В зависимости от условий на его пути водно-снежная масса может разжижаться или, напротив, насыщаться снегом. Обычно же она представляет собой фронтальный богатый снегом вал, за которым следует жидкий шлейф, и в этом смысле она аналогична селю.

Водно-снежные потоки образуются раз в 5–10 лет, обычно при особо бурном снеготаянии, вызванном приходом теплых воздушных масс и иногда усиливаемом дождями. Они характерны для Субарктики, заснеженных высокогорий, меньше – для Арктики, где соответствующие метеорологические условия относительно редки. Наблюдаются водно-снежные потоки и на равнинах (в оврагах), и на поверхности ледников. Обычным местом их рождения и движения являются верховья рек в горных и холмистых районах, ложбинах с V-образным поперечным профилем и углом наклона русла от 30 до 5-6 °. Водно-снежные потоки образуются внезапно, длятся до нескольких десятков минут, дви-

жуются со скоростью до 10 м/с, оказывают давление на препятствие силой до 10 т/м². Высота фронтальной волны водно-снежного потока достигает 10 м. Как и сели, водно-снежные потоки останавливаются, выйдя на пологие (менее 5 °) участки русла или дна более крупной долины. Характерные длины их пути – в пределах немногих километров, объем отложений в пределах 100 тыс. км³. Водно-снежные потоки способны размывать дороги, уничтожать легкие мосты, здания, трубопроводы и т. п. Случаев особо крупных разрушений водно-снежными потоками неизвестно. Возможно, они отнесены на счет селей или обычных по длине пути лавин.

Классификация селей. По составу переносимого твердого материала селевые потоки принято различать следующим образом:

- грязевые потоки, представляющие собой смесь воды и мелкозема при небольшой концентрации камней (объемный вес потока 1,5-2,0 т/м³);

- грязекаменные потоки, представляющие собой смесь воды, мелкозема, гальки, гравия, небольших камней; попадают и крупные камни, но их немного, они то выпадают из потока, то вновь начинают двигаться вместе с ним (объемный вес потока 2,1-2,5 т/м³);

- водо-каменные потоки, представляющие собой смесь воды с преимущественно крупными камнями, в том числе с валунами и со скальными обломками (объемный вес потока 1,1-1,5 т/м³).

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.

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. м³ материалов, бывают один раз в 5–10 лет;

- средней мощности – с выносом от 10 до 100 тыс. м³ материалов, бывают один раз в 2–3 года;

— слабой мощности (маломощные) – с выносом менее 100 тыс. м³ материалов, бывают ежегодно, иногда несколько раз в году.

Нередко выделяют весьма мощные (исключительно сильной мощности) селевые потоки, с выносом более 1 млн. м³ 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 (табл. 2.10).

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

Таблица 2.10

Классификация селей по объему единовременных выносов обломочных материалов

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

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.

Последствия воздействий селей на объекты оценивают, учитывая показатели селеопасности и селеактивности, – с помощью комплексного критерия, который называется приведенной селеактивностью P_b и представляет собой частное от деления суммарного объема селевых

выносов за какой-то длительный отрезок времени ΣW_i , на число лет T , входящих в этот отрезок:

$$P_b = \frac{\Sigma W_i}{T}$$

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

- исключительно селеопасный (исключительная) — 10^4 - 10^5 м³/год;
- весьма селеопасный (значительная) — 10^3 - 10^4 м³/год;
- среднеселеопасный (средняя) — 10^2 - 10^3 м³/год;
- слабоселеопасный (слабая) — 10 - 10^2 м³/год.

Категория селеопасности определяет типы селевых потоков, происхождение 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 (табл. 2.11). Иногда применяется классификация бассейнов по высоте истоков селевых потоков:

- высокогорные — истоки лежат выше 2500 м, объем выносов с 1 км² — 15-25 м³ за один сель;
- среднегорные — истоки лежат в пределах 1000–2500 м, объем выноса с 1 км² — 5-15 тыс. м³ за один сель;
- низкогорные — истоки лежат ниже 1000 м, объем выносов с 1 км² — менее 5000 м³ за один сель.

Существуют также классификации селевых бассейнов по морфологическому, геологическому строению, по степени эрозированности.

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 населенные 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.

Таблица 2.11

Типы селевых потоков и их воздействие на сооружения

Тип селевого потока	Воздействие на сооружения	Суммарный объем селевого выноса, м ³
Маломощный (I)	Небольшие размывы, частичная забивка отверстий водопропускных сооружений	менее $1 \cdot 10^4$
Среднемощный (II)	Сильные размывы, полная забивка отверстий, повреждений и снос безфундаментных 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 $1 \cdot 10^6$

Под пространственным прогнозированием селей понимается оценка селеопасности территорий и определение границ районов формирования селевых потоков. Под прогнозированием селевых явлений во времени понимается определение времени и условий, при которых могут формироваться селевые потоки.

При прогнозировании характеристик селевого потока важнейшее значение имеет предсказание времени добегания 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 добегания селевой волны до объекта. Наиболее достоверными являются краткосрочные и оперативные прогнозы.

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 α (градус) и площадь водосбора F (км^2) каждого очага.

2. В зависимости от типа селевого очага по табл. 2.12 определяется средний диаметр d (м) обломков, анкирующих селеформирующий грунт.

3. По значению величины d , уклону селевого очага α и площади его водосбора F с помощью номограммы (рис. 2.1) определяются: критический селеформирующий расход $Q_{\text{кр}}$ ($\text{м}^3/\text{с}$); критическая интенсивность стокообразования $q_{\text{кр}}^{\text{ст}}$ ($\text{мм}/\text{мин}$); время включения водосбора в процессе водоотдачи $T_{\text{в}}$ (мин); критическая высота слоя осадков, $H_{\text{о кр}}$ (мм).

Таблица 2.12

**Средний диаметр обломков, анкирующих 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 $H_{\text{П}}$ 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):

$$H_C = H_{\text{П}} - H_0.$$

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

Пример 1. Определить возможность возникновения дождевого селя в селевом врезе бассейна р. Пяндж (Памир).

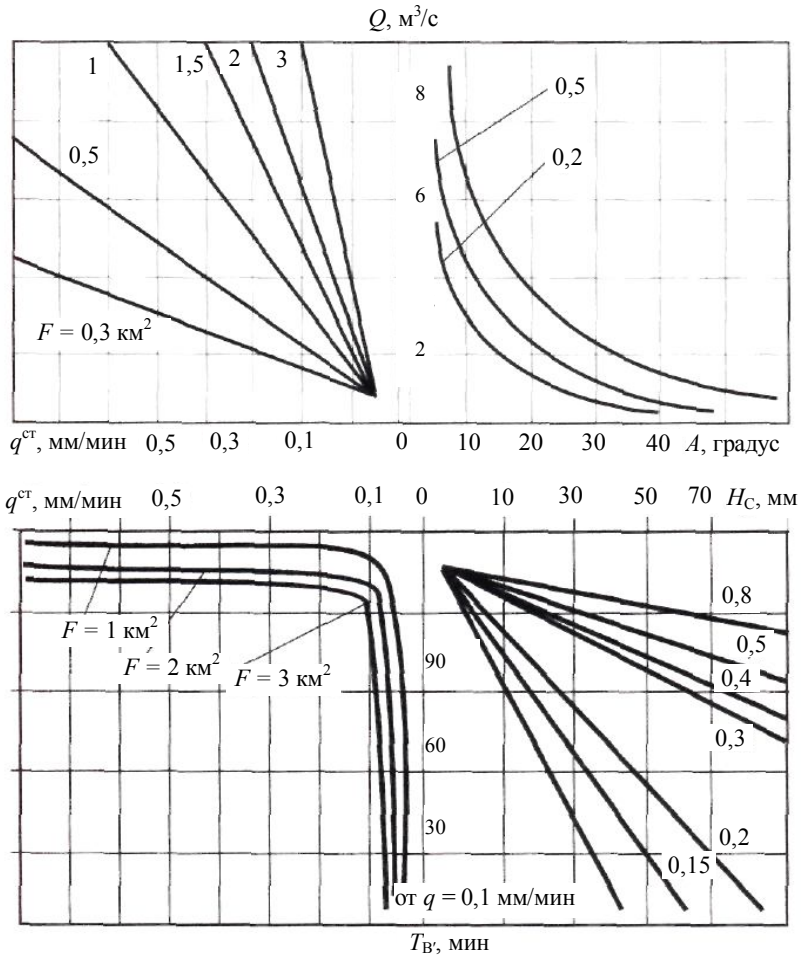


Рис. 2.1. Номограмма для расчета дождевой селеопасности

Данные прогноза метеорологов: $T_{\Pi} = 1\text{ч } 40\text{ мин}$; $H_{\Pi} = 22\text{ мм}$. Водосбор с умеренной степенью увлажненности.

1. По прогнозной карте установлено: $\alpha = 12^{\circ}$; $F = 3\text{ км}^2$.

2. Для вреза и условий умеренной влажности по табл. 2.13 находим $d = 0,8\text{ м}$. Принимаем $H_0 = 2\text{ мм}$.

3. На координатном поле номограммы α , Q при $\alpha = 12^{\circ}$ и $d = 0,8\text{ м}$ находим величину $Q_{\text{кр}} = 7,1\text{ м}^3/\text{с}$.

4. На координатном поле Q , $q^{\text{ст}}$ при $Q_{\text{кр}} = 7,1\text{ м}^3/\text{с}$ и $F = 3\text{ км}^2$ находим величину $q^{\text{ст}}_{\text{кр}} = 0,14\text{ мм/мин}$.

5. На координатном поле $q^{\text{ст}}$, T при $q^{\text{ст}}_{\text{кр}} = 0,14\text{ мм/мин}$ и $F = 3\text{ км}^2$ находим величину $T_{\text{В}} = 70\text{ мин}$.

6. На координатном поле T , H при $T_{\text{В}} = 70\text{ мин}$ и $q^{\text{ст}}_{\text{кр}} = 0,14\text{ мм/мин}$ находим величину $H_{\text{кр}} = 10\text{ мм}$.

7. Вычисляем $H_{\text{С}} = H_{\Pi} - H_0 = 22 - 2 = 20\text{ мм}$.

8. Сравниваем найденное значение $H_{\text{кр}}$ с вычисленным значением $H_{\text{С}}$: $H_{\text{С}} > H_{\text{кр}}$.

9. Находим на координатном поле T , H положение точки $T_{\Pi} = 100\text{ мин}$ и $H_{\text{С}} = 20\text{ мм}$. Точка лежит правее прямой, соответствующей найденному значению $q^{\text{ст}}_{\text{кр}} = 0,14\text{ мм/мин}$. Поэтому 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.

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:

$$O_{\text{В}}^{\text{ос}} = K_{\text{с}} H_{1\%} \lambda_{p\%} F$$

где $K_{\text{с}}$ – коэффициент стока (табл. 2.13); $H_{1\%}$ – максимальный суточный слой осадков 10 % обеспеченности, мм (данные ближайшей метеостанции); $\lambda_{p\%}$ – переходный коэффициент от слоев дождевого стока 1 % обес-

печенности к слоям дождевого стока другой вероятности (табл. 2.13); F – площадь водосбора, км² (по карте).

Таблица 2.13

**Переходные коэффициенты λ_P % и коэффициенты стока K_c
в различных районах**

Районы	Переходные коэффициенты λ_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 $Q_B^{пр}$, м³/с, при прорыве перемычки вычисляют по формуле:

$$Q_B^{пр} = K^* \frac{S_{пр} H_{пл}^{3/2} t^\circ}{L_c}$$

где $S_{пр}$ – площадь водной поверхности озера на уровне 80 % высоты перемычки, м; $H_{пл}$ – высота перемычки, м; t° – температура воды в озере, °С; L_c – кратчайшее расстояние по горизонтали между основанием перемычки и границей водной поверхности озера, м; K^* – $6,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{1/2} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{градус}^{-1}$.

Пример 2. Необходимо определить максимальный водный расход паводка, м³/с, при прорыве озера, подпруженного ледником. Исходные данные: площадь водной поверхности на уровне 80 % высоты перемычки $S_{пр} = 1,8 \cdot 10^5 \text{ м}^2$; высота перемычки $H_{пл} = 85 \text{ м}$; температура воды в озере $t = 2^\circ \text{С}$; расстояние между основанием перемычки и границей водной поверхности $L_c = 1,2 \cdot 10^3 \text{ м}$.

Определяем

$$Q_B^{пр} = 6,25 \cdot 10^{-3} \frac{1,8 \cdot 10^5 \cdot 85^{3/2} \cdot 2}{1,2 \cdot 10^3} = 1470 \text{ м}^3/\text{с}.$$

2. Определение объема водного паводка W_B производится в зависимости от типов озер по следующим формулам:

а) для озера, подпруженного ледником, m^3 :

$$W_B^{\text{Л}} = 0,2 S_{\text{пр}} H_{\text{пл}} ;$$

б) для завального озера, m^3

$$W_B^{\text{Л}} = 0,2 S_{\text{пр}} H_{\text{пл}} ;$$

где $S_{\text{пв}}$ – площадь водной поверхности озера при максимальном наполнении, m^2 ;

в) для моренного, термокарстового озера, m^3 :

$$W_B^{\text{МТ}} = 0,1 S_{\text{пв}}^{3/2} ;$$

г) для моренного западного озера, m^3 :

$$W_B^{\text{МЗ}} = 5,5 \cdot 10^{-2} S_{\text{пв}}^{3/2} .$$

Объем водного паводка, m^3 , вытекающего при выпадении осадков, слоем заданной обеспеченности определяется по формуле:

$$W_B^{\text{ос}} = 9,5 \cdot 10^{-2} H_{1\%} \lambda_{p\%} F .$$

Пример 3. Необходимо определить объем водного паводка при прорыве завального озера. Исходные данные: площадь водной поверхности озера при максимальном наполнении $S_{\text{пв}} = 2,45 \cdot 10^5 m^2$, а высота перемычки $H_{\text{пл}} = 108 m$.

1. Объем водного паводка будет составлять, m^3

$$W_B^{\text{ЗВ}} = 0,25 \cdot 2,645 \cdot 10^5 \cdot 108 = 6,61 \cdot 10^6 .$$

2. Для расчета максимального расхода селевого потока Q_C , m^3/c , определяется (по карте, либо по данным наблюдений) длина селевого очага l_C , m , и его уклон α , градус. Расход селевого потока вычисляют по формуле:

$$Q_C = (1 + K_1 l_C \sin^2) Q_B,$$

где Q_B – максимальный расход водного потока, поступающего в селевой очаг, вычисляемый по одной из формул, приведенных выше; $K_1 = 0,1 \text{ м}^{-1}$.

3. Объем селевого потока W_C , м^3 , вычисляются по формуле:

$$W_C = (1 + K_2 l_C \sin^2) W_B,$$

где W_B – объем водного паводка, м^3 , определяемый по одной из формул; $K_2 = 0,12 \text{ м}^{-1}$.

4. Скорость продвижения селевой массы, м/с :

$$V_C = 11,4 \sqrt{h_{\text{cp}}} \sqrt{\sin \alpha \cdot V_{\text{от}}},$$

где h_{cp} – средняя глубина потока, м ; $V_{\text{от}}$ – относительная гидравлическая крупность увлекаемых каменных материалов, принимаемая равной 0,7-1,0; α – средний угол наклона селевого русла, градус.

Для оперативной оценки величины средней глубины потока ее можно принимать равной 1-1,5 м для маломощного потока; 2-3 м для потока средней мощности и 3-5 м для мощного потока. Расчет скорости селевого потока можно производить по графику, рассчитанному по формуле для определения скорости продвижения селевой массы.

5. Зная значение средней скорости селевого потока, а также расстояние от сигнального створа до защищаемого объекта ($l_{\text{об}}$), можно оценить время добегающего селевого потока до этого объекта ($t_{\text{об}}$):

$$t_{\text{об}} = \frac{l_{\text{об}}}{V_C}.$$

Во всех случаях необходимо иметь в виду, что скорости селей весьма велики. Если принять диапазон характерных скоростей селевых потоков от 4 до 8 м/с , то при расстоянии между сигнальным створом и защищаемым объектом, например 10 км время добегающего составит соответственно от 40 до 20 мин. Это и будет резерв времени для спасения людей, материальных ценностей и т. п. который стремиться увеличить до максимально возможного.

6. Дальность продвижения селей может оцениваться по следам предыдущих селей. При наличии береговых валов необходимо опреде-

лить среднее расстояние B между ними, расстояние L_D между концом селевого очага и вершиной конуса выноса селевой массы, а также средние уклоны долины i_D и конуса i_K . На первом этапе расчета определяется дальность продвижения селя L_C , м, в долине реки по формуле:

$$L_C = \frac{12,1W_C i_D}{d \cdot B},$$

где d – диаметр анкирующих обломков (табл. 2.13); W_C – объем селя, м^3 .

7. На втором этапе расчета, который выполняется при условии, что $L_C > L_D$, вычисляются дальность $L_{\text{ПС}}$ продвижения селя на конусе выноса, м, по формуле:

$$L = \sqrt{\frac{36,6(W_C - L_D d B) i_K}{d}}.$$

8. Дальность L_{0C} , м, продвижения селя от селевого очага определяется аналогично L_C , если $L_C < L_D$. Если $L_D < L_C$, то величина L_{0C} определяется по формуле:

$$L_{0C} = L_D + L_{\text{ПС}}.$$

9. Максимальная глубина селевого потока до размыва $h_{\text{СПмакс}}$ принимается равной:

$$h_{\text{СПмакс}} \approx 1,5 h_{\text{ср}}$$

10. Максимальный расход селя Q_C ($\text{м}^3/\text{с}$) связан со средней скоростью V_C ($\text{м}/\text{с}$) селевого потока формулой:

$$Q_C = W V_C,$$

где W – площадь живого сечения русла, м^2 .

11. Максимальная поверхностная скорость потока в 1,8 раза больше средней скорости.

Оценка последствий схода селей и лавин. 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.

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 включен в качестве показателя при формировании расчетных вариантов воздействия.

Для оценки последствий воздействия селевого потока на различные объекты можно воспользоваться табл. 2.14.

Инженерно-технические мероприятия по защите от селей и лавин. 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, незаатапливаемых участках местности;
- спасательные и другие неотложные работы;
- оказание экстренной и другой неотложной медицинской помощи.

Таблица 2.14

**Последствия воздействия селевых потоков
на различные объекты**

Объекты	Суммарное давление селя, кг/ см ²			
	Полное разрушение	Сильное повреждение	Среднее повреждение	Слабое повреждение
Деревянные здания	0,3-0,45	0,18-0,3	0,12-0,2	0,09-0,12
Кирпичные здания бескаркасные 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

Эффективным мероприятием по защите населения в условиях селевой опасности является предварительная эвакуация населения за пределы опасной зоны. Необходимые условия успешного проведения эва-

куации – 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 населенного 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.

2.3.3. Оползни

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. Движение оползня начинается вследствие нарушения равновесия склона и продолжается до достижения нового состояния равновесия.

Перемещения значительной массы породы, вызванные оползнями, могут приводить к катастрофическим последствиям и приобретать характер стихийного бедствия. Оползни могут разрушать отдельные объекты и подвергать опасности населенные пункты, губить сельскохозяйственные угодья, создавать опасность при эксплуатации карьеров, повреждать коммуникации, туннели, трубопроводы, телефонные и электрические сети, угрожать водохозяйственным сооружениям (плотинам).

Оползни следует отличать от обвалов. Обвал – это почти мгновенное событие, происходящее в течение секунд, тогда как оползни движутся гораздо медленнее (например, несколько метров в сутки), но могут происходить и быстро – со скоростью сотен метров в минуту, как, например, в Киргизии в 1994 г.

На месте обрыва оползня остается *оползневой цирк* – чашеобразное углубление с уступом в верхней части – *стенкой срыва*. При движении оползень может толкать перед собой рыхлые породы, из которых у подножья склона образуется оползневый вал. Нижние части склона покрываются или буграми или ступенями. Мелкие поверхностные оползни – *оплывины* – чаще всего бывают в рыхлых породах. На образование оползней оказывает влияние множество факторов, в том числе климатический, гидрогеологический, сейсмотектонический, антропогенный и др. На образование оползней влияют также такие факторы, как абсолютная высота, экспозиция склона, удаленность от зон региональных тектонических разрушений.

С абсолютной высотой в горах связано количество выпадающих осадков, которое увеличивается с увеличением абсолютной высоты, в то время как температура воздуха снижается. Соответственно, с возрастанием высоты увеличивается вероятность образования оползней. На абсолютные высоты от 800 до 1000 м приходится в горах 9,2 % всех оползней, от 1000 до 1700 м – 90,9 % оползней.

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.

Оползнеопасными территориями следует считать склоны и примыкающие к ним участки плато и террас, где оползни развиваются или могут возникнуть вследствие увеличения интенсивности воздействия антропогенных или естественных факторов. Оползни могут происходить на всех склонах, начиная с крутизны 19 °. Однако на трещиноватых глинистых грунтах оползни могут начаться и при крутизне склона 5-7 °. Для этого необходимо лишь избыточное увлажнение горных пород. Оползни могут сходить в любое время года. Однако оползневые смещения приурочены, в основном, к определенным сезонам. Большинство оползней в Азербайджане возникает в весенне-летний период (май – июнь), который характеризуется благоприятными условиями увлажнения склонов гор, а также с сентября по май – из-за обильного выпадения осадков и незначительного их испарения.

Главное в предупреждении оползней – не нарушать естественных условий равновесия, сложившихся за сотни лет в конкретном месте.

Если оползень уже начал двигаться, необходимо отвести от него воду, для чего создаются специальные каналы, валы и другие дренажные сооружения. Можно делать и подземные водостоки, которые также отведут воду, циркулирующую в породах на некоторой глубине. Иногда оползневое тело, как гвоздями, «прибивают» к склону большими бетонными сваями – шпильками, закрепляя его. Чтобы остановить оползень, уменьшают крутизну опасного склона, срезав его верхнюю часть, а можно и заморозить грунт. Иногда в теле оползня сооружают штольню и зажигают там какое-либо горючее вещество.

Характеристики оползней. Оползни характеризуются следующими характеристиками: 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 табл. 2.15.

Таблица 2.15

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.).

Классификация оползней.

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:

- малые – до 10 тыс. м³;
- средние – от 11 до 100 тыс. м³;
- крупные – от 101 до 1000 тыс. м³;
- очень крупные – свыше 1000 тыс. м³.

Оползни, образующиеся на естественных склонах и в откосах выемок, подразделяют на группы.

Группа 1.

Структурные оползни (структура – однородные связные глинистые породы: глины, суглинки, глинистые мергели).

Причины образования: чрезмерная крутизна склона (откоса); перегрузка верхней части склона различными отвалами и инженерными сооружениями; нарушение целостности пород склона траншеями, нагорными канавами или оврагами; подрезка склона у его подошвы; увлажнение подошвы склона.

Характерные места (условия) возникновения оползней: в искусственных земляных сооружениях с крутыми откосами; в выемках, образующихся в однородных глинистых грунтах на водораздельных участках возвышенности; в глубоких разрезах для открытой разработки месторождений полезных ископаемых; в насыпях, отсыпанных такими же породами при переувлажнении почвенно-растительного слоя и глинистых пород, залегающих у дневной поверхности.

Группа 2.

Контактные (соскальзывающие) оползни – связные глинистые породы, залегающие в виде пластов с хорошо выраженными плоскостями напластования (глины, суглинки, мергели, неплотные известняки, некрепкие глинистые сланцы, лесс, лессовидные суглинки и др.).

Причины образования: чрезмерно крутое падение слоев; перегрузка склона отвалами или различными земляными сооружениями; нарушение целостности пород на склоне траншеями или нагорными канавами; подрезка склона; смачивание плоскостей напластования (контактов) подземными водами.

Характерные места (условия) возникновения оползней: на естественных склонах возвышенностей и долин рек (на косогорах); в откосах выемок, состоящих из слоистых пород, у которых падение слоев направлено в сторону склона или к выемке.

В зависимости от высоты расположения поверхности скольжения над подошвой склона (откоса, выемки) и его крутизны оползни могут переходить в обвалы с последующим их опрокидыванием у нижнего края поверхности скольжения.

Срезающие (скальывающие) оползни.

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 скопления 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 отсыпаются (состава и состояния грунтов); условий и способов отсыпки насыпи; от очертания их поперечного профиля.

Оползень насыпи на устойчивом основании образуется, как правило, при чрезмерной крутизне склона, а также при отсутствии подготовки на поверхности склона или основании насыпи (при отсутствии уступов) и при обильном увлажнении поверхности основания протекающими водами (при отсутствии водоотводов).

Оползни насыпей на неустойчивом основании образуются в насыпях, отсыпанных на болотах или на заболоченных поймах рек. Оползневые деформации насыпей выражаются в отрыве одной части насыпи от другой, оседании ее по очень крутой поверхности скольжения и выдавливании из-под нее мягких илистых грунтов основания. Выдавленный грунт распределяется у подошвы оползневого откоса насыпи в виде бугра или продольного вала.

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.

Профилактические и прогностические мероприятия. 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-противооползневых режимов, 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.

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 потенциально 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 обожженного 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.

Дренаживание 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 пластиковые 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 дренаже 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

залегаящими водоносными горизонтами, разделенными водоупорными пластами.

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

Нагорные канавы 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 канавы можно отрывать поперек 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.

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.

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.

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. Принципиальная схема вероятностного прогноза возникновения нового оползня на естественном склоне в заданном районе и в заданный период времени T состоит в следующем:

1. Получение исходных данных:

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

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

где C_i – сопротивление сдвигу на i -ом участке; τ_i – касательная напряжения, Δl_i – абсолютная деформация;

– рассчитывают среднюю скорость необратимых изменений коэффициента устойчивости склона (за год в настоящее время и ее прогноз на период T) $\Delta K_{\text{ср}} = f(T)$;

– определяют зависимость амплитуды A обратимых колебаний коэффициента устойчивости склона от показателей F соответствующих факторов – $A = f(\sum F)$;

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

2. Анализ данных:

– определяют возможность оползня; конечная средняя годовая величина коэффициента устойчивости склона в конце прогнозируемого периода T составит

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

если $K_{\text{ср}}^{\text{H}} - A_{\text{max}} > 1$ – оползень маловероятен;

$K_{\text{ср}}^{\text{H}} - A_{\text{max}} < 1$ – оползень возможен;

$K_{\text{ср}}^{\text{H}} - A_{\text{ср}} < 1$ – вероятность оползня очень велика;

– рассчитывают вероятное время $t_{\text{он}}$ смещения оползня (лет от начала прогнозируемого периода), т. е. наиболее вероятно смещение оползня в период

$$\text{от } \frac{K_{\text{ср}}^{\text{H}} - A_{\text{max}} - 1}{\Delta K_{\text{ср}}} \text{ до } \frac{K_{\text{ср}}^{\text{H}} - A_{\text{max}} 1}{\Delta K_{\text{ср}}}.$$

Пример. Определить вероятное время возникновения оползня в горизонтальных склонах.

Исходные данные. Прогнозируемый период $T = 50$ лет; значение среднего начального коэффициента устойчивости склона $K_{\text{ср}}^{\text{H}} = 1,27$.

Сравнительно равномерный подмыв подошвы склона и сопутствующие процессы обуславливают среднее годовое уменьшение коэффициента его устойчивости $\Delta K_{\text{ср}} = 5 \cdot 10^{-3}$; среднее годовое отрицательное отклонение коэффициента устойчивости склона в результате колебаний его водонасыщения и пригрузки основания наносами:

$$A_{\text{ср}} = \pm 3 \cdot 10^{-2}.$$

Максимальное негативное отклонение коэффициента устойчивости склона за 50 лет (соответствующее наиболее неблагоприятному сочетанию факторов в течение года 2 %-й обеспеченности) $A_{\text{max}} = -0,1$.

Решение. Наиболее вероятное смещение оползня следует ожидать в период от $(1,27 - 0,10 - 1,0)/0,005$ до $(1,27 - 0,03 - 1,0)/0,005$, т. е. через 34–48 лет.

Вывод. Возведение на этом склоне объекта со сроком амортизации 50 лет и более требует дополнительного проведения противооползневых мероприятий. Тем не менее, временные (рассчитанные на 10 – 15

лет) объекты в настоящее время и в ближайшие годы возводить можно.

2.3.4. Обвалы и осыпи

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 населенных 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. 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).

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.

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.

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.

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.

2.3.5. 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.

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

Формирование лавин происходит в лавинном очаге, т. е. на участке склона и его подножья, в пределах которых происходит движение лавины.

Снежные лавины можно назвать снежными потоками. К ним относятся также лавиноподобные водоснежные потоки и быстрое сползание снега. Между ними нет резких границ по условиям и механизму образования и форме движения; области их распространения одинако-

вы, методы защиты сходные. Лавины распространены повсюду, где возникает снежный покров высотой более 30-50 см, и где склоны более 20° с относительной высотой более 20-30 м. Особенно крупные лавины в горах, где сила удара лавин о препятствие достигает десятков тонн на 1 м^2 , объемы – миллионы кубометров, повторяемость в наиболее активных очагах – 10-15 лавин в год, число лавинных очагов на 1 км длины долины – 10-20. Лавины встречаются также на уступах морских и речных террас. Лавиноопасными могут быть и различные техногенные склоны – борта карьеров, откосы над дорожными выемками и др.

К лавинообразующим факторам относятся:

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

Наиболее важные факторы – прирост свежеснежавшего снега, интенсивность снегопада и метелевый перенос. В отсутствие осадков сход лавин является следствием интенсивного таяния снега под воздействием тепла и солнечной радиации и процесса перекристаллизации, приводящих к разрыхлению снежной толщи, вплоть до образования мелкодисперсной снежной массы в глубине этой толщи, и ослаблению прочности и несущей способности отдельных слоев.

При длине открытого склона горы 100–500 м создаются классические условия образования снежной лавины – для начала движения определенной скорости. Лавинные очаги принято делить на зоны: зарождение (лавиносбор), транзит (лоток), остановка (конус выноса) лавины.

Основные параметры лавинного очага:

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

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.

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

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

При наклоне $\alpha = 34\text{--}45^\circ$ критическая высота сухого снежного покрова, имеющего некоторое внутреннее сцепление и сцепление с подстилающей поверхностью, измеряется немногими дециметрами. Она возрастает до бесконечности при углах наклона около 20° . Если же силы сцепления уменьшаются, (что бывает при намокании снега), снежный покров не может удержаться и на более пологих склонах. Поскольку топографические условия накопления снежного покрова различны, а его высота и физико-механические характеристики изменчивы во времени, смещения снега по уклону также разнообразны.

Прогнозирование лавин и способы защиты от них. Определение степени лавинной опасности территории определяется по результатам проведения прогноза. Под прогнозом лавин (или лавинной опасности) следует понимать научно обоснованное предвидение, предсказание места, времени возникновения, характера и размера лавин. Прогноз лавинной опасности может быть фоновым, районным и детальным.

Фоновый прогноз лавинной опасности основан на анализе аэросиноптической, метеорологической информации и сведений о снегонакоплении. Такой анализ позволяет давать прогноз для целой горной страны, хребта или отдельных крупных территорий с большой заблаговременностью, которая к настоящему времени составляет 1–3 суток. Прогноз выдается в альтернативной форме: «Лавиноопасно» или «Нелавиноопасно». Он определяет возможность схода лавин без указания их размеров и конкретных мест схода.

Районный прогноз составляется для отдельных долин, перевальных участков, групп лавинных очагов, угрожающих объектам. В основу прогноза положены две группы методов, основанные на изучении устойчивости снежной толщи на склонах и анализе метеорологических условий, приводящих к сходу лавин. Заблаговременность таких прогнозов не превышает нескольких часов, что позволяет проводить мероприятия по своевременному предупреждению и спасению людей.

Детальный прогноз составляется для отдельного лавинного очага или горного склона. Он основан на изучении устойчивости снежной толщи и анализе метеорологических условий. Принятию прогностического решения предшествует определение устойчивости снега на склоне. При детальном прогнозе производится оценка возможных размеров ожидающихся лавин. Такая оценка необходима для выполнения аварийно-спасательных и восстановительных работ.

Для любого конкретного лавиносбора или района, в котором имеется много лавиносборов, необходимо различать:

- прогноз момента времени схода лавины в данном лавиносборе или районе;
- прогноз начала периода лавинной опасности, т. е. заблаговременное предвидение наступления такого периода, когда в данном лавиносборе или районе возникает опасная ситуация и незначительное дополнительное воздействие может вызывать лавину, хотя, в конечном итоге, лавина может и не сойти.

Понятие лавинная опасность включает как территориально-временные показатели, отражающие активность лавинообразования (густота сети лавинных очагов, частота схода лавин, объем сносимого снега), так и динамические, характеризующие разрушительные возможности лавин (скорость, высота, ширина лавины, дальность выброса).

При проектировании различных инженерных сооружений и коммуникаций необходимы также показатели плотности лавинных очагов (количество очагов на 1 км² поверхности либо на 1 км длины дна долины), коэффициент лавинной активности площади к суммарной, коэффициент поражения дна долины (отношение поражаемой лавинами длины дна долины ко всей длине на данном участке).

Информативными характеристиками рельефа, определяющими степень лавинной опасности, являются глубина вертикального расчленения и форма поперечного профиля долин и водоразделов, которые в сочетании с характером поверхности склонов определяют тип лавиноопасной территории (табл. 2.16). Определение типов лавиноопасной территории производится по топокартам, аэро- и космическим снимкам.

Основные показатели лавинной опасности тесно связаны с глубиной вертикального расчленения ΔH_p , определяемой как разность максимальной и минимальной отметок в пределах лавинного очага (лавинного бассейна).

Обычно выделяют шесть степеней лавинной опасности:

1. Незначительная опасность – сход небольших лавин в редких лавинных очагах не представляет угрозы населению и сооружениям.
2. Слабая опасность – опасности от лавин можно избежать без специальных противолавинных мероприятий.
3. Небольшая опасность – для обеспечения безопасности достаточно прогнозирования лавин и их профилактики.
4. Умеренная опасность – освоение территории требует сооружения легких противолавинных сооружений, удерживающих щитов и т. п.

5. Большая опасность – освоение территории невозможно без строительства капитальных защитных противолавинных инженерных сооружений – дамб, галерей.

Таблица 2.16

Показатели лавинной опасности в зависимости от глубины вертикального расчленения рельефа

Характеристики	ΔH_p , м									
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Коэффициент лавинной активности площади	0,35	0,55	0,7	0,8	0,9	0,95	1,0	1,0	1,0	1,0
Доля очагов лотковых лавин в общей площади лавиноопасных склонов	0,05	0,15	0,25	0,36	0,5	0,65	0,75	0,8	0,85	0,9
Коэффициент поражения днищ долин	0,2	0,4	0,6	0,95	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Средняя ширина зоны выброса лотковых лавин, м	–	75	110	140	170	200	230	260	290	320
Средняя площадь лавиносборов, га	1	2	4	6	9	12	17	22	27	33
Количество лавинных очагов на 1 км долины	8	7	6	4	3	2	2	1,5	1,5	1,5
Количество лавинных очагов на 1 км ²	10	11	9	6	5	4	3	2	2	2

6. Максимальная опасность – обеспечить безопасность для людей и сооружений существующими способами невозможно.

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) свежевыпавшего 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:

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

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

Зная величину $H_{\text{СПкр}}$, время наступления лавиноопасного периода от начала снегопада можно определить из уравнения:

$$T_{\text{лп}} = \frac{H_{\text{СПкр}}}{i_{\text{СП}}},$$

где $i_{\text{СП}}$ – интенсивность нарастания снежного покрова в м/час, или из уравнения:

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

Величины $i_{\text{СП}}$, $\gamma_{\text{сп}}$, $C_{\text{сд}}$, $f_{\text{тр}}$ определяются экспериментально в лавиноборе, 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 $i_{\text{СП}}$, $C_{\text{сд}}$, $f_{\text{тр}}$;

— рассчитать момент наступления лавиноопасного периода.

Дальнейшее упрощение методики прогнозирования возможно при использовании зависимостей вида:

$$T_{\text{ЛП}} = F(i_{\text{СП}})$$

или

$$T_{\text{ЛП}} = F(R),$$

где R – интенсивность осадков в мм/мин.

Для метелевых лавин прогноз можно выдавать, используя зависимости:

$$T_{\text{Л}} = F(V);$$

$$T_{\text{ЛП}} = F(m),$$

где V – скорость ветра в м/с; m – величина метелевого переноса в г/см² мин.

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

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

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.

Для случая прогнозирования лавин, обусловленных выпадением дождя, время наступления опасного периода от момента начала дождя можно рассчитать по формуле:

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

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 Σt° , величину стаивания на один градус положительной средней суточной температуры воздуха δ_1° 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

$$0,1H_B - \delta_1^\circ \Sigma t^\circ - \delta_1^\circ t_1^\circ - \delta_1^\circ t_2^\circ - \dots - \delta_1^\circ t_n^\circ = 0.$$

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:

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

где $\alpha_{сж}$ – коэффициент температурного сжатия снежного покрова; E – модуль нормальной упругости; μ – 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:

$$H_{СПкр} = H_{СТ} + T_{ЛП} i_{СП}.$$

Время начала лавиноопасного периода определяется по формуле:

$$T_{ЛП} = \frac{C_{сд}}{i_{СП} \gamma_{СП} (\sin \alpha - f_{тр} \cos \alpha)} - \frac{H_{СТ}}{i_{СП}}.$$

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

$$T_{\text{ЛП}} = (i_{\text{СП}} H_{\text{СТ}})$$

или в случае дождя

$$T_{\text{ЛП}} = F(R, H_{\text{СТ}}).$$

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

$$T_{\text{ЛП}} = 24 \frac{H_{\text{СПкр}} - 2,8\sqrt{H_{\text{СТ}}}}{X};$$

$$T_{\text{ЛП}} = 24 \frac{H_{\text{СПкр}} - 0,1H_{\text{СТ}}}{\Delta H_{\text{СП}}},$$

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 свежевыпавшего снега; $H_{\text{СПкр}}$ – критическая высота снежного покрова, вычисленная по формуле:

$$H_{\text{СПкр}} = 17200 \alpha^{-2} [(0,9 + \rho_{\text{СП}})^6 + (0,99 + \rho_{\text{СП}})^6],$$

где α – крутизна склона, градус; $\rho_{\text{СП}}$ – плотность снега, г/см³.

Из расчета по этим формулам выбирается наименьшее время $T_{\text{ЛП}}$.

Пример. В зоне отрыва лавин на склонах крутизной 40 ° высота старого снега составляет 135 см, плотность его 0,32 г/см³. Определить наименьшее расчетное время до лавиноопасного периода.

Решение. Критическая высота снежного покрова

$$H_{\text{СПкр}} = 17200\alpha^{-2}[(0,9 + 0,32)^6 + (0,99 + 0,32)^6] / 40^2 = 53 \text{ (см)}.$$

За первые сутки снегопада выпало 18 мм (в слое воды), что при плотности свежевыпавшего снега 0,09 г/см³ соответствует

$$\Delta H_{\text{СПкр}} = -\frac{18}{10 \cdot 0,09} = 20 \text{ (см) слоя снега.}$$

Время от начала снегопада до лавиноопасного периода на основании прогностических зависимостей, ч:

$$T_{\text{лп}} = 24 \frac{53 - 0,1 \cdot 135}{20} = 47,4 ;$$

$$T_{\text{сп}} = 24 \frac{53 - 2,8\sqrt{135}}{X} = 27,3 .$$

Наименьшее расчетное время до лавиноопасного периода – 27,3 ч от начала снегопада.

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.

2.3.6. Абразия берегов

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 поднимающаяся 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 водоёма. 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. 2.2). 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.



Рис. 2.2. Абразионное развитие берега

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, харак-

терном 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.

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 %.

2.3.7. Эрозионные процессы

Эрозия почв. 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. км², при современном использовании 1,2-1,6 млн. км²). Ежегодно из-за эрозии выбывает из сельскохозяйственного использования от 50 до 70 тыс. км² 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. т 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.

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.

На льдосодержащих многолетнемерзлых породах наблюдается термоэрозия – род овражной эрозии, провоцируемой антропогенным усилением стока (талый сток от снеготаносов, 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.

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 противозерозионную 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 волокна 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, геолого-разведочных работах, разработке полезных ископаемых и т. п.;
- вторичное засоление, подщелачивание и подтопление орошаемых земель.

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 полуконуса, обращенного 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.

Пыльные бури. *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.

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 не-

редко 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.

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.

Важнейшей особенностью курумов является то, что их грубообломочный чехол испытывает медленные перемещения вниз по склону. Признаками, указывающими на подвижность курумов, являются: валлообразный 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 подповерхностным стоком и др.

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.

2.4. Природные пожары

2.4.1. Основные понятия

Природный пожар – неконтролируемый процесс горения, стихийно возникающий и распространяющийся в природной среде.

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

Под лесным пожаром понимается неконтролируемое горение растительности, стихийно распространившееся на лесную площадь, окруженную негорящей территорией. 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 огнем.

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.

Степень пожарной опасности участков леса определяется на основе «шкалы оценки лесных участков по степени опасности возникновения в них пожаров» (табл. 2.17).

Таблица 2.17

**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. Захламленные 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

Лесные пожары уничтожают деревья и кустарники, заготовленную в лесу древесину, снижаются защитные, водоохранные и другие полезные свойства леса, уничтожаются фауна и лесные массивы, соору-

жения, загрязняется атмосфера, нарушается тепловой баланс, уничтожаются населенные пункты.

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.

2.4.2. Классификация пожаров и их основные характеристики

Пожар – стихийно развивающееся горение, не предусмотренное технологическими процессами. С точки зрения производства работ, связанных с локализацией, тушением пожара, спасением людей и материальных ценностей, классификация пожаров проводится по трем зонам: зона отдельных пожаров, зона массовых и сплошных пожаров и зона пожаров и тления в завалах. Природные пожары могут быть лесные, торфяные, степные (полевые).

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 расщеплены 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:

- наличии застройки или растекании горючих жидкостей на площади не менее 100 га;
- относительной влажности воздуха менее 30 %;
- наличии определенного количества сгораемых материалов на соответствующей площади, в пересчете на древесину 200 кг/м² на площади 1 км².

Зона пожаров и тления в завалах характеризуется сильным задымлением и продолжительным (свыше 2 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 °С, 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).

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.

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 1м/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 1,5м.

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 подроста; 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, причем 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 воспламененного 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 счет 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 случаи отравления людей и животных окисью углерода. Природные пожары могут быть настоящей чрезвычайной ситуацией, особенно когда они парализуют коммуникации и задевают населенные пункты.

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

Определяющими параметрами развития пожара на большой площади является *средняя линейная скорость его распространения* в преобладающем направлении и *скорость выгорания* материалов в зависимости от скорости приземного ветра при определенной влажности материалов. Обычно для расчетов принимают среднее значение их влажности в зависимости от относительной влажности воздуха. На основе анализа параметров реальных пожаров на больших площадях (горение древесных материалов, деревянных зданий и т. п.) получена формула определения линейной скорости распространения пожара при условии, что его фронт уже сформировался и занимает 5–6 м (время от начала пожара 10 мин):

$$V_{л} = 0,55V^{0,7}$$

где V – скорость ветра, м/с.

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

$$V_{\text{пл}} = 0,488 \cdot V^{0,37}.$$

Среднюю линейную скорость распространения фронта пожара при ветре рассчитывают по формуле

$$V = 3,333 K_r \cdot C \cdot V^n, \quad (0 < K_r < 0,9),$$

где K_r – плотность распределения горючих материалов.

Зависимость коэффициентов n и C от продолжительности пожара (времени развития с момента возникновения) при 0,5–20 м/с

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

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

$$V_{\text{л}} = \frac{(V - 2,5)^2}{8,88};$$

$$L = \frac{(V_{\text{л}} - 4)^2}{4}.$$

Формулы справедливы для фрезерного торфа влажностью до 31 % и скорости ветра от 4 до 14 м/с. В результате пожаров на торфяных полях получена эмпирическая формула для определения линейной скорости распространения горения по направлению ветра:

$$V_{\text{л}} = \frac{V - 4}{24,6}.$$

Скорость распространения фронта лесного пожара зависит от его вида, типа леса, класса пожарной опасности погоды, силы ветра и др.

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

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

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

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

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

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

2.4.3. Тушение лесных 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 ма-

неврировать 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 горящей 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 шаром, 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.

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.

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, озер, ручьев 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 ве-

ществ. 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.

Профилактика лесных 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.

Глава 3. Опасности в атмосфере

3.1. Общая характеристика чрезвычайных ситуаций 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 табл. 3.1.

Таблица 3.1

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:

- 0 баллов – 18-32 м/с, слабые разрушения;
- 1 балл – 33-49 м/с, умеренные разрушения;
- 2 балла – 50-69 м/с, значительные разрушения;
- 3 балла – 70-92 м/с, сильные разрушения;
- 4 балла – 98-116 м/с, опустошительные разрушения.

Более подробные оценки содержит шкала скорости ветра Бофорта, модифицированная для ураганов специалистами Национальной службы погоды США. Она приводится с некоторыми сокращениями второстепенных деталей и дополнениями о разрушительном потенциале:

- 0-7 баллов – менее 19 м/с (56 км/ч), от затишья до сильного ветра;
- 8 баллов – 19-23 м/с (68-79 км/ч), буря, ломает тонкие ветки деревьев; опасна для судов, буровых вышек и сходных сооружений;
- 9 баллов – 23-26 м/с (79-95 км/ч), сильная буря, повреждения легких построек, кровли, труб;
- 10 баллов – 26-30 м/с (95-110 км/ч), полная буря, вырывает с корнем деревья; значительное повреждение легких построек;
- 11 баллов – 30-35 м/с (110-122 км/ч), шторм, массовое повреждение

легких построек;

12 баллов – более 35 м/с ураган, детальное подразделение;

12.1. – 35-42 м/с (122-150 км/ч); сильный ветровал; значительное разрушение легких деревянных поселков; валятся телеграфные столбы;

12.2. – 42-49 м/с (150-175 км/ч); в легких деревянных поселках разрушается 50 % домов, в прочих постройках – повреждения крыш, окон, дверей; штормовой нагон воды на 1,6-2,4 м выше нормального уровня моря;

12.3. – 49-58 м/с (175-210 км/ч); полное разрушение легких деревянных поселков; в прочных постройках – большие повреждения; штормовой нагон – на 1,5-3,5 м выше нормального уровня моря; серьезное нагонное наводнение, повреждение зданий водой;

12.4. – 58-70 м/с (210-250 км/ч); полный ветровал деревьев; полное разрушение легких и сильное повреждение прочных построек; штормовой нагон – на 3,5-5,5 м выше нормального уровня моря; сильная абразия морского берега; сильные повреждения нижних этажей зданий водой;

12.5. – более 70 м/с (250 км/ч); многие прочные здания разрушаются ветром, при скорости 80-100 м/сек – также каменные, при скорости 110 м/с – практически все; штормовой нагон выше 5,5 м; интенсивные разрушения наводнением.

Наивысшая зарегистрированная скорость ветра в урагане – более 80 м/с (280 км/ч), вычисленная по величине разрушений – до 110 м/с (400 км/ч). Наивысшая измеренная скорость ветра в смерче – 115 м/с (420 км/ч), рассчитанная по разрушениям – более 300 м/с (1000 км/ч). Для достижения столь высоких скоростей ветра необходимы особые местные условия, в частности для ураганов – прохождение над возвышенностями. Прочие характеристики воздушных вихрей будут рассмотрены особо.

3.2. Циклоны и бури

3.2.1. Циклоны средних широт, тропические циклоны (ураганы, тайфуны)

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.

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 (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Шкала ветров

Баллы	Скорость ветра		Характеристика ветра (название ветрового режима)	Признаки
	м/с	км/ч		
0	0	0	Штиль (полное затишье)	Дым идет прямо
1	0,9	3,24	Тихий	Дым изгибается
2	2,4	8,64	Легкий	Листья шевелятся
3	4,4	15,84	Слабый	Листья двигаются
4	6,7	24,12	Умеренный	Листья и пыль летят
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

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 (ρ) 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/м³ соответствует скорости ветра

$$\frac{2g}{\rho} = \sqrt{\frac{2 \cdot 850}{1,22}} = 37,3 \text{ м/с.}$$

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.

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

$$f(x) = \frac{\mu^x \exp(-\mu)}{x!}, \quad (3.1)$$

где $f(x)$ – функция распределения; x – ежегодная частота; μ – средняя ежегодная частота (для всех ураганов Атлантического побережья США $\mu = 2$).

Функция распределения (3.1) 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.

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.

Тропические циклоны зарождаются над поверхностью океанов преимущественно в полосах между широтами 5 и 30 °, при температуре поверхности воды не ниже 27 °. 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.

3.2.2. Шквальные бури и смерчи (торнадо)

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

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. 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.

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 грозовое 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: теплого и холодного. Начальное условие – мощное грозовое облако и обильные осадки из него достигаются 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.

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.

3.2.3. 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 движение 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).

3.3. 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.

Фронтальные ливневые дожди длятся от нескольких часов до 4 сут, 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.

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° 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 нем 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 путем 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 высо-

той 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 оттепельные 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 снежноталовые 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.

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 кг/м^2 , нагрузки от разовых снегопадов – 100 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 суток, 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 шоссейных

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.

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.

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 отложенный 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 намерзании переохлажденных капель тумана на различные предметы образуются гололедные и изморозевые корки, первые – при диапазоне температуры воздуха от 0...–5, реже –20 °, вторые – при температуре –10...–30 °, реже до –40 °.

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 °. 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 автоаварий увеличивается втрое.

Подземные льды определяют физико-механические свойства горных пород, и прежде всего рыхлых в талом виде. Зона многолетне-

мерзлых пород неустойчивого состояния отвечает районам со среднегодовой температурой от $0...-1,5$ °; здесь обычны пластичномерзлые грунты с малой несущей способностью. Зона многолетнемерзлых пород относительно устойчивого состояния характеризуется среднегодовой температурой от $-1,5...-3$ °; в ней прерывистое распределение мерзлоты переходит в сплошное. Зона устойчивого состояния многолетнемерзлых пород и «твердомерзлых» грунтов отвечает среднегодовой температуре ниже -3 °. 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.

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 мно-

госнежностью (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. 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 порогами, 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 глубоковрезанных 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 полян 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.

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.

3.4. Грозы, градобития

Грозы – наиболее распространенное 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 раздается 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 теплыми и холодными воздушными массами.

Грозы возникают в мощных кучевых облаках с вершинами на высотах 7–15 км, где наблюдаются температуры ниже 15 °–20 °С. 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. Напряженность электрического поля внутри грозового облака равна (1–3)· 10^5 В/м, 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. 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.

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 30 000 °С. Она так 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 еще 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 ее 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 со-

оружий. 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 40 000 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° ниже вершины 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 кВ/см. Практический интерес представляет зависимость H от максимальной силы тока I . При средней продолжительности разряда молнии 100 мс, имеем выражение для силы тока $i = 2 \cdot 10^4 Q$.

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.

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.

В России разработаны методы определения градоопасных облаков и созданы службы борьбы с градом. Опасные облака «расстреливают» снарядами, снаряженными специальными химическими веществами. В бывшем СССР наиболее градоопасны территории в предгорьях Кавказа, 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 наносит 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 10 000 человек (по этому показателю они находятся в первой пятёрке природных опасностей).

3.5. 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 ° на западе

Русской равнины, до 15–17 ° в горах Якутии. Морозы парализуют жизнь городов, губительно воздействуют на посевы, увеличивают вероятность технических аварий (при температуре ниже –30 ° 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.

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, влагозапасов в почве, 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.

Засуха называется также суховой. *Суховой* – жаркий или очень теплый 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 водоемов 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.

Тяжелые засухи случаются в мире почти ежегодно. По числу жертв и экономическому ущербу они находятся в первой пятёрке видов чрезвычайных ситуаций, по наибольшему разовому количеству жертв и величине прямого экономического ущерба (десятки миллиардов долларов) они в числе крупнейших чрезвычайных ситуаций.

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.

Глава 4. Опасности в гидросфере

4.1. Гидрологические чрезвычайные ситуации

4.1.1. Основные понятия и характеристики гидрологических опасных явлений

К опасным (стихийным) гидрологическим явлениям относятся различные быстротекущие наводнения, сопровождающиеся высоки-

ми уровнями воды (при половодьях, паводках, заторах, зажорах, нагонах и т. д.) и медленные изменения уровня океана и бессточных озер, превышающего величины особо опасных (критических) уровней воды для конкретных населенных пунктов и хозяйственных объектов.

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

Наводнения возникают во время половодья и паводков, т. е. при подъеме уровня воды весной от таяния снегов и осенью вследствие ливневых дождей, от скопления льда при ледоходах, уменьшающих площадь сечения реки, от интенсивного таяния ледников и снежного покрова, расположенных высоко в горах, а также во время ветров с моря (нагонные наводнения). Кроме того, затопления могут возникать в результате образования завалов или перемычек на реках во время землетрясений, горных обвалов или селевых потоков, при воздействии гравитационных волн подводного землетрясения, а также при прорыве плотин. По повторяемости, площади распространения и суммарному среднему годовому материальному ущербу в масштабах страны наводнения занимают первое место в ряду стихийных бедствий, а по человеческим жертвам и ущербу, приходящемуся на единицу пораженной площади, – второе после землетрясений.

Масштабы наводнений, вызываемых весенними водами, можно прогнозировать за месяц и более до их начала. При наводнениях, вызываемых заторами и зажорами льда, время упреждения значительно сокращается, но так как места их образования обычно известны, то можно принять предупредительные меры задолго до начала ледохода.

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

При наводнениях, вызываемых подводными землетрясениями (реже извержениями подводных или островных вулканов), возникают гигантские волны – цунами. Скорость их распространения 400–800 км/ч. С приближением к берегу крутизна их переднего фронта может достигать 15–30 м. Прогнозирование опасности цунами основывается на своевременном определении времени и места подводного землетрясения или извержения подводного вулкана. Анализ цунами Тихого океана показывает, что они достигают берегов обычно через 10–40 мин с момента возникновения.

При прогнозировании опасности наводнения для каждой конкретной местности необходимо учитывать изменение естественного режима водных путей, вызванное наличием дамб, плотин, шлюзов, каналов и гидроузлов. Кроме того, при прорыве водой препятствия может образоваться стремительная волна (волна прорыва), создающая опасность внезапного затопления территории, расположенной ниже по течению.

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

Наводнение, характерное для рек с максимальным стоком, обусловленным выпадением интенсивных дождей, называют паводком. *Паводок* – интенсивный, сравнительно кратковременный подъем уровня воды.

Рассмотрим основные характеристики наводнений.

Уровнем воды считается высота поверхности воды в реке (озере) над условной горизонтальной плоскостью сравнения, называемой нулем поста. Высоту этой плоскости отсчитывают от уровня моря. В устьевых участках рек, впадающих в моря, уровень воды измеряется над ординаром, т. е. над средним многолетним уровнем в данном пункте. Сумма двух величин – уровня воды на посту и отметки нуля поста – представляет собой абсолютную отметку уровня, т. е. превышение поверхности воды в реке над поверхностью моря. В Балтийской системе высот исчисление высот ведется от среднего уровня Финского залива у г. Кронштадта.

Расходом воды называется количество воды (в м³), протекающей через замыкающий створ реки за секунду. Графическая зависимость между расходом и уровнем воды, называется кривой расходов, а график изменения расхода воды во времени – гидрографом стока.

Критерием стихийных гидрологических явлений служит максимальный уровень воды, с которым связаны некоторые другие важные характеристики наводнения – площадь, слой, продолжительность и скорость подъема уровня воды.

К факторам, обуславливающим величины максимального уровня и максимального расхода воды, для случая весеннего половодья, относятся:

- запас воды в снежном покрове перед началом весеннего таяния;
- атмосферные осадки в период снеготаяния и половодья;
- осенне-зимнее увлажнение почвы к началу весеннего снеготаяния;

- глубина промерзания почвы к началу снеготаяния;
- ледяная корка на почве;
- интенсивность снеготаяния;
- сочетание волн половодья крупных притоков бассейна;
- озерность, заболоченность и лесистость бассейна.

Для городов и населенных пунктов существуют понятия подтопление и затопление. При подтоплении вода проникает в подвальные помещения через канализацию (если она имеет выходы в реку), по разного рода засыпанным канавам и траншеям (в них заложены тепловые, водопроводные и иные сети) или из-за подпора грунтовых вод. В случае же затопления местность покрывается слоем воды той или иной высоты.

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

Затор – загромождение русла реки льдом во время ледохода, на реках, текущих с юга на север (южные участки реки освобождаются ото льда раньше, чем северные, и начавшийся ледоход встречает на своем пути препятствие в виде ледостава). Затор вызывает подъем уровня воды в месте скопления льда и на некотором участке выше него. Затор обычно образуется в конце зимы и в весенний период при вскрытии рек во время разрушения ледяного покрова. Затор – это скопление крупно- и мелкобитых льдин.

Зажор – скопление внутриводного льда, образующего ледяную пробку и вызывающего дополнительный подъем уровня воды. В отличие от затора зажор состоит из скопления рыхлого ледового материала: комьев шуги, частиц внутриводного льда, обломков заберегов, небольших льдин. Зажоры возникают в предледоставный период и в течение зимы при наличии незамерзающих участков реки. Характеристиками заторов и зажоров являются: строение, размеры, максимальный уровень и максимальный подъем уровня воды.

В строении затора выделяют три участка:

- замок затора – ледяной покров или перемычка из ледяных полей, заклинивших русло;
- голова затора – многослойное скопление хаотически расположенных льдин, подвергшихся интенсивному торошению, длина его превышает ширину реки в 3–5 раз;
- хвост затора – примыкающее к затору однослойное скопление льдин в зоне подпора; длина его на крупных реках может достигать нескольких десятков километров.

Зажорные массы льда однородны по своему строению (скопление рыхлого ледяного материала) и располагаются непосредственно у кром-

ки ледяного покрова и под ним. Здесь они имеют наибольшую толщину. Длина зажорного участка может составлять от 3 до 5 величин ширины реки (3–20 км и более). Максимальный заторный уровень, как правило, превышает уровень весеннего половодья. Период подъема – 0,5–1,5 сут., спада – до 15 сут. Максимальный зажорный уровень превышает уровень воды при ледоставе. Период подъема – 0,5–3 сут., спада – 10–15 сут.

Места образования заторов льда можно разделить на постоянные и непостоянные. Первые известны хорошо, вторые – хуже. Заторы льда свойственны крупным рекам, имеющим крупные притоки.

Зажоры льда свойственны рекам, замерзающим в начале зимы путем перемещения кромки ледостава снизу вверх против течения.

Общей, повсеместно установленной, классификации заторов и зажоров в настоящее время нет, но часто их разделяют по мощности:

- катастрофически мощные, у которых превышение максимального уровня составляет 5 м и более;
- сильные, с превышением максимального уровня 3–5 м;
- средние, с превышением максимального уровня 3 м и менее;
- слабые, для которых поправки в величины наивысших уровней воды не вводятся.

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, коммуналки, требуется эвакуация населения);
- катастрофические (существенно затапливаются города, требуются крупные аварийно-спасательные работы, массовая эвакуация).

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. 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. Волгаемые 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 противо-

положных направлениях, возникает подъем уровня у наветренного берега водоема и спад у подветренного.

Ветровой нагон (так же, как половодье, паводок, затор, зажор) 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.

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 сгоны воды. Основными характеристиками последствий от нагонных наводнений являются практически те же характеристики, что и при паводковых наводнениях.

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 по-

верхностей, в области распространения многолетней мерзлоты, в асфальтированных городах. Особо быстрое повышение расходов создается при относительно кратких грозовых ливнях, когда месячная норма осадков выливается за немногие часы. Но они охватывают относительно небольшие водосборы (площадь до 1000 км²) и опасны, в основном, для городов.

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.

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.

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.

Зажор льда наблюдается в начале зимы в период формирования ледяного покрова. Решающее значение при образовании зазора имеет поверхностная скорость течения воды (более 0,4 м/с), а также температура воздуха в период замерзания. Образованию зазоров 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.

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.

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.

4.1.2. Мероприятия при угрозе затопления населенных 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.

4.1.3. Расчет зоны затопления при наводнениях

Рассмотрим расчет очага поражения (зоны затопления), вызванного ливневыми дождями, рис. 4.1.

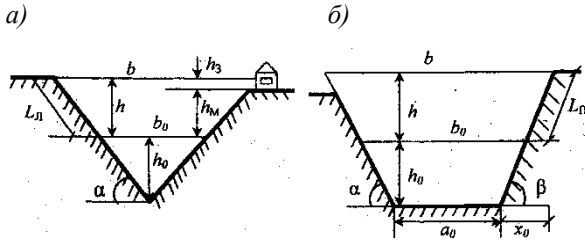


Рис. 4.1. Схема русла реки
a – треугольное русло; *б* – трапецидальное русло

Исходные данные для расчета очага поражения при треугольном и трапецидальном русле реки:

b_0 – ширина реки до паводка, м;

a_0 – ширина дна реки, м;

h_0 – глубина реки до паводка, м;

V_0 – скорость течения реки, м/с;

α, β – угол наклона береговой черты:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2h_0}{b_0} \quad \text{треугольное русло,}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h_0}{x_0} \quad \text{трапецидальное русло,}$$

где $x_0 = \frac{b_0 - a_0}{2}$;

J – интенсивность дождя, мм/ч;

F – площадь выпадения осадков, км²;

h_M – высота места, м;

h_3 – глубина затопления, м;

M – параметр профиля реки: $M = 2$ (треугольный), $M = 1,4$ (трапецидальный).

Треугольное русло реки (рис. 4.1, а).

1. Расход воды до выпадения осадков Q_0 , м³/с:

$$Q_0 = \frac{1}{2} h_0 \cdot b_0 \cdot V_0.$$

2. Расход воды в реке при выпадении осадков и образовании паводья Q_{\max} , м³/с:

$$Q_{\max} = V_{\max} \cdot S$$

или

$$Q_{\max} = \frac{J \cdot F}{3,6} + Q_0,$$

где S – площадь поперечного сечения потока при прохождении паводка, м²; V_{\max} – максимальная скорость потока при прохождении паводка, м/с; J – интенсивность осадков, мм/ч; F – площадь, на которой выпадают осадки, км².

3. Максимальная скорость потока в русле реки, V_{\max} м/с:

$$V_{\max} = V_0 \left(\frac{h_0 + h}{h_0} \right)^{\frac{2}{3}},$$

где h – высота подъема воды в реке при прохождении паводка, м.

4. Высота подъема воды в реке при прохождении паводка h , м:

$$h = \left(\frac{2 \cdot Q_{\max} \cdot \sqrt[3]{h_0^5}}{b_0 \cdot V_0} \right)^{\frac{3}{8}} - h_0.$$

5. Ширина затопляемой территории при прохождении паводка L_{Π} , $L_{Л}$ м:

$$L_{\Pi} = h/\sin \alpha; L_{Л} = h/\sin \beta; \alpha = \beta.$$

Трапецидальное русло реки (рис. 4.1, б)

В этом случае для оценки ширины затопляемой территории можно использовать формулы как для расчета треугольного русла, заменив значение глубины реки h_0 на соотношение

$$h_0^* = \frac{b_0 - a_0}{(ctg\alpha + ctg\beta)} = \frac{b_0}{2 \cdot ctg\alpha}.$$

Формула справедлива при $b_0 \gg a_0$, $b_0 \gg h_0$, $\alpha = \beta < 10-15^\circ$

После преобразования высота подъема воды равна

$$h = \left[\frac{2 \cdot Q_{\max} \cdot \sqrt[3]{(b_0/2ctg\alpha)^5}}{b_0 \cdot V_0} \right]^{\frac{3}{8}} - \frac{b_0}{2ctg\alpha}.$$

6. Максимальная скорость потока затопления V_3 , м/с: $V_3 = V_{\max} \cdot f$

где f – параметр смещения объекта от русла реки (табл. 4.1).

7. Глубина затопления определяется по соотношению

$$h_3 = h - h_M,$$

где h_M – высота места объекта (превышение места объекта над уровне реки до паводка, т.е. в обычных условиях), м.

Поражающее действие паводка определяется максимальной скоростью потока затопления V_3 , и глубиной затопления h_3 , по табл. 4.2.

Пример. Определить последствия паводка, вызванного ливневыми дождями, на территории деревообрабатывающего комбината. На нижнем складе комбината деревянные сборные дома. 3-этажное кирпичное здание администрации, пирс и сплавной буксир. Интенсивность осадки. - 50 мм/ч; площадь выпадения $F=150 \text{ км}^2$; ширине реки $b_0=100 \text{ м}$,

глубина $h_0=2,5$ м; скорость течения $V_0=1$ м/с, русло реки треугольное $M=2$: угол наклона берегов $\alpha=\beta=4,5^\circ$. высота места $h_0=2$ м.

Таблица 4.1

**Параметр f смещения объекта от русла реки
и профиля русла M**

h_3/h	$M = 1,5$	$M = 2$
0,1	0,23	0,3
0,2	0,43	0,5
0,4	0,64	0,72
0,6	0,84	0,96
0,8	1,05	1,18
1,0	1,2	1,32

Таблица 4.2

**Поражающее действие волны затопления и волны прорыва
гидротехнического объекта**

Объекты	Параметры волны, вызывающие разрушения					
	Слабые		Средние		Сильные	
	h_3 , м	V_3 , м/с	h_3 , м	V_3 , м/с	h_3 , м	V_3 , м/с
Промышленные здания с легким каркасом	2,0	1,0	4,0	2,0	5,0	2,5
Промышленные здания с ж/б каркасом	4,0	1,5	9,0	3,0	12,0	3,0
Кирпичные дома 1-3-этажные	2,0	1,0	3,0	2,0	4,0	2,5
Деревянные дома	2,5	1,5	4,0	2,5	6,0	3,0
Сборные дома	1,0	1,0	2,5	1,5	3,5	2,0
Пирс	1,0	1,0	2,5	1,5	3,0	2,0
Суда (до $h \leq 2$ м)	2,5	1,5	5,0	1,5	7,0	2,0
Мосты	-	-	0,5	1,0	1,2	1,5-2

Примечание. 1. Высота потока выше проезжей части для мостов $h = 2,85$.

2. Течение потока слабое при $V_3 \leq 0,5$ м/с: сильное – $0,5 \leq V_3 \leq 1$ м/с: быстрое – $1 \leq V_3 \leq 2$; очень быстрое – $V_3 > 2$.

3. При других значениях h_3 и V_3 для оценки поражающего действия потока можно использовать соотношение $h_3 \cdot V_3 = const$.

Решение.

1. Расход воды до выпадения осадков

$$Q_0 = \frac{1}{2} h_0 \cdot b_0 \cdot V_0 = \frac{1}{2} \cdot 2,5 \cdot 100 \cdot 1 = 125 \text{ м}^3/\text{с}.$$

2. Расход воды после выпадения осадков

$$Q_{\max} = \frac{50 \cdot 150}{3,6} + 125 = 2208 \text{ м}^3/\text{с}.$$

3. Высота подъема воды в реке при прохождении паводка

$$h = \left(\frac{2 \cdot 2208 \cdot \sqrt[3]{2,5^5}}{100 \cdot 1} \right)^{\frac{3}{8}} - 2,5 = 4,85 \text{ м}.$$

4. Ширина затопляемой территории

$$L_{\text{II}} = h / \sin \alpha; \quad L_{\text{II}} = 4,85 / 0,07 = 70 \text{ м}.$$

5. Максимальная скорость потока в русле реки при паводке:

$$V_{\max} = V_0 \left(\frac{h_0 + h}{h_0} \right)^{\frac{2}{3}} = 1,0 \cdot \left(\frac{2,5 + 4,85}{2,5} \right)^{\frac{2}{3}} = 2,10 \text{ м/с}$$

6. Максимальная скорость потока затопления

$$V_3 = 2,10 \cdot f = 2,10 \cdot 0,96 = 2 \text{ м/с},$$

$$\frac{h_3}{h} = \frac{h - h_M}{h} = \frac{4,85 - 2}{4,85} = 0,6.$$

По табл. 4.1 при $h_3/h = 0,6$ и $M = 2$ находим $f = 0,96$.

7. Поражающее действие паводка оцениваем по табл. 4.2.

При значениях $h_3 = 2,85$ м, $V_3 = 2$ м/с кирпичные дома, пирс и катер получат средние повреждения, сборные дома будут разрушены полностью.

Выводы и предложения. Для уменьшения потерь и предотвращения ущерба от паводков необходимо поставить дамбу высотой 2,5–3 м на правом берегу реки.

4.2. Морские гидрологические чрезвычайные ситуации

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. 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 их 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. Над отмелями волна тормозится до скорости порой лишь 50 км/ч, ее 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 подъемной силы воды, давления водного потока, ударов влекомого материала.

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 рас-

стоянии 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.

Для характеристики опасности цунами принимается шкала интенсивности К. Ииды и А. Иمامуры:

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 прибываются 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.

Волны цунами – одно из стихийных явлений в океане, представляющее опасность для населения и хозяйства прибрежной полосы суши в цунамиопасных районах. В 95 % случаев цунами возникают вслед-

стве 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 цунамиопасных 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.

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.

Глава 5. Эпидемии, эпизоотии, эпифитотии

5.1. Инфекционные заболевания у людей

5.1.1. Основные понятия и определения

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.

Патогенность, как особое качество, выражающееся в способности вызывать заболевание, проявилось у возбудителей инфекционных болезней в результате длительного, на протяжении тысячелетий, приспособления к существованию в высших организмах (макроорганизмах).

Таким образом, под *инфекцией* нужно понимать процесс взаимодействия патогенного микроба с животным (растительным) организмом в сложных условиях внешней среды. Более просто, под инфекцией понимают проникновение патогенного микроба в организм и размножение в нем.

Возвращаясь к патогенности, необходимо сказать, что она проявляется в способности микроорганизма размножаться в тканях макроорганизма и, преодолевая его защитные функции, вызывать заболевание. Это свойство 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.

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

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

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

Переход патогенных микробов от одного живого организма к другому обеспечивается так называемым механизмом передачи. Этот процесс состоит из трех фаз:

- выведения возбудителя из зараженного организма;
- пребывания возбудителя в течение некоторого времени во внешней среде;
- внедрения возбудителя в следующий организм. Механизм передачи инфекции неодинаков при различных заболеваниях и находится в прямой зависимости от специфической локализации паразита в живом организме.

Итак, возбудитель, выделившийся из организма больного или носителя, попадает в здоровый организм, проделав некоторое перемещение в пространстве. В зависимости от нозологической формы болезни этот путь может быть коротким и длинным. Независимо от этого, в перемещении возбудителя, как правило, принимает участие окружающая человека обстановка. Объекты внешней среды, включая и живых переносчиков, с помощью которых возбудитель перемещается в пространстве от источника инфекции в здоровый организм, называются факторами передачи или путями распространения инфекции.

Однако передача некоторых инфекционных заболеваний (бешенство, мягкий шанкр, гонорея, венерическая болезнь и др.) происходит без участия объектов внешней среды, путем прямого, непосредственного контакта больного со здоровым организмом. Посредством прямого контакта, в виде редкого исключения, могут передаваться и некоторые другие болезни, хотя в этих случаях он имеет меньшее эпидемиологическое значение. Пути распространения инфекции весьма разнообразны. Передача инфекции через предметы быта (посуда, белье, книги и др.), предметы ухода за больным и предметы производства (например, при обработке животного сырья – волос, шкуры и др.) называется контактно-бытовым путем передачи. Контактнo-бытовой путь распространения инфекции выступает на первый план при инфекциях наружных покровов, реже – при кишечных инфекциях, особенно при неудовлетворительной санитарной обстановке и несоблюдении необходимых гигиенических правил в быту и на производстве.

Важная роль в передаче инфекции принадлежит воздуху, особенно в корабельных условиях, при известной плотности размещения личного состава. Воздушным путем происходит распространение таких инфекционных болезней, как грипп, туберкулез, дифтерия, скарлатина, корь, эпидемический паротит и многих других. По легкости передачи инфекции воздух занимает первое место. Возбудитель, выделившийся из организма больного или носителя с капельками слизи, быстро попадает в дыхательные пути здорового человека (воздушно-капельная инфекция), оседает на окружающих предметах, распространяется с пылью, поднимающейся в воздух (воздушно-пылевая инфекция). Пылевым способом могут передаваться заболевания, возбудители которых переносят высушивание, в частности, туберкулез. Воздух легко может быть заражен и искусственным путем.

Ряд инфекционных болезней (холера, брюшной тиф, лептоспирозы и т. д.) распространяется водным путем. Заражение через воду происходит при использовании инфицированной воды для питья, бытовых и хозяйственных надобностей, при купании. Особенно большую опас-

ность представляет заражение воды в водопроводах и больших емкостях.

Нередко в распространении инфекционных болезней принимают участие пищевые продукты и готовая пища. Патогенные микробы в пищевые продукты могут попадать: через загрязненные руки больного или носителя, при мытье пищевых продуктов в инфицированной воде, во время перевозки на случайном транспорте, при разделке пищевых продуктов на грязных столах, при инфицировании их мухами, грызунами и т. д. Пищевые продукты, в зависимости от консистенции (плотные, жидкие и т. д.) и других особенностей, могут быть инфицированы поверхностно или во всей своей массе.

Особое место в передаче инфекции занимает почва. С одной стороны, она служит местом временного пребывания возбудителей ряда заболеваний (сибирская язва, столбняк и др.), а с другой – играет специфическую роль в распространении таких видов глистов, как аскариды, анкилостомиды, власоглав. Яйца этих глистов приобретают способность вызывать заражение только после «созревания» в почве.

Многие инфекционные болезни передаются членистоногими (насекомыми и клещами) так называемым трансмиссивным путем. Каждый живой переносчик, в основном, передает определенного возбудителя. Значительно реже одна и та же инфекционная болезнь распространяется несколькими переносчиками. Перенос возбудителей членистоногими может быть механическим и специфическим. Механические переносчики (главным образом, мухи) переносят возбудителей на лапках, крыльях и других частях тела, а также в содержимом кишечника. В организме специфических переносчиков возбудитель болезни проходит цикл размножения (накопления) или определенный цикл развития, например, половой цикл развития малярийного паразита в теле комара. В силу этого переносчик становится заразным спустя некоторое время после питания кровью больного.

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

В зависимости от участия живых переносчиков инфекционные болезни подразделяются на облигатно-трансмиссивные, передающиеся только насекомыми или клещами, и факультативно-трансмиссивные, распространяющиеся живыми переносчиками, а также с помощью

других элементов (объектов) внешней среды. Из живых переносчиков наибольшее эпидемиологическое значение имеют комары, москиты, клещи, вши, блохи и мухи. Если инфекционная болезнь распространяется одним из перечисленных выше путей, то возникшую эпидемию называют водной, пищевой, трансмиссивной и т. д. Наряду с этим передача возбудителя может происходить одновременно несколькими путями. Однако и в этих случаях удается выявить основной путь передачи инфекции.

Обязательным условием возникновения эпидемического процесса является наличие восприимчивого к данной болезни коллектива. Влияние этого условия проявляется в двух направлениях. Во-первых, при увеличении числа невосприимчивых лиц уменьшается число людей, могущих заболеть при встрече с возбудителем. Во-вторых, лица, невосприимчивые к инфекции не становятся и источниками инфекции для окружающих восприимчивых лиц, выполняя роль барьера между источником инфекции и восприимчивой частью коллектива («иммунная прослойка»).

Эпидемический процесс может проявляться в виде sporadicческой заболеваемости, эпидемии и пандемии.

Sporadicической заболеваемостью называется заболеваемость, уровень которой в стране или местности обычен для данной инфекционной болезни. Проявляется она в форме рассеянных, чаще всего не связанных между собой, общим источником инфекции, единичных случаях заболевания.

Эпидемией называется массовое распространение одноименных инфекционных заболеваний, при этом отдельные группы заболеваний связаны между собой общими источниками инфекции или общими путями распространения, например водная эпидемия брюшного тифа и холеры, туляремиальная эпидемия «мышинного» или водного происхождения и т. д.

Для характеристики групповых заболеваний в коллективе, ограниченных во времени, часто применяется термин «эпидемическая вспышка». Слово «вспышка» более всего подходит к пищевым токсикоинфекциям, которые, внезапно возникнув, столь же быстро прекращаются после изъятия инфицированной пищи.

Пандемией называется необычайно сильная эпидемия, охватывающая большое число людей на территории, выходящей за границы одного государства. Постоянное наличие какого-либо инфекционного заболевания на определенной территории называется эндемией. Этот термин не определяет степени распространения инфекционной болезни, а только указывает, что источник инфекции находится в данной

местности или стране. Эндемичные болезни тесно связаны с природой. Здесь они существуют веками из-за непрерывной циркуляции возбудителя из организма одного животного в организм другого. В циркуляции и сохранении возбудителя важная роль принадлежит кровососущим насекомым и клещам. Заболевания среди людей возникают только в том случае, если они оказываются на территории природного очага инфекции.

В случае, когда инфекционные болезни, свойственные только человеку или человеку и домашним животным, постоянно регистрируются в какой-либо местности, говорят о статистической эндемии, так как никакими местными природными условиями это явление не обусловлено. С улучшением санитарно-коммунального благоустройства или с оздоровлением стада домашних животных статистическая эндемия исчезает бесследно.

При оценке степени распространения заболеваний среди животных пользуются сходной терминологией. Понятиям эпидемия, пандемия, эндемия соответствуют эпизоотия, панзоотия, энзоотия. Болезни человека и животных, занесенные из других, далеко отстоящих районов земного шара, называются экзотическими болезнями. Место нахождения источника инфекции и территория, в пределах которой возбудитель может передаваться окружающим, называется эпидемическим очагом. Если это касается животных, говорят об энзоотическом очаге.

Правильно понять закономерности возникновения и течение эпидемического процесса невозможно без учета роли природных и социальных факторов. Природные условия могут влиять на все три звена эпидемического процесса и особенно – на источник инфекции и пути передачи.

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

В зависимости от сезона года меняется и образ жизни животных. С наступлением холодов некоторые грызуны впадают в спячку, в результате чего эпизоотический процесс прекращается, с тем, чтобы возобновиться в весенне-летний период. С сезоном года у многих животных связан период размножения и лактации. Все это отражается на возможности заражения людей и, следовательно, на интенсивности эпидемического процесса.

Еще более отчетливо выступает влияние природных условий на пути передачи инфекции. Полное прекращение активности насекомых и

клещей с наступлением холодов или периода дождей в тропическом климате приводит к прекращению или резкому снижению заражаемости людей трансмиссивными болезнями. Наряду с этим возбудители некоторых болезней в организме переносчиков или в почве развиваются только при определенной температуре. Так, плазмодии трехдневной малярии развиваются в теле комара при температуре воздуха не ниже 16 °С, а тропической малярии – при температуре не ниже 17–18 °С; личинки анкилостомид развиваются в почве при температуре 14–16 °С. Отсутствие необходимого температурного оптимума исключает распространение подобных заболеваний. С наступлением холодов и пребыванием людей в закрытых помещениях повышается возможность передачи инфекции воздушно-капельным путем и т. д. В прямой зависимости от сезона года находится степень контакта человека с сельскохозяйственными и промысловыми животными.

Менее изучено влияние природного фактора на восприимчивость людей к инфекционным болезням. Человек своей деятельностью способен оказывать воздействие на окружающую природу и, благодаря этому, ограничивать или устранять влияние природного фактора на эпидемический процесс. Культурная обработка и обводнение земли приводят к исчезновению грызунов – носителей инфекции, и связанных с ними заболеваний. Осушение болот обеспечивает ликвидацию малярии. Иными словами, природные факторы находятся в большей или меньшей зависимости от социального фактора.

Социальный фактор является той движущей силой, которая определяет возникновение, течение и ликвидацию эпидемического процесса. Под социальным фактором понимают совокупность всех сторон общественной жизни, которые определяют специфику данной общественной формации, т. е. исторически определенный базис и соответствующую этому базису надстройку. От базиса, т. е. от экономического строя общества, зависят материальная обеспеченность, жилищные условия, санитарно-коммунальное благоустройство, характер общения между людьми в процессе труда и быта, доступность медицинской помощи и другие стороны общественной жизни населения. История эпидемиологии содержит немало примеров, свидетельствующих о связи эпидемий с социальными потрясениями (война, голод, безработица и т. д.).

Комплекс мероприятий по противоэпидемическому обеспечению определяется механизмом развития эпидемического процесса. Эпидемический процесс – процесс возникновения и распространения инфекционных заболеваний среди людей – связан с жизнедеятельностью возбудителей инфекционных заболеваний. В зависимости от особен-

ностей взаимодействия микро- и макроорганизма в определенных социальных и природных условиях схемы развития эпидемического процесса разные при разных заболеваниях. Однако паразитическая природа возбудителей предопределила тот факт, что при любой схеме течения эпидемического процесса можно выделить три звена: источник инфекции (возбудитель инфекции), механизм передачи возбудителя и восприимчивый организм.

Комплекс мероприятий, направленных на предупреждение инфекционных заболеваний или на их прекращение, включает мероприятия в отношении всех трех звеньев эпидемического процесса.

5.1.2. Характерные случаи, последовательность событий, масштабы распространения, приемы и методы профилактики, локализация и ликвидация

Возникновение и развитие чрезвычайной ситуации зачастую вызывает вспышки эпидемий или повышение инфекционной заболеваемости среди пострадавшего населения в очагах стихийных бедствий и катастроф техногенного характера, а также в зонах боевых действий. Происходит резкое ухудшение условий проживания, у людей появляется большое число механических травм, ожогов и огнестрельных ранений, при которых значительно снижаются показатели естественной сопротивляемости организма, возникают стрессовые состояния. Население лишается жилья, электроэнергии, питьевой воды, нарушается работа санитарно-гигиенической службы, ухудшается организация питания. Может случиться и так, что накопленные запасы биологического оружия при ЧС рассеются на обширных территориях.

В таких ситуациях пораженное население нуждается в экстренной медико-санитарной помощи, требуются самые радикальные изменения организации и обычного ритма работы органов управления, лечебно-профилактических учреждений и санитарно-эпидемиологической службы. Противоэпидемические мероприятия проводятся медицинскими (лечебные учреждения, центры экстренной медицинской помощи и т. д.) и немедицинскими (спасатели, население и т. д.) силами и средствами. Для согласованности действий разных исполнителей, административно не связанных друг с другом, при исполнительных органах местной власти создаются чрезвычайные санитарно-противоэпидемические комиссии, включающие в себя специалистов различных ведомств. Эпидемиологиче-

ский процесс проявляется инфекционной заболеваемостью. При этом формируется эпидемиологический очаг, на территории которого в определенных границах времени и пространства возникло и приняло массовый характер распространение инфекционных заболеваний. Границы очагов поражения – это граница городов и населенных пунктов, имеющих общие экономические и транспортные связи.

5.1.3. Клинико-эпидемиологическая характеристика

Чума. *Источник инфекции* – грызуны, больной человек, верблюд. *Пути передачи* – через блох, воздушно-капельный. Возможны другие пути (выделения больных, снятие шкурки и разделка туш грызунов и других животных). *Инкубационный период* – 6 дней (от 1 до 6 дней в исключительных случаях и у привитых до 8–10 дней). *Основные клинические признаки* – при любой клинической форме чумы начало заболевания внезапное, острое. Сильный озноб, быстрое повышение температуры до 38–40 °С, 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, кровотокающего 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 пенная, 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 °С. 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 отмечаются 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 °С, 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.

Болезнь марбург. *Источник инфекции* – больной человек. *Пути передачи* – предполагают воздушно-капельный, контактный, через слизистую оболочку глаза способы передачи, а также при подкожном впрыскивании и внутривенном вливании лекарственных веществ. *Ин-*

кубационный период – 21 день (чаще от 3 до 9 дней). *Основные клинические признаки:* заболевание имеет острое начало и характеризуется лихорадкой, общим недомоганием, головной болью. На 3–4 день болезни появляются тошнота, боли в животе, сильная рвота, понос. Понос может продолжаться несколько дней, в результате чего наступает обезвоживание организма. К пятому дню у большинства больных сначала на туловище, затем на руках, шее и лице появляется сыпь, развивается диатез, кровотечение из десен, в местах шприцевых уколов и др. Заболевание нередко осложняется.

Лихорадка эбола. *Источник инфекции* – больной человек. *Пути передачи* – предполагают воздушно-капельный, контактный, через слизистую оболочку глаза способы передачи, а также при подкожном впрыскивании и внутривенном вливании лекарственных веществ. *Инкубационный период* – 21 день (чаще от 4 до 16 дней). *Основные клинические признаки:* заболевание начинается остро с повышения температуры до 39 °С, появления общей слабости, сильной головной боли. Затем появляются боли в области шейных и поясничных мышц, в суставах и мышцах ног, развивается воспаление слизистой оболочки глаз. Больные жалуются на сухой кашель, резкие боли в груди, сильную сухость в горле и глотке, которые мешают есть и пить и приводят к появлению трещин и язв на языке и губах. На 2–3 день болезни появляются боли в животе, рвота и понос. Через несколько дней стул становится дегтеобразным или содержит яркую кровь. Обычно на 5 день больные имеют характерный внешний вид: запавшие глаза, истощение, слабую упругость кожи. Полость рта сухая, покрыта мелкими язвами. На 5–6 день болезни сначала на груди, затем на спине и конечностях появляется пятнистая сыпь, которая через 2 суток исчезает. На 4–7 день развиваются кровотечение из носа, десен, ушей, мест шприцевых уколов, кровавая рвота и тяжелая ангина. Часто отмечают симптомы, свидетельствующие о вовлечении в процесс ЦНС (дрожание, судороги, резкая заторможенность или, наоборот, возбуждение, раздражительность и агрессивность). В тяжелых случаях развивается отек мозга. Смерть наступает на 8–9 день болезни от кровопотери и шока.

5.2. Особо опасные 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.

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

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

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

Безопасность животных: состояние, при котором путем соблюдения правовых норм, выполнения ветеринарно-санитарных правил и проведения противозпизоотических мероприятий достигается устойчивость сельскохозяйственных животных к поражению патогенными микроорганизмами.

Специфическая защита животных: комплекс мероприятий, направленных на обеспечение устойчивости сельскохозяйственных животных к патогенным микроорганизмам с помощью биологически активных препаратов.

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

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

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

Ветеринарно-санитарный надзор: система контроля за выполнением ветеринарно-санитарных правил и проведением противозпизоотических мероприятий, направленная на защиту сельскохозяйственных

животных от инфекционных болезней и предупреждение заражения людей от них.

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

Ветеринарная лаборатория: учреждение в системе государственной ветеринарной службы, занимающееся установлением лабораторного диагноза болезней животных, выявлением больных сельскохозяйственных животных, причин их гибели, путей возникновения и распространения инфекционных болезней, определением качества и безвредности продуктов и сырья животного происхождения, кормов и воды.

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

Санитарно-защитная зона: территория вокруг фермы, животноводческого комплекса, предприятий и учреждений биологического профиля, свободная от жилых построек, на которой запрещены проезд транспорта, пастьба и водопой животных.

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 противозпизоотические мероприятия, направленные на предотвращение распространения болезни за пределы очага поражения. При менее опасных инфекциях проводятся ограничительные мероприятия, определяемые инструкциями по борьбе с этими инфекциями.

5.3. Поражение сельскохозяйственных растений болезнями и вредителями

Эпифитотией называется 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.

Панфитотией называется 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.

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.

Глава 6. Космические опасности

Космические опасности различают двух видов: связанные с выходом человека в космическое пространство и встречей планеты с потоком небесных тел и излучения. Космос – один из элементов, влияющих на земную жизнь. Все объекты Солнечной системы можно разделить на четыре группы: Солнце, большие планеты, спутники планет и малые тела. Самая многочисленная популяция малых тел Солнечной системы – астероиды.

Астероиды – это малые планеты, диаметр которых колеблется в пределах 1-1000 км.

Кометы – это небольшие небесные тела, движущееся в межпланетном пространстве и выделяющие газ при сближении с Солнцем.

В настоящее время известно около 300 космических тел, которые могут пересекать орбиту Земли. Всего по прогнозам астрономов в космосе существует примерно 300 тыс. астероидов и комет.

Встреча нашей планеты с такими небесными телами представляет серьезную угрозу для всей биосферы. Расчеты показывают, что удар астероида диаметром около 1 км сопровождается выделением энергии, в десятки раз превосходящей весь ядерный потенциал, имеющийся на Земле. Энергия одного удара оценивается величиной а 10^{23} эрг. Поэтому во многих странах ведутся работы по проблемам астероидной опасности и техногенному засорению космического пространства, направленные на прогнозирование и предотвращение столкновений массивных тел с Землей.

Основным средством борьбы с астероидами и кометами, сближающимися с Землей, является ракетно-ядерная технология. В зависимости от размеров опасных космических объектов (ОКО) и используемых для их обнаружения информационных средств располагаемое на организацию противодействия время может изменяться в широких пределах от нескольких суток до нескольких лет. С учетом операций на обнаружение, уточнение траектории и характеристик ОКО, а также запуск и подлетное время средств перехвата требуемая дальность обнаружения ОКО должна составлять 150 млн. км от Земли.

Предлагается разработать систему планетарной защиты от астероидов и комет, которая основана на двух принципах защиты, а именно

изменение траектории ОКО или разрушение его на несколько частей. Поэтому на первом этапе разработки системы защиты Земли от метеоритной и астероидной опасности предполагается создать службу наблюдения за их движением с таким расчетом, чтобы обнаруживать объекты размером около 1 км за год-два до его подлета к Земле. На втором этапе необходимо рассчитать его траекторию и проанализировать возможность столкновения с Землей. Если вероятность такого события велика, то необходимо принимать решение по уничтожению или изменению траектории этого небесного тела. Для этой цели предполагается использовать межконтинентальные баллистические ракеты с ядерной боеголовкой. Современный уровень космических технологий позволяет создать такие системы перехвата.

Тела размером порядка 100 м могут появиться в непосредственной близости от Земли достаточно внезапно. В этом случае избежать столкновения путем изменения траектории практически нереально. Единственная возможность предотвратить катастрофу – это разрушить тела на несколько мелких фрагментов.

Огромное влияние на земную жизнь оказывает солнечная активность.

Солнечная активность это совокупность явлений, периодически возникающих в солнечной атмосфере. Проявление солнечной активности связано с магнитными свойствами плазмы. Возникновение активной области начинается с постепенного увеличения магнитного потока в некоторой области фотосферы. В хромосфере после этого наблюдается увеличение яркости в линиях водорода и кальция. Такие области называют флоккулами. В тех же участках фотосферы при этом наблюдается увеличение яркости в белом свете – факелы. Увеличение энергии, выделяющейся в области факела и флоккула, является следствием увеличившейся напряженности магнитного поля. После в солнечной активности наблюдаются солнечные пятна, возникающие через 1-2 дня после появления флоккула в виде маленьких черных точек – пор. Многие из них вскоре исчезают, и лишь отдельные поры за 2-3 дня превращаются в крупные темные образования.

Важнейшая особенность пятен – наличие сильных магнитных полей. Пятно представляет собой выходящую в фотосферу трубку силовых линий магнитного поля, целиком заполняющих одну или несколько ячеек хромосферной сетки. Верхняя часть трубки расширяется, и силовые линии расходятся. Солнечное магнитное поле имеет очень сложную структуру и непрерывно меняется. Совместные действия циркуляции солнечной плазмы в конвективной зоне и дифференциального вращения Солнца постоянно возбуждает процесс усиления

слабых магнитных полей и возникновения новых. Видимо это обстоятельство и является причиной возникновения на Солнце пятен. Пятна то появляются, то исчезают. Их количество и размеры меняются. Но, примерно, каждые 11 лет число пятен становится наибольшим. Тогда говорят, что Солнце активно.

Большие магнитные бури нередко влекут за собой сбои в системах связи, выводят из строя спутники и навигационную аппаратуру. На организм человека наиболее негативное воздействие оказывают малые магнитные бури. Нарушения сна и работоспособности, раздражительность и нервозность могут почувствовать даже совершенно здоровые люди.

Опасности для человека в открытом космосе. Оказание помощи космонавту, вышедшему в открытый космос, достаточно проблематично по множеству причин. Первая причина заключается в возможность столкновения с космическим мусором. Орбитальная скорость на высоте 300 км над Землей (типичная высота полета пилотируемых космических кораблей) – около 7,7 км/с, что в 10 раз превышает скорость полета пули. С каждым космическим полетом появляется все больше, и это проблема остается наиболее опасной.

Другая причина опасностей выходов в космос – то, что окружающая обстановка в космическом пространстве является чрезвычайно сложной для предполетного моделирования. Выходы в космос часто планируются на поздней стадии разработки полетного плана, при обнаружении каких-либо насущных проблем или неисправностей, иногда даже в процессе самого выполнения полета. Потенциальная опасность выходов в открытый космос неизбежно ведет к эмоциональному давлению на космонавтов. Существует опасность удалиться от космического корабля на большое расстояние, что может привести к гибели из-за израсходования запаса дыхательной смеси. Очень опасны повреждения или проколы скафандров, разгерметизация которых грозит аноксией и быстрой смертью.

Наблюдение и средства борьбы с космической угрозой. В американском штате Уайт-Сэндс Нью-Мехико существует ракетный полигон – закрытая военная база – испытательная лаборатория военно-воздушных сил с восемью телескопами, где ученые исследуют небо в поисках астероидов и комет, которые могут появиться вблизи Земли. Данные направляются в Центр по изучению малых планет в Кембридже. Там регистрируются все астероиды и кометы; центр – официальное место сбора сообщений ученых и астрономов-любителей со всего

мира». К концу сентября 2001 года Центр зарегистрировал 1505 околоземных объектов: 1462 астероида и 43 кометы. Из них свыше пятисот астероидов – диаметром более километра, и столкновение с ними могло бы иметь тяжкие последствия для всего человечества.

Существует несколько моделей поведения при вероятности столкновения с небесными телами.

Модель «солнечного паруса», предназначенного для того, чтобы убрать астероид или комету с опасного для Земли курса.

Атомная бомба, которую взорвут над, под или на поверхности астероида; возникшая реактивная сила уводит его от Земли.

Лазерный обстрел: поверхность летящего к Земле тела приводится в газообразное состояние.

Двигатель: на астероиде устанавливают пригатели, работающие на химическом или ядерном топливе, которые меняют курс.

Солнечный зайчик: с помощью многокилометрового зеркала на поверхности кометы концентрируются солнечные лучи и превращают ее в пар.

Хотя в настоящее время модели неосуществимы, тем не менее первая действительно реальная акция, которую осуществило NASA в июле 2005 года, выглядит довольно простой. Автоматическая космическая станция Deep Impact, старт которой произошел в январе 2004 года, после полугодового полета достигла маленькой кометы P/Тетрел-1 и выстрелила в нее снарядом из меди весом в 500 килограммов. От удара комета незначительно изменила курс, а на ее поверхности образовался кратер.

Глава 7. Экономические аспекты смягчения последствий опасностей природного характера

7.1. Необходимость денежной оценки человеческой жизни

До недавнего времени не было научно обоснованного метода выделения затрат на защиту от чрезвычайных ситуаций природного характера. Тем не менее в развитых странах на смягчение и ликвидацию их последствий затраты выделялись и продолжают выделяться по принципу обеспечения безопасности, известному на Западе как принцип ALARA (*As low as reasonably achievable*), что означает принцип разумной достаточности (снижение уровня опасности настолько, насколько это можно разумно достигнуть). В данном случае слово «разумно»

предполагает такие затраты на обеспечение безопасности людей, которые государство (общество) может выделить без существенного ущерба для других сфер обеспечения безопасности жизнедеятельности людей. Дело в том, что смягчать последствия ЧС природного характера можно только путем внедрения организационных мероприятий и технических средств, на которые требуются ассигнования. Последние изымаются из ассигнований, предназначенных на насущные потребности людей, а также на обеспечение их безопасности в других сферах производства и жизнедеятельности.

У большинства людей их собственная жизнь и жизни других людей, о которых они заботятся и с кем они тесно связаны родственными и социальными узами, представляет наивысшую моральную ценность. В таких случаях говорят о бесценности человеческой жизни. Однако человек живет в материальном мире и обеспечение его безопасности связано с различными видами человеческой деятельности, которая выражается в экономических категориях. Повышая затраты на обеспечение безопасности человека, можно повышать его безопасность во всех сферах деятельности. Тогда неизбежно возникает вопрос: до какого уровня необходимо повышать безопасность человека и какие затраты считать достаточными? Обоснованный ответ на этот вопрос можно дать только в том случае, если человеческую жизнь оценить в тех же единицах, в которых оцениваются средства и способы обеспечения его безопасности – в денежных единицах, то есть установить экономический эквивалент человеческой жизни.

7.2. Экономический эквивалент человеческой жизни и метод его вычисления

Математический анализ экономического и связанного с ним физически опасного (безопасного) поведения среднестатистического человека показал, что экономический эквивалент человеческой жизни представляет собой первую производную экономического по физически безопасному $\partial Z_{\delta i} / \partial P_{y(-)}$ или экономического по физически опасному $\partial K_{oi} / \partial P_{y(+)}$ поведению человека. В этих производных $\partial Z_{\delta i}$ представляет дифференциал затрат, выделяемых человеком на снижение риска его гибели (смерти) от i -й причины с фонового значения P_y на $\partial P_{y(-)}$, ∂K_{oi} – дифференциал компенсации, получаемой человеком за

увеличение риска его гибели (смерти) от i -й причины с фонового значения P_y на $\partial P_{y(+)}$. По формуле (6.1), с использованием соответствующих статистических данных, которые вычисляются статистическими ведомствами многих стран, можно вычислить экономический эквивалент человеческой жизни:

$$\mathfrak{E}(T_{\text{ж}}) = \frac{\partial \mathfrak{Z}_{\delta i}}{\partial P_{y(-)}} = \frac{\partial K_{oi}}{\partial P_{y(+)}} = \frac{\Delta \mathfrak{Z}_{\delta i}}{\Delta P_{y(-)}} = \frac{\Delta K_{oi}}{\Delta P_{y(+)}} = \frac{D_{c2}}{P_y}$$

где $\mathfrak{E}(T_{\text{ж}})$ – экономический эквивалент жизни среднестатистического человека (в дальнейшем – человек) без различия пола в среднем возрасте $T_{\text{ж}}$ лет; $T_{\text{ж}}$ – средний возраст живущих людей; D_{c2} – среднедушевой располагаемый денежный годовой доход (среднедушевой денежный доход за вычетом обязательных платежей: налогов, квартплаты, коммунальных услуг и других финансовых обязательств; денежные доходы – доходы лиц, занятых предпринимательской деятельностью, выплаченная заработная плата наемных работников, пенсии, пособия, стипендии и другие социальные трансферты, доходы от собственности в виде процентов по вкладам, ценным бумагам, дивидендов и другие доходы); P_y – фоновый риск смерти людей (уровень смертности, наблюдаемый в стране в настоящий момент времени: вероятность умереть от любой причины смерти за 1 год; в демографии этот показатель называется «общий коэффициент смертности» K_c); $\Delta \mathfrak{Z}_{\delta i}$ – затраты, выделяемые человеком на снижение риска (вероятности) своей смерти от i -й причины с P_y до $P_{y(-)}$ на $\Delta P_{y(-)}$; ΔK_{oi} – компенсация, выплачиваемая человеку за опасный вид деятельности, приводящей к увеличению риска (вероятности) его смерти от i -й причины с P_y до $P_{y(+)}$ на $\Delta P_{y(+)}$.

Средний возраст живущих людей $T_{\text{ж}}$ может быть выражен через плотность распределения вероятностей $f(t_{\text{ж}})$ возраста $t_{\text{ж}}$ живущих людей, согласующегося с распределением Вейбулла-Гнеденко (по критерию согласия Пирсона при уровне значимости 0,05–0,10):

$$T_{\text{жс}} = \int_0^{\infty} t_{\text{ж}} f(t_{\text{ж}}) dt = a \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right) + c,$$

$$f(t_{\text{ж}}) = \frac{b}{a} \left(\frac{t_{\text{ж}} - c}{a}\right)^{b-1} \exp\left[-\left(\frac{t_{\text{ж}} - c}{a}\right)^b\right];$$

a, b, c – параметры плотности распределения вероятностей возраста $t_{ж}$ живущих людей (вычисляются в соответствии с ГОСТ 11.007-75. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров распределения Вейбулла; a – параметр масштаба; b – параметр формы; c – параметр сдвига; Γ – гамма-функция (табулирована в математических справочниках):

$$\Gamma(y) = \int_0^{\infty} x^{y-1} e^{-x} dx.$$

Экономический эквивалент \mathcal{E}_0 жизни новорожденного человека:

$$\mathcal{E}_0 = \frac{\mathcal{E}(T_{ж})}{\exp\left[-\left(\frac{T_{ж} - c}{a}\right)^b\right]}$$

Экономический эквивалент $\mathcal{E}(t_{ж})$ жизни человека возраста $t_{ж}$ лет:

$$\mathcal{E}(t_{ж}) = \mathcal{E}_0 \exp\left[-\left(\frac{t_{ж} - c}{a}\right)^b\right]$$

7.3. Физический смысл экономического эквивалента человеческой жизни

С учетом того, что фоновый риск смерти людей P_y представляет собой общий коэффициент смертности K_c , формулу (6.1) можно выразить следующим образом:

$$\mathcal{E}(T_{ж}) = \frac{D_{c2}}{K_c},$$

где

$$K_c = \frac{\text{Число людей, умерших в стране за 1 год от всех причин смерти}}{\text{Среднегодовая численность населения страны}}$$

Подставляя K_c в формулу получаем:

$$\mathcal{E}(T_{ж}) = \frac{D_{с2} \cdot (\text{Среднегодовая численность населения страны})}{\text{Число людей, умерших в стране за 1 год от всех причин смерти}}$$

Таким образом, физический смысл экономического эквивалента жизни среднестатистического человека без различия пола в среднем возрасте $T_{ж}$ лет представляет собой сумму среднедушевых располагаемых денежных годовых доходов населения страны в расчете на одного умершего ($D_{с2}$ – среднедушевой располагаемый денежный годовой доход).

Экономический эквивалент жизни $\mathcal{E}(t_{жк})$ среднестатистического человека определенного контингента людей среднего возраста $t_{жк}$, считающего приемлемым компенсацию ΔK_{oi} за опасный вид деятельности, увеличивающей риск смерти от i -й причины на ΔP_y равен

$$\mathcal{E}(t_{жк}) = \frac{\Delta K_{oi}}{\Delta P_{y(+)}}$$

число людей, погибающих от опасного вида деятельности за единицу времени

$$\Delta P_{y(+)} = \frac{\text{число людей, подвергаемых риску гибели от опасного вида деятельности за единицу времени}}$$

Тогда

$$\mathcal{E}(t_{жк}) = \frac{\Delta K_{oi} \cdot \left(\frac{\text{число людей, подвергаемых риску гибели от опасного вида деятельности за единицу времени}}{\text{число людей, погибающих от опасного вида деятельности за единицу времени}} \right)}$$

Таким образом, физический смысл экономического эквивалента жизни среднестатистического человека определенного контингента людей, подвергаемого риску гибели от опасного вида деятельности, представляет собой суммарную компенсацию, выплачиваемую этому контингенту в расчете на одного погибшего человека (ΔK_{oi} – компенсация, выплачиваемая одному среднестатистическому человеку, подвергаемого риску гибели).

Экономический эквивалент жизни $\mathcal{E}(t_{жз})$ среднестатистического человека определенного контингента людей среднего возраста $t_{жз}$, счита-

ющего возможным выделение затрат $\Delta Z_{\delta i}$ на уменьшение риска своей смерти от i -й причины на $\Delta P_{y(-)}$ равен

$$\mathcal{E}(t_{\text{жз}}) = \frac{\Delta Z_{\delta i}}{\Delta P_{y(-)}}$$

Число людей, спасаемых от смерти от i -й причины

за единицу времени

$$\Delta P_{y(-)} = \frac{\text{Число людей, спасаемых от смерти от } i\text{-й причины}}{\text{Число людей, подвергаемых риску смерти от } i\text{-й причины}} \cdot \text{за единицу времени}$$

Тогда

$\Delta Z_{\delta i}$ · (Число людей, подвергаемых риску смерти от i -й причины

за единицу времени)

$$\mathcal{E}(t_{\text{жз}}) = \frac{\text{Число людей, спасаемых от смерти от } i\text{-й причины}}{\text{Число людей, подвергаемых риску смерти от } i\text{-й причины}} \cdot \text{за единицу времени}$$

Таким образом, физический смысл экономического эквивалента жизни среднестатистического человека определенного контингента людей, выделяющего затраты на уменьшение риска своей смерти от i -й причины, представляет собой суммарные затраты, выделяемые этим контингентом в расчете на одного спасенного от смерти человека ($\Delta Z_{\delta i}$ – затраты, выделяемые одним среднестатистическим человеком).

7.4. Последовательность вычислений экономического эквивалента человеческой жизни

В табл. 7.1 представлены численные значения экономического эквивалента человеческой жизни. D_{c2} и $P_y = K_c$ взяты из статистических сборников соответствующих стран. Параметры a , b , c вычислены по статистическим данным о возрастной структуре населения. Вычисления производятся в следующей последовательности.

Средний возраст $T_{\text{ж}}$ живущих людей в России составляет:

$$T_{\text{ж}} = a \cdot \Gamma \left[1 + \frac{1}{b} \right] + c = 43,31 \cdot \Gamma \left[1 + \frac{1}{1,86} \right] + 0 = 43,31 \cdot 0,888 + 0 = 38,45 \text{ лет.}$$

Экономический эквивалент $\mathcal{E}(T_{ж})$ жизни среднестатистического человека без различия пола в среднем возрасте $T_{ж}$ лет составляет:

$$\mathcal{E}(T_{ж}) = \frac{D_{с2}}{P_y} = \frac{104832}{0,0152} = 6\,896\,840 \text{ руб.}$$

Таблица 7.1

Экономический эквивалент человеческой жизни

Параметры		Страна, год		
Условное обозначение	Наименование	Россия, 2006	Великобритания, 2005	США, 2004
$D_{с2}$	Среднедушевой располагаемый денежный годовой доход (для евро - по паритету покупательной способности)	104 832 рублей	24 715 евро	34 675 дол-ров
P_y	Фоновый риск смерти людей (общий коэффициент смертности K_c)	0,0152	0,0097	0,0084
$T_{ж}$	Средний возраст живущих людей (годы)	38,46	36,79	35,83
a	Параметры плотности распределения вероятностей возраста живущих людей: параметр масштаба параметр формы параметр сдвига	43,31	40,97	39,82
b		1,86	1,58	1,55
c		0	0	0
$\mathcal{E}(T_{ж})$	Экономический эквивалент жизни среднестатистического человека возраста $T_{ж}$: в национальных денежных единицах (млн.) в евро (млн.) по обменному курсу	6,90 0,20	2,55	4,13 3,33

$\mathcal{E}(t_{ж})$	Экономический эквивалент жизни среднестатистического человека в возрасте $t_{ж}$ лет (млн. национальных денежных единиц)			
\mathcal{E}_0	0 лет	15,38	5,93	9,65
\mathcal{E}_{10}	10 лет	14,40	5,32	8,58
\mathcal{E}_{20}	20 лет	12,12	4,29	6,84
\mathcal{E}_{30}	30 лет	9,28	3,22	5,06
\mathcal{E}_{40}	40 лет	6,49	2,26	3,53
\mathcal{E}_{50}	50 лет	4,16	1,51	2,33
\mathcal{E}_{60}	60 лет	2,46	0,95	1,46
\mathcal{E}_{70}	70 лет	1,34	0,58	0,88
\mathcal{E}_{80}	80 лет	0,67	0,33	0,51
\mathcal{E}_{90}	90 лет	0,31	0,18	0,28
\mathcal{E}_{100}	100 лет	0,13	0,09	0,15
	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении (годы)	65,6	78,6	77,7

Экономический эквивалент \mathcal{E}_0 жизни новорожденного составляет:

$$\mathcal{E}_0 = \frac{\mathcal{E}(T_{ж})}{\exp\left[-\left(\frac{T_{ж}-c}{a}\right)^b\right]} = \frac{6896840}{\exp\left[-\left(\frac{38,45-0}{43,31}\right)^{1,86}\right]} = 15\,376\,780 \text{ руб.}$$

Экономический эквивалент \mathcal{E}_{10} жизни среднестатистического человека в возрасте $t_{ж} = 10$ лет по формуле (6.6) составляет:

$$\mathcal{E}_{10} = \mathcal{E}_0 \exp\left[-\left(\frac{t_{ж}-c}{a}\right)^b\right] = 15\,376\,780 \exp\left[-\left(\frac{10-0}{43,31}\right)^{1,86}\right] = 14\,402\,540 \text{ руб.}$$

Аналогично вычисляются экономические эквиваленты жизни среднестатистических людей других возрастов.

7.5. Пример оценки затрат на смягчение последствий землетрясений

Планируется строительство здания школы с номинальной численностью учеников вместе с обслуживающим персоналом $N = 1000$ человек в зоне сейсмического риска, где землетрясения с магнитудой 8

происходят в среднем 1 раз в $T = 1000$ лет. Срок службы здания $t = 100$ лет. Ожидаемое число погибших при таком землетрясении составляет 90 % от номинальной численности людей, если здание школы построено без учета сейсмического риска. Средний возраст учеников вместе с обслуживающим персоналом составляет $t_{ж} = 14$ лет. Люди находятся в здании в среднем 8 ч в сутки. Требуется оценить дополнительные суммарные затраты, которые следует выделить на проектирование, строительство и эксплуатацию здания в течение срока его службы, чтобы учесть сейсмический риск, т. е. чтобы построить здание, в котором риск гибели людей при землетрясении был снижен до приемлемого уровня.

Решение.

1. Вычисляем экономический эквивалент $\Xi(T_{ж})$ жизни среднестатистического человека без различия пола в среднем возрасте $T_{ж}$ лет:

$$\Xi(T_{ж}) = \frac{D_{с2}}{P_y} = \frac{104832}{0,0152} = 6896840 \text{ руб.}$$

2. Вычисляем экономический эквивалент Ξ_0 жизни новорожденно-го:

$$\Xi_0 = \frac{\Xi(T_{ж})}{\exp\left[-\left(\frac{T_{ж}-c}{a}\right)^b\right]} = \frac{6896840}{\exp\left[-\left(\frac{38,45-0}{43,31}\right)^{1,86}\right]} = 15376780 \text{ руб.}$$

3. Вычисляем экономический эквивалент Ξ_{14} жизни среднестатистического человека в возрасте $t_{ж}=14$ лет:

$$\Xi_{14} = \Xi_0 \exp\left[-\left(\frac{t_{ж}-c}{a}\right)^b\right] = 15376780 \cdot \exp\left[-\left(\frac{14-0}{43,31}\right)^{1,86}\right] = 13605421 \text{ руб.}$$

4. Вероятность P землетрясения с магнитудой 8 за срок службы здания $t = 100$ лет вычисляем по известной формуле:

$$P = 1 - e^{-t/T} = 1 - e^{-100/1000} = 0,095.$$

5. Среднее ожидаемое число погибших N_n людей за срок службы здания, если оно будет построено без учета сейсмического риска (при этом по условию 90 % людей погибает):

$$N_{\pi} = N \cdot 0,9 \cdot 8/24 \cdot p = 1000 \cdot 0,9 \cdot 8/24 \cdot 0,095 = 28 \text{ человек.}$$

где 0,9 = 90 %; 8/24 – вероятность того, что землетрясение застигнет людей в здании; 8 – время нахождения людей в здании в сутки; 24 – количество часов в сутках.

6. Суммарный экономический эквивалент $\Sigma \mathcal{E}$ жизней погибших 28 чел. составит

$$\Sigma \mathcal{E} = \mathcal{E}_{14} \cdot N_{\pi} = 13\,605\,421 \text{ руб.} \cdot 28 = 380\,951\,788 \text{ руб.}$$

Это верхний предел дополнительных суммарных затрат, которые следует выделить на проектирование, строительство и эксплуатацию здания школы для снижения вероятности гибели людей при землетрясении.

Больше этой суммы выделять нецелесообразно, так как дополнительные затраты будут изыматься из других сфер обеспечения безопасности жизнедеятельности людей, в которых риски гибели людей, в случае превышения указанной суммы, начнут заметно увеличиваться. Риск гибели людей в здании школы при землетрясении будет и допустимым и приемлемым, так как он базируется на экономическом эквиваленте человеческой жизни.

Заключение

Тысячелетняя практика жизнедеятельности человека свидетельствует о том, что ни в одном виде деятельности невозможно достичь абсолютной безопасности. Следовательно, любая деятельность потенциально опасно.

Каждая чрезвычайная ситуация характеризуется своеобразием последствий, причиняемых здоровью людей и народному хозяйству. Наиболее тяжкие последствия приносят природные катастрофы и стихийные бедствия. Анализ показывает, что 90 % из них приходится на четыре вида: наводнения – 40 %, тайфуны – 20 %, землетрясения и засуха – 15 %. По числу пострадавших и разрушительному действию, тайфуны и сильные землетрясения (8 и более баллов) сравнимы с ядерными взрывами.

В настоящее время на территории Российской Федерации ежегодно происходит примерно 1,5 тыс. крупных чрезвычайных ситуаций. В них страдает более 10 тыс. человек, из которых более 1 тыс. погибает без учета самых массовых происшествий – дорожно-транспортных, уносящих ежегодно 30 и более тыс. жизней россиян.

Под организацией техносферной безопасности мы понимаем систему, которая обеспечивает приемлемый, постоянно повышающийся уровень безопасности. Этот уровень оценивается системой показателей заболеваемости, травматизма, чрезвычайных ситуаций, стихийных бедствий, аварий и других нежелательных событий. В качестве таких показателей принимаются абсолютные или относительные числовые значения, характеризующие те или иные опасности. Для оценки гибели людей от опасностей следует определять значение риска как наиболее объективного показателя. Для получения объективных показателей, необходимо разработать научно обоснованную систему учета, обработки, анализа и открытой публикации информации об опасностях и их последствиях. В результате можно судить о динамике опасностей, анализировать тенденции, определять точное количество людей, погибающих от опасностей.

Библиографический список

1. Белов, С. В. Ноксология: учеб. для бакалавров / С. В. Белов, Е. Н. Симакова; общ. ред. С. В. Белова. – М.: Юрайт, 2012. – 429 с. – (Бакалавр. Базовый курс). – ISBN 978–5–9916–1717–8.
2. Белов, С. В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность): учеб. для бакалавров / С. В. Белов. – 4-е изд., испр. и доп. – М.: Юрайт, 2012. – 682 с. – (Бакалавр. Базовый курс). – ISBN 978–5–9916–1836–6.
3. Баринов, А. В. Опасные природные процессы: Учебник / Баринов А. В., Седнев В. А., Шевчук А. Б. и др. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. – 334 с.– ISBN 5–89–552–183–5.
4. ГОСТ Р. 22.0.03–95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения. – М.: Госстандарт России, 1995. – 11 с.
5. 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.
6. ГОСТ Р.22.1.09–99. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования. – М.: Госстандарт России, 1999. – 9 с.
7. ГОСТ 33.0.04–95. Безопасность в ЧС.
8. Природные опасности России. Сейсмические опасности / Под общ. ред. В. И. Осипова, С. К. Шойгу. – М.: «Крук», 2000. – 295 с.

9. Сборник методик по прогнозированию возможных аварий, катастроф, стихийных бедствий в РСЧС. Кн. 1. – М.: Изд. ВНИИ ГОЧС, 1994. – 54 с.

10. Способы и средства инженерного обеспечения ликвидации чрезвычайных ситуаций / Г. П. Саков, М. П. Цивилев, И. С. Поляков и др. – М.: ЗАО «ПАПИРУС», 1998. – 404 с.

11. Чрезвычайные ситуации. Краткая характеристика и классификация: учебное пособие. – М.: Типография № 9, 2008. – 88 с. – (Библиотечка «Военные знания»). – ISBN 978–5–93802–050–4.

12. Природные опасности России: моногр.: в 6 т. / ред.: Г. С. Голицин, А.А Васильев. – М.: КРУК. Т. 5: Гидрометеорологические опасности. – 2001. – 295 с. – ISBN 5–900816–66–4.

13. Сычев, Ю. Н. Безопасность жизнедеятельности в чрезвычайных ситуациях: учебное пособие / Ю. Н. Сычев. – М.: Финансы и статистика, 2007. – 222 с. – ISBN 978–5–279–03180–1.

14. Корсаков, Г. А. Расчет зон чрезвычайных ситуаций: Учебное пособие для студ. спец. 330100 / Г. А. Корсаков. – СПб.: МАНЭБ, 1997. – 114 с.

15. Бганба, В. Р. Социальная экология: учеб. пособие / В. Р. Бганба. – М.: Высш. шк., 2004. – 309 с. – ISBN 5–06–004514–5.

16. Основные опасности и угрозы на территории России в начале XXI века. – М.: ОАО «Типография № 9», 2002. – 56 с. – (Библиотечка «Военные знания»). – ISBN 5–93802–030–1.

17. Шлендер, П. Э. Безопасность жизнедеятельности: учеб. пособие / П. Э. Шлендер, В. М. Маслова, С. И. Подгаецкий. – М.: Вузовский учебник: ВЗФЭИ, 2006. – 206 с. – ISBN 5–9558–0004–2.

18. Природные опасности России: моногр.: в 6 т. / ред. В. М. Кутепов. – М.: КРУК. Т. 3: Экзогенные геологические опасности. – 2002. – 345 с. – ISBN 5–900816–43–5.

19. <http://galspace.spb.ru/>