

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

О. А. Растяпина

ИНЖЕНЕРНОЕ ОСВОЕНИЕ И ЗАЩИТА ТЕРРИТОРИИ ОТ ОПАСНЫХ ПРОЦЕССОВ

Учебное пособие

Волгоград. ВолгГАСУ. 2015

© Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный
архитектурно-строительный университет», 2015



УДК 69:504.1075.8
ББК 38я73
Р245

Рецензенты:

кандидат технических наук *Н. В. Коростелева*,
доцент кафедры экологического строительства и городского хозяйства
Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета;
Р. Г. Нуреев, генеральный директор ООО «Ареон»

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

Растяпина, О. А.

Р245 Инженерное освоение и защита территории от опасных процессов [Электронный ресурс] : учебное пособие / О. А. Растяпина ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. — Электронные текстовые и графические данные (2,7 Мбайт). — Волгоград : ВолгГАСУ, 2015. — Учебное электронное издание сетевого распространения. — Систем. требования: PC 486 DX-33; Microsoft Windows XP; Internet Explorer 6.0; Adobe Reader 6.0. — Официальный сайт Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Режим доступа: <http://www.vgasu.ru/publishing/on-line/> — Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-98276-746-2

Рассмотрены методики исследования и диагностирования опасных процессов техногенного и природного характера, происходящих на территориях, предназначенных под городскую застройку. Проводится анализ инженерных мероприятий, рекомендуемых к использованию для ликвидации и минимизации негативного воздействия опасных процессов.

Предназначено для студентов очной и заочной форм обучения по направлению «Строительство», профиль подготовки «Городское строительство и хозяйство». Может быть рекомендовано студентам при выполнении курсовой работы.

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

**УДК 69:504.1075.8
ББК 38я73**

ISBN 978-5-98276-746-2



© Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный
архитектурно-строительный университет», 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ВИДЫ ОПАСНЫХ ПРОЦЕССОВ. ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	6
2. ОБВАЛЫ	10
2.1. Общие сведения	10
2.2. Классификация обвалов.	10
2.3. Противообвальные сооружения и мероприятия	11
3. КАРСТ	13
3.1. Общие сведения	13
3.2. Условия образования карста.	14
3.3. Влияние карста на условия строительства	15
3.4. Противокарстовые мероприятия	16
3.5. Термокарстовые явления.	17
4. СУФФОЗИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ.	19
4.1. Общие сведения	19
4.2. Мероприятия по противосуффозионной защите	20
5. МОРОЗНОЕ ПУЧЕНИЕ ГРУНТОВ	22
5.1. Общие сведения	22
5.2. Условия образования пучин	24
5.3. Мероприятия по защите от морозного пучения грунтов	25
5.4. Наледь.	26
6. ЭРОЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ	29
6.1. Общие сведения	29
6.2. Мероприятия по борьбе с эрозионными процессами	32
7. ПЛЫВУНЫ.	35
7.1. Общие сведения	35
7.2. Мероприятия по борьбе с плывунами	36
8. БОЛОТА.	39
8.1. Общие сведения	39
8.2. Мероприятия по борьбе с заболоченностью	40
9. ЛЁССОВЫЕ ПОРОДЫ	45
9.1. Общие сведения	45
9.2. Мероприятия по предохранению лёссовых пород от замачивания.	46
9.3. Мероприятия по устранению просадочных свойств лёссовых пород	46
10. СЕЛИ.	49
10.1. Общие сведения	49
10.2. Факторы, способствующие образованию селей	51
10.3. Мероприятия по защите от селей	51
11. ЛАВИНЫ	53
11.1. Общие сведения	53
11.2. Прогнозирование лавинной опасности	53
11.3. Мероприятия по борьбе с лавинами.	57
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.	58
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	59

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время большинство городов сталкивается с проблемой освоения и развития новых территорий, ранее считавшихся непригодными и неудобными для застройки, на которых отмечено наличие таких опасных процессов, как оползни, обвалы, пывуны, эрозия, а также возможно проявление селевых процессов, сход лавин и т. п. Освоение таких земель связано со сложными работами по инженерному освоению и застройке, а условия строительства на них регламентируются в каждом отдельном случае сводом правил, определенными принципами, необходимостью соблюдать осторожность и некоторые ограничения и осуществлять специальные мероприятия для обеспечения устойчивости и нормальных условий эксплуатации.

Для формирования рациональной застройки, отвечающей всем современным требованиям к городской среде, необходимо правильно выбирать не только территорию под строительство, но и методы ее освоения с учетом существующей городской среды, а также тщательно изучить процессы, протекающие на рельефе и в недрах территории. Обязательно требуется изучение совокупности природных и искусственно созданных условий, вызывающих то или иное явление.

Разнообразные геологические процессы и явления обуславливают необходимость в прогнозе и охране территории, жизни и деятельности человека от их стихийных, вредных, опасных, а иногда и катастрофических проявлений. Изучением методов и мероприятий освоения неблагоприятных территорий занимается дисциплина «Инженерное освоение и защита территории».

В учебном пособии последовательно рассмотрены опасные процессы природного характера, требующие разработки специальных инженерных мероприятий с целью минимизации последствий, встречающихся на территориях, предназначенных под застройку, представлена их клас-

сификация. Все рассматриваемые опасные процессы классифицированы, описаны признаки, по которым можно диагностировать протекающий или прогнозируемый процесс, возможные последствия, зависящие от интенсивности и степени развития изучаемого процесса, а также методы, позволяющие предотвратить негативные последствия.

1. ВИДЫ ОПАСНЫХ ПРОЦЕССОВ. ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Опасными процессами считаются геологические, гидрологические процессы и метеорологические явления, которые оказывают отрицательное воздействие на территории, народнохозяйственные объекты и жизнедеятельность людей.

Инженерная защита территорий, зданий и сооружений — комплекс сооружений и мероприятий, направленных на предупреждение отрицательного воздействия опасных геологических, экологических и других процессов на территорию, здания и сооружения, а также защиту от их последствий.

Схемы инженерной защиты (генеральные, детальные, специальные) — проектный материал, разработанный с целью определения и обоснования оптимального комплекса инженерной защиты, его укрупненной ориентировочной стоимости и очередности осуществления.

Градостроительная документация инженерной защиты на предпроектной стадии (посвященная градостроительному планированию развития территорий поселений) включает:

- консолидированную схему инженерной защиты;
- территориальную комплексную схему инженерной защиты субъекта Российской Федерации;
- территориальную схему инженерной защиты районов;
- генеральную схему инженерной защиты.

Градостроительная документация инженерной защиты на проектной стадии (посвященная застройке территории поселений) включает:

- детальную схему инженерной защиты общепланировочную;
- детальную схему инженерной защиты для застройки отдельных элементов планировочной структуры.

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

Источник природной чрезвычайной ситуации — опасное природное явление или процесс, в результате которого на определенной территории или акватории произошла или может возникнуть чрезвычайная ситуация. Опасные природные явления могут быть геологического, гидрологического и метеорологического происхождения.

Опасные геологические процессы — это геологические и инженерно-геологические явления, которые оказывают или могут оказать отрицательное воздействие на состояние инженерных сооружений и прочих хозяйственных объектов, экосистем, а также на жизнедеятельность людей. К опасным геологическим явлениям и процессам относятся: оврагообразование; оползни; карст; суффозионные и эрозионные процессы; переработка берегов.

Обвалы — отрыв масс горных пород склонов, бортов и их падение вниз под влиянием силы тяжести с опрокидыванием и перекатыванием без воздействия воды.

Оползни — смещение горных пород со склонов, бортов карьеров, строительных выемок под действием их веса. Различают оползни:

- выдавливания;
- соскальзывания;
- внезапного разжижения;
- выплывания;
- течения.

Карст — комплексный геологический процесс, обусловленный растворением подземными и (или) поверхностными водами горных пород, проявляющийся в их ослаблении, разрушении, образовании пустот и пещер, изменении напряженного состояния пород, динамики, химического состава и режима подземных и поверхностных вод, в развитии суффозии (механической и химической), эрозий, оседаний, обрушений и провалов грунтов и земной поверхности.

Термокарст — процесс оттаивания льдистых грунтов, подземного льда, сопровождающийся их осадкой и образованием понижений рельефа.

Карстово-суффозионные процессы — взаимосвязанное развитие карстового процесса и суффозии. При изучении и оценке карста включаются в состав карстового процесса.

Суффозия — разрушение и вынос потоком подземных вод отдельных компонентов и крупных масс дисперсных и сцементированных обломочных пород, в том числе слагающих структурные элементы скальных массивов.

Эрозия — разрушение горных пород и почв поверхностными водными потоками и ветром, включающее в себя отрыв и вынос обломков материала и сопровождающееся их отложением.

Морозное (криогенное) пучение — процесс, вызванный промерзанием грунта, миграцией влаги, образованием ледяных прослоев, деформацией скелета грунта, приводящих к увеличению объема грунта и поднятию его поверхности.

Переработка берегов морей, озер, водохранилищ, рек — размыв и разрушение пород берегов под действием приобоя и русловых процессов.

Порог геологической безопасности — предельное (критическое) значение показателя, характеризующего опасное воздействие, при превышении которого действие инженерно-геологических процессов начинает угрожать данному объекту, его надежности (например, критический уровень подземных вод).

Опасное гидрологическое явление — событие гидрологического происхождения или результат гидрологических процессов, возникающих под действием различных природных или гидродинамических факторов или их сочетаний, оказывающих поражающее воздействие на людей, сельскохозяйственных животных, растения, объекты экономики и окружающую природную среду.

К опасным гидрологическим явлениям и процессам относятся паводки, подтопление, затопление.

Паводок — быстрое временное поднятие уровня воды в реках вследствие таяния снега, сильных дождей, обвала в горах, лавин, временно подпруживающих потоки. Паводки не повторяются периодически, а могут возникать в любое время года и в этом их отличие от половодья. Значительный паводок может вызвать наводнение. В процессе перемещения паводка по реке образуется паводочная волна.

Подтопление — комплексный гидрогеологический и инженерно-геологический процесс, при котором в результате изменения водного режима и баланса территории происходят повышения уровней (напо-

ров) подземных вод и (или) влажности грунтов, превышающие принятые для данного вида застройки критические значения и нарушающие необходимые условия строительства и эксплуатации объектов.

Затопление — образование свободной поверхности воды на участке территории в результате повышения уровня водотока, водоема или подземных вод.

Сель — процесс изливания с огромной скоростью грязекаменных потоков, насыщенных твердым материалом, возникающих при выпадении обильных дождей или интенсивном таянии снега в предгорных и горных районах.

Опасные метеорологические явления — природные процессы и явления, возникающие в атмосфере под действием различных природных факторов или их сочетаний, оказывающие или могущие оказать поражающее воздействие на людей, сельскохозяйственных животных и растения, объекты экономики и окружающую природную среду.

К опасным метеорологическим явлениям и процессам относятся:

- сильные ветра;
- засухи;
- бури;
- сильные осадки (продолжительный дождь, сильный снегопад, гололед);
- заморозки;
- снежные заносы и обледенения;
- грозы.

Лавины снежные — сосредоточенное движение больших масс снега, падающих или соскальзывающих с горных склонов в виде сплошного тела (мокрые лавины) или распыленного снега (сухие лавины).

Наледь — слоистый ледяной массив на поверхности земли, льда или инженерных сооружений, образовавшийся при замерзании периодически изливающихся подземных или речных вод.

2. ОБВАЛЫ

2.1. Общие сведения

Обвал — отрыв и падение масс горных пород вниз со склонов гор под действием силы притяжения на землю. Обвалы возникают на склонах речных берегов и долин, в горах, на берегах морей.

Причиной образования обвалов является нарушение равновесия между сдвигающей силой тяжести и удерживающими силами. Оно вызывается:

- увеличением крутизны склона в результате подмыва водой;
- ослаблением прочности пород при выветривании или переувлажнении осадками и подземными водами;
- воздействием сейсмических толчков;
- строительной и хозяйственной деятельностью.

Обвалы природного происхождения наблюдаются в горах, на морских берегах и обрывах речных долин. Они происходят в результате ослабления связанности горных пород под воздействием процессов выветривания, подмыва, растворения и действия сил тяжести. Чаще всего (до 80 %) современные обвалы связаны с антропогенным фактором, образуются в основном при неправильном проведении работ, строительстве и горных разработках.

Обвалы характеризуются мощностью обвального процесса (объемом падения горных масс) и масштабом проявления (вовлечение в процесс площади).

2.2. Классификация обвалов

- По *мощности* обвального процесса обвалы подразделяют:
- на крупные (отрыв пород 10 млн м³);
 - средние (до 10 млн м³);
 - мелкие (отрыв пород менее 10 млн м³).

По *масштабу* проявления обвалы подразделяются:
на огромные (100...200 га);
средние (50...100 га);
малые (5...50 га);
мелкие (менее 5 га).

Тип обрушения находится в зависимости от крутизны склона скатывания обвальных масс.

Оценку состояния обвальных скальных склонов (откосов) высотой до 30...40 м следует производить исходя из их морфометрических и инженерно-геологических характеристик. Расчетную крупность обломков скальных грунтов по их потенциальной блочности определяют на основе инженерно-геологического обследования трещиноватости скальных откосов по их потенциальной блочности.

Для определения потенциальной блочности следует учитывать трещины шириной свыше 10 см. Допускается объединять трещины в одну систему, если они имеют одинаковую или близкую ориентацию. Трещины, полностью заполненные слабовыветривающимися минералами, такими как кварц, крепкий кальцит и т. п., при определении блочности не учитывают.

Обследование трещин проводят равномерно по всей площади откоса при числе замеров не менее 50. В случае однородности геологического строения расстояние между участками замеров следует принимать 150...300 м, при неоднородности элементов залегания скальных грунтов его следует сократить до 25...50 м.

Трещины необходимо обследовать в зависимости от сложности на различных горизонтах через 10...20 м по высоте откоса. При наличии литологических разностей трещины целесообразно измерять в каждой из них. Расстояние между трещинами вычисляют по методу наименьших квадратов с доверительной вероятностью 0,85.

2.3. Противообвальные сооружения и мероприятия

Все противообвальные сооружения и мероприятия делятся на удерживающие, улавливающие и агролесомелиоративные.

Удерживающие сооружения следует предусматривать для предотвращения сдвига, обрушения, обвалов и вывалов грунтов при невозможности или экономической нецелесообразности изменения рельефа склона (откоса).

Удерживающие сооружения бывают следующих видов:

поддерживающие стены — для укрепления нависающих скальных карнизов;

контрфорсы — отдельные опоры, врезанные в устойчивые слои грунта, для подпираания отдельных скальных массивов;

опояски — массивные сооружения для поддержания неустойчивых откосов;

облицовочные стены для предохранения грунтов от выветривания и осыпаний;

пломбы (заделка пустот, образовавшихся в результате вывалов на склонах) для предохранения скальных грунтов от выветривания и дальнейших разрушений;

анкерные крепления как самостоятельные удерживающие сооружения (с опорными плитами, балками и т. д.) в виде крепления отдельных скальных блоков к прочному массиву на скальных склонах (откосах).

Улавливающие сооружения и устройства (стены, сетки, валы, траншеи, полки с бордюрными стенами, надолбы) следует предусматривать для защиты объектов от воздействия осыпей, вывалов, падения отдельных скальных обломков, а также обвалов расчетом, если устройство удерживающих сооружений или предупреждение обвалов, вывалов и камнепада путем удаления неустойчивых массивов невозможно или экономически нецелесообразно.

Мероприятия по агролесомелиорации следует предусматривать в комплексе с другими противообвальными мероприятиями для увеличения устойчивости склонов (откосов) за счет укрепления грунта корневой системой, осушения грунта, предотвращения эрозии, уменьшения инфильтрации в грунт поверхностных вод, выветривания, образования осыпей и вывалов.

В состав мероприятий по агролесомелиорации должны быть включены: посадка деревьев и кустарников в сочетании с посевом многолетних трав или дерновкой. Подбор растений, их размещение в плане, типы и схемы посадок следует назначать в соответствии с почвенно-климатическими условиями, особенностями рельефа и эксплуатации склона (откоса), а также с требованиями по планировке склона и охране окружающей среды.

3. КАРСТ

3.1. Общие сведения

Карст — процесс растворения, выщелачивания и выноса подземными и поверхностными водами растворимых веществ горных пород. Различают *поверхностный* и *глубинный* (покрытый) карст. Карсты представляют собой мелкие формы рельефа. Это чередующиеся между собой борозды и гребни, образующиеся на обнаженной поверхности горных пород вследствие избирательного их растворения, т. е. выщелачивания дождевыми и талыми водами. Такое избирательное растворение определяется наличием систем трещин, слоистости в породах (например, чередованием тонких слоев известняков различного состава), имеющих крутое или вертикальное падение. В результате расширения трещин, выщелачивания отдельных слоев и т. д. и образуются карсты. Участки обнаженных пород, поверхность которых покрыта карстами, представляют собой карстовые поля.

Типичными формами карстового рельефа являются воронки, пещеры, поноры, блюдца, поля. Они встречаются на участках, где карстующиеся породы обнажены, и там, где они прикрыты более молодыми образованиями небольшой мощности. По составу различают карбонатный, сульфатный и соляной карст.

Карбонатный карст развивается в известняках, доломитах и других карбонатных породах. Его характерной особенностью является крайне медленная скорость процесса. По данным ряда исследований средняя скорость растворения составляет менее 1 мм за 100 лет. При повышении температуры скорость растворения замедляется. Опасность представляют лишь сами карстовые формы.

Сульфатный карст приурочен к гипсам и ангидритам, часто сочетается с карбонатным карстом. Процесс протекает значительно быстрее,

поскольку растворимость сульфатов существенно выше карбонатов. Поэтому данный тип карста опаснее, так как угрозу могут представлять не только уже существующие карстовые формы, но и за относительно короткий срок могут образоваться новые.

Соляной карст — самый активный тип процесса. Каменные и калийные соли имеют растворимость до нескольких сотен г/л. Развитие этого типа карста чаще всего приурочено к кровле и краевым участкам залежей солей, но встречаются и очень крупные формы.

Для защиты прежде всего требуется определить тип карста и выделить его формы. Как и в случае борьбы с другими экзогенными процессами, требуется исключить причину или хотя бы одно из условий его образования. Причиной является растворение породы движущимся потоком воды, а условиями — наличие растворимых пород, подземных вод, градиент потока.

3.2. Условия образования карста

Для образования карста обычно требуются:
влажный и избыточно влажный климат,
малое испарение,
большая интенсивность водообмена и циркуляция воды в приповерхностных горизонтах горных пород,
горный рельеф.

Для характеристики степени закарстованности территории определяется закарстованность пород и активность карста.

Количественно закарстованность пород можно оценивать относительным объемом карстовых пустот и полостей в рассматриваемом объеме горных пород:

$$З = (v/V)100,$$

где Z — показатель закарстованности пород, доли единиц или %; v — объем пустот в изучаемом объеме пород; V — объем пород, в пределах которого измерен объем карстовых пустот.

Показатель активности карста характеризует интенсивность развития карстового процесса (в долях единицы или в процентах за тысячелетие), а показатель степени закарстованности — пустотность пород в данный момент, возникшую в результате карстового процесса.

При проектировании зданий и сооружений на закарстованных территориях следует учитывать выявленные на основе данных инженерных изысканий:

тип карста;
формы и механизм формирования подземных и поверхностных проявлений карста;
категории устойчивости территорий относительно интенсивности образования карстовых провалов и их средних диаметров;
особенности гидрологических и гидрогеологических условий;
неравномерно-пониженную прочность и несущую способность закарстованных пород, покрывающих грунтов и отложений, заполняющих поверхностные и погребенные карстовые формы (воронки и т. п.);
опасность возникновения и развития карстовых деформаций в толще грунтов и на земной поверхности (провалов, локальных и общих оседаний);
возможность значительной активизации карстовых процессов и явлений.

3.3. Влияние карста на условия строительства

При инженерно-геологическом районировании территорий распространения карста для массовых видов строительства необходимо подчеркивать влияние карста на условия строительства сооружений, а поэтому необходимо составлять схему расположения конкретных территорий, выделяемых по следующим признакам:

1. Территории устойчивые и относительно устойчивые, в пределах которых растворимые породы слабо закарстованы и среднегодовое число провалов на площади 1 км² не превышает 0,01, а также такие, где слабокарстованные породы залегают на глубине более 10 м и перекрыты плотными и устойчивыми породами. На таких территориях разнообразные здания и сооружения массовой застройки строят без учета их закарстованности.

2. Территории с несколько пониженной устойчивостью, где растворимые породы имеют повышенную закарстованность, среднегодовое число провалов на площади 1 км² достигает 0,01...0,05, повторяемость их больше, а мощность покровных отложений мала или недостаточна по сравнению с мощностью активной зоны сооружений. На таких территориях рекомендуется ограничивать высотность зданий (преимущественно до 5 этажей) и плотность застройки жилой территории до 20 %.

3. Территории недостаточно устойчивые характеризуются повышенной закарстованностью пород, где среднегодовое число провалов и оседаний поверхности достигает 0,05...0,1 и они проявляются сравнительно часто, а мощность покровных отложений мала или недостаточна, чтобы

уменьшить опасность устойчивости территории и сооружений. На таких территориях допускается строительство зданий и сооружений высотой до 5 этажей в исключительных случаях, при специальном обосновании возможности их строительства, а плотность застройки жилой территории ограничивается до 10 %.

4. Территории неустойчивые, где растворимые породы имеют повышенную закарстованность, провалы и оседания поверхности наблюдаются часто. На таких территориях строительство капитальных зданий и сооружений не допускается.

В районах распространения карста в зависимости от всех перечисленных условий наиболее часто применяют следующие комплексы мероприятий:

- 1) планировку территорий, сопровождающуюся регулировкой поверхностного стока и устройством канализации для отвода производственных вод;
- 2) каптаж подземных вод и дренаж обводненных пород;
- 3) площадную подготовку основания; устройство опор глубокого заложения;
- 5) искусственное уплотнение и укрепление пород;
- 6) устройство противодиффузионных завес;
- 7) разнообразные конструктивные мероприятия.

3.4. Противокарстовые мероприятия

Предлагаемые мероприятия должны:

предотвращать активизацию, а при необходимости и снижать активность карстовых и карстово-суффозионных процессов;

исключать или уменьшать в необходимой степени карстовые и карстово-суффозионные деформации грунтовых толщ или, наоборот, способствовать стабилизации условий строительства ускорением карстовых деформаций;

предотвращать повышенную фильтрацию и прорывы воды из карстовых полостей в подземные помещения и горные выработки;

обеспечивать возможность нормальной эксплуатации территорий, зданий, сооружений, подземных помещений и горных выработок при допущенных карстовых проявлениях.

Для инженерной защиты зданий и сооружений от карста применяют следующие мероприятия:

устройство оснований зданий и сооружений ниже зоны опасных карстовых проявлений;

заполнение карстовых полостей;
искусственное ускорение формирования карстовых проявлений;
создание искусственного водоупора и противофильтрационных завес;
закрепление и уплотнение грунтов;
водопонижение и регулирование режима подземных вод;
организацию поверхностного стока;
применение конструкций зданий и сооружений и их фундаментов, рассчитанных на сохранение целостности и устойчивости при возможных деформациях основания.

Конструктивные противокарстовые мероприятия разнообразны. Можно регулировать глубину заложения фундаментов и тем самым изменять глубину распространения дополнительных напряжений от сооружения (активная зона сооружения) в закарстованные породы. С этой же целью и с целью придания необходимой устойчивости сооружениям в основании их фундаментов устраивают подушки из щебня, бетона или железобетона. Важным конструктивным мероприятием является армирование сооружений с целью придания им большей монолитности и жесткости путем устройства железобетонных поясов по обрезу фундаментов и в междуэтажных перекрытиях. Выше уже отмечалось, что в карстовых районах необходимо соблюдать ограничения в этажности зданий и плотности застройки территорий. Применяют и некоторые другие специальные мероприятия: неразрезные ленточные фундаменты, уменьшение веса сооружений и др.

3.5. Термокарстовые явления

Под влиянием естественных или искусственно созданных условий многолетняя мерзлота может оттаивать (деградировать). Особенно часто это явление наблюдается в южных районах ее распространения. Оно состоит не только в изменении температуры пород, но и в формировании таких форм рельефа, как западины, ложбины, блюдцеобразные понижения, воронки, провалы и другие, явно указывающие на явление проседания поверхности земли. В таких отрицательных формах рельефа нередко скапливается вода и образуются озера.

При вытаивании льда в толщах пород образуются пустоты, которые впоследствии полностью или частично заполняются привнесенным материалом. Свидетельством оттаивания (деградации) мерзлоты являются также многочисленные примеры деформации сооружений и зданий, связанные со значительной, резкой и неравномерной их осадкой (про-

садкой). При этом на зданиях появляются трещины, отваливаются углы, опрокидываются стены, обрушаются перекрытия и они полностью выходят из строя.

При проектировании инженерной защиты от термокарста следует исходить из потенциальной опасности тепловых просадок, связанных с оттаиванием льдистых грунтов и залежей подземных льдов. Оттаивание льдистых грунтов, залегающих у поверхности, может происходить за счет температурных колебаний в период потепления климата и техногенных нарушений, связанных с частичным или полным удалением напочвенных растительных покровов, срезкой (выемкой) грунта, а также эксплуатацией тепловыделяющих сооружений. Следовательно, основным мероприятием предупреждения термокарста является мониторинг температуры оттаивания грунта, контроль при эксплуатации тепловыделяющих сооружений на территориях, подверженных промерзанию.

4. СУФФОЗИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ

4.1. Общие сведения

Суффозия — процесс выноса мелких минеральных частиц из породы фильтрующейся через нее водой. Развитие суффозии характеризует фильтрационные разрушение и неустойчивость горной породы или заполнителя трещин и карстовых полостей.

Суффозия может резко изменить водопроницаемость пород, заполняющих трещины и карстовые полости, вызвать образование промытых путей, вследствие чего возникают большие притоки воды в строительные котлованы и подземные выработки или большие потери воды на фильтрацию под плотинами, в обход плотин и т. д. Суффозия часто является причиной различных видов деформаций поверхности земли — западин и воронок проседания, провалов, трещин и др. Суффозионные процессы очень часто приводят к нарушению нормальной работы дренажей, фильтров водозахватывающих сооружений, обратных фильтров вследствие **кольматажа**, т. е. вымывания мелких частиц в поры и пустоты заполнителя дренажей и фильтров, в результате чего их водопроницаемость уменьшается и они выходят из строя.

Основными действующими силами, вызывающими развитие суффозии, являются либо большие скорости движения фильтрационного потока, который вымывает частицы и размывает породы, либо возникающее гидродинамическое давление в фильтрационном потоке. Если гидродинамическое давление велико, оно может при соответствующих условиях привести в движение всю массу породы, т. е. привести ее в плавучее состояние. Если оно мало, то в движение приходят только более мелкие частицы, находящиеся в составе породы. Действие фильтрационного потока подземных вод на породу проявляется в нарушении ее фильтрационной устойчивости и подземном размыве (в развитии суффозии). Это действие возможно при следующих условиях:

1) определенной неоднородности породы, при которой возможно передвижение более мелких частиц среди более крупных и их вынос;

2) определенных градиентах потока, вызывающих образование повышенных скоростей фильтрации воды или определенной величины гидродинамического давления в породе;

3) наличии области выноса, разгрузки породы от мелких частиц.

4.2. Мероприятия по противосуффозионной защите

Классификация противосуффозионных мероприятий приведена в табл. 1.

Таблица 1

Классификация противосуффозионных мероприятий

Типы защитных мероприятий		Содержание защитных мероприятий данного типа
Пассивные	Архитектурно-планировочные	Безопасное размещение сооружений на осваиваемой территории и выбор их формы в плане. Рациональная прокладка трасс линейных сооружений
	Конструктивные	Специальные конструкции фундаментов, в том числе свайных
	Контролирующие	Контроль за состоянием грунтовой толщи в зоне ее взаимодействия с сооружением. Наблюдения за режимом подземных вод. Регистрация изменений земной поверхности и состояния склонов. Контроль за напряженным состоянием и деформациями конструктивных элементов сооружений
Активные	Провоцирующие	Обводнение грунтов и создание в них фильтрационного потока. Динамические и ударные воздействия на грунтовую толщу. Экскавация грунтов
	Предупреждающие	Проектные решения, исключающие возможность появления суффозии и постсуффозионных процессов в результате эксплуатации хозяйственного объекта. Удаление суффозионно неустойчивых грунтов из зоны их взаимодействия с сооружением
	Управляющие	Снижение скорости движения подземных вод и их растворяющей способности с помощью искусственного обводнения или осушения грунтов, а также путем регулировки работы гидротехнических и водозаборных сооружений
	Препятствующие	Устройство противофильтрационных и гидравлических завес, водонепроницаемых покрытий. Планировка рельефа и организация поверхностного стока. Каптаж источников подземных вод и устройство обратных фильтров в зонах их разгрузки. Тампонаж трещин и полостей. Закрепление грунтов и снижение их проницаемости

Противосуффозионная защита организуется и эффективно применяется в совокупности с противокарстовыми мероприятиями и, в зависимости от условий и скорости процесса, может быть активной, оказывающей прямое воздействие на опасные факторы процесса, и пассивной, не оказывающей прямого воздействия на процесс.

Защитные противосуффозионные мероприятия подразделяются на *профилактические* и *оперативные*. Профилактические мероприятия планируются в процессе разработки проектно-сметной документации или в ходе эксплуатации и реконструкции зданий и сооружений, а реализуются в ходе строительного-монтажных работ или в ходе реконструкции. Оперативные мероприятия планируются и осуществляются в ходе эксплуатации зданий и сооружений.

Также все реализуемые мероприятия делятся на *пассивные* и *активные*. К пассивным мероприятиям относятся: архитектурно-планировочные, конструктивные, контролирующие. К активным мероприятиям относятся: провоцирующие, предупреждающие, управляющие, препятствующие (см. табл. 1).

5. МОРОЗНОЕ ПУЧЕНИЕ ГРУНТОВ

5.1. Общие сведения

Районы, где горные породы верхних горизонтов земной коры находятся в многолетнемерзлом состоянии, являются районами распространения многолетней мерзлоты. Любые горные породы, имеющие отрицательную или нулевую температуру и содержащие в своем составе лед, называются мерзлыми. Наряду с типично мерзлыми породами, т. е. содержащими лед, встречаются породы с отрицательной температурой, но без льда, например маловлажные сыпучие пески, гравий и галечники, сухие скальные и полускальные породы, а также породы, насыщенные минерализованными водами. Все эти породы не относятся к типично мерзлым, так как их свойства при отрицательной температуре не изменяются. Однако при проектировании и строительстве на них сооружений (некоторых подземных коммуникаций, дренажей, помещений и др.) необходимо учитывать их тепловое состояние.

В зависимости от того, как долго горные породы находятся в мерзлом состоянии, они подразделяются на *сезонномерзлые* и *многолетнемерзлые*. Сезонномерзлые — это породы деятельного слоя, т. е. зимнего промерзания и летнего оттаивания. В некоторые годы сезонномерзлые породы не успевают летом оттаять, и тогда их называют *перелетками*.

Замерзание горных пород сопровождается различными явлениями: изменением их состава, строения, физического состояния и свойств. Все эти изменения неодинаковы у разных типов горных пород.

Важнейшей особенностью состава мерзлых пород, как уже отмечалось, является присутствие в них льда. В скальных и полускальных горных породах лед встречается главным образом в виде жил, прослоев и слоев, заполняющих трещины и пустоты. В песчаных и других обломочных и глинистых породах лед встречается как в макроформах (слои, лин-

зы, жилы и др.), так и в дисперсном виде (цемент, отдельные кристаллы, их скопления, мелкие прослойки, жилки и др.), т. е. как породообразующая часть. Поэтому такие мерзлые породы обычно состоят из минеральных частиц, льда, незамерзшей воды, паров и газов. Все эти составные части в мерзлых обломочных и глинистых породах взаимосвязаны.

Пучение пород наиболее интенсивно развивается в глинистых пылеватых и сильнопылеватых породах четвертичного возраста, т. е. в породах малой и сравнительно малой степени литификации. Именно такие породы в практике часто называют пучинистыми. Явление **пучения пород** — это увеличение их объема при промерзании, которое связано с расширением воды при замерзании (почти на 9...11 %) и выделением льда. Поэтому маловлажные, не полностью водонасыщенные глинистые породы пучатся слабо, а полностью водонасыщенные — сильно. Если промерзание глинистой породы происходит в условиях открытой системы, когда количество влаги в породе увеличивается за счет притока извне, ее пучение сопровождается накоплением льда и развивается особенно интенсивно. Пучению подвержены исключительно глинистые и пылеватые грунты.

Морозное пучение проявляется в образовании пучин, т. е. небольших вздутий, бугров на поверхности земли, полотне дорог, взлетно-посадочных полосах аэродромов, откосах земляных сооружений, или в выпучивании (вымораживании) глыб, столбов, фундаментов зданий и сооружений из глинистых влажных пород при их промерзании. Пучины очень широко распространены на дорогах, их появление на железнодорожном полотне и взлетно-посадочных полосах аэродромов представляет большую опасность. При сезонном промерзании глинистые породы пучатся, но так как они обычно неоднородны по составу, степени глинистости и пылеватости, а также по плотности сложения и влажности, то вследствие этого на фоне общего их вспучивания, выделяются локальные участки более интенсивного вспучивания. Морфологически такое локальное вспучивание проявляется в виде вздутия, бугра, горба, которое и называют пучиной.

Пучины могут иметь высоту от 20...40 до 30...40 мм и даже до 50 см, длину — от нескольких метров до 10...12 м, реже больше. По размерам и динамике развития пучины неодинаковы. При сезонном промерзании глинистых пород в условиях закрытой системы, когда происходит замерзание только той воды, которая находится в объеме промерзающей породы, и подтока (перемещения ее извне) не происходит, возникают пучины небольших размеров, высотой до 50...60 мм. Такие пучины приня-

то называть поверхностными или верховыми. Они появляются обычно с наступлением первых устойчивых морозов, рост их быстро завершается. Весной, с наступлением тепла, они сравнительно быстро исчезают. На дорогах верховые пучины возникают в пределах различных элементов земляного полотна как на насыпях, так и в выемках. Их развитию способствует увлажнение пород земляного полотна главным образом дождевыми осадками.

5.2. Условия образования пучин

Образованию пучин способствуют:

1. Глинистые пылеватые и сильнопылеватые (пучинистые), породы, залегающие непосредственно в основании верхнего строения земляного полотна железных дорог (под балластной призмой) или под дорожным покрытием шоссейных дорог, автострад и взлетно-посадочных полос аэродромов.

2. Суровые продолжительные морозы, обуславливающие глубокое сезонное промерзание пород.

3. Увлажнение промерзающих глинистых пород в связи с недостаточностью регуляции поверхностного стока, отсутствием или плохим дренированием промерзающих пород. Источниками увлажнения пород на пучинистых участках могут быть дождевые осадки, воды рек, озер, болот и другие скопления воды на поверхности земли, а также подземные грунтовые воды. Увлажнение пород подземными водами может происходить различными путями:

а) непосредственно, при неглубоком их залегании от поверхности земли или при их выходе на поверхность в виде источников в основании склонов и откосов выемок и полувыемок;

б) в результате капиллярного поднятия влаги к зоне промерзания при более глубоком залегании уровня грунтовых вод;

в) в результате миграции влаги в виде пара к зоне промерзания под влиянием разности его упругости, обусловленной температурным градиентом в пределах деятельного слоя.

4. Геоморфологическое положение земляного полотна дорог и аэродромов — пойменные и низкие террасы рек, низины, равнины, основания склонов, т. е. участки более обводненные и более трудноосушаемые.

5. Конструктивные особенности земляного полотна дорог — глубокие выемки и полувыемки, низкие насыпи, сложенные глинистыми пучинистыми породами.

6. Загрязнение балласта и покрытий дорог мелкоземом, образование балластных корыт и мешков, засорение, зарастание травой поверхностных водоотводов и кольматаж дренажей.

7. Морозные пучины возникают также на откосах земляных сооружений, возведенных из глинистых пылеватых и сильнопылеватых породах, на насыпях, дамбах, плотинах, отвалах, откосах выемок и полу-выемок и др. Аварийного состояния в этих случаях обычно не создается, однако при появлении и росте пучин нарушается профиль откоса, разрушаются покрытия, а весной, при оттаивании пород, на таких участках образуются их сплывы вследствие переувлажнения. При прогрессирующем развитии эти явления наносят значительный ущерб устойчивости сооружений.

5.3. Мероприятия по защите от морозного пучения грунтов

1. Инженерно-мелиоративные:

тепломелиоративные — направлены на ускорение смерзания свайных фундаментов по боковой поверхности сваи с грунтом, что ведет к заанкериванию фундамента и уменьшению сил морозного пучения;

гидромелиоративные — сводятся к понижению уровня грунтовых вод, осушению грунтов в пределах сезонно-мерзлого слоя и предохранению грунтов от насыщения поверхности атмосферными и производственными водами. Применяют открытые и закрытые дренажные системы.

2. Конструктивные мероприятия предусматривают повышение эффективности работы конструкций фундаментов и сооружений в пучиноопасных грунтах и предназначаются:

для снижения усилий, выпучивающих фундамент;

заанкеривания фундаментов в талых и мерзлых грунтах, залегающих глубже сезонно-промерзающего слоя;

приспособления фундаментов и наземной части сооружения к неравномерным деформациям пучинистых грунтов.

Для снижения касательных сил пучения следует:

проектировать сооружения на столбчатых и свайных фундаментах; уменьшать число отдельно стоящих опор фундаментов с целью увеличения нагрузки на каждую опору;

уменьшать сечение столбчатых фундаментов и свай в пределах промерзающего слоя;

устраивать у железобетонных фундаментов наклонные боковые грани (1...2°), обеспечивающие увеличение сопротивления фундамента действию касательных сил пучения.

Для приспособления конструкций фундаментов и наземной части зданий к неравномерным деформациям пучинистых грунтов следует применять:

фундаменты в виде стоек, опертых на лежни и закрепленных с последними болтами и натяжным хомутом;

устройство в каменных стенах и фундаментах железобетонных поясов;

устройство осадочных швов в сооружениях; устройство под зданием (сооружением) сплошных подсыпок из непучинистых грунтов (песок, гравий, щебень).

3. Физико-химические мероприятия сводятся к специальной обработке грунта вяжущими и стабилизирующими веществами. Гидрофобизацию грунтов производят посредством обработки его экологически чистым веществом при определенных гидротермических условиях.

4. Комбинированные мероприятия.

5.4. Наледь

В комплекс мерзлотных геологических процессов входит также образование наледей. **Наледь** — это скопление льда на поверхности земли в результате замерзания изливающихся подземных или поверхностных (речных) вод. Известны примеры образования наледей, формирующихся за счет вод, откачиваемых из шахт и рудников или сбрасываемых промышленными предприятиями. В соответствии с этим можно различать следующие типы наледей:

а) обычные, образующиеся вследствие выхода (излияния) на поверхность подземных вод (грунтовых, надмерзлотных, межмерзлотных и подмерзлотных);

б) речные, образующиеся за счет поверхностных вод рек и ручьев (редко озер);

в) смешанного питания, образующиеся за счет подземных (подрусловых, грунтовых вод аллювиальных отложений) и поверхностных (речных) вод;

г) искусственные, формирующиеся за счет откачиваемых производственных вод.

Наледи встречаются на водоразделах, склонах, в основании склонов, на речных террасах, вдоль русел рек и ручьев, на откосах дорожных выемок и полувыемок, по стенкам и кровлям подземных выработок (например, в туннелях).

Морфологически наледи весьма разнообразны. Это бугры, валы, потоки, спускающиеся со склонов и откосов, нависающие натеки и др. Их форма в значительной степени определяется рельефом поверхности земли в том месте, где намерзает лед. Размеры наледей, так же как и их форма, весьма разнообразны. По размерам площадей, занимаемых наледями, различают следующие их *категории*: очень малые, малые, средние, большие, очень большие, исключительно большие (площадью более 1 млн м²).

Мощность наледного льда обычно составляет 1...4 м, в отдельных случаях достигает 7...10 м.

Наледи за счет подземных вод нередко образуются непосредственно под зданиями или внутри их, если они не имеют постоянного отопления. Под такими зданиями в начале зимы долго сохраняется талик, промерзание пород деятельного слоя задерживается, тогда как на окружающем их участке промерзание пород протекает нормально. При наличии на таком участке надмерзлотных вод они начинают отжиматься в сторону талика под здание и внутрь его. Если здание холодное, образуется наледь внутри него или под ним, а если оно отапливается, то эти воды его затапливают.

Все известные меры борьбы с наледями принято разделять на две основные группы: пассивные и активные. Первые состоят из мероприятий, направленных на защиту от вредного влияния наледей, а вторые — на предупреждение их образования, на изменение места их образования и др.

К *пассивным способам борьбы с наледями* относятся:

- 1) изменение мест расположения сооружений или трассы дороги, нефте- и газопровода в обход наледного участка;
- 2) повышение уровня строительной площадки и проезжей части дороги; периодическое скалывание льда и восстановление размеров выемок, полувыемок, туннелей и других сооружений;
- 3) устройство задерживающих валов и ограждений, препятствующих росту наледей в сторону строительной площадки, дороги;
- 4) увеличение размеров выемок и полувыемок для размещения наледей — устройство резервного пространства.

К числу *активных способов борьбы с наледями* относятся:

- 1) осушение местности, отвод воды, образующей наледи;
- 2) каптаж источников и отвод воды;
- 3) устройство мерзлотных поясов с целью изменения места образования наледи;

4) углубление и спрямление русел рек для расширения живого сечения потоков и увеличения скорости их течения на участках, где образование наледи нежелательно;

5) утепление русел рек и ручьев навалом из снега для предупреждения глубокого зимнего промерзания.

Таковы наиболее распространенные способы борьбы с наледями. Для правильного выбора необходимы исчерпывающие данные об происхождении наледей, возможных размерах и динамике роста. Особое внимание следует уделять прогнозу возможности образования наледей в результате изменения естественных условий при возведении сооружений.

В зависимости от природных условий района распространения многолетней мерзлоты и особенностей сооружений их проектирование и строительство осуществляют по одному из двух принципов.

Первый принцип, предполагающий мероприятия с сохранением горных пород в мерзлом состоянии в течение всего периода строительства и эксплуатации зданий и сооружений, рекомендуется в тех случаях, когда многолетняя мерзлота имеет устойчивый режим. Применение этого принципа для многолетнемерзлых пород, имеющих неустойчивый режим, допускается при осуществлении мероприятий, обеспечивающих понижение температуры горных пород по сравнению с естественной. По этому принципу строят как неотопливаемые (холодные), так и отопливаемые (либо неотопливаемые, но с выделением технологического тепла) здания и сооружения. Применение его для отопливаемых зданий целесообразно тогда, когда многолетнемерзлое состояние горных пород можно сохранить путем устройства холодного подполья.

Второй принцип применяют, когда рассчитывают:

а) на постепенное оттаивание мерзлых пород в процессе строительства и эксплуатации зданий и сооружений;

б) предварительное искусственное оттаивание горных пород до возведения зданий и сооружений;

в) замену льдонасыщенных мерзлых пород талыми.

Использование данного принципа допускается тогда, когда сохранить мерзлую породу при данных конструктивных и технологических особенностях сооружений невозможно или экономически нецелесообразно, так как многолетнемерзлые породы имеют неустойчивый режим. Особое внимание надо обращать на то, чтобы осадка их при оттаивании мерзлых пород не превысила предела допустимых значений.

6. ЭРОЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ

6.1. Общие сведения

Эрозионные процессы — это комплекс процессов размыва почв, грунтов, берегов и русел рек водными потоками. Это один из важных факторов формирования рельефа и стока наносов. Эрозионные процессы могут также развиваться под действием ветра, в таком случае имеет место ветровая эрозия.

Эрозия почв (плоскостной смыв) производится на склонах временными нерусловыми потоками талых и дождевых вод. Она осуществляется пластовыми потоками, покрывающими поверхность склона сплошной пленкой, или ручейками, возникающими при поступлении воды в неровности микрорельефа склонов и во вновь образовавшиеся первичные эрозионные борозды, непостоянные во времени благодаря непрерывному изменению своего положения.

По степени проявления эрозии почв делят на нормальную и ускоренную:

Нормальная, или геологическая эрозия проявляется в естественных условиях (без вмешательства человека) и происходит медленнее, чем формирование почвы. Она наблюдается на целинных землях, в лесах, на лугах и, как правило, не приводит к образованию эродированных почв.

Ускоренная, или антропогенная эрозия, возникает в результате нерациональной хозяйственной деятельности человека и происходит интенсивнее, чем процессы почвообразования. Она приводит к образованию эродированных почв.

Овражная эрозия связана с деятельностью временных потоков, сосредоточивающихся в бороздах и других линейно вытянутых понижениях на склонах, в балках. Развивается, если в первичной эрозионной

промоине (борозде) сосредоточивается такое количество текущей воды, расход которой может удалить поступающий в поток твердый материал с выше расположенного участка, а также при врезании потока и обрушении бортов промоины. Это условие зависит от размеров водосборной площади промоины, уклона склона, механического состава почв и других факторов.

Речная эрозия подразделяется на боковую эрозию — размывы берегов рек, приводящие к смещению их русел и расширению долин, и глубинную эрозию, сопровождающуюся размывами дна рек и углублением речных долин. Геоморфологический эффект глубинной эрозии рек сказывается в геологическом масштабе времени. Боковая эрозия связана с устойчивостью речных русел и, в зависимости от размываемости горных пород, слагающих берега, может принимать катастрофические размеры или так же сказываться лишь на протяжении тысячелетий. Обычно размывы берегов (боковая эрозия) происходят со скоростью 2...10 м/год.

По характеру разрушения почвы водная эрозия подразделяется:

на *капельную* — раздробление агрегатов почвы ударами дождевых капель, в результате чего щели грунта забиваются илистыми фракциями, уменьшается водопроницаемость и усиливается поверхностный сток и смыв почвы;

плоскостностную (поверхностную), когда почва равномерно смывается небольшими ручьями талых и дождевых вод по всей поверхности площади;

линейную (глубинную), когда почва размывается вглубь концентрированными потоками воды;

ирригационную, которая возникает в условиях неправильно организованного орошения на склоновых землях, когда по линии течения поливной воды являются склоны, способные к размыванию.

Ветровая эрозия (дефляция) возникает при сильных ветрах, которые выдувают почву. Интенсивность выдувания почвы в значительной степени зависят от его гранулометрического состава и содержания в нем гумуса. В частности, на грунтах супесчаного гранулометрического состава ветровая эрозия начинает проявляться при скорости ветра 3...4 м/с, легкосуглинистых — 4...6 м/с, тяжелосуглинистых — 5...7 м/с, глинистых — 7...8 м/с. Песок (0,05...0,10 мм) перемещается при скорости ветра 3, 5 м/с на высоте 15 см. Доли почвы размерами 0,25 мм переносятся ветром в воздухе. Если увеличивается сила ветра, то возрастает интенсивность ветровой эрозии.

Различают зоны дефляции, откуда выдувается грунт, и зоны аккумуляции, где он накапливается. В зоне аккумуляции на суглинистых почвах образуются наносные почвы.

Различают два типа ветровой эрозии:

Повседневную дефляцию вызывают ветры даже малых скоростей (5 м/с), происходит она медленно и незаметно, преимущественно на песчаных, супесчаных и карбонатных почвах.

Пылевые бури — активный и вредный вид дефляции. Такие бури возникают под воздействием сильного ветра (со скоростью более 12...15 м/с) и могут распространяться на большие территории, уничтожать посевы на сотнях тысяч гектаров, сносить много плодородной почвы. Пыль, которая поднимается во время бурь на значительную высоту, может перенестись на большие расстояния. Черные бури катастрофически снижают плодородие почвы не только в тех местах, где они возникают, но и наносят ущерб сельскому хозяйству в тех районах, где откладываются пылевые массы.

Ветровая эрозия распространена там, где нет препятствий сильным ветрам, отсутствует природный растительный покров, защищающий поверхностные слои почвы. Локальная ветровая эрозия наблюдается и на песчаных почвах. Особенно опасны пески на берегах озер и морей, где часто дуют сильные ветры.

В последнее время часто отмечают эрозионные процессы возникающие в результате антропогенных факторов. Это пастбищная, агротехническая и техническая.

Пастбищная эрозия заключается в механическом разрушении и перемещении грунта копытами животных на склонах балок вследствие увеличения нагрузки на ограниченную площадь пастбища.

Агротехническая эрозия сводится к перемещению грунта при его обработке.

Техническая (технологическая) эрозия происходит при добыче открытым и подземным способами полезных ископаемых, засыпке грунта слоем строительного мусора во время строительства жилых и промышленных объектов, использовании грунта для прокладки транспортных путей и т. д.

Различают естественные и социально-экономические факторы, влияющие на возникновение и интенсивность эрозионных процессов.

Естественные создают условия для возникновения эрозии, а неправильная производственная деятельность человека является основной причиной, которая приводит к интенсификации ее развития (рельеф

местности, климат, осадки, ветер, температура воздуха, растительность и собственно грунт).

Социально-экономическими факторами, вызывающими развитие эрозионных процессов, являются следующие:

1) неполный учет или отсутствие учета естественных особенностей территории при освоении;

2) бессистемная вырубка лесов и кустарников, уничтожение травяного покрова, обладающих почвозащитными свойствами;

3) распашка и интенсивное использование территорий, явно подверженных эрозии, без разработки надлежащей противоэрозионной защиты;

4) недостаточный учет степени эродированности почв при установлении состава и чередования культур в севооборотах;

5) бессистемный выпас скота по склонам балок и отсутствие мероприятий по противоэрозионному устройству пастбищ;

6) отсутствие комплексного подхода к осуществлению организационно-хозяйственных, агротехнических, лесомелиоративных, лугомелиоративных и гидротехнических противоэрозионных мероприятий;

7) недостаточный уровень методических разработок по оценке эффективности комплекса почвозащитных мероприятий.

6.2. Мероприятия по борьбе с эрозионными процессами

Организационно-хозяйственные мероприятия — это организационно-хозяйственный план землепользования, составленный с учетом требований борьбы с эрозией почв. В него входят размер и форма полей, направление их длинных сторон, правильное размещение культур с учетом их влияния на эрозионные процессы. Организационно-хозяйственные мероприятия создают необходимые предпосылки для правильного сочетания и размещения элементов противоэрозионного комплекса, безопасного в эрозионном отношении использования земель, повышения их продуктивности. Основой противоэрозионной организации территории должна быть классификация земель по их использованию, степени эродированности и потенциальной опасности эрозии с детальным учетом характера рельефа и микрорельефа. Также учитывается направление поверхностного стока и вредоносных ветров, противоэрозионное значение выращиваемых сельскохозяйственных культур и лесных насаждений.

Агротехнические мероприятия должны обеспечивать усиленное водопоглощение почвами, перехват талых и ливневых вод, повышать плодородие почв, препятствовать ветровой и водной эрозии, улучшать почвенный микроклимат. При наличии водной эрозии эти действия включают глубокую обработку почвы по горизонталям, применение специальных водозадерживающих приемов обработки (прерывистое бороздование, крестование, лункование, щелевание и др.), углубление пахотного слоя, снегозадержание и регулирование снеготаяния, внесение удобрений.

Лесомелиоративные мероприятия направлены на устранение причин возникновения ветровой и водной эрозии. Создание и выращивание взаимодействующей системы защитных лесных насаждений в комплексе с другими мерами является мощным фактором борьбы с эрозией.

Противоэрозионная роль лесных насаждений состоит в улучшении водно-физических свойств почв, обеспечении усиленного просачивания талых и ливневых вод и уменьшении поверхностного стока.

Лугомелиоративные мероприятия предусматривают залужение склонов. Травянистая растительность имеет мощную разветвленную корневую систему и густую надземную часть, прочно скрепляет верхние горизонты почвы, создавая на пути стока большую шероховатость, благодаря которой снижается скорость течения водных потоков и происходит кольматаж (отложение твердого стока).

Гидротехнические мероприятия применяют в том случае, когда необходимо быстро ликвидировать разрушительное действие водной эрозии. Осуществляются они в комплексе с организационно-хозяйственными, агротехническими и лесомелиоративными мероприятиями. Противоэрозионные гидротехнические мероприятия проводят для регулирования и задержания стока талых и дождевых вод, закрепления оврагов и промоин. Основным гидротехническим мероприятием по защите почв от эрозии и повышению производительности земельных угодий является регулирование и задержание стока вод. Для этого строят пруды, водоемы, лиманы, валы с широким основанием и другие сооружения, которые проектируют с учетом полного задержания стока талых и ливневых вод.

Для защиты берегов рек от подмыва и разрушения осуществляют профилактические и капитальные противоэрозионные мероприятия. К числу профилактических относятся работы, выполняемые для охраны устойчивости береговых склонов, пляжей, берегоукрепительных и регуляционных сооружений, а также стационарные режимные наблю-

дения, выполняемые для предупреждения аварийного состояния берегов и примыкающих к ним территорий, зданий и сооружений.

Капитальные мероприятия — строительство сооружений и берегоукреплений (каменная наброска, мощение, укладка габионов, бетонных плит, возведение берегоукрепительных стенок, одерновка берегов и др.) для регуляции руслового потока с целью изменения направления его течения, уклонов, скоростей и расходов. Для изменения направления потока устраивают разнообразные струенаправляющие сооружения (дамбы-буны, траверсы, сипаи и др.), которые выводят в реку под углом вверх по течению.

7. ПЛЫВУНЫ

7.1. Общие сведения

В строительной и горной практике **пльвунами** называют пески тонко- и мелкозернистые, пылеватые и сильнопылеватые, водоносные, которые при вскрытии котлованами и горными выработками плывут. Их оплывание может происходить как медленно толстым слоем, так и быстро и даже катастрофически быстро, в виде прорыва, как только их вскрывают или подрабатывают, так что оставленный целик пород не в состоянии удержать их напора. Пльвуны приходят в движение при нарушении их устойчивости, а также устойчивости вмещающих их пород и склонов, откосов, оползней, подземных выработок, территорий и расположенных или строящихся на них сооружений.

Катастрофически быстрые движения пльвунов представляют большую опасность при производстве строительных и горных работ. Так, если в нижней (опорной) части склона, откоса или оползня начинается выплывание пород, то вышележащие массы пород лишаются опоры, в результате чего по склону и откосу возникают заколы (трещины), вследствие чего образуются новые оползни или активизируются существующие. Происходит общее нарушение устойчивости склона или откоса. Если пльвуны вскрываются подземной выработкой, то они медленно, быстро или катастрофически быстро, в зависимости от величины напряженного состояния, заполняют ее, а вышележащие массы пород, потеряв опору, начинают сдвигаться, приходят в движение. Зона влияния подземной выработки в таких случаях иногда достигает поверхности земли, и тогда на ней возникают провалы, проседания, деформации ее и расположенных здесь сооружений.

Кусок пльвуна естественного состояния выглядит обычно как влажная порода с затхлым запахом, матовой поверхностью, с которой вода не

стекает благодаря большой влагоемкости и малой водоотдаче. Плывун, состоящий как бы из отдельных глыб, загруженный в самосвалы, при их движении превращается в однородную массу, растекается слоем, на поверхности которого образуется слой мутной воды цвета близкого к цвету жидкого цементного раствора.

При проходке буровыми скважинами в пльвунах образуются пробки: порода поднимается по скважине выше забоя. Высота пробки может достигать 10...15 м. Образование пробок связано главным образом с возникающей при проходке скважины разностью напора в водоносной породе в затрубном пространстве скважины и внутри ее. Пробки в скважинах — явление неблагоприятное и опасное, они затрудняют бурение и часто приводят к авариям, так как прихватывают и заклинивают буровой снаряд. Поэтому пльвуны надо проходить быстро, без остановок, с соблюдением определенных правил.

7.2. Мероприятия по борьбе с пльвунами

При строительстве сооружений в пльвунах применяют специальные способы проходки подземных выработок, которые могут быть подразделены на следующие группы.

1. Проходка подземной выработки с помощью специальных ограждающих крепей, опережающих забой.
2. Проходка подземной выработки после замораживания пород.
3. Проходка подземных выработок с помощью проходческих щитов, в которых создают повышенное давление воздуха.

Пльвуны трудно разрабатываются. Штыковая лопата врезается в пльвун с трудом, и его разработка возможна только тонкими срезами; толстый срез от забоя не оторвать. Трудность разработки пльвунов связана также с тем, что объем выполненных земляных работ при разработке котлованов и проходке горных выработок не согласуется с фактическим объемом котлованов и выработок, так как они непрерывно заплывают. Это постоянно вносит путаницу в учет выполненных работ.

При высыхании пльвун превращается в связную, достаточно твердую, более светлую, чем первоначально, породу, которая ломается, крошится и с трудом растирается руками, пачкая их беловато-серой пылью.

Распространение пльвунов на том или ином участке всегда вызывает необходимость соблюдения определенной осторожности при проектировании и строительстве сооружений, которое должно быть полностью обосновано инженерно-геологическими данными. Необходимо четко знать:

1) на какой глубине залегают пльвуны, условия их залегания (мощная толща, пласт, линза, залежь неправильной формы и т. д.), мощность пльвунных пород и их распространение по простиранию; состав и состояние пород, вмещающих пльвун; условия залегания пльвунов, а также перекрывающих и подстилающих их пород должны быть обозначены на геологических разрезах и картах;

2) геоморфологические условия участка распространения пльвунов (не обнажаются ли пльвунные породы по склонам и откосам поверхности рельефа, в оврагах, размывах, нет ли признаков или возможности их выплывания, выдавливания и т. д.);

3) состав и физико-механические свойства пльвунов и особенно плотность сложения, степень выраженности тиксотропных свойств, водоотдачу и водопроницаемость, сопротивление сдвигу и деформируемость в условиях естественного залегания, свойства перекрывающих и подстилающих пород;

4) гидрогеологические особенности пльвунов, глубину залегания уровня подземных вод, величину их напоров и направление уклонов поверхности подземных вод и пьезометрической поверхности. Эти данные также должны быть показаны на геологических разрезах и картах.

При оценке инженерно-геологических условий рассматриваемого участка необходимо учитывать расположение уже существующих сооружений, их устойчивость и условия возведения, а также и то, какие сооружения проектируются, какова возможная зона их влияния на устойчивость окружающей среды и в том числе уже существующих сооружений. Естественно, что при этом необходимо оценивать условия производства строительных и горных работ и определять необходимые инженерные мероприятия, обеспечивающие безопасность ведения работ, устойчивость и долговечность сооружений.

Пльвуны могут служить основанием фундаментов сооружений в естественном состоянии, т. е. как естественное основание, или после их предварительного искусственного уплотнения и укрепления, т. е. как основание искусственное. При расположении фундаментов сооружений на пльвунах как на естественном основании их проектируют так, как на слабых основаниях, строго соблюдая условие, при котором нагрузка на пльвун не должна вызывать осадки сооружения, опасной по величине и неравномерности для его устойчивости и нормальной эксплуатации. С этой целью при неглубоком заложении фундаментов приходится ограничивать величины нормативных напряжений на пльвуны, устраивать уширенные фундаменты, предусматривать мероприятия по сохранению

естественного сложения плывунов, исключаящие возможность их вытекания, выдавливания, разрыхления, а также подстилать под фундаменты гравелистые, щебенистые или (в особо ответственных случаях) бетонные подушки. Кроме того, обычно осуществляют определенные конструктивные мероприятия, обеспечивающие жесткость сооружений (армированные пояса, осадочные швы и др.) и их сопротивляемость возможным повышенным и неравномерным осадкам.

При неглубоком залегании плывунов от поверхности земли и небольшой их мощности фундаменты обычно закладывают на подстилающих их более плотных и устойчивых породах или на щебенистых, гравелистых подушках. В последнем случае принимают меры по предупреждению вытекания плывуна в строительные котлованы (шпунтовое ограждение) и нарушения устойчивости территорий и сооружений, расположенных в зоне влияния возводимого сооружения. Для преодоления трудностей при производстве котлованных работ обычно устраивают шпунтовые ограждения, понижают уровень грунтовых вод путем дренирования плывуна, а также организуют водоотлив из котлованов. Работы по дренированию плывунов надо начинать заблаговременно, до начала котлованных работ.

Широко применяют свайные фундаменты — сваи висячие, свай-стойки длиной до 40 м, сваи-оболочки, поверху объединенные плитой-ростверком, а также опускные колодцы глубиной до 70 м и кессоны глубиной до 40 м.

Возможно улучшение свойств плывунов методом их уплотнения вибрированием на глубине (виброуплотнение).

8. БОЛОТА

8.1. Общие сведения

Участки земной поверхности, на которых в течение большей части года наблюдается избыток влаги, скапливающейся на поверхности земли или насыщающей почву и подпочвенные горизонты горных пород, и покрытые влаголюбивой болотной растительностью (осока, хвощи, мхи и др.), называют **заболоченными**. На заболоченных участках мощность болотных отложений мала или они только начинают накапливаться. Участки, где в результате заболачивания происходит накопление растительных остатков и образовался торф, называют **болотами**.

Заболоченные территории следует рассматривать как начальную стадию образования болот, отличительным признаком которых является наличие торфа, залегающего на поверхности или в толще болотных отложений. Строительство сооружений на болотах и заболоченных территориях — это проблема освоения избыточно увлажненных территорий и частично территорий, в пределах которых могут быть распространены болотные отложения.

Болота образуются в тех местах, где имеется избыток влаги, насыщающей самые верхние горизонты отложений земной коры или застаивающейся на ее поверхности. Наиболее благоприятными условиями для образования болот являются влажный климат, равнинный рельеф или пониженные элементы рельефа, близкое к поверхности земли залегание подземных вод.

Наиболее характерным и основным генетическим типом болотных отложений является торф. Это порода органического происхождения, образовавшаяся в результате накопления и разложения органических остатков, главным образом растительных, в болотах и на заболоченных участках, содержащая примеси песчано-глинистого материала. **Торфом** называется порода, содержащая более 60 % растительных остатков. По-

роды, содержащие 10...60 % растительных остатков, называются заторфованными. В зависимости от состава растительного материала, за счет которого происходит формирование торфов, среди них различают: моховой (гипновый, сфагновый), травяной (осоковый, тростниковый, хвощовый и др.), кустарниковый, древесный.

При строительной характеристике и оценке торфа важно учитывать степень разложенности образующих растительных остатков, так как от этого изменяются его влажность, влагоемкость, консистенция, водопроницаемость, деформируемость, прочность и устойчивость. Степень разложенности растительных остатков в торфе определяется содержанием гумуса и другими признаками.

Условия освоения и строительства сооружений на занятых болотами территориях определяются их строением, которое характеризуется:

1) мощностью болотных отложений и особенно мощностью линз, слоев и залежей торфа;

2) составом, условиями залегания и консистенцией торфа и других болотных отложений;

3) рельефом минерального дна болот. В соответствии с этими характеристиками можно различать три типа болот:

1. На болотах I типа мощность болотных отложений небольшая (<3 м), торф устойчивой консистенции и может частично или полностью вырезаться (выторфовываться), рельеф минерального дна спокойный.

2. Болота II типа характеризуются также небольшой или сравнительно небольшой (<5...6 м) мощностью болотных отложений, но торф на таких болотах неустойчивой консистенции. Это типичные топяные болота. Рельеф минерального дна у них сравнительно спокойный.

3. Болота III типа имеют большую или достаточно большую мощность болотных отложений (>6 м). Болотные отложения и торф здесь имеют неустойчивую консистенцию, и на них нередко располагается слой воды. На таких болотах с поверхности может располагаться также сплавина, сплошь покрывающая болото или с открытыми окнами, в пределах которых стоит вода. Это болота, образовавшиеся в результате заболачивания водоемов. Рельеф минерального дна у них часто неровный, с погребенными склонами большой крутизны.

8.2. Мероприятия по борьбе с заболоченностью

Мероприятия при освоении заболоченных территорий: 1) осуществление комплекса мелиоративных работ, направленных на улучшение этих территорий; 2) применение специальных методов возведения зданий и сооружений.

Одним из основных условий является наличие данных, полно отражающих инженерно-геологические условия территорий, строение болот и прилегающих к ним участков, особенности их водного питания с учетом климатических, геоморфологических и других природных условий.

Массовое гражданское и промышленное строительство на заболоченных территориях обычно производят после их осушения, иногда — после планировки отсыпкой или намывом глинистых, песчано-гравийно-галечных и щебенистых пород. При этом повышаются отметки поверхности рельефа, обеспечиваются сток дождевых и талых вод и осушение территорий.

Условия строительства капитальных сооружений на таких территориях зависят не только от состава и состояния отсыпанных или намывных пород, но и от особенностей состава, состояния и свойств пород, их подстилающих. Для обоснования проектов компоновки (плана размещения кварталов и отдельных сооружений, улиц и бульваров, площадей, парков), отдельных сооружений или их комплексов должны проводиться детальные инженерно-геологические исследования строительных площадок. При строительстве сооружений в таких условиях должны применяться все меры, предусматриваемые при возведении зданий и сооружений на сильно и неравномерно сжимаемых породах: армированные пояса, осадочные швы, разрезка зданий на отдельные жесткие отсеки, полное или частичное выторфовывание, вертикальные дрены и др. В настоящее время при строительстве сооружений на таких территориях широко применяют свайные основания.

При проектировании земляного полотна дорог на болотах должны быть выполнены следующие требования:

- 1) обеспечена устойчивость основания;
- 2) установлена и по возможности снижена величина осадки;
- 3) обеспечено завершение интенсивной части осадки в заданный срок;
- 4) исключены недопустимые упругие деформации насыпей при движении транспорта.

В зависимости от типа болот для освоения заболоченных территорий устраивают насыпи. На болотах I типа — насыпи высотой более 3 м, в основании насыпи оставляют торф, который уплотняется. На основе прогноза ожидаемой осадки, полученной расчетом с учетом действующей нагрузки, мощности болотных отложений и их сжимаемости, в проекте необходимо предусматривать дополнительный объем работ по отсыпке насыпи до проектной отметки (табл. 2).

На болотах II типа, при мощности болотных отложений до 3 м, насыпь должна быть посажена на минеральное дно. Для ускорения выдавливания слабого торфа с обеих ее сторон устраивают канавы-торфоприемники.

Таблица 2

Глубина выторфовывания при возведении насыпей на болотах I типа

Высота насыпи над поверхностью болота, м	Глубина выторфовывания, м
1,2...1,5	2,0
1,5...2,0	1,5
2,0...2,5	1,0
2,5...3,0	0,5

На болотах III типа насыпи, независимо от их высоты, обязательно должны быть посажены на минеральное дно с предварительной вырезкой сплавины или вместе со сплавной. Подводная часть насыпи должна иметь откосы более пологие, чем обычно. Для придания насыпям большей устойчивости иногда целесообразно устраивать с обеих сторон banquetты-призмы, которые поддерживают их от расползания.

При проектировании насыпей на болотах особое внимание должно быть обращено на выбор грунтов, из которых они должны возводиться, и плотность их укладки в тело насыпей. Рекомендуется применять преимущественно хорошо дренируемые грунты: средне- и крупнозернистые пески, гравий, галечники, щебенистые и грубообломочные.

Важным способом улучшения территорий, заболоченных и занятых болотами, является их осушение. Это важнейшее мелиоративное мероприятие при освоении новых земель для сельскохозяйственного производства и повышения урожайности существующих угодий.

В зависимости от вида хозяйственного использования территорий их осушение должно преследовать разные цели. При подготовке территорий для разных видов строительства главная цель осушения — понизить уровень грунтовых вод на осушаемой территории и оградить ее от притока поверхностных и подземных вод. В этом случае осушение должно обеспечить благоприятные условия для выполнения строительных работ, повышения устойчивости и несущей способности горных пород и защиту подземных частей сооружений от затопления и агрессивного воздействия подземных вод. В этом случае осушение территорий является также мероприятием, ограничивающим или предупреждающим развитие тех или иных геологических процессов. При подготовке терри-

торий для застройки осушение обычно производится на значительную глубину и сочетается с регулированием поверхностного стока и планировочными работами.

При подготовке территорий для сельскохозяйственного производства главная цель осушения — устранение избыточного их обводнения, изменение водного режима почв и подпочвенных горизонтов, чтобы создать оптимальные влажностные условия для высоких и устойчивых урожаев. В этом случае осушением должны достигаться не только понижение уровня грунтовых вод и ограждение осушаемой территории от избыточного обводнения поверхностными и подземными водами, но также улучшение аэрации почв и подпочвенных горизонтов и повышение их водопроницаемости. Такое осушение сочетается с регулированием стока поверхностных вод — отводом избыточных вод с пониженных участков, задержанием их на повышенных элементах рельефа и т. д. Одновременно выполняются определенные агротехнические мероприятия.

В соответствии с целями использования территорий схема-план их осушения и применяемые способы будут различными. Принципиальная схема осушения болот и заболоченных территорий состоит из магистральных и водоотводных канав и осушителей.

Магистральная канава является наиболее ответственным сооружением, она должна обеспечивать прием и отвод всех вод, поступающих с осушаемой территории. Нельзя допускать размыва, заиления и зарастания канавы. Трасса магистральной канавы должна намечаться по наиболее пониженной части осушаемой территории или по оси наиболее пониженной части минерального дна болота. Глубина канавы может достигать 1,5...2,0 м. Сечение ее рассчитывают в зависимости от количества воды, которую она должна пропускать. Заложение откосов в торфах устойчивой консистенции принимают одинарное, в торфах неустойчивой консистенции — полуторное.

Водоотводящие канавы служат для приемки и отвода воды непосредственно из системы осушительных канав. Форма сечения и уклоны водоотводящих канав такие же, как и магистральной, а размеры и глубина обычно меньше.

Осушителями являются также канавы, но меньшего сечения, их размеры постоянны по всей длине. Осушители служат для непосредственного приема и отвода поверхностных и грунтовых вод с осушаемой заболоченной территории или болота. Трассируют их вдоль склонов заболоченных территорий и подводят к водоотводящим или

магистральным канавам. Это постоянно или временно действующие сооружения, что зависит от стадии и степени осушения болот и заболоченных территорий.

В настоящее время для осушения избыточно увлажненных сельскохозяйственных угодий широко применяют закрытые трубчатые дренажи. В качестве дрены используют гончарные трубы длиной 33 см, с внутренним диаметром 4...25 см, которые укладывают в траншеи, имеющие определенный уклон.

9. ЛЁССОВЫЕ ПОРОДЫ

9.1. Общие сведения

Лёсс — осадочная горная порода, неслоистая, однородная известковистая, суглинисто-супесчаная. Важнейший обязательный диагностический признак лёссовых пород — их макропористость. Макропоры в форме трубочек, канальцев и других видимых невооруженным глазом пустот пронизывают породу в вертикальном направлении.

Лёссовые породы водонеустойчивы, легко и быстро размокают и размываются. Поэтому в районах их распространения широко развиты овражно-балочные явления, быстро разрушаются берега рек, озер и водохранилищ, многочисленны оползни, сплывы, солифлюкционные подвижки и другие явления. Наиболее важная особенность лёссовых пород состоит в склонности их к просадкам. При замачивании без увеличения нагрузки они нередко дают значительные дополнительные осадки (просадки) провального характера, которые развиваются сравнительно быстро и неравномерны по величине на разных участках. Поэтому при строительстве сооружений всегда возникает опасность нарушения их устойчивости и сохранности из-за изменения влажностного режима лёссовых пород.

Проблема проектирования и строительства сооружений на лёссовых породах связана в первую очередь с их водонеустойчивостью и склонностью к просадкам. Основная причина просадок состоит в том, что под воздействием воды в породах разрушаются структурные связи и строение, происходят оплывание макропор и резкое доуплотнение либо только от собственного веса, либо под воздействием нагрузки от сооружения.

9.2. Мероприятия по предохранению лёссовых пород от замачивания

Для предохранения лёссовых пород от замачивания применяют:

а) планировку строительной площадки и отвод с нее дождевых и талых вод нагорными и водоотводными канавами. Главная цель этого мероприятия состоит в быстром отводе поверхностных вод со строительной площадки, недопущении их скопления на ней и в защите ее от вод, стекающих к ней с более высоких элементов рельефа;

б) устройство изоляционных покрытий как вокруг зданий и сооружений, так и внутри их, а также по днищам и откосам канав, каналов, отстойников и других сооружений для предупреждения инфильтрации поверхностных и производственных вод в толщу лёссовых пород и их замачивания в оснований зданий и сооружений и в зоне, к ним прилегающей;

в) прокладку водопроводной, паропроводной, канализационной сетей и других инженерных коммуникаций в водонепроницаемых лотках для предупреждения утечки воды и увлажнения лёссовых пород в зоне сооружений;

г) такую компоновку зданий, сооружений и подземных коммуникаций, при которой утечки воды из них не влияли бы на устойчивость соседних сооружений. При этом особое внимание обращают на расположение зданий и сооружений, связанных с водным технологическим процессом.

9.3. Мероприятия по устранению просадочных свойств лёссовых пород

Для устранения просадочных свойств лёссовых пород при их подготовке в качестве основания сооружений наиболее часто применяют следующие методы:

а) уплотнение грунтовыми сваями, трамбованием, взрывами;

б) термическое закрепление пород;

в) однорастворную силикатизацию пород;

г) частичную замену просадочной породы непросадочной путем устройства грунтовых или бетонных подушек;

д) предварительное замачивание пород и соответственно их доуплотнение до строительства сооружения.

Прочность, устойчивость и эксплуатационная пригодность зданий и сооружений, возводимых на лёссовых просадочных породах, должна обеспечиваться следующими основными мероприятиями:

- 1) предохранением лёссовых пород от замачивания;
- 2) прорезкой лёссовых пород глубокими фундаментами;
- 3) устранением просадочных свойств лёссовых пород;
- 4) применением конструкций зданий и сооружений, малочувствительных к неравномерным просадкам.

Прорезка просадочных лёссовых пород глубокими фундаментами применяется с целью передачи нагрузки от зданий и сооружений на нижележащие непросадочные породы. Прорезка может быть полной или частичной (только сильно просадочных пород) глубокими фундаментами или сваями. Частичная прорезка допускается в тех случаях, когда оставляемая часть лёссовых пород не вызовет просадки, опасной для устойчивости и сохранности сооружений.

Равномерная и незначительная осадка не нарушает прочности и устойчивости зданий. Неравномерная осадка и просадка грунтов оснований могут привести к значительным деформациям здания. Необходимо учитывать, что даже весьма значительные осадки, если они равномерны по периметру здания, безболезненно воспринимаются зданиями и сооружениями. Известны случаи, когда равномерные осадки, измеряемые десятками сантиметров, не вызывали серьезных деформаций и не препятствовали нормальной эксплуатации зданий. По чувствительности к неравномерным осадкам здания и сооружения подразделяются на малочувствительные и чувствительные.

Малочувствительными являются сооружения, которые проседают как одно пространственное целое равномерно или с креном, а также здания, элементы которых шарнирно связаны между собой.

Чувствительными к неравномерным осадкам называют конструкции, состоящие из жестко связанных между собой элементов, взаимное смещение которых может вызвать в несущих конструкциях здания значительные деформации или местные повреждения. К таким конструкциям относятся крупнопанельные здания с несущими поперечными стенами, рамы с жесткими узлами и др. В зависимости от характера развития неравномерных осадок основания и жесткости сооружения различают пять форм деформаций: крен, прогиб, выгиб (перегиб), перекос, кручение.

Из *конструктивных мероприятий* для обеспечения устойчивости и сохранности зданий и сооружений применяют такие, которые снижают их чувствительность к неравномерным просадкам:

- а) разрезку сооружений на части осадочными швами;

б) придание жесткости отдельным частям сооружения дополнительным армированием, устройством железобетонных поясов по цоколю фундаментов и по междуэтажным перекрытиям и др.; в)

уменьшение удельной нагрузки на подошву фундаментов путем увеличения их опорной площади и др.

Все перечисленные инженерные мероприятия наиболее часто применяют при проектировании и строительстве сооружений на лёссовых породах. Необходимость в их применении и выбор того или иного из них должны обосновываться материалами инженерно-геологических исследований.

10. СЕЛИ

10.1. Общие сведения

Селями следует называть происходящие на горных реках и временных водотоках паводки, несущие много твердого обломочного материала (глыб, щебня, валунов, гальки, песка) и глинистого мелкозема. Как и всякие паводки, сели внезапны и кратковременны, проходят с большими и сравнительно большими скоростями течения за несколько часов (3...5 ч), часто волнами из-за образующихся заторов, которые последовательно прорываются под напором накапливающихся масс. В таких случаях продолжительность селевых паводков возрастает иногда до 8...12 ч. Сели не являются определенной характерной чертой режима водного потока, они возникают неожиданно при стечении определенных условий, их формирующих. Поэтому, говоря о времени их образования, можно называть только наиболее вероятный период. Содержание твердого материала в селевом потоке может изменяться в широких пределах — от 10...15 до 40...60 %.

В зависимости от преобладающего состава твердого материала сели могут быть водокаменными, грязекаменными и грязевыми. Выделение последнего типа в значительной степени условно, оно указывает на то, что содержание грубообломочного материала невелико и основная масса, насыщающая поток, состоит из мелкообломочного и глинистого материала. Как показывают статистические данные, в природе образуются главным образом первые два типа селей.

Водокаменные сели имеют, в общем, очень неоднородный состав валунов, глыб, щебня, гальки, песка и небольшое содержание глинистого мелкозема, который легко вымывается из селевой массы в процессе ее передвижения и сортировки, а также из образованных селем отложений в устьях горных рек, речек и временных потоков. Нередко эти отложе-

ния представляют собой скопления наиболее грубообломочного материала — глыб, валунов и др. Плотность массы у таких селей по косвенным признакам и подсчетам изменяется от 1,16 до 1,55 т/м³.

Грязекаменные сели также имеют весьма неоднородный состав грубообломочного материала, но они отличаются повышенным содержанием глинистого мелкозема.

Сели, являясь одним из видов геологических явлений, распространены только в горных местностях. Они хорошо известны в Карпатах, Крыму, на Северном Кавказе и в Закавказье, во всех горных районах Средней Азии, в Прибайкалье и Забайкалье, в горных районах Дальнего Востока.

Наблюдения показывают, что долину наиболее селеопасных рек можно разделить на три части.

1. Верхняя часть (верховья реки), где долина расширена и по форме представляет собой полуцирк с крутыми (от 30...40 до 50...60°) участками, отвесными склонами, покрытыми осыпями, каменными россыпями со следами обвалов и разнообразных оползневых подвижек. Склоны часто расчленены глубокими промоинами, оврагами и логами, по которым со всех сторон стекают дождевые и талые воды, образующие основной поток. Это главная часть водосборного бассейна реки, здесь в основном и формируется селевый паводок. Площадь этой части водосбора может быть различной — от нескольких до многих десятков квадратных километров. Уклоны русла основного потока здесь достигают 30...50°.

2. Средняя (транзитная) часть долины, представляющая собой каньон, ущелье или узкую с крутыми и высокими склонами часть долины. Уклон русла реки сохраняется большим — до 25...30°. Река и в межень здесь часто занимает все днище долины, стекая одним потоком или несколькими среди нагромождений глыб, валунов и более мелкого обломочного материала. В паводок насыщение потока обломочным материалом частично происходит и здесь за счет размыва русла реки, склонов долины и накоплений в их основании.

3. Нижняя (приустьевая) часть долины, постепенно переходящая в предгорную равнину или межгорную впадину. Эта часть долины представляет собой главным образом область выноса и накопления пролювиального материала. Здесь уклоны продольного профиля долины резко выполаживаются и живая сила потока ослабевает.

10.2. Факторы, способствующие образованию селей

Основных факторов четыре:

1. Климатические и микроклиматические условия района, с которыми связано неравномерное распределение осадков, образование ливней, накопление снега и ледников и бурное их таяние в определенные летние периоды.

2. Геоморфологические условия, определяющие размеры и форму водосборных бассейнов, высотное их положение, уклоны поверхностей рельефа и строение долин горных рек и временных водотоков.

3. Геологические условия, определяющие накопление рыхлого материала в водосборных бассейнах или в некоторых их частях, развитие разнообразных геологических процессов (выветривания, гравитационных и др.), участвующих в образовании этого материала, а также древние, новейшие и современные тектонические движения.

4. Деятельность человека, вызывающая нарушение естественных природных равновесий на водосборах.

Причиной же селевых процессов, их движущей силой, являются паводки — интенсивный поверхностный сток в результате ливней, бурного таяния снега и ледников в горах, а иногда прорывы вод из естественных и искусственных водоемов.

Стекая с большими скоростями со склонов, селевые потоки смывают и размывают рыхлый материал, концентрируются вначале в малые, а затем в большие потоки с нарастающей живой силой, формируют поток (паводок) на основном водотоке. Движение селевых паводков обычно имеет заторный характер вследствие образующихся завалов (заторов), которые прорываются под напором накапливающихся масс и затем волнами-валами распространяются вниз по течению дальше, разрушая на своем пути все препятствия. Завалы из грубообломочного материала, стволов деревьев и т. д. обычно образуются в сужениях долины, ущельях, местах резких поворотов долины, зоне обвалов, оползней и др. В расширенных участках долин, приустьевых частях, местах выхода горных долин на предгорные равнины или в межгорные впадины, где скорости потоков резко уменьшаются, происходит накопление и нагромождение обломочного и глинистообломочного материала, образующего пролювиальные отложения.

10.3. Мероприятия по защите от селей

Переходя к рассмотрению вопроса о выборе мероприятий по защите от селевых явлений, следует заметить, что в каждом конкретном случае должен быть индивидуальный подход, зависящий от размера, формы и

высотного положения водосборного бассейна, условий водного питания селя, расположения участков и очагов накопления твердого материала и других условий формирования селевого паводка. Важно также учитывать возможный масштаб явления и государственное значение защищаемых территорий и объектов.

В комплекс селезащитных мероприятий входят:

- 1) организация службы режимных наблюдений в пределах водосборного бассейна и селеопасного района;
- 2) устройство охранных зон;
- 3) выполнение лесомелиоративных работ;
- 4) выполнение работ по регуляции поверхностного стока на склонах водосборного бассейна;
- 5) сооружение регулирующих и улавливающих сооружений в руслах потоков;
- 6) строительство каналов, селеспусков и других сооружений для организованного пропуска селевых паводков;
- 7) строительство защитных, ограждающих сооружений;
- 8) выполнение разнообразных профилактических работ.

11. ЛАВИНЫ

11.1. Общие сведения

Снежные лавины — одно из стихийных природных явлений, способных вызвать гибель людей и причинить значительные разрушения. Среди прочих опасностей лавины выделяются тем, что причиной их обрушения может стать деятельность человека. Непродуманное природопользование в горных регионах (вырубка лесов на склонах, размещение объектов на открытых, подверженных воздействию лавин территориях), выход на заснеженные склоны людей, сотрясения снежной толщи от техники приводят к активизации лавинной деятельности и сопровождаются жертвами и материальным ущербом.

11.2. Прогнозирование лавинной опасности

Основным моментом в снижении возможных негативных последствий от схода лавин является своевременный прогноз лавинной опасности. В настоящее время применяется три вида прогнозов лавинной опасности — фоновый мелкомасштабный для горной территории, фоновый крупномасштабный для горного бассейна или группы лавиносборов и детальный для заданного лавиносбора или лавиноопасного склона (локальный прогноз).

Необходимость организации противолавинной защиты определяется масштабами распространения явления: площадь лавиноопасных территорий в Российской Федерации составляет 3077,8 тыс. км² (18 % от общей площади страны), а еще 829,4 тыс. км² относятся к категории потенциально лавиноопасных. Всего же на Земле лавиноопасные районы занимают около 6 % площади суши — 9253 тыс. км².

Лавинный прогноз предполагает заблаговременное определение некоторого временного интервала, в течение которого снегонакопление и процессы метаморфизма могут привести к нарушению устойчивости

снежного покрова и образованию лавин. Он тесно связан с прогнозом метеорологических условий, так как вид, интенсивность выпадения и количество атмосферных осадков, метелевый снегоперенос, температура и влажность воздуха и другие характеристики метеорологических условий непосредственно влияют на состояние и устойчивость снежного покрова.

Фоновый прогноз заключается в оценке лавинной опасности в рассматриваемом горном районе и выдается в виде «лавиноопасно» или «нелавиноопасно». Дается лишь текущая оценка лавинной опасности. **Локальный прогноз** предусматривает определение показателей устойчивости снежного покрова в зоне зарождения лавин конкретного лавиносбора и времени до предполагаемого самопроизвольного схода лавин, оценку вероятного объема и дальности выброса лавины, выбор оптимальных условий для ликвидации лавинной опасности путем искусственного спуска лавины.

Все лавинообразующие факторы можно разделить на две группы — постоянные и переменные. К *постоянным факторам* относятся: топографическая ситуация на рассматриваемой территории, ориентация склона относительно Солнца и ветра, конфигурация поверхности, шероховатость поверхности. К *переменным факторам* относятся: погода (осадки, тепловые условия), условия в старом снежном покрове. Влияние на процесс лавинообразования может оказывать и сочетание этих факторов.

Для качественной оценки вероятности схода лавин оценивают 10 основных лавинообразующих факторов: высота старого снега; состояние старого снега и его поверхности; вид свежеснеговывпавшего снега; плотность свежеснеговывпавшего снега; интенсивность снегопада; количество и интенсивность выпадения осадков; оседание снега; ветер; температура.

На основании лавинообразующих факторов в зависимости от имеющейся информации и желаемого результата используют различные методы прогноза лавинной опасности. На сегодня в России наибольшее распространение получили следующие методы прогноза лавинной опасности.

Метод прямого (полевого) определения лавинной опасности основан на регулярных снеголавинных наблюдениях с изучением стратиграфии снежной толщи, замеры толщины снежного покрова, определение физико-механических свойств снега: плотности, временного сопротивления сдвигу и разрыву, твердости, предела прочности и др. Измерения проводятся в непосредственной близости от лавинных очагов на безо-

пасных участках, имеющих сходные с лавиноопасными склонами параметры (крутизна, экспозиция).

Простейшая статистическая обработка данных наблюдений позволяет установить эмпирические зависимости, позволяющие, используя результаты измерений, определить возможность обрушения лавин (табл. 3).

Таблица 3

Классификация лавинной опасности

Размер лавины	Потенциальный эффект	Порядок величин		
		Превышение лавиносбора, м	Объем лавины, м ³	Давление лавины, тс/м ² (Па)
Маленький осов (рыхлый снег)	Может сбить человека с ног, частично засыпать	10	1...10	0,1 (10 ³)
Небольшая лавина	Ломает ветки деревьев, выдавливает окна, может ранить, засыпать и убить человека	10...10 ²	10...10 ²	0,1 (10 ³)
Средняя лавина	Ломает молодые деревья, деревянные здания, автомашины	10 ²	10 ³ ...10 ⁴	1,0 (10 ⁴)
Большая лавина	Валит старый лес, разрушает каменные сооружения и металлические конструкции	10 ³	10 ⁵ ...10 ⁶	10 (10 ⁵)
Гигантская лавина	Выпахивает русла, разрушает железобетонные сооружения	10 ³ ... 5·10 ³	10 ⁷	100 (10 ⁶)

Детерминистский метод используется для расчета устойчивости снежного покрова на склоне. Путем наблюдений получают критические значения толщины слоя снега, сцепления у нижней границы слоя, предельного угла наклона склона. При учете метеорологических характеристик определяется время наступления лавинной опасности.

Метод дистанционного контроля лавинной опасности основан на регистрации сигналов акустической эмиссии в снежном покрове. Устойчивость снежного покрова оценивают с использованием информации о медленном сползании снега, поставляемую специальным датчиком.

Метод распознавания образов заключается в наборе значений конечного числа, характеризующих снежно-метеорологическую ситуацию, по которым строится некий образ. Для целей прогноза лавинной опасности выделяются два класса образов: класс лавиноопасных и нелавиноопасных ситуаций. На основании сопоставления полученного образа с эталоном соответствующего класса делается прогноз.

Синоптический (стандартный) метод относится к фоновым прогнозам лавинной опасности. Основан на сопоставлении статистической информации о сходах лавин с синоптическими ситуациями и связанными с ними погодными условиями.

Графический метод предполагает нанесение на график изолиний вероятности схода лавин, которые строят на основе суммарного количества осадков за снегопад, дни холодной и теплой погоды. Полученные изолинии сопоставляют с изолинией нулевой вероятности схода лавин.

Регрессионный анализ основан на использовании эмпирических формул для разных генетических типов лавин и определении времени схода лавин. Для расчета возможного количества лавин для оценки их максимального объема используют метод множественной регрессии.

Дискриминантный анализ применяется для разделения ситуаций на лавиноопасные и нелавиноопасные во время снегопадов и метелей. Для этого используют текущие значения снежно-метеорологических характеристик.

Метод ближайших соседей основывается на базе данных погодных условий. Осуществляется автоматическая классификация типов погоды и распознавание лавинных ситуаций по значениям основных лавинообразующих факторов для разных очагов. В качестве основного показателя определяется время схода лавин, возможно прогнозирование других характеристик лавин: поверхности скольжения, вида снега, вида пути, высоты отрыва лавины.

Балльная система рассматривает влияние определенных факторов и их сочетаний на вероятность схода лавин. Каждому фактору приписывают определенное количество баллов по степени обуславливаемой им опасности. Результат суммирования баллов может сравниваться с одним пороговым значением, разделяющим ситуации на лавиноопасные и нелавиноопасные (альтернативный прогноз), или несколькими, после чего определяется степень лавинной опасности.

Экспертные системы основаны на образовании, опыте, интуиции экспертов, их способности оценить неучтенные на текущий момент про-

гностическими технологиями факторы и выявить ведущий, чтобы принять быстро и правильно решение.

Долгосрочный прогноз лавинной опасности основан на установлении аналитической связи между климатическими характеристиками (температурой воздуха, осадками), рассчитанной моделью и лавиноиндикационными показателями (толщиной снежного покрова, продолжительностью его залегания, количеством твердых осадков, числом дней с интенсивными снегопадами и с оттепелью).

Параллельное и последовательное использование различных методов позволяет получать оптимальные результаты прогноза лавинной опасности.

11.3. Мероприятия по борьбе с лавинами

Все мероприятия по борьбе с лавинообразованием делятся на три группы: профилактические, лавинопредотвращающие и лавинозащитные. К *профилактическим* относятся: организация службы наблюдения, прогноза и оповещения схода лавин, прекращение работ и доступа людей в лавиноопасные зоны на время схода лавин и эвакуация людей из опасной зоны, искусственно регулируемый сброс лавин. К *лавинопредотвращающим* относятся: системы снегоудерживающих сооружений (заборы, стены, щиты, решетки, мосты), системы снегозадерживающих забров и щитов, снеговыводящие панели, кольктафели. К *лавинозащитным* относятся: направляющие сооружения (стенки, искусственные русла, лавинорезы, клинья), тормозящие и останавливающие сооружения (надолбы, холмы, траншеи, дамбы, пазухи), пропускающие сооружения (галереи, навесы, эстакады).

Выбор противолавинных комплексов сооружений и мероприятий следует производить с учетом режима и характеристик лавин и снегового покрова в зоне зарождения, морфологии лавиносбора, уровня ответственности защищаемых сооружений, их конструктивных и эксплуатационных особенностей.

Противолавинные сооружения следует рассчитывать с учетом следующих основных характеристик: высоты снегового покрова с вероятностью превышения 1...5 % (в зависимости от уровня ответственности защищаемого объекта); статического и динамического давления сползающего снега; скорости движения лавин в месте установки сооружений; давления лавин на сооружения; высоты фронта лавин.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В пособии рассмотрены опасные и неблагоприятные процессы, встречающиеся при градостроительном освоении территории. В качестве основной причины неблагоприятных процессов отмечено гидрогеологическое строение рассматриваемого участка. Для выявления опасности природных процессов необходимо изучить: тип и физико-механические свойства грунтов; уровень грунтовых вод; цель строительства на рассматриваемой территории. Многие из рассматриваемых процессов вызваны либо активизируются при неблагоприятном и неграмотном воздействии человека на среду. К таким процессам относятся: обвалы, карст, эрозия, затопление и заболачивание местности, просадка и др.

После установления опасного процесса необходимо разработать комплекс мероприятий в соответствии с целями использования территории и существующими гидрогеологическими и климатическими условиями. Но прежде всего необходимо четко определить причину или причины, вызвавшие опасный процесс, и устранить их. Эффективность предлагаемых и реализуемых мероприятий по инженерной защите территории от опасных процессов оценивается сопоставлением затрат, необходимых на реализацию мероприятий, и ущерба, наносимого территории. Причем ущерб может быть как прогнозируемым, так и уже сложившимся в виде затрат на устранение последствий после прошедшего опасного процесса.

Таким образом, своевременная диагностика возможного опасного процесса на территории, детальное изучение причин, вызвавших данный процесс, и обоснованная разработка мероприятий инженерной защиты территории от опасных процессов позволит избежать колоссальных затрат на устранение последствий от процесса и защитить территорию и население.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Королев, В. А.* Инженерная защита территорий и сооружений : учебное пособие / В. А. Королев — М. : ИД КДУ, 2013. — 484 с.
2. *Ананьев, В. П.* Инженерная геология : учебник / В. П. Ананьев, А. Д. Потапов — М. : Высшая школа, 2000. — 511 с.
3. *Бондарик, Г. К.* Инженерная геодинамика : учебник / Г. К. Бондарик, В. В. Пендин, Л. А. Ярг. — М. : ИД КДУ, 2007. — 440 с.
4. *Иванов, И. П.* Инженерная геодинамика : учебник / И. П. Иванов, Ю. Б. Тржцинский. — СПб : Наука, 2001, — 416 с.

Учебное электронное издание

Растяпина Оксана Анатольевна

**ИНЖЕНЕРНОЕ ОСВОЕНИЕ
И ЗАЩИТА ТЕРРИТОРИИ
ОТ ОПАСНЫХ ПРОЦЕССОВ**

Учебное пособие

Начальник РИО *М. Л. Песчаная*

Редактор *И. Б. Чижикова*

Компьютерная правка и верстка *А. Г. Сиволобова*

Минимальные систем. требования:

PC 486 DX-33; Microsoft Windows XP; Internet Explorer 6.0; Adobe Reader 6.0.

Подписано в свет 03.06.2015.

Гарнитура «Cambria». Уч.-изд. л. 2,5. Объем данных 2,7 Мбайт.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего профессионального образования

«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»

Редакционно-издательский отдел

400074, Волгоград, ул. Академическая, 1

<http://www.vgasu.ru>, info@vgasu.ru