

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Сибирский федеральный университет

**ГЕОЛОГИЯ**  
**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ**

Учебно-методическое пособие

*Электронное издание*

Красноярск  
СФУ  
2015

УДК 624.131.1(07)  
ББК 38.115я73  
Г360

Составители: Кропанина Марина Петровна  
Вальд Александр Карлович

Г360 **Геология.** Инженерно-геологические процессы и явления : учеб. метод. пособие [Электронный ресурс] / сост. : М. П. Кропанина, А. К. Вальд. – Электрон. дан. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2015. – Систем. требования: PC не ниже класса Pentium I; 128 Mb RAM; Windows 98/XP/7; Adobe Reader V8.0 и выше. – Загл. с экрана.

Предназначено для студентов очной формы обучения направления 270100 «Строительство», профиль 130101.65 «Прикладная геология».

**УДК 624.131.1(07)**  
**ББК 38.115я73**

© Сибирский  
федеральный  
университет, 2015

Электронное учебное издание

Подготовлено к публикации СЭИ РИО БИК

Подписано в свет 25.05.2015. Заказ № 1273  
Тиражируется на машиночитаемых носителях

Издательский центр  
Библиотечно-издательского комплекса  
Сибирского федерального университета  
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79  
Тел/факс (391)206-21-49, 206-26-59  
E-mail rio@sfu-kras.ru, <http://rio.sfu-kras.ru>

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. СОДЕРЖАНИЕ, ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ .....	5
2. ПРИЧИНЫ, УСЛОВИЯ И ФАКТОРЫ РАЗВИТИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ .....	6
2.1. Роль горных пород в развитии геологических процессов.....	7
2.2. Влияние тектоники и неотектоники на геологические процессы .....	9
2.3. Геоморфологические условия при проявлении развития геологических процессов.....	9
2.4. Роль подземных воды в геологических процессах .....	10
3. КЛАССИФИКАЦИЯ И КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НЕКОТОРЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ. 11	
3.1. Новейшие и современные тектонические движения. Сейсмические явления .....	12
3.2. Вулканизм .....	14
3.3. Выветривание .....	16
3.4. Процессы зон вечной мерзлоты (криогенные и посткриогенные) .....	19
3.5. Процессы, связанные с геологической деятельностью ветра (эоловые) .....	22
3.6. Абразивные процессы.....	23
3.7. Береговая и донная эрозия рек и ручьев (геологическая деятельность постоянных поверхностных водотоков) .....	24
3.8. Образование оврагов.....	24
3.9. Селевые процессы .....	25
3.10. Геологическая деятельность болот и заболачиваемость .....	27
3.11. Пылуны.....	27
3.12. Суффозия и оползневые процессы (геологическая деятельность подземных вод) .....	28
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	38
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	39

## ВВЕДЕНИЕ

Настоящее пособие имеет цель дать студентам основы знаний по естественным геологическим процессам и явлениям (процессам, протекающим в природной среде, в горных породах, например суффозия, где результатом процесса - явлением является оползень), которые изучает динамическая геология, и инженерно-геологическим процессам и явлениям, вызванным инженерной деятельностью человека.

Пособие представляет отдельные разделы учебных дисциплин «Поиски и разведка подземных вод и инженерно-геологические изыскания», «Общая гидрогеология», «Гидрогеология и инженерная геология» для студентов горно-геологических специальностей и «Геология» для студентов инженерно-строительных специальностей.

Исследованием инженерно-геологических процессов занимается инженерная геодинамика, которая является, наряду с грунтоведением и региональной инженерной геологией, основным из трех разделов инженерной геологии. Именно *инженерная геодинамика*, предметом которой являются знания о законах и закономерностях возникновения природных и антропогенных (техногенных, инженерно-геологических) геологических процессов и явлений в результате взаимодействия геологической среды с другими средами, изучает морфологию, механизм, причины и закономерности развития этих процессов. Все геологические процессы представляют огромный интерес в инженерном аспекте в связи с их влиянием на жизнь и деятельность человека, на устойчивость природно-технических систем и разного рода сооружений. Широкое развитие и распространение разных геологических процессов и явлений вызывает необходимость учета их влияния при рациональном использовании территорий, их защиты и охраны геологической среды, жизни и деятельности человека от опасного проявления и влияния процессов, а также их прогноза. Условия строительства сооружений на территориях с различными геологическими процессами специфические, в каждом отдельном случае регламентируются специальными строительными нормами и правилами. Инженер-геолог решает эти проблемы, только зная теорию геологических процессов как компонента геологической системы, закономерности, причины и условия развития процессов, основы и методы их прогнозирования, теоретическое обоснование и методы управления геологическими процессами.

Проблема изучения инженерно-геологических процессов и явлений заключается в разработке основ и методов их прогнозирования с целью предотвращения или уменьшения вредного влияния этих процессов на геологическую среду, хозяйственную деятельность и жизнь людей. То есть, является существенной частью проблемы охраны и рационального использования природной среды.

## 1. СОДЕРЖАНИЕ, ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Инженерная геодинамика в отличие от динамической геологии учитывает влияние на геологические процессы деятельности человека и наоборот, а также изучает процессы, возникшие в результате инженерно-хозяйственной деятельности. Геологические процессы и явления в различной степени влияют на решение тех или иных инженерно-геологических задач. Взаимодействие геологической среды с другими средами и условиями проявляется в геологических процессах. Совокупность геологических процессов и явлений создает геодинамическую обстановку любой территории, которая и определяет хозяйственную деятельность. Изучение инженерно-геологических процессов и явлений, отражающих динамику геологической среды, т.е. геодинамическую обстановку территорий, позволяет решать вопросы рационального использования и охраны природы, строительства сооружений в особых геологических условиях и разрабатывать теоретические основы охраны территорий и прогноза геологических процессов и явлений. Конечными задачами при изучении геологических процессов (как раздела инженерной геодинамики) следует считать разработку таких вопросов как:

- 1) закономерности возникновения и распространения разнообразных геологических (в большей мере экзогенных) процессов и явлений, природных и связанных с хозяйственной деятельностью человека;
- 2) динамика различных процессов, формы проявления и обусловленность природными или искусственными факторами;
- 3) качественные и количественные методы оценки возможного влияния геологических процессов на устойчивость территорий, сооружений и условия их эксплуатации;
- 4) теоретические основы прогноза угрозы геологических процессов и явлений с целью управления их развитием, предупреждая возникновение;
- 5) методика инженерно-геологических исследований для обоснования проектов защитных инженерных мероприятий.

Методы исследования инженерно-геологических процессов и явлений следующие: метод непосредственного наблюдения, например, наблюдение современных процессов; исторические (исследование документов геологических процессов - минералов, горных пород, геологических тел, геологических структур); экспериментальные (моделирование); расчетно-теоретические.

## 2. ПРИЧИНЫ, УСЛОВИЯ И ФАКТОРЫ РАЗВИТИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Каждый природный процесс имеет определенные причины возникновения и закономерности в своем развитии. Основная причина – это геологическая деятельность природных факторов и человека. Геологические процессы и явления приурочены к определенному типу пород, к широтным и высотным зонам и развитие их стадийное (подготовка, возникновение, активная жизнь процесса, затухание, восстановление устойчивости территории). Они зависят не только от причины их вызвавших (действие какого-то геологического фактора), но и от условий и факторов развития. При их изучении учитываются те силы, которые обуславливают их возникновение и развитие. Эту взаимосвязь отметил и описал Ф.П. Саваренский (основоположник инженерной геологии) в 1937 г (Емельянова, 2009). Например, для развития карста необходимо наличие растворимых горных пород (условие), движущихся подземных и поверхностных вод (фактор). При этом вода должна иметь растворяющую способность, т.е. определенный химический состав, растворяющееся вещество должно выноситься, т.е. должна быть зона выноса и т.д. Для развития геологической деятельности ветра и пылунов необходимо, как минимум, наличие песков, для возникновения просадок - лёссовые породы, пучения - глинистые породы и т.д. Природная обстановка, которая изучается для нужд хозяйственной деятельности человека, включает в себя физико-географические, климатические и геологические условия, компоненты которых являются или условиями или факторами развития процессов. Некоторые геологические процессы и явления выступают в роли фактора развития, возникновения, активизации тех или иных инженерно-геологических процессов и явлений - это факторы, компоненты инженерно-геологических условий. Например, процесс выветривания способствует развитию оползней, обвалов, селей и других процессов. Суффозия ослабляет массив пород и способствует развитию провалов, оползней и т.д. Факторы естественные или искусственные могут облегчать действие причин или сдерживать их. Например, неотектонические движения, особенно поднятия, в основном активизируют процессы (например, эрозию), но сдерживают заболачивание.

Факторами, определяющими развитие экзогенных геологических процессов, являются: *геологическое строение и геоморфология территории (постоянные факторы); современные неотектонические движения и климат (медленно-заменяющиеся независимые факторы); изостатические и эвстатические изменения; геокриологические; гидрогеологические; растительные; почвенные (медленно-заменяющиеся произвольные); метеорологические; гидрологические сейсмические и техногенные (быстроизменяющиеся независимые); поверхностный сток; влажность и льдистость пород; сезонные промерзания и оттаивания; прочностные и деформационные свойства горных пород (быстроизменяющиеся производные).*

Современные геологические процессы и явления являются одним из важнейших компонентов инженерно-геологических условий и представляют собой наиболее быстро развивающийся, изменяющийся компонент, обуславливающий динамичность всей системы. Таким образом, при оценке, изучении геологических процессов и явлений, их влияния на хозяйственную деятельность человека, инженерно-геологические условия должны изучаться как система взаимосвязанных компонентов. Кроме того, последние должны оцениваться как результат этапов геологического развития территорий. Знание геологической истории любого региона может объяснить особенности их инженерно - геологических условий и поможет составить прогноз изменения компонентов геологической среды под влиянием антропогенеза. Под *инженерно-геологическими условиями* понимают совокупность компонентов геологической среды территорий, важных для решения проблем строи-

тельства сооружений и рационального использования территорий. Г.К. Бондарик (1986) определяет инженерно-геологические условия как «такие свойства геологической среды и такие происходящие в ней процессы, которые оказывают влияние на принятие тех или иных решений, определяющих размещение сооружений, выбор их типов и конструкций, способов строительства, методов эксплуатации, способов оптимального управления геологической средой». *Компонентами* инженерно-геологических систем, которые могут быть либо условиями, либо факторами развития геологических и инженерно-геологических процессов являются *горные породы, тектоника и неотектоника, геоморфологические условия, подземные воды*, а также собственно геологические и инженерно-геологические процессы и явления. Недооценка, недоизученность условий не позволяет успешно решать все задачи инженерно-геологической оценки геологических процессов. Это, к сожалению, часто вызывает активизацию процессов, деформации сооружений, возникновение новых процессов, иногда гибель людей.

## 2.1. Роль горных пород в развитии геологических процессов

Главным компонентом при оценке всех геологических процессов и явлений являются горные породы, так как именно в них происходят все эти процессы. С их особенностями, характеристиками связаны масштабы, типы, динамика, механизм, скорость развития геологических процессов. Основными задачами изучения горных пород для оценки и прогнозирования геологических процессов должны быть следующие:

1. Определение генезиса и возраста пород, определяющих общие черты геологического строения, форму и размеры тел, их вещественный состав и изменчивость.
2. Изучение истории геологического развития.
3. Изучение строения разреза и условий залегания пород.
4. Изучение текстуры, структуры, минерального и петрографического состава пород, их состояния и физико-механических свойств.
5. Разделение геологического разреза на геологические тела разных категорий.

Возраст и генезис пород обуславливают степень литификации, состав, текстуру, структуру, и, следовательно, физико-механические свойства. Более древние породы, обычно, более плотные, прочные, чем породы того же типа, но более молодые. Одинаковые литологические типы пород, имеющие разный генезис, различаются многими характеристиками. Например, эоловые пески хорошо отсортированы, однородные, мелкозернистые, окатанные, имеют хорошую водопроницаемость по всей территории залегания. Аллювиальные пески разномышечные, с пылеватыми и глинистыми фракциями, косослоистые, с неоднородным составом по территории распространения, обладают худшей водопроницаемостью. В аллювиальных песках активнее, чем в эоловых песках развиваются процессы суффозии, пльвуны, уплотнение. Горные породы претерпевают различные преобразования под влиянием постгенетических процессов (в первую очередь катагенеза и гипергенеза), что также необходимо учитывать, так как в результате этого изменяются их состав и свойства. Важной характеристикой горных пород являются строение разреза и условия залегания пород, то есть характер чередования слоев, элементы залегания слоев, мощность пород одного возраста, генезиса, типа (Сергеев, 1979). Один тип строения разреза и условий залегания пород может быть благоприятным для развития одних геологических процессов и менее благоприятным для других.

Рисунок 1 наглядно показывает, что прохождение подземного сооружения при нарушенном залегании пород осложнит их производство при проходке и креплении.

Наклоны водоупорных слоев при наличии грунтовых вод при одновременном действии суффозии и развития условия для оползневых процессов, способствуют развитию

оползней. Последствия возникновения и развития оползней могут быть катастрофически. Например, оползень в Италии в 1963 году за 7 минут снес 5 небольших городов, погибло порядка 3000 человек (Т.Я. Емельянова, 2009). Крутой берег Лагерного сада в г. Томске в 80-х годах 20 столетия за счет образования оползня подступил в одночасье к университетским зданиям на 80 метров. Структура и текстура горной породы обуславливают ее прочность, сжимаемость, водопроницаемость, устойчивость к процессам выветривания. Зная характер структуры и текстуры породы, можно косвенно судить о ее свойствах и сделать прогноз поведения породы при внешних воздействиях.

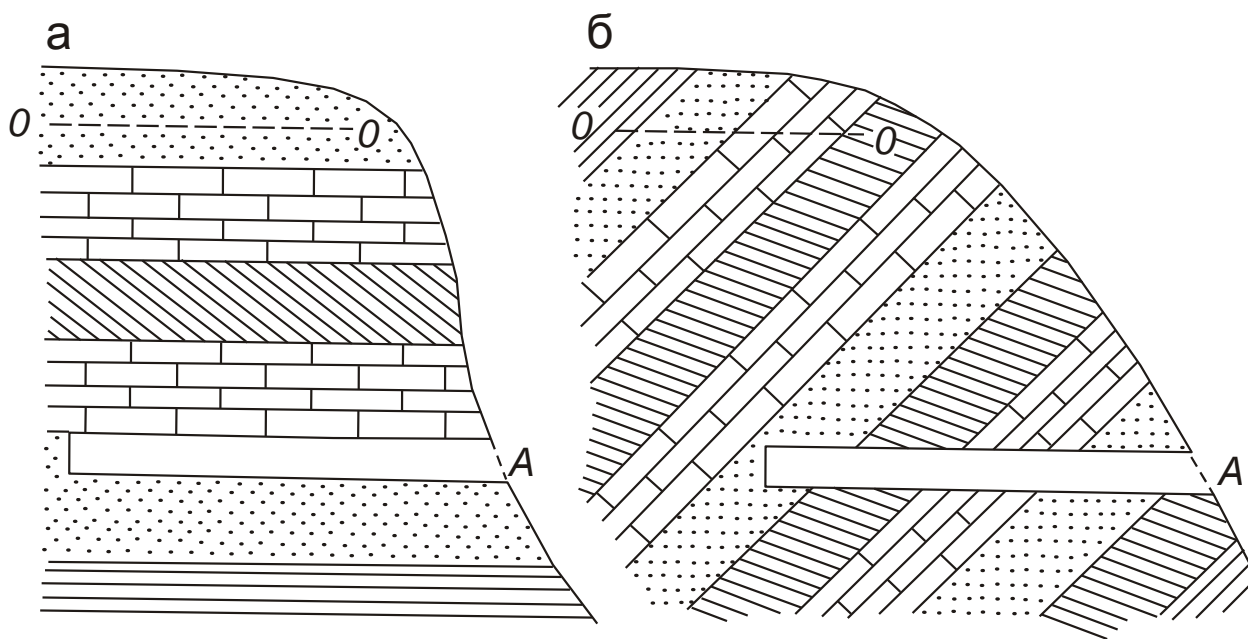


Рис. 1. Схема условий залегания пластов для строительства:  
 а – ненарушенное; б – нарушенное; 0-0 – плоскость основания наземного сооружения;  
 А – подземное сооружение (тоннель)

Состав пород является очень важной характеристикой, влияющей на развитие геологических процессов их типы, механизм, скорость и активность развития, способы борьбы с процессами. Кроме того, состав пород обуславливает характер других факторов инженерно-геологических условий. Минеральный состав пород является условием развития таких процессов как карст, набухание в глинистых грунтах. Особенности минерального состава являются и фактором, сдерживающим или активизирующим развитие многих процессов. В большей степени минеральный состав влияет на свойства и поведение песчано-глинистых пород. Например, кварцевый песок несжимаемый, стойкий по отношению к воде; глауконитовый песок - сжимаемый, пористый. Монтмориллонитовые глины набухают при взаимодействии с водой, они сильно сжимаемые. Каолинитовые глины не набухают, обладают слабой водопроницаемостью. Наличие органического вещества в горной породе приводит к увеличению пластичности глинистых пород, снижению их водопроницаемости; в песчаной породе в таком случае увеличивается возможность развития пльвунных процессов. Петрографический состав, структура и текстура, особенно крупнообломочных и песчано-глинистых пород, является условием развития таких геологических процессов, как суффозия, пльвуны, пучение, солифлюкция и другие. Изменчивость петрографического состава пород изучаемой территории обуславливает изменчивость физико-механических свойств (пористости, сжимаемости, пластичности, прочности и др.), что может влиять на диффе-

ренциацию активности, скорости, масштабов, характера развития на этой территории геологических процессов.

## **2.2. Влияние тектоники и неотектоники на геологические процессы**

Тектонические структуры, складчатые и разрывные, разных порядков от крупных региональных до малых, размерами в несколько метров, древние и новейшие, их развитие и современная подвижность являются объектами специализированного инженерно-геологического изучения. Тектонические структуры существенно влияют на:

- общую раздробленность массива пород, его прочность, деформируемость, водопроницаемость, сопротивляемость выветриванию и размываемость поверхностными и подземными водами, а также фильтрационными потоками;
- неравномерное распределение и режим подземных вод, на образование повышенной локальной обводненности, что отражается на развитии карстовых, оползневых и суффозионных процессов;
- распределение естественных напряжений, создание очагов их концентрации в массивах пород и на характер движения и затухания сейсмических волн;
- создание ослабленных зон и приуроченность к ним овражной и речной систем, обвально-оползневых геологических явлений и др.;
- возникновение оползней, вывалов и других обрушений и деформаций пород на склонах и на откосах открытых карьеров, котлованов и в подземных выемках при соответствующем соотношении в ориентации залегания пород и трещин с размерами и расположением выемок;
- устойчивость подпорных плотин и других инженерных сооружений, например, в случае падения пород или тектонической зоны вниз по реке.

Влияние тектонических разрывов на инженерно-геологические условия многообразно, например, в горно-складчатых областях к зонам надвигов и сбросов приурочены подземные воды, сейсмичность, крупные обвалы и оползни. Важнейшую роль играют в инженерной геодинамике трещиноватость и естественное напряженное состояние горной породы. Трещиноватость существенно влияет на интенсивность выветривания, на развитие абразионных карстовых, оползневых и других процессов.

## **2.3. Геоморфологические условия при проявлении развития геологических процессов**

Изучение рельефа в инженерной геологии состоит в детальном его расчленении на элементы по возрасту, генезису, строению, морфологии и другим признакам. В геоморфологических элементах отражены основные черты геологической среды, истории ее развития, климатические и гидрологические факторы, техногенное воздействие, поэтому геоморфологические условия могут использоваться как индикаторы современного состояния территории и его дальнейшего изменения. Все элементы рельефа изучаются с инженерно-геологической точки зрения для:

- выяснения тектонических и неотектонических структур, поскольку основной облик рельефа территории создается эндогенными движениями;

- выяснения и прогнозирования различных геологических процессов и явлений. Определенные типы долин указывают на характер эрозии, наличие понижений на развитие карста или просадочно-суффозионных процессов и т.д.;
- выяснения влияния на характер обводненности территории, режим вод;
- предварительной оценки состава и физико-механических свойств пород;
- общей оценки характера рельефа и его влияния на инженерную деятельность человека.

Недоизученность, недооценка геоморфологических условий может влиять на неудачный выбор места для размещения сооружений, их деформации в результате развития, активизации геологических процессов и явлений.

## **2.4. Роль подземных воды в геологических процессах**

Подземные воды (гидрогеологические условия) - один из важнейших компонентов инженерно-геологических условий. Подземные воды и горные породы образуют единую динамическую взаимосвязанную систему, они в значительной степени определяют развитие геологических процессов - главного компонента геологической среды. Подземные воды играют большую роль в развитии геологических процессов как причина (карст, болота, наледи, суффозия, пльвуны), условия и факторы развития. Основными характеристиками гидрогеологических условий, изучаемыми в инженерно-геологических целях, являются:

- гидрогеологическое строение территории;
- глубина залегания грунтовых вод;
- их режим, связь с нижележащими водоносными горизонтами, гидростатические напоры, фильтрационные параметры, направления и скорости движения подземных вод;
- их химический состав и агрессивные свойства по отношению к горным породам и строительным материалам.

Подземные воды определяют развитие геологических и инженерно-геологических процессов и явлений; снижают прочность пород, ухудшают их физико-механические свойства; создают гидростатическое и гидродинамическое давление в породах, влияют на естественное напряжение пород; агрессивные воды разрушают фундаменты сооружений; обуславливают прорывы в подземные выемки, шахты, карьеры и котлованы.

Оценка водного баланса массивов пород необходима для количественного прогноза интенсивности многих процессов во времени и для обоснования эффективности дренажных и других защитных мероприятий.

### 3. КЛАССИФИКАЦИЯ И КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НЕКОТОРЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ

Классификация – это разделение множества процессов и явлений на классы по определенному, общему для каждого класса признаку. Все классификации объединяются в четыре группы: 1) общие; 2) частные; 3) специальные; 4) региональные.

*Общие классификации* составлены для всех геологических и инженерно-геологических процессов и явлений в целом, по причине их развития. *Частные классификации* - это классификации конкретного процесса или явления. *Специальные классификации* - это классификации одного процесса для определенных целей (для строительства), для решения конкретных задач. *Региональные классификации* - это классификации процессов и явлений, отражающих особенность определенных регионов.

Первую общую классификацию инженерно-геологических процессов и явлений составил Ф.П. Саваренский (Т.Я. Емельянова, 2009), она была основана на генезисе процессов. В дальнейшем эта классификация дорабатывалась разными исследователями (И.В. Попов, Н.В. Коломенский, В.Д. Ломтадзе и др.), при этом общий генетический подход сохранялся. Н.В. Коломенский дополнил в классификации Ф.П. Саваренского (табл. 1) процессы, связанные с деятельностью агентов выветривания.

Классификации влияют на:

1. Обоснование, выбор методики изучения.
2. Выбор методов прогноза процессов.
3. Выбор, обоснование мероприятий по защите от их неблагоприятного воздействия.
4. Применение ЭВМ для решения многих сложных задач изучения процессов.

Для решения практических задач инженерной защиты территорий и сооружений от опасных геологических процессов общая классификация геологических процессов и явлений представлена в СНиП 2.01.15-90 (1991 г). Основой ее является классификация, разработанная Г.С. Золоторевым (1983 г).

Анализируя общие классификации разных авторов обобщенную классификацию можно представить в следующем виде (Т.Я. Емельянова, 2009).

Таблица 1

Общая инженерно-геологическая классификация геологических процессов и явлений (по Коломенскому и Ломтадзе)

Причина процесса	Процесс (явление)
1. Деятельность агентов выветривания	Выветривание
2. Деятельность поверхностных вод (морей, озер, рек, каналов)	Подмыв берегов и их обрушение (эрозия, абразия), размыв склонов (овраги), сели
3. Деятельность подземных вод	Суффозия и пльвуны
4. Деятельность поверхностных и подземных вод	Карст, заболачивание, просадка
5. Действие гравитационных сил	Оползни, обвалы, лавины, осыпи
6. Промерзание и оттаивание грунтов	Криогенные (мерзлотные) процессы (пучение, термокарст, наледи и т.д.)
7. Действие внутренних сил в породах (грунтах)	Набухание, разуплотнение, усадка
8. Деятельность ветра	Эоловые процессы
9. Действие внутренних сил Земли	Землетрясения, вулканизм
10. Инженерное действие человека	Горно-геологическое оседание поверхности земли, выемки, насыпи и т.д.

Ниже приведена характеристика некоторых инженерно-геологических процессов и явлений с учетом учебной программы для студентов вышеназванных специальностей и с различной степенью детальности в зависимости от их сложности, распространенности и степени их влияния в тех или иных регионах. Большое внимание уделено оползневым процессам и суффозии, весьма интенсивно развитым в Красноярске и его окрестностях.

### 3.1. Новейшие и современные тектонические движения. Сейсмические явления

*Тектонические движения* приводят к нарушению первичного залегания пород и осложняют хозяйственную деятельность человека. Их можно подразделить на две основные группы: медленные колебательные (эпейрогенические движения), дислокационные (разрывообразующие и складкообразующие).

Появление в земной коре зон и очагов повышенных и пониженных напряжений приводит к возникновению всякого рода нарушений первичного залегания пород (сдвиги, сбросы, взбросы, складки и т.д.), нарушается сплошность пород. Особенно интенсивно подвержены тектоническим движениям сейсмические территории, где проявляются землетрясения, т.е. резкие, внезапные подземные толчки и колебания земной коры, угрожающим жизни и деятельности человека.

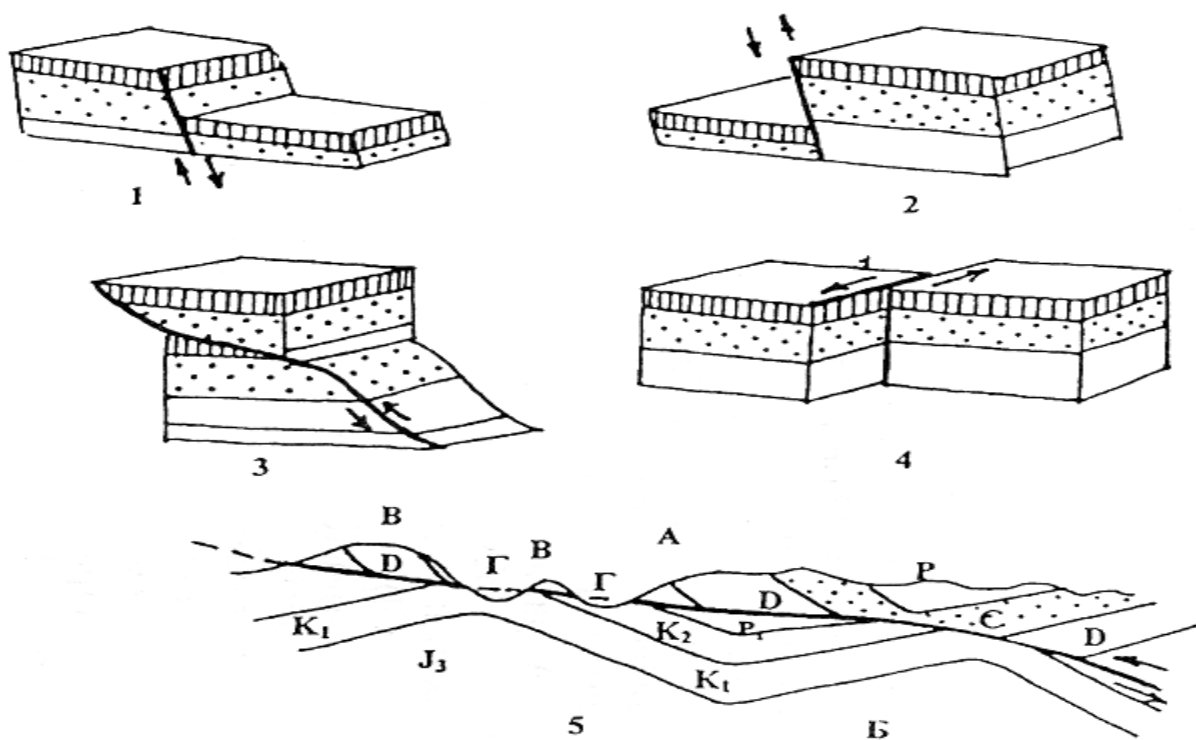


Рис. 2. Различные типы тектонических разрывов (С.А. Ананьев и др., 2007)  
1 – сброс, 2 - взброс, 3 – надвиг, 4 – сдвиг, 5 – покров: А – аллохтон, Б – автохтон,  
В – тектонический останец, Г – тектоническое окно

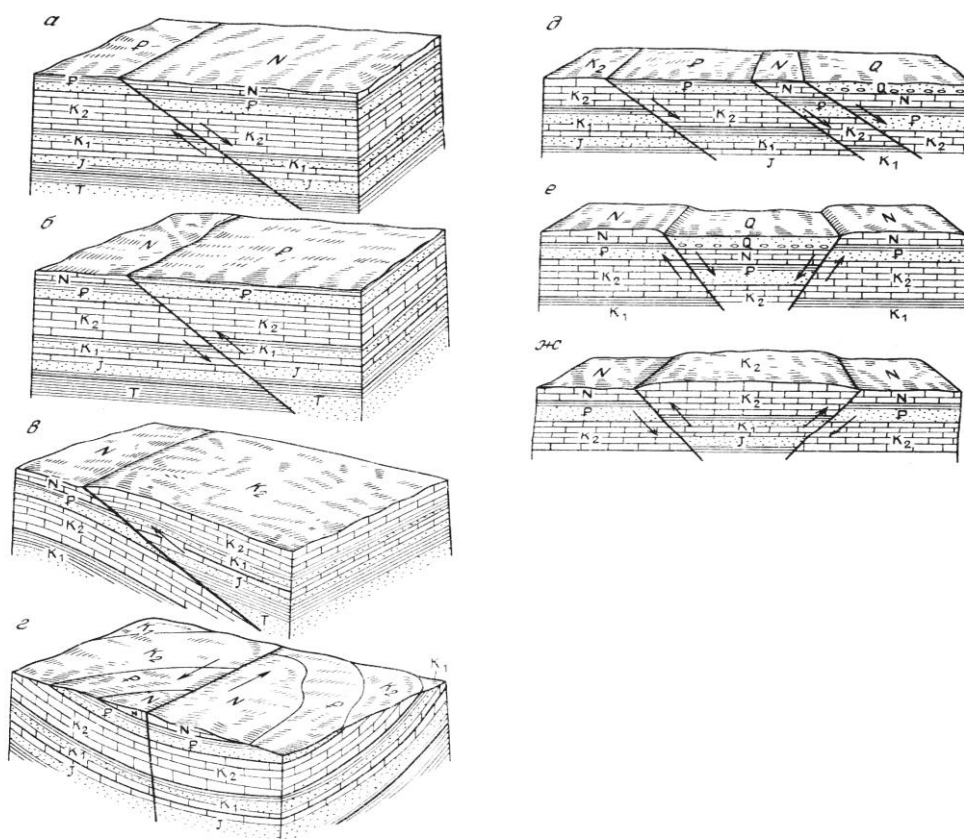


Рис. 3. Дизъюнктивные дислокации и их сочетания (С.А. Ананьев и др., 2007)  
 а – сброс; б – взброс; в – надвиг; г - сдвиг; д – ступенчатый сброс; е – грабен; ж – горст

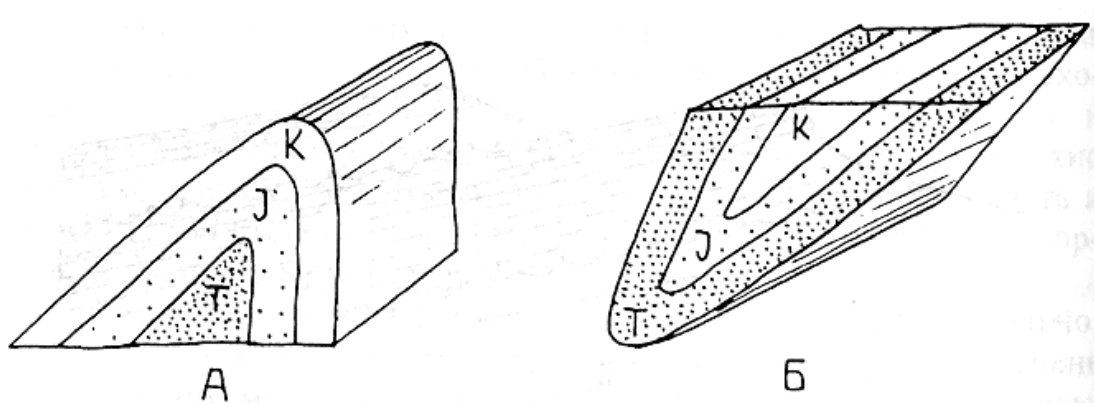


Рис. 4. Антиклинальная (А) и синклиальная складки (Б)  
 В ядре антиклинали располагаются более древние породы, в синклинали – наоборот  
 (С.А. Ананьев и др., 2007)

*Землетрясения* имеют тектоническое происхождение и связаны с колебательными движениями земной коры. Эти движения приводят к образованию гор и впадин, обуславливают накопление напряжений в толще горных пород литосферы в течение длительного времени. Когда такие напряжения достигают предела прочности горных пород, происходит разрыв литосферы или ее части и образуются разломы. Область разрыва принято на-

зывать очагом землетрясения. Кроме землетрясений тектонических бывают землетрясения, связанные с деятельностью вулканов, образованием обвалов, а также с деятельностью человека. Интенсивность землетрясения определяется в первую очередь количеством энергии, выделяющейся в области очага, и энергией сейсмических волн. Для характеристики землетрясения используют степень разрушения зданий, остаточные явления в горных породах, изменение режима поверхностных и подземных вод, нарушение рельефа.

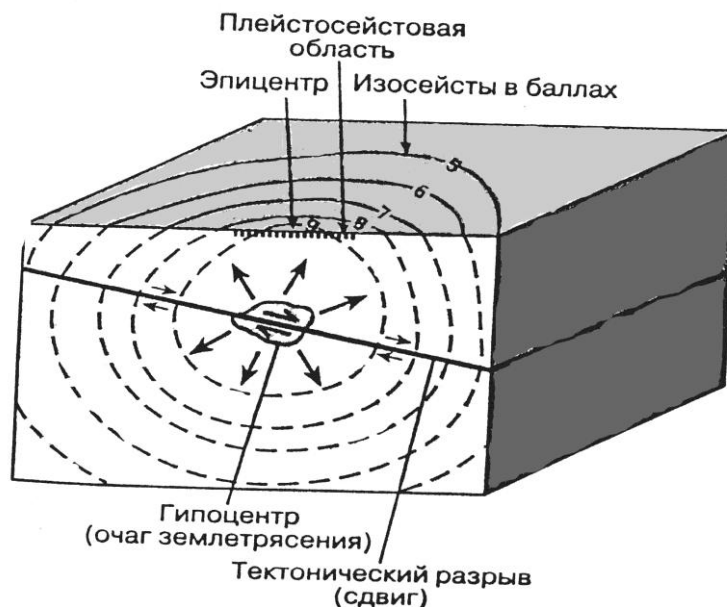


Рис. 5. Схема строения очага землетрясения (С.А. Ананьев и др., 2007)

При выборе районов для строительства объектов необходимо учитывать данные детального сейсмического микрорайонирования, должна соблюдаться правильная компоновка зданий. Естественная геологическая обстановка строительства в освоенных человеком районах всегда в той или иной степени изменена. Особенно радикальные изменения связаны с горными работами, крупными гидротехническим и городским строительством. Условия эксплуатации существующих сооружений и возведения, новых в таких районах складываются из совокупности природных условий и условий, созданных человеком в процессе строительства и возникающих в результате взаимодействия инженерных сооружений с геологической средой.

Интенсивность и характер изменений в природной геологической обстановке, очевидно, будут зависеть как от вида инженерного воздействия, так и от некоторых особенностей самой геологической обстановки. Поэтому явления искусственного изменения этой обстановки, т.е. инженерно-геологические явления, отличаются очень большим разнообразием.

### 3.2. Вулканизм

*Вулканизм* - это явления, связанные с поступлением магм и др. продуктов на дневную поверхность. Вулканы - это выводные отверстия, через которые поступают продукты извержения. Морфологические типы вулканов: вулканы центрального и щитовидного типов, трещинные вулканы.



Рис. 6. Конусовидный вулкан центрального типа (С.А. Ананьев, 2007)



Рис. 7. Щитовые вулканы (С.А. Ананьев, 2007)



Рис. 8. Трещинные вулканы действуют вдоль срединно-океанических хребтов (Исландия) (С.А. Ананьев, 2007)

Проведение инженерной хозяйственной деятельности в зонах развития вулканов требует совместной работы строительных организаций с вулканологами.

### 3.3. Выветривание

*Выветривание* – разрушение горных пород под воздействием физических (главным образом климатических, механических), химических и органических факторов. Главным вопросом при изучении выветривания является интенсивность процесса: скорость выветривания, мощность продуктов выветривания (коры выветривания), характер изменения горных пород. По скорости выветривания выделяют зоны интенсивного выветривания, замедленного выветривания и затухающего выветривания. Мощность коры выветривания – понятие относительное и зависит от скорости выветривания, состава исходных пород, климата и типа выветривания (факторов выветривания). В зависимости от климатических условий коры выветривания могут быть сложены либо продуктами физического (механического разрушения) выветривания, либо химического (разрушение за счет растворения, гидратации, окисления – восстановления, гидролиза) и органического. Современная кора физического выветривания в районах с резко континентальным климатом выглядит следующим образом (рис. 9).

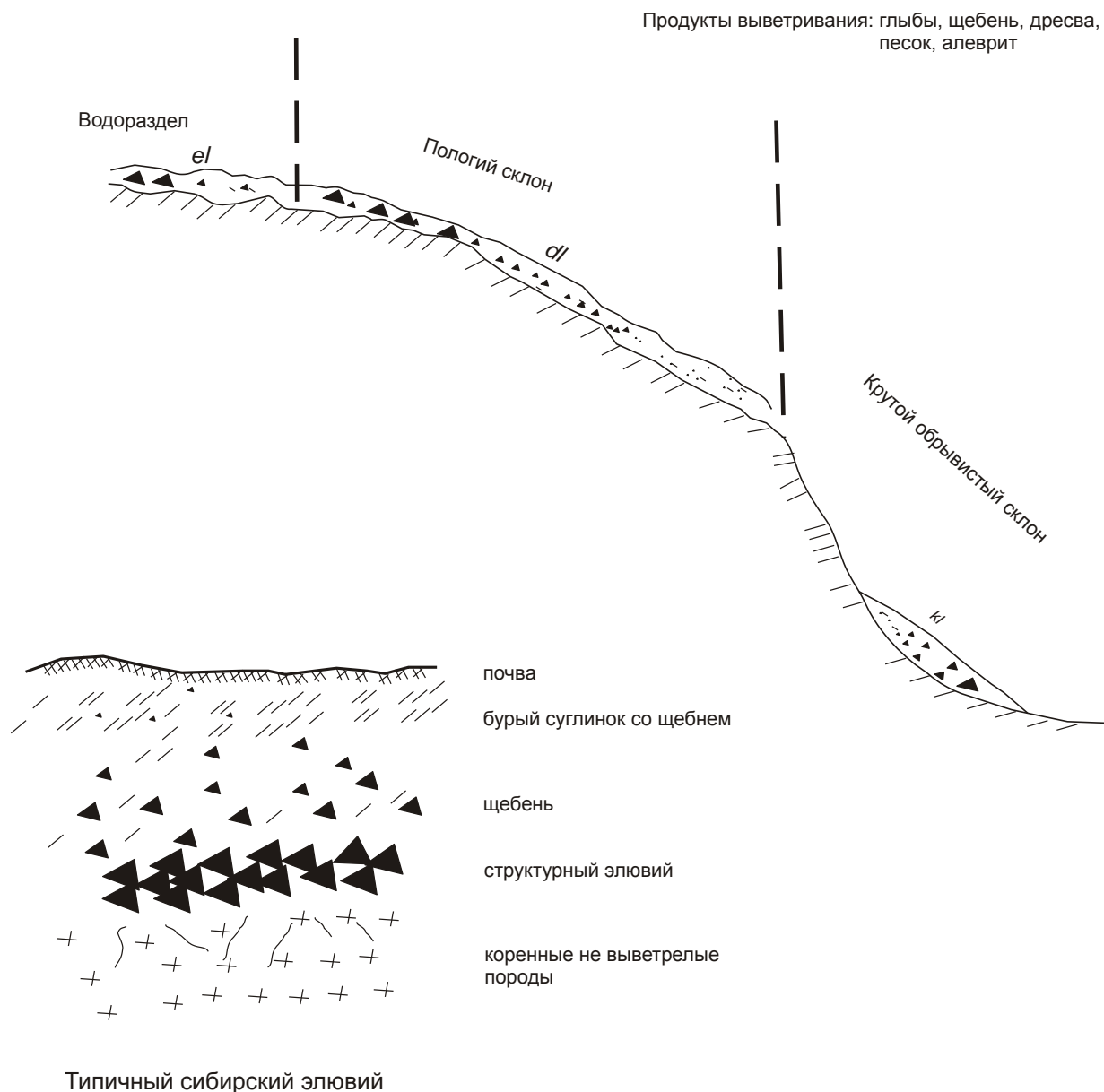


Рис. 9. Кора физического выветривания

К продуктам физического выветривания относятся элювий (продукты механического выветривания, оставшиеся на месте разрушения), делювий (продукт физического выветривания, медленно сползающий по склону) и колювий (продукт выветривания, упавший на подножие склона под действием гравитации). Последний является результатом таких явлений как обвалы. Обвалы развиваются под влиянием гравитационных сил на склонах и откосах, к ним относятся собственно обвалы, вывалы и осыпи.

*Вывал* – это внезапный отрыв и падение отдельных глыб и блоков горных пород из откосов выемок, бортов карьеров, с крутых и отвесных склонов, сложенных скальными или полускальными породами. *Осыпи*, в отличие от вывалов, характеризуются только небольшими размерами отдельностей, образующихся вследствие определенного физического состояния горных пород. Собственно *обвалы* – это обрушение как отдельных глыб и блоков, так и более крупных объемов скальных и полускальных пород из обнажений, расположенных на нагорном склоне бровки откоса, или из крутой, отвесной верхней части склона, сопровождающееся их скатыванием, опрокидыванием и раскалыванием. Обвальные

явления характеризуют неустойчивость склонов и откосов, и на участках их распространения создают опасность сохранности и нормальной эксплуатации сооружений. Обвальные явления наблюдаются только в горных районах с резко расчлененным рельефом, в районах распространения высоких и крутых склонов, на участках склонов, подрезанных откосами выемок, а также в карьерах, имеющих крутые откосы. Такое распространение обвальных явлений указывает на прямую связь условий их формирования с рельефом – с участками высоких и крутых склонов и откосов.

Противообвальные мероприятия состоят из работ профилактического порядка и работ по строительству специальных противообвальных сооружений.

Частным проявлением процессов химического выветривания является растворение горных пород – карст. *Карст* - это процесс, вызывающий растворение горных пород, образование своеобразного рельефа, как на поверхности, так и в массиве пород (рис. 10, 11).

Причина карстового процесса - деятельность подземных и поверхностных вод. Карст приводит к изменению структуры, состояния, свойств пород и созданию особого характера циркуляции и режима поверхностных и подземных вод. В инженерной геологии карст создает большие проблемы при оценке территорий и условий строительства. Условия развития карста: наличие растворимых горных пород, наличие движущихся подземных и поверхностных вод, водопроницаемость пород, растворяющая способность воды.

К факторам развития карста относятся климат (температура, осадки, более активно карст развит в теплом влажном климате); рельеф (активнее карст развивается в горном расчлененном рельефе - скорости течения больше); особенности карстующихся горных пород (карбонатные породы - известняки, доломиты, мергели, мел; сульфатные породы - гипс, ангидрит; соли - галит, сильвин).



Рис. 10. Карстовая пещера

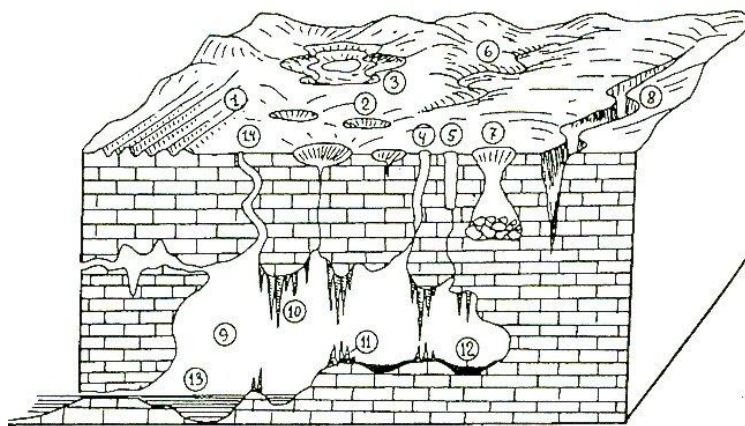


Рис. 11. Карстовые формы рельефа: 1 – карры, 2 - воронки, 3 – полье, 4 – колодцы, 5 – шахты, 6 – исчезающие реки, 7 – провальные воронки, 8 – ущелье, 9 – пещера, 10 – сталактиты, 11 – сталагмиты, 12- «terra-росса», 13 – пещерное озеро, 14 – пропасть (по Н.В. Короновскому, 2002)

Лучше всего растворяются соли, затем сульфаты, карбонаты. Условия залегания карстующихся пород (могут залегать на поверхности, могут быть перекрыты некарстующимися породами), характер покрывающих пород, их состояние, свойства, мощность, инженерная деятельность человека (сброс агрессивных вод, взрывы, строительство) являются основой для планирования хозяйственной деятельности в местах проявления карста. Выбор защитных мероприятий зависит от типа карста (соляной, сульфатный, карбонатный), глубины залегания растворимых пород, степени закарстованности и обводненности пород и типа проектируемого сооружения.

1. Мероприятия, направленные на изменение естественного развития карстового процесса включают в себя:
  - планировка территорий с регуляцией поверхностного стока и устройством канализации для отвода производственных вод;
  - каптаж подземных вод и дренаж обводненных пород;
  - устройство опор глубокого заложения.
  - искусственное уплотнение и укрепление пород.
  - устройство противодиффузионных завес и др. конструктивные мероприятия.
2. Мероприятия, направленные на защиту зданий, сооружений и людей без изменения естественного карста - архитектурно-планировочные работы по размещению сооружений, исходя из степени карстовой опасности, а также конструктивные мероприятия, рекомендуемые нормативными документами.
3. К мероприятиям, ослабляющим влияние человека на рост интенсивности карстового процесса, относятся: ограничения откачек, гидроизоляция водопроводных сооружений, регуляция поверхностного стока, строительство защитных сооружений, организация водоотлива при строительстве и др.

### 3.4. Процессы зон вечной мерзлоты (криогенные и посткриогенные)

*Криолитозона* – это зона или область развития мерзлых пород (древних и современных). Их площади распространения составляют до 25 % всей суши, а в России превышают 50%. Многолетнемерзлые породы распространены на территории России зонально. На Крайнем севере они проявлены сплошной зоной. Южнее располагаются зоны прерывисто-

го распределения мерзлых пород, дальше к югу идут зоны островного распространения. Их мощности могут достигать в зонах сплошного распространения к северу и в горах до 800 м. В зонах островного распределения – 10-15 м. Одной из важных характеристик многолетнемерзлых пород является их *льди́стость с различными разновидностями* льда - сегрегационный, инъекционный, жильный и др. К инженерно-геологическим процессам криолитозоны относятся образование таликов (термокарст) (рис. 12), пучение с образованием бугров пучения, наледи, полигонально - жильные образования, процессы развития «пятнистых тундр» и «каменных венков», образование каменных рек и курумов, криогенная десерпция, солифлюкция (детально рассмотренная ниже при характеристике водных процессов) и др.

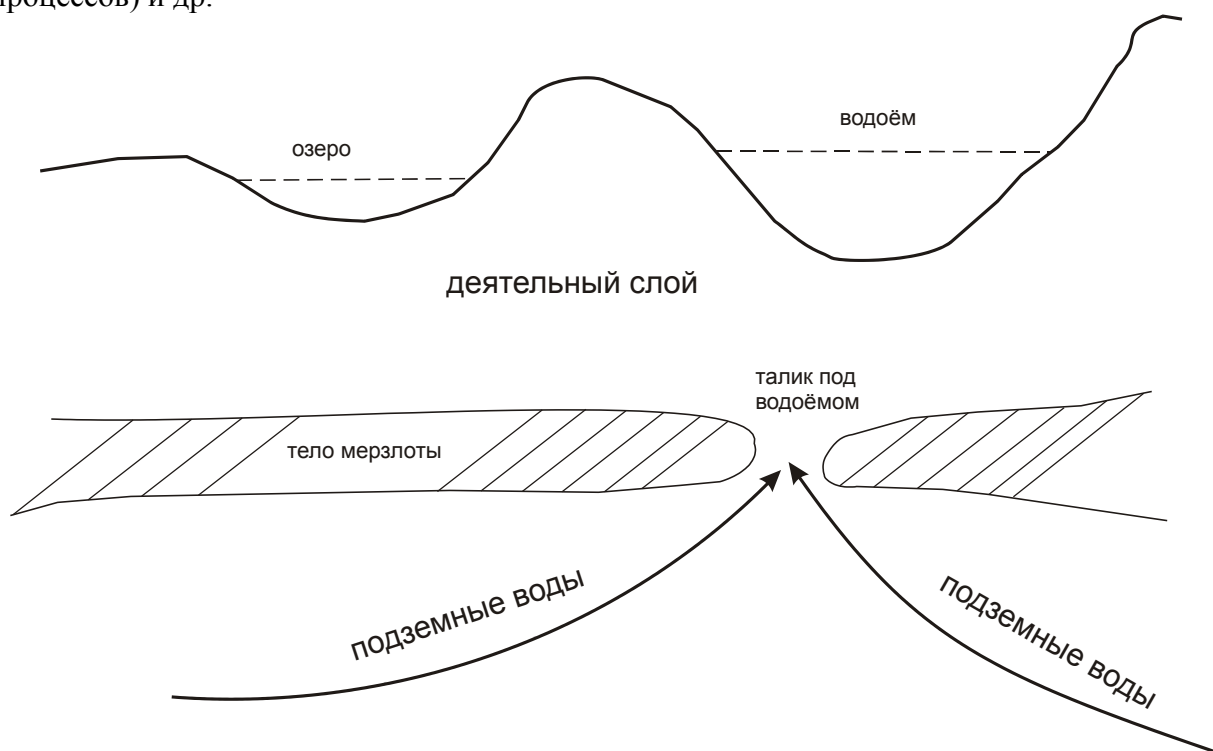


Рис. 12. Образование талика под водоёмом

Процессы *пучения* связаны с образованием льда при промерзании содержащейся в породе воды, мигрирующей извне, и соответственно, увеличивающее объем пород – образование бугров пучения (рис. 13) до 4-8 м (в зависимости от объема воды).

*Нале́ди* образуются при послойном замерзании воды на поверхности в результате многократного излияния вод при промерзании русла или подземных источников. Известны гигантские нале́ди площадью в десятки квадратных километров и мощностью до 5 м. Чаще всего они развиваются на участках перехода грунтового потока в поверхностный водоток. Вырвавшиеся потоки воды могут вызвать катастрофические «разливы» рек и снести мостовые переходы и другие сооружения. Борьба с ними ведется различными путями: взрывами, искусственным протаиванием льда, применением дренажа и др.

«*Полигонально-жильные образования*» (фото 14) возникают на основе морозобойного растрескивания пород. Полигональная форма создается сеткой трещин или канавообразных углублений и связана с полигональной системой жильных льдов или грунтовых жил. Эти трещины могут проникать на некоторую глубину и вода, попадая в них, замерзает, происходит цементация толщи, повторные растрескивания и цементация приводят к развитию полигональных, чаще тетрагональных систем ледяных жил.



Рис. 13. Бугры пучения



Рис. 14. Полигонально-жильные образования в Тундре

Они могут достигать иногда 40 м при поперечной мощности до 6-8 м. «Пятнистых тундры» и «каменные венки» возникают в результате растрескивания тонкодисперсных грунтов, слагающих слой сезонного протаивания, вызывающие возникновения тоже полигональных форм. «Каменные реки» и «курумы» - в целом процесс образуются в результате выпучивания каменного материала на поверхность, вымывания мелкозема из-под крупнообломочного слоя пород, замерзания воды в образовавшихся пустотах, сползания глыб по поверхности гольцового льда и др. Курумы при своем движении разрушают сооружения и полезные для хозяйственной деятельности площади. Удержать многослойную толщу курума можно преградив доступ к нему воды.

*Криогенная десерпция* это сползание приповерхностных слоев пород. Механизм этого сползания отображен на рис. 15, где расстояние  $m_1m_3$ , на которое перемещается лежащая на поверхности оттаявшая частица породы при пучении.

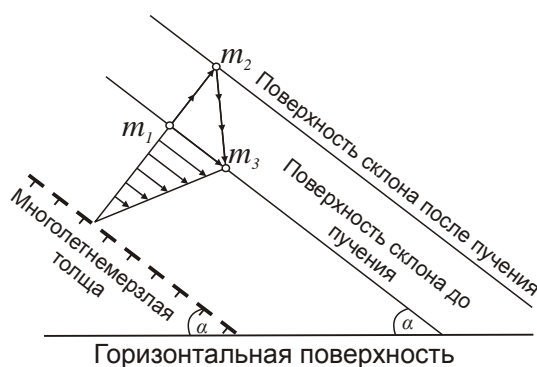


Рис. 15. Схема криогенной десерпции (по Н.Н. Романовскому).  
Показан путь движения частицы  $m$  при пучении и осадке

*Солифлюкция* это медленное течение почв на уклонах местности градусов в результате оттаивания льдонасыщенных дисперсных грунтов, утративших структурные связи и перешедших в вязкопластичное состояние. *Термокарст* образуется в связи с вытаиванием подземных льдов и сопровождается проседанием поверхности земли. Это может быть обусловлено многими причинами, в том числе и изменением климата.

### 3.5. Процессы, связанные с геологической деятельности ветра (эоловые)

*Эоловые процессы* включают в себя, как и все экзогенные процессы, три стороны своей деятельности: разрушительную (дефляция и коррозия), переносную и аккумулятивную. Процесс коррозии заключается в обтачивании положительных форм рельефа песчаными частицами, переносимыми ветром (типа пескоструйных агрегатов). В результате этого возникают углубления, ниши, борозды, останцы причудливой формы и т.д. *Коррозия* разрушает фасады зданий, провода, портит стекла. *Дефляция* – выдувание частиц, разрушенных коррозией и выветриванием. При этом образуются пониженные формы рельефа котловины, траншеи и т.п. Перенос или транспортировка эолового материала может происходить на значительные расстояния. В конечном итоге происходит его аккумуляция, значимыми результатами которой являются барханы и дюны и своеобразные, образования под названием лёссы. Продуктом геологической деятельности ветра являются в основном *эоловый песок и лёссы*. Лёссы - представляют собой скопления частиц алевроитовой размерности (порядка 0,05 мм, кварц и полевые шпаты, карбонаты в стяжениях - признак образования в засушливом климате, когда воды хватает только на вынос щелочей,

следовательно, идет относительное обогащение кальцием и магнием) в степных ландшафтах. Лессы обладают высокой пористостью, отсутствием слоистости, достаточной прочностью отвесных стенок обнажений. Лесс хорошо держит вертикальные стенки. Лессы характеризуются пониженной плотностью, легко размываются и быстро размокают. Характеристикой их гранулометрического состава является повышенная или высокая пылеватость (до 80 – 82%). При оценке лессовых пород особое значение имеет определение просадочности - *просадочные явления*. Мероприятия для устойчивости зданий на лессовых породах:

1. предохранение лессовых пород от замачивания;
2. прорезка лессовых пород глубокими фундаментами;
3. устранение просадочных свойств лессовых пород;
4. применение конструкций зданий, малочувствительных к просадкам.

Насаждение растительности – основной метод решения проблем связанных с эоловыми процессами.

### 3.6. Абразивные процессы

Относятся к экзогенному процессу – геологическая деятельность морей и озер. Развиваются они под воздействием волноприбоя (рис. 16). Подмыв и разрушение берега моря изменяет профиль очертания берега моря или озера и его устойчивость. Формирование берегов зависит от прочности и физического состояния слагающих их пород. Устойчивость берега зависит от условий залегания пород и последовательности напластования пород различного петрографического состава.

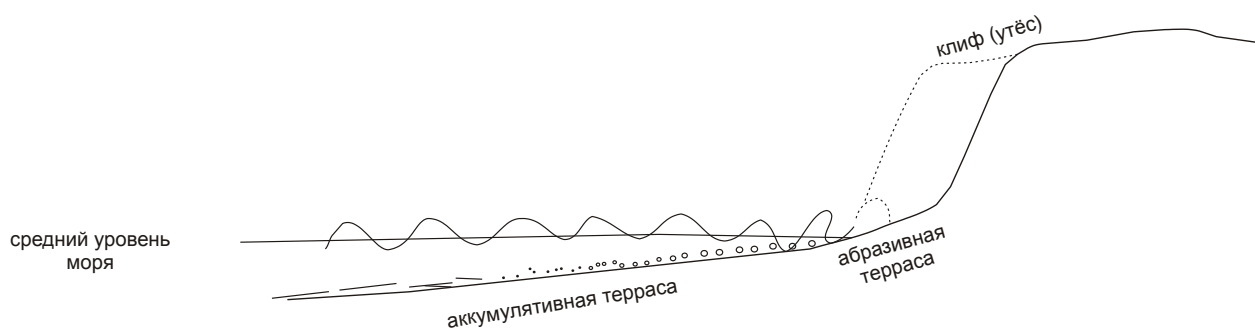


Рис. 16. Волноприбойная деятельность моря

Для защиты берега моря от разрушения проводятся профилактические и капитальные мероприятия. Профилактические (с целью предупреждения опасных явлений) - это охрана пляжей, берегоукрепительные сооружения, наблюдения за нормальными условиями их работы, стационарные наблюдения. Капитальные мероприятия заключаются в строительстве сооружений и береговых укреплений: волноотбойные стенки, бетонные плиты, каменные набросы, молы и др.

### 3.7. Береговая и донная эрозия рек и ручьев (геологическая деятельность постоянных поверхностных водотоков)

Все реки проводят огромную эрозионную работу. Работа рек проявляется в размыве и разрушении русел, берегов и в переносе рыхлого материала, поступающего в их поток, и его отложение. При формировании речных долин ведущее значение имеет донная и боковая эрозия, смена базиса эрозии с формированием речных террас (рис. 17, 18).

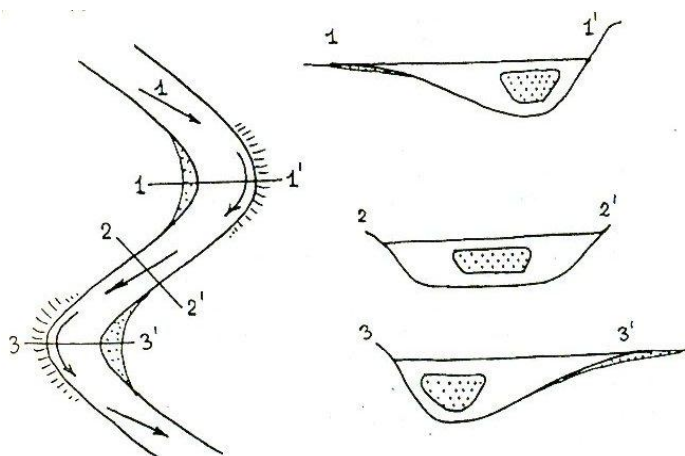


Рис. 17. Максимальные скорости течения воды в реке в плане, в разрезе (по Н.В. Короновскому, 2002)  
1 – стрежень, точками показано сечение реки с максимальной скоростью течения.  
1-1'; 2-2'; 3-3' - линии поперечных профилей через реку

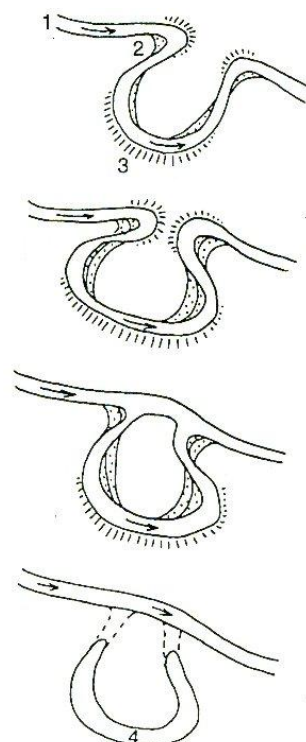


Рис. 18. Развитие меандры и перехват реки с образованием старицы (по Н.В. Короновскому, 2002)  
На отмеле берегу накапливается аллювий, а обрывистый берег все время подмывается: 1 – река;  
2 – отмельный берег;  
3 – приглубленный берег; 4 – старица

Для защиты берегов рек от разрушения выполняются противоэрозионные мероприятия: каменная наброска в береговой зоне, мощение, укладка бетонных плит и т.д.

### 3.8. Образование оврагов

*Оврагообразование* относится к геологической деятельности поверхностных временных водотоков на равнинах. Овраги образуются в результате размыва склонов, сложенных легко размокаемыми породами (рис. 19). Особую опасность представляют ливневые дожди. Скорость развития оврагов может достигать до 40 - 60 м в год. Способствуют оврагообразованию многие виды деятельности человека: распашка и подрезка склонов, сброс хозяйственных вод на склоны, застройка.



Рис. 19. Образование оврага. Томская область, д. Нагорный Иштан  
(фото М.П. Кропаниной, 2009)

Основная задача при защите склонов от разрушения оврагами заключается в регулировании поверхностного стока. Достигается это путем выполнения комплекса мероприятий:

1. лесомелиоративные – устройство полезащитных лесных полос; дополнение – посев многолетних трав;
2. строительство водоулавливающих и водорегулирующих сооружений (нагорные и водоотводные каналы, водоудерживающие валы и дамбы);
3. укрепление участков активного размыва засыпкой с последующим мощением камнем, свайными рядами, задерновкой;
4. строгое соблюдение правил землепользования и агротехники (установление охранных зон с запрещением вырубки леса, распашки земель и т.д.).

### 3.9. Селевые процессы

*Сель* - кратковременный горный поток, часто имеющий большую скорость и разрушительную силу, несущий большое количество твердого вещества. Сели внезапны и кратковременны, проходят с большими скоростями течения за несколько часов (до 3–5 ч), часто волнами из-за образующихся заторов. Селевые процессы обусловлены, в первую очередь, деятельностью временных поверхностных водотоков в горах, таянием горнодолинных ледников. Антропогенные условия играют в рождении селей огромную роль. Сели образуют определенный тип континентальных отложений - пролювий. Они слагают конусы выноса, пролювиальные шлейфы и покровы. По генезису водного потока сели подразделяются на дождевые, снеготаяния, гляциальные, за счет прорыва подземных вод, за счет прорыва поверхностных вод и сложного генезиса. По механизму движения и характеру твердого материала сели подразделяются на водокаменные (вода и твердый материал, это очень разрушительный, несвязный сель), грязекаменные (чаще связные, 40-50% обломочного материала) и грязевые (дисперсный материал составляет до 70%, связный сель).

На развитие селей влияют следующие природные и антропогенные факторы: *геологическое строение участка, где развивается поток (состав, состояние, свойства пород, тектоническое строение разреза); геоморфологические условия бассейна, где развивается сель (строение долины, степень расчлененности русла, наличие ответвлений); сопутст-*

вующие геологические процессы (активизируют сель - выветривание, землетрясения, осыпи, обвалы, оползни); климато-гидрологические (характер выпадения осадков, характер паводков и половодий, характер гидросети, скорость движения рек); почвенные и ботанические условия (почвы большой мощности и наличие растительности несколько сдерживают развитие селей); взрывы; распашка земель, вырубка леса, выпас скота на склоне.

Защитные противоселевые мероприятия:

А. Мероприятия, предупреждающие возникновение селевого потока, осуществляются на территории основного водосборного бассейна и включают в себя:

1. режимные наблюдения;
2. применение сооружений, регулирующих сток (водосборные лотки, барражи, запруды), спуск вод;
3. лесозащита;
4. террасирование и выполяживание склонов (рис. 20);
5. закрепление или уборка рыхлого материала.

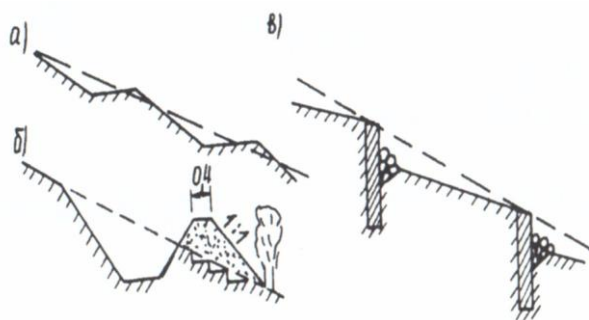


Рис. 20. Регулирующие мероприятия на склонах (А.В. Леонова, 2011):  
а – ступенчатая терраса; б – то же, с валами; в – порог

Б. Мероприятия, ограничивающие разрушительную работу селея: строительство защитных (рис. 21) гидротехнических сооружений, задерживающих поток и уменьшающих скорость (плотины, барражи, бетонные лотки, дамбы).



Рис. 21. Примеры защитных сооружений (А.В. Леонова, 2011)

С одновременной деятельностью поверхностных и подземных вод связано заболачивание территорий и образование болот, просадочные явления и карст.

### 3.10. Геологическая деятельность болот и заболачиваемость

*Заболачиваемость* - это избыточно увлажненные участки, которые содержат небольшой слой торфа, или торф вовсе отсутствует. Условия развития заболачивания: избыточное увлажнение (влажный климат и близкое к поверхности залегание грунтовых вод), выровненный или западинный рельеф, особенности состава почв и грунтов. Основными факторами заболачивания и болотообразования являются климат, рельеф поверхности и геоморфологические условия, литологический состав пород, гидрологические особенности речной сети, гидрогеологические условия. На интенсивность болотообразования влияют неотектонический режим территории и хозяйственная деятельность человека. В зависимости от условий водного питания выделяют три типа болот.

1. Верховые болота - распространены на плоских водоразделах, питание происходит за счет дождевых и талых вод. Вода имеет низкую минерализацию (менее 0,5 г/л) и кислую среду (рН 3,5 - 4). Растительность: багульник, морошка, пушица, сфагновый мох, сосна.
2. Низинные болота - формируются на пониженных участках затопления и подтопления пойменных и надпойменных террас, аллювиальных и морских равнин. Питаются за счет речных, озерных, морских вод, а также грунтовых с повышенной минерализацией. Вода имеет более высокую минерализацию, рН более 6. Растительность: осока, камыш, тростник, сабельник, гипновые мхи, береза, реже ива.
3. Переходные болота - могут залегать на всех типах рельефа и характеризуются смешением всех признаков болот.

На развитие заболоченности влияют следующие факторы: гидрогеологический режим рек (широкие разливы, меандрирование); климат (количество выпадения осадков, характер испарения); рельеф (благоприятен для развития процесса плоский, выровненный, западинный рельеф); состав пород (влияет на водопроницаемость); гидрогеологические условия (глубина залегания подземных вод, возможное формирование верховодки, скорость движения); тектоника и неотектоника (поднятия могут приводить к осушению); деятельность человека.

Строительство сооружений на болотах и заболоченных территориях связано со свойствами торфа, главными из которых является высокая влагоемкость и неравномерная сжимаемость. При строительстве предусматриваются все меры для сильно и неравномерно сжимаемых грунтов: армированные пояса, осадочные швы, разрезка зданий на отдельные жесткие отсеки, дренажные рвы и т.д.

#### Мероприятия по борьбе с болотами:

1. Осушение территории.
2. Планировка путем отсыпки или намыва на болотные отложения глинистых, песчаных и др. грунтов.
3. Частичное выторфовывание.
4. Сооружение водоотводящих канав.
5. Использование специальных конструктивных мероприятий

### 3.11. Плывуны

*Плывуны* – это слабые, неустойчивые породы, требующие применения специальных методов ведения строительных и горных работ и специальных мероприятий для обеспечения устойчивости сооружений. В строительной и горной практике плывунами называют пески тонко- и мелкозернистые, водоносные, которые при вскрытии котлованами и горными выработками плывут. Плывуны могут течь медленно и быстро, катастрофически бы-

строе движение плывунов представляют большую опасность для строительных и горных работ.

Причина пловунности состоит в особенностях состава, состояния и свойств песчаной породы, находящейся под воздействием гравитационных, гидростатических и гидродинамических сил, доминирующая роль которых может изменяться в зависимости от геологического строения: условий залегания пловуна и условий вскрытия.

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

1. Проходка подземной выработки с применением ограждающих крепей, опережающих забой. Такая проходка сопровождается водоотливом и понижением уровня воды водопонижающими скважинами, располагающимися по контуру подземной выработки.
2. Проходка подземной выработки после замораживания пород, которое производят охлаждением пород до температуры  $-20^{\circ}\text{C}$  рассолом, циркулирующих в замораживающих колонках.
3. В пловунах, обладающих повышенным напором, проходку подземных выработок часто осуществляют с помощью проходческих щитов, в которых создают повышенное давление воздуха.

### 3.12. Суффозия и оползневые процессы (геологическая деятельность подземных вод)

*Суффозия* – это процесс выноса мелких частиц из породы, заполнителя трещин или карстовых полостей при определенных условиях (рис. 22).

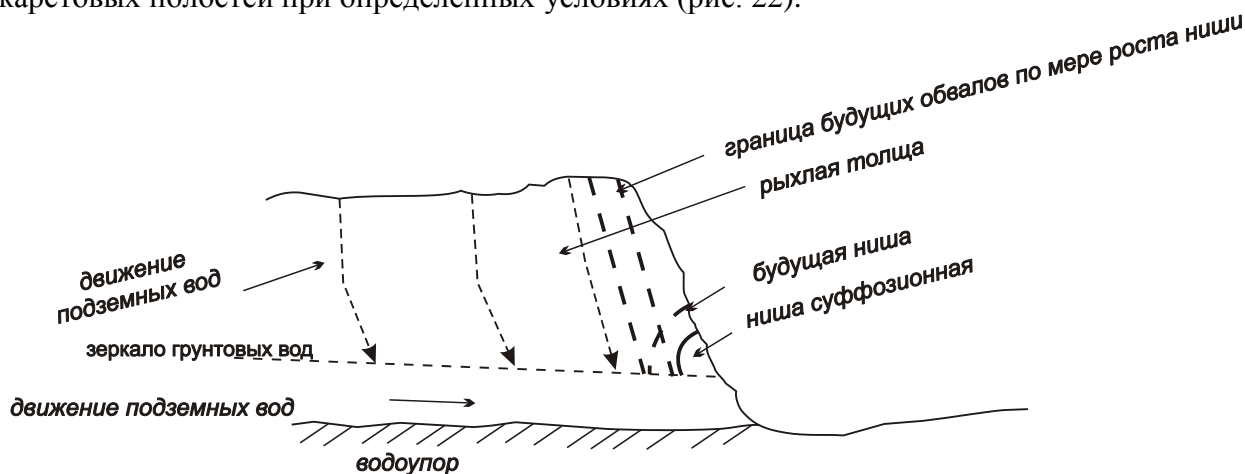


Рис. 22. Процесс суффозии

Основными действующими силами, вызывающими развитие суффозии, являются либо большие скорости движения фильтрационного потока, который вымывает частицы, размывает породы, либо возникающее гидродинамическое давление в фильтрационном потоке. Суффозия возникает преимущественно в породах, у которых коэффициент неоднородности гранулометрического состава больше 20. Для предупреждения суффозии снижают уровни подземных вод дренажами на опасных участках. С целью уменьшения градиентов потока устраивают шпунтовые ограждения и противофильтрационные завесы для увеличения длины пути фильтрации. К процессам, связанным с действием гравитационных сил, относят оползни, осыпи, обвалы.

*Оползень* - это смещение горных пород, слагающих склон, на более низкий уровень в виде скользящего движения без потери контакта между движущимися и неподвижными породами. Оползни весьма развиты в районах Сибири и поэтому на них в данном пособии уделено большое внимание. Оползневые явления всегда сопровождаются изменением рельефа местности, ее геологического строения в пределах смещенного тела. Смещение масс на склоне происходит тогда, когда нарушается устойчивость этого склона - т.е. нарушается равновесие горных пород на склоне. Известно, что в любой точке земли, и поэтому в любой точке склона (рис. 23) действует сила тяжести, которая разлагается на две составляющие:  $P_1$  и  $P_2$ .

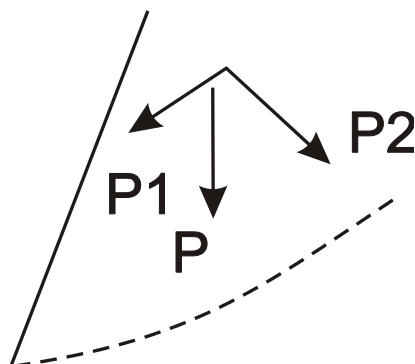


Рис. 23. Действие напряжений в массиве пород:  $P$  - масса блока породы, который может сместиться;  $P_1$  - сдвигающая составляющая силы тяжести;  $P_2$  - сила, стремящаяся удержать массы горных пород на склоне. (А.В. Леонова, 2011)

Если  $P_1 > P_2$  - происходит смещение пород.

$P_1 = P_2$  - склон находится в предельном равновесии.

$P_1 < P_2$  - запас прочности склона.

Силы, стремящиеся удержать массы горных пород – это, как известно, силы трения и сцепления ( $C$  и  $\phi$ ). Если сдвигающие силы превосходят силы трения и сцепления пород на склоне, нарушается его равновесие и происходит смещение масс. Устойчивость склона характеризуется коэффициентом устойчивости -  $K$ , который представляет отношение среднего сопротивления пород сдвигу по потенциальной поверхности скольжения -  $L$  к сумме сдвигающих усилий на отдельных отрезках этой поверхности.

$K = 1$  - предельное равновесие. Когда  $K$  (коэффициент устойчивости) будет меньше 1, т.е. когда нарушается равновесие сил, происходит гравитационное смещение на склоне: обвалы, осыпи, оползни, лавины и др..

Признаки оползней: оползневые трещины на склоне (рис. 24), оползневые цирки, наличие плоскостей срыва, валы у подножия оползня, оползневые уступы, бугры на теле оползня, «пьяный» лес, саблевидные деревья, четко выраженная плоскость срыва (рис. 25), заболоченность у подножия оползня, несовпадение высот залегания пластов одних пород и изменения наклона пластов, повышенная влажность пород и нарушение их естественной структуры вблизи поверхности скольжения, нарушение нормального состояния различных сооружений (рис. 26).



Рис. 24. Оползневая трещина  
(А.В. Леонова, 2011)



Рис. 25. Плоскость срыва  
(А.В. Леонова, 2011)



Рис. 26. Трещина в асфальте  
(А.В. Леонова, 2011)

Причины развития оползней следующие:

1. Увеличение крутизны склона или откоса при их подрезке, подработке, размыве. Природные склоны всегда стремятся к крутизне, соответствующей углу естественного откоса слагающих их пород, т.е. к той крутизне, при которой они находятся в устойчивом состоянии. Увеличение крутизны склона под влиянием естественных или искусственных факторов приводит к нарушению устойчивости пород склона и оползанию их.
2. Ослабление прочности пород вследствие изменения их физического состояния при увлажнении, набухании, разуплотнении, выветривании, нарушении естественного сложения. Все это снижает структурную прочность пород, следовательно, снижает величины сцепления и трения, которые противопоставляются сдвигающим усилиям.
3. Действие гидростатических и гидродинамических сил подземных вод на породы, вызывающих развитие фильтрационных деформаций (суффозию, переход в плавучее состояние и др.), что приводит к формированию опасных зон.
4. Изменение напряженного состояния горных пород происходит в зоне формирования склона и строительства откоса. Как известно, у поверхности земли происходит разгрузка напряжений горных пород, их разуплотнение, часто образуются трещины разгрузки, ориентированные параллельно склону и зоны ослабления, по которым происходит смещение пород.
5. Внешние воздействия - загрузка склона, откоса или участков, прилегающих к их бровкам - при строительстве зданий и сооружений на склонах, складирование материалов, длительные и кратковременные силовые воздействия (взрывы, транспорт - микросейсмические и сейсмические колебания, нарушающие структурные связи и снижающие прочность пород).

Все это снижает устойчивость склонов и откосов и вызывает *оползневой процесс* (рис. 27).

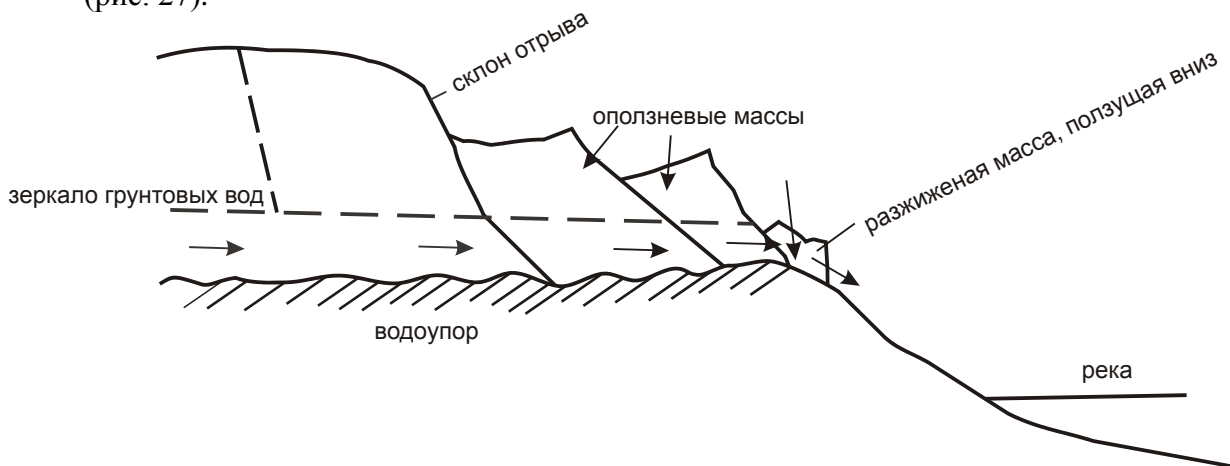


Рис. 27. Оползневой процесс

Процессы, вызывающие образование оползней, можно объединить в три группы:

1. Изменяющие внешнюю форму, крутизну и высоту склонов.
2. Ведущие к изменению строения и ухудшению физико-механических свойств слагающих склон пород.
3. Создающие дополнительное давление на породы склона.

Условиями развития оползней является наличие склонов определенной крутизны и нарушение равновесия склона. Кроме причин и условий изучают еще факторы, влияющие на активность и интенсивность развития оползней. К таким факторам относится совокупность всех природных и искусственных облегчающих или сдерживающих действие сил,

нарушающих равновесие масс горных пород. Выявление этих факторов при изучении оползней необходимо для решения задач изучения динамики процесса, прогноза оползней и выбора защитных мероприятий.

К таким факторам относятся климатические условия района развития оползней, гидрологический режим рек, рельеф местности - форма склона, высота, растительность на склонах и откосах, ее наличие или отсутствие; характер растительного покрова, мощность корневой системы; геологическое строение склонов и откосов, состав пород, чередование слоев разного состава; современные и новейшие тектонические движения и сейсмичность; гидрогеологические условия; развитие сопутствующих геологических процессов - эрозии, выветривания, абразии, суффозии, землетрясений; особенности физико-механических свойств пород; особенности инженерной деятельности человека.

Из **климатических и метеорологических характеристик** наибольшее влияние оказывают атмосферные осадки (количество, режим выпадения и вид), испарение, температурный режим. Длительные морозящие дожди при низкой величине испарения способствуют инфильтрации воды в породы, насыщению их водой и потере прочности. Интенсивные ливни способствуют быстрому стеканию воды по склонам и в меньшей степени оказывают влияние на активизацию оползней. Наибольшая связь внутригодового режима увлажненности и оползневого процесса установлена для оползней в поверхностных отложениях. На активизацию оползней оказывают влияние сезонные и годовые колебания **температуры воздуха**, они вызывают чередование расширения и сжатия породы, изменяя свойства пород. Режим осадков оказывает влияние **на гидрологический режим** рек, озер, вызывая паводки, во время которых также могут активизироваться оползни. Характер циркуляции атмосферного воздуха влияет на увеличение скорости водного потока, развитие волноприбойных явлений. Эти процессы также могут активизировать оползневые процессы. Важное влияние на развитие оползней оказывает **рельеф местности**. Влияние может быть прямым и косвенным. Прямое влияние оказывают высота и крутизна склонов и откосов (искусственно созданных склонов), их форма. Чем больше высота и крутизна склонов, тем более благоприятные условия создаются для образования оползней, тем больше объемы оползней. При прочих равных условиях, наиболее устойчивыми являются вогнутые склоны, и менее устойчивыми - выпуклые и нависающие. Косвенное воздействие рельефа проявляется в распределении количества осадков, температуры, циркуляции воздуха, растительного покрова, поверхностных и подземных вод. **Наличие растительности** на склонах создает армирующий эффект, препятствует инфильтрации вод. Но на оползнях с большой глубиной захвата корневая система растений, особенно древесных, может не достигать поверхности смещения, и древесная растительность в таких случаях может утяжелять склон и провоцировать оползни. **Геологическое строение** склонов предопределяет типы оползней, интенсивность и активность их проявления. Оползни, в основном, распространяются там, где склоны сложены глинистыми породами или где в толще пород встречаются слои, прослои, зоны глинистых и других разностей пород, образующие поверхности и зоны ослабления, и на склонах с накоплениями делювиальных, элювиальных, пролювиальных глинистых отложений. Оползни развиваются и в скальных породах, но при наличии трещиноватости, глинистых прослоев, глинистого заполнителя трещины (оползни ангарского типа). Большое значение имеют условия залегания пород. Активнее оползни развиваются на участках с падением слоев пород в сторону основания склонов. Характер условий залегания пород влияет на типы оползней. Из физико-механических свойств пород главное значение в развитии оползней имеют прочность, а также плотность, влажность, размокаемость, свойство ползучести, водопроницаемость, склонность к набуханию. Все эти свойства могут способствовать снижению прочности пород, что приводит к развитию или активизации оползней. Влияние **современных тектонических движений** реализуется через такие важные факторы, как рельеф, уровень подземных вод, положение бази-

са эрозии, условия залегания пород, сила сейсмических явлений. Последние вызывают развитие новых оползней или активизируют существующие. Активнее оползневые процессы развиваются на территориях с современными положительными движениями, поднятиями, которые приводят к расчленению рельефа, увеличению высоты и крутизны склонов, накоплению потенциальной энергии в породах. На развитие оползней большое влияние оказывают **гидрогеологические условия**, которые включают следующие компоненты: характер водовмещающих пород, форма и глубина залегания подземных вод, направление движения и характер разгрузки, изменение уровней, расходов, колебания температуры, химический состав, их гидростатическое и гидродинамическое давление. Влияние подземных вод на оползни достаточно хорошо изучено. В целом, влияние подземных вод на оползневые процессы значительно:

- когда зона оползневых деформаций проходит в водоносных породах и относительно невелика;
- когда воды находятся в вышележащих породах, пассивно увлекаемых в оползневой процесс.

Подземные воды влияют на прочность пород и величину напряжений, на мощность покровных отложений. Большое значение для развития оползней имеет положение уровня подземных вод по отношению к поверхности смещения или скольжения пород. Возможны три случая:

1. Подземные воды залегают значительно ниже поверхностей смещения и даже в периоды максимальных подъемов не достигают их и не оказывают никакого влияния на оползни. В таких условиях развиваются оползни неглубокого заложения, с инфильтрационным типом обводнения за счет атмосферных осадков. Это оползневые потоки, широко распространенные в рыхлых четвертичных отложениях.
2. Уровень подземных вод находится выше поверхности смещения, оползневые породы постоянно обводнены, испытывают гидростатическое и гидродинамическое давление и характер развития оползней определяется изменением гидрогеологических условий. В таких условиях развивается оползнь блокового и сложного строения, значительной мощности.
3. Поверхности смещения находятся в зоне колебания уровня подземных вод. Активизация оползней в этом случае связана с периодом подъема уровня воды. В таких условиях развиваются в большинстве оползни в лессовых породах, скорость подземных вод, химический состав, температура влияют на развитие процессов суффозии, растворения и формирование ослабленных зон в склоне, где могут также активизироваться оползни.

Благоприятным фактором, активизирующим оползневый процесс, является развитие **сопутствующих геологических процессов**, таких как выветривание, эрозия, абразия, суффозия, деградация мерзлоты, землетрясения и др. Все эти процессы облегчают действие причин нарушения устойчивости пород на склоне, увеличивают сдвигающие усилия, или уменьшают удерживающие силы в породах склона. Благоприятные условия для развития оползней, к сожалению, в большинстве случаев создает **инженерно-хозяйственная деятельность человека**. Активизируют оползневые смещения застройка склонов и присклоновых территорий, движение транспорта, сбросы воды, нарушение сплошности пород на склонах и растительности, подрезка склонов, осуществление нерационального комплекса мероприятий, отсутствие надзора за работой защитных сооружений.

Как правило, на развитие оползней влияет одновременно какая-то сумма перечисленных факторов.

Для составления прогноза развития оползней и обоснования защитных мероприятий необходимо, кроме причин развития оползней, знать динамику и механизм развития процесса, типы оползней. Динамика оползневого процесса определяется особенностями и за-

кономерностями его развития во времени. В динамике развития каждого оползня большинство исследователей различают три этапа или стадии (по Ф.П. Саваренскому):

1. Этап (стадия) подготовки оползня - постепенное уменьшение устойчивости масс горных пород.
2. Стадия собственно оползневого смещения - быстрая, резкая потеря устойчивости масс горных пород, смещение их.
3. Стадия последующей жизни склона и смещенных масс - или этап восстановления устойчивости.

Продолжительность этих этапов в каждом конкретном случае различна (в зависимости от причин оползня и геологических условий и других природных и искусственных факторов). Время от начала первого этапа подготовки - оползня до полного прекращения, оползневых деформаций называется **оползевым циклом**. Каждый оползневой процесс, оползневое смещение характеризуется определенными динамикой и механизмом.

**Механизм оползневого процесса** - это вид, способ, характер оползания масс горных пород. Он выражается в форме:

1. Сдвига блоков пород (структурные оползни - оползни скольжения по В.Д. Ломтадзе). Отделение блоков пород и скольжение их по четко выраженным поверхностям скольжения происходит без нарушения структуры, монолитности блока пород.
2. Течения (пластичные оползни, движение пород подобно вязкой жидкости). Перемещение частиц в рыхлых породах не только вниз по склону, но и поперечные внутри движущейся толщи. Частицы могут перемещаться с разной скоростью. Поверхности скольжения слабо выражены. Пластические течения развиваются при нарушении прочности глинистых пород в результате нарушения структурных связей.
3. Переходные способы перемещения (структурно-пластическое движение: изгиб, кручение, смятие).

Инженерно-геологическая оценка устойчивости склонов, откосов и оползней производится на основе изучения оползней. При изучении всякого явления обязательно пользуются типизацией и классификацией изучаемого объекта, явления, чтобы решить поставленные перед исследователем задачи. В настоящее время насчитывается более 150 классификаций оползней. Эти классификации разделяются на три группы: общие, частные, региональные.

Вопросами классифицирования этого сложного явления занимаются более 100 лет, но до сих пор нет единой, разработанной для всех регионов и всех типов оползней классификации. Это говорит о сложности изучаемого процесса и не изученности его до конца. В настоящее время перед разделом инженерной геодинамики, изучающем оползни (и другие гравитационные процессы), стоит проблема создания унифицированной классификации, особенно в связи с применением ЭВМ для изучения сложных природных процессов, для изучения процессов методом моделирования.

Остановимся на классификациях оползней, которые наиболее широко применяются в настоящее время в практике исследований.

Большая заслуга в разработке вопроса классификаций оползней принадлежит Ф.П. Саваренскому. В 1935 г. он разработал и предложил схему классификационных признаков, которые можно использовать для унифицирования классификаций и классификации их, соответственно, этой схемы.

Эти признаки разделяются следующим образом:

1. По строению, структуре склона.
2. По причинам неустойчивости массива.

3. По факторам, способствующим проявлению оползней (условия питания, конфигурация склона, выветривание, землетрясения, уничтожение растительности и т.д.).
4. По размерам и глубине захвата (поверхностные - до 1 м, мелкие до 5 м, глубокие до 20 м, очень глубокие > 20 м).
5. По времени проявления и состоянию.

Большинство исследователей в дальнейшем при решении вопросов классификации гравитационных процессов в большей или меньшей мере использовали эти признаки: это видно из следующих примеров общих классификаций.

А.П. Павлов в 1903 г. разделил оползни по характеру развития смещения на делящиеся (соскальзывающие) и детрузивные (толкающие).

Ф.П. Саваренский в 1935 г. разделил оползни по структуре склона и положению поверхности скольжения. Оползни разделены на асеквентные, консеквентные и инсеквентные. Асеквентные образуются в однородных рыхлых породах, консеквентные образуются в слоистых породах по определенным плоскостям (раздела слоев пород, трещинам); инсеквентные образуются в неоднородных слоистых породах, залегающих горизонтально или падающих в сторону склона, где поверхность скольжения пересекает различные слои.

Таблица 2

Классификация оползневых явлений на склонах и откосах (по И.П. Иванову)

Тип оползня	Основная причина нарушения устойчивости	Характерные формы оползней
Абразионный	Проявляется на берегах морей и искусственных водохранилищ за счет разрушительной деятельности волн	Мелкие обрушения, глубокие вековые оползневые движения
Эрозионный	Вызывается боковой или донной эрозией	Мелкие (вызванные боковой эрозией), глубокие (вызванные донной эрозией)
Консистентный	Вызывается изменением консистенции пород в связи с дополнительным увлажнением	Сплавы, оплывины, поверхностные, циклические, контактные
Пластический	Является результатом глубинной ползучести естественных склонов	Блоковые, контактные, с выпиранием
Сейсмический	Вызывается землетрясениями или взрывами и динамическими нагрузками	Тиксотропные, структурные, перенапряженные
Дополнительно напряженный	Возникает в результате остаточных напряжений или неотектонических процессов	Горизонтально перенапряженные, неотектонические
Гидронапряженный	Проявляется при изменении режимов поверхностных и подземных вод	Взвешенные, гидродинамические, за счет порового давления
Суффозионный	Проявляется в результате выноса грунтовых частиц из песчано-глинистых отложений	Обрушения, циклические, провальные
Антропогенный (техногенный)	Вызывается хозяйственной деятельностью человека	Нагруженные, переувлажненные, подработанные
Полигенетический	Связан с воздействием комплекса причин (не всегда выясненных)	Возможны все перечисленные выше разновидности

ЧАСТНЫЕ классификации составляются по какому-то одному признаку. Например, классификация по форме в плане, где выделяются оползни: циркообразные, фронтальные, веерообразные, глетчерообразные, угловых очертаний, эллипсоидальные, грушевидные, каплевидные, ложкообразные, сложные.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ классификации составляются по разным признакам, но для определенных регионов, территорий. Существует ряд классификаций:

1. По приуроченности движения к определенным стратиграфическим горизонтам;
2. По генезису склонов.

В этой группе заслуживает внимания классификация Г.С. Золотарева (1983) по трем признакам:

1. Строение оползневого массива;
2. Характер деформаций и механизм смещения;
3. Тип и форма ложа оползневого смещения.

Г.С. Золотарев разделяет оползни на следующие типы, характеризует регионы их распространения:

I. Оползни выдавливания, детрузивные, когда слабые породы находятся под более прочными (Крым, Одесса, Поволжье, Байкал).

II. Скольжения или консеквентные - обычно имеют блоковое строение, распространены в районах активной тектонической деятельности. Распространены широко в горных районах.

III. Делясивные, оползни-потоки распространены в рыхлых породах во многих регионах.

IV. Оползни сложных типов. Распространены в разных регионах, но чаще в горных районах.

#### Прогноз устойчивости склонов и развития оползней

Прогнозы развития оползней в настоящее время составляются качественные и количественные, в зависимости от стадий инженерно-геологических исследований, их детальности.

КАЧЕСТВЕННЫЕ методы - это заключение о том, возникнут или нет на склоне в данной местности оползневые смещения. Это качественное заключение основывается на знании общих закономерностей развития оползней, на изучении инженерно-геологических условий участка, на который составляется прогноз (методы прогнозирования - инженерно-геологических аналогий, сравнительно геологический, геологического подобия).

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ методы - методы расчета коэффициента устойчивости и методы математического и натурного моделирования.

Прогноз, составленный любым методом, должен дать ответы на следующие вопросы (с разной точностью, детальностью):

1. Возможность нарушения равновесия склона.
2. Тип нарушения.
3. Масштабы, границы.
4. Механизм смещения.
5. Время смещения.
6. Скорость смещения.

Прогнозы оползней необходимы для предупреждения образования оползней; для расположения сооружений в безопасном месте; для установления необходимости борьбы; для предотвращения аварий и человеческих жертв.

Выбор методов прогноза, точность его, достоверность и виды зависят от следующих факторов:

- Величина территории (локальный, региональный).
- Срок, на который составляется прогноз (долгосрочный 10 - 100 лет, краткосрочный, экстренный).

- Ценность сооружения, которому угрожает оползень.
- Стадия исследования и степень изученности склона (предварительный, ориентировочный, уточненный).
- Геологические условия склона.
- Стадия развития склона или стадия развития оползня.

Противооползневые мероприятия:

Профилактические: запрещение подрезки склона, раскопок, поливов, сброса вод, снижение интенсивного движения транспорта, пригрузки, застройки и т.д.

Активные:

1. Борьба с подмывом склонов - стенки искусственные пляжи, волноломы, дамбы и т.д. (рис. 28).
2. Переустройство склонов и откосов (уполаживание территории, банкеты и контр-банкеты).
3. Механическое удержание оползающих масс - подпорные стенки, буронабивные сваи.
4. Дренаж подземных вод.
5. Укрепление склонов и откосов растительностью.
6. Покрытие склонов, откосов одеждой (песок и т.д.)
7. Техническая мелиорация грунтов (цементация, силикатизация, замораживание, электропрогрев).
8. Регулирование поверхностного стока (рис. 29).



Рис. 28. Защита склона от размыва  
(А.В. Леонова, 2011)



Рис. 29. Водосборные лотки  
(А.В. Леонова, 2011)

Выбор мер зависит от:

- инженерно-геологических условий, причин и факторов,
- вида сооружения,
- его ценности,
- срока эксплуатации.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Несмотря на значительные современные успехи в изучении геологических процессов и явлений как компонента природной и природно-технической геосистемы, в создании теорий и методических основ изучения многих процессов и явлений остается еще целый ряд вопросов для глубокого исследования. К ним можно отнести типизацию геодинамических обстановок на разных уровнях, оценку и прогнозирование их экологического состояния, изучение роли многих факторов в развитии геологических процессов, оценки опасности и рисков от процессов и другие вопросы и проблемы.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ананьев С.А. и др. Общая геология. Красноярск: СФУ, 2007.
2. Бондарик Г.К. Методика инженерно-геологических исследований. М.: Недра, 1986. 333 с.
3. Емельянова Т.Я. Инженерная геодинамика. Томск: ТПУ, 2009. 132 с.
4. Золотарев Г.С. Инженерная геодинамика. М.: Из-во МГУ, 1983. 328 с.
5. Иванов И.П., Тржцинский Ю.Б. Инженерная геодинамика. СПб.: Наука, 2001. 415 с.
6. Ипатов П.П. Региональная инженерная геология: учеб. пособие; Томский политехнический институт. Томск: Изд-во ТПИ, 1990. 96 с.
7. Ипатов П.П. Общая инженерная геология: учеб. пособие; Томский политехнический институт. Томск: Изд-во ТПИ, 1997. 83 с.
8. Короновский Н.В. Общая геология. М.: Из-во МГУ, 2002. 405 с.
9. Леонова А.В. Основы гидрогеологии и инженерной геологии. Томск: ТПУ, 2011. 146 с.
10. Сергеев Е.М. Инженерная геология – наука о геологической среде // Инженерная геология. 1979. № 1. С. 3–20.
11. Строительные нормы и правила. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. СНиП 2.01.15-90. М., 1991. 32 с.
12. Трофимов В.Т. Инженерная геодинамика (инженерная геология). М.: МГУ, 2005. 1024 с.