ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ
МГУ ИМЕНИ
М.В. ЛОМОНОСОВА

teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

КАЛИНИН
ЭРНЕСТ ВАЛЕНТИНОВИЧ

ГЕОЛФАК МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ ПРОФ. РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ. СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU.

ЕСЛИ ВЫ ОБНАРУЖИЛИ ОШИБКИ ИЛИ ОПЕЧАТКИ, ТО СООБЩИТЕ ОБ ЭТОМ, НАПИСАВ СООБЩЕСТВУ VK.COM/TEACHINMSU.

БЛАГОДАРИМ ЗА ПОДГОТОВКУ КОНСПЕКТА
СТУДЕНТКУ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МГУ
ГИРЕНКО ЕЛЕНУ ЮРЬЕВНУ

Содержание

Лекция 1. Введение в инженерную геологию 6
1.1. Определение инженерной геологии, как науки 6
1.2. Разделы инженерной геодинамики 9
Лекция 2. Инженерно-геологические условия 11
2.1. Горные породы 12
2.2. Трещиноватость 14
Лекция 3. Напряженное состояние верхних горизонтов Земной коры 19
3.1. Напряженное состояние массива горных пород 19
3.2. Гравитационная и тектонические силы 22
3.3. Напряженно-деформированное состояние (НДС) массива пород 26
Лекция 4. Компоненты инженерно-геологических условий 36
4.1. Подземные воды 36
4.2. Рельеф 37
4.3. Современные геологические процессы 38
4.4. Взаимозависимость компонент инженерно-геологических условий 39
4.5. Классификации геологических процессов 41
Лекция 5. Эндогенные геологические процессы 49
5.1. Современные тектонические движения 49
5.2. Геодинамические режимы 50
5.3. Сейсмичность 52
Лекция 6. Сейсмическое районирование 59
6.1. Общее сейсмическое районирование 59
6.2. Прогноз землетрясений 63
Лекция 7. Выветривание 67
7.1. Основные виды процесса выветривания 68
7.2. Условия и факторы развития процессов выветривания 72
7.3. Основные вопросы инженерно-геологического изучения кор выветривания 73
Лекция 8. Абразия 77
8.1. Типы абразии 78
8.2. Типы морских берегов 79
8.3. Условия и факторы формирования берегов морей 80
Лекция 9. Эрозия 85
9.1. Плоскостной смыв 85

9.2. Овражная эрозия 86
9.3. Речная эрозия 90
Лекция 10. Сели 93
10.1. Формирование селевых потоков 93
10.2. Методы изучения селей 95
Лекция 11. Гравитационные склоновые процессы 99
11.1. Обвалы 101
11.2. Осыпи 105
11.3. Осовы 108
11.4. Оползни-обвалы и развалы 108
11.6. Щебнисто-глыбовые лавины 109
Лекция 12. Гравитационные склоновые процессы: оползни 110
12.1. Определения оползневого процесса 110
12.2. Классификация оползней 112
12.3. Строение оползня и динамика оползневого процесса 114
12.4. Типы оползней 116
Лекция 13. Сейсмогенные оползни 124
13.1. Формирование сейсмогенных оползней 124
13.2. Солифлюкция 127
13.3. Курумы 127
Лекция 14. Снежные лавины. Карст 130
14.1. Снежные лавины 130
14.2. Карст 132
Лекция 15. Карст. Часть II. 137
15.1. Пространственная неравномерность развития карста 137
15.2. Формы карста 138
Лекция 16. Суффозия 142
16.1. Условия и факторы развития суффозии 142
16.2. Параметры суффозионного процесса 144
Лекция 17. Плывуны. Заболачивание 147
17.1. Плывуны 147
17.2. Заболачивание 147
Лекция 18. Просадочные явления 152
Лекция 19. Эоловые процессы 157

19.1. Дефляция ... 157
19.2. Эоловые отложения ... 158
Лекция 20. Вулканизм ... 161
20.1. Области современного вулканизма ... 161
20.2. Типы вулканов, характер вулканических отложений ... 164
20.3. Последствия извержения вулканов ... 167
20.4. Методика ИГ изучения и прогнозирования развития вулканической деятельности .. 168
20. 5. Гидротермы ... 170
20.6. Грязевой вулканизм ... 171
Лекция 21. Процессы в подземных горных выработках ... 173
21.1. Пучение и выпор ... 174
21.2. Вывал и обрушение пород кровли ... 174
21.3 Горные удары и стреляние ... 175
21.4. Суффозия, плывуны, прорывы воды и глин ... 176
Лекция 22. Мерзлотные процессы ... 177
22.1. Криогенные процессы, развивающиеся при снижении температур и промерзании грунтов ... 178
22.2. Посткриогенные процессы, вызванные повышением температур и протаиванием грунтов и воздействием других процессов ... 184
Лекция 23. Криогенные процессы, развивающиеся при снижении температур и формировании многолетнемерзлых толщ ... 189
23.1. Промерзание и первичный диагенез ... 189
23.2. Влияние мерзлотных процессов на ИГ деятельность ... 197
Лекция 24. Цунами ... 199
24.1. Явление цунами ... 199
24.2. Условия развития цунами ... 200
24.3. Рефракция и дифракция волн ... 202
24.4. Методы прогнозирования ... 202

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Лекция 1. Введение в инженерную геологию

1.1. Определение инженерной геологии, как науки

Инженерная геология – наука, которая возникла в начале прошлого столетия: в 20-е годы XX века за рубежом, в 30-е годы XX века в Советском Союзе.

На рисунке 1.1 показана картина И. Шишкина, на которой изображен обрыв, который возник в результате эрозионной деятельности реки. Это один из видов геологических процессов, которые постоянно происходят на поверхности Земли.

Рис. 1.1. И. Шишкин. У берегов Финского залива (Удриас близ Нарвы). 1889

В 1937 году Ф. П. Саваренский писал, что инженерная геология является отраслью геологии, трактующей вопросы приложения геологии к инженерному делу. Он считал, что наука имеет следующие задачи: изучить геологические процессы и физико-механические свойства пород, определяющие условия возведения сооружений; определить направление инженерно-геологических мероприятий по обеспечению устойчивости естественных земляных масс.

В 1959 году И. В. Попов (известный русский инженер-геолог) определял инженерную геологию как науку, которая «является отраслью геологии, изучающей динамику верхних горизонтов Земной коры в связи с инженерной деятельностью человека». Задачей инженерной геологии является прогноз взаимодействия инженерного сооружения с геологической средой во время строительства и эксплуатации. В учебнике И.В. Попова показано, что основными разделами инженерной геологии являются:

1. Грунтоведение.
2. Инженерная динамическая геология или собственно инженерная геология.
3. Региональная инженерная геология.

В 1949 году В. А. Приклонский назвал науку инженерную геологию – инженерной геодинамикой, и считал, что это учение об инженерно-геологических явлениях.

В 1972 году в Большой Советской Энциклопедии (БСЭ) было написано, что *инженерная геология* – отрасль геологии, изучающая верхние горизонты земной коры и динамику последней в связи с инженерно-строительной деятельностью человека. Это

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

определение ничем не отличается от того определения, которое было дано И.В. Поповым. В БСЭ написано, что инженерная геология рассматривает: состав, структуру, текстуру и свойства пород как грунтов, разрабатывает прогнозы тех процессов и явлений, которые возникают при взаимодействии сооружений с природной обстановкой, пути возможного воздействия на процессы с целью устранения их вредного влияния.

В учебниках В. Д. Ломтадзе (1977) написано, что *инженерная геодинамика* – раздел инженерной геологии, предметом изучения которого являются «геологические процессы и явления, как естественные (природные), так и возникшие в связи со строительством сооружений и хозяйственным освоением территорий».

В 1936 году Г.Н. Каменский (крупнейший геолог Советского Союза) написал, что необходимо рассматривать те процессы, которые возникают в результате воздействия сооружений на геологическую среду, инженерно-геологическими процессами. В 1978 году Ф.В. Котлов предложил называть такие процессы *антропогенными процессами* (антропогенно обусловленными), техногенными.

Георгий Сергеевич Золотарев – заслуженный профессор Московского Государственного Университета, Заслуженный деятель науки РФ, лауреат Государственной премии СССР, крупнейший инженер-геолог.

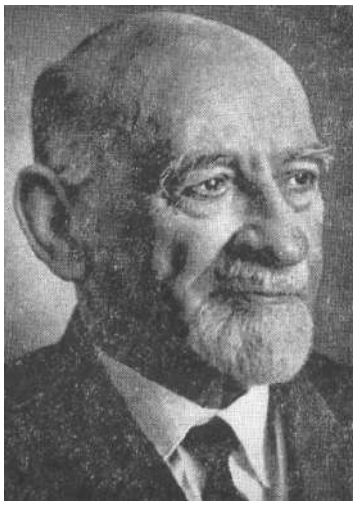

Рис. 1.2. И.В. Попов

Рис. 1.3. Г.С. Золотарев (1914-2006)

Г.С. Золотарев (1983) говорил о том, что инженерная геология – наука, являющаяся отраслью геологии, изучающая строение и динамику верхней части литосферы (геологической среды), как объект преимущественно инженерно-строительной деятельности человека.

Г.К. Бондарик (1981) иначе подходил к определению той науки, которую он рассматривал на кафедре Московского геологоразведочного института. Этот предмет он называл *экзогеодинамикой*. Объектом экзогеодинамики «являются приповерхностные динамические природные и природно-технические геосистемы и

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

процессы, обуславливающие их движение в физическом времени - экзогенные геологические процессы». Составной частью экзогеодинамики должно быть «учение об изменении коллективных и частных свойств геологической среды в физическом времени, в простейшем случае об изменении физико-механических свойств геологической среды (грунтов). Эту часть экзогеодинамики Г.К. Бондарик предлагал назвать динамическим грунтоведением, без которого немыслимо развитие экзогеодинамики как научного направления.

Рис. 1.4. Г.К. Бондарик

Рис. 1.5. В.Т. Трофимов

Одним из последних, кто определял инженерную геодинамику, был заведующий кафедрой инженерной геологии и экологии МГУ был В.Т. Трофимов (1999): «Инженерная геодинамика – научное направление инженерной геологии исследующее морфологию, механизм, инженерно-геологические причины и пространственно-временные закономерности формирования и дальнейшего развития в верхних горизонтах земной коры (литосферы) современных и прогнозируемых геологических процессов, формирующихся в ходе её естественного изменения под влиянием всей совокупности природных факторов и в связи с инженерно-хозяйственной, прежде всего инженерно-строительной, деятельностью человечества».

Инженерная геодинамика изучает *морфологические*, *ретроспективные* и *прогнозные* задачи:

- *Морфологические* задачи имеют своей целью изучить типы, механизм и условия и факторы образования современных геологических и инженерно-геологические процессов.
- *Ретроспективные* задачи связаны с восстановлением истории развития какого-либо геологического процесса или их комплекса, при решении которых применяется историко-генетический подход.
- *Прогнозные* задачи связаны с изучением развития геологических и инженерно-геологических процессов в будущем под воздействием

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

различных причин, как в естественных условиях, так и в результате хозяйственной и строительной деятельности.

Прогноз развития современных геологических и инженерно-геологических процессов является важнейшей задачей инженерной геодинамики, причем в большинстве случаев прогноз должен быть количественным.

1.2. Разделы инженерной геодинамики

Связь между инженерной геологией и инженерной геодинамикой заключается в том, что инженерная геология связана с тем, что она не только изучает процессы, происходящие в земной коре, но и занимается изменением геологической среды (изменением свойств горных пород, рельефа и т.д.). Поэтому инженерная геодинамика – это не только изучение процессов. Сами процессы должны рассматриваться более широко.

Разделами инженерной геодинамики являются:

- *Общая инженерная геодинамика* – исследует инженерно-геологические закономерности развития в массивах верхних горизонтов земной коры природных и антропогенных современных геологических процессов.
- *Региональная инженерная геодинамика* – исследует временно-пространственные закономерности развития в массивах верхних горизонтов земной коры природных и антропогенных современных геологических процессов.
- *Геодинамическое грунтоведение* – часть и грунтоведения, и инженерной геодинамики – исследует закономерности пространственно-временного изменения состава, строения, состояния и свойств грунтов под влиянием природных и антропогенных современных геологических процессов.

В 2001 году были изданы новые учебники. В Частности учебник И.П. Иванова, Ю.Б. Тржцинского. Они считают, что инженерная геодинамика – научное направление инженерной геологии, учение о геологических процессах и явлениях, изучаемых в инженерно-геологическом аспекте.

Последний учебник от авторов: Г.К. Бондарик, В.В. Пендин, Л.А. Ярг «Инженерная геодинамика» выпустили в 2007 году. Коллектив авторов определял инженерную геодинамику, как «научное направление, изучающее приповерхностные, взаимодействующие с внешними геооболочками, литосистемы и литотехнические системы различных уровней, а также процессы их функционирования в физическом времени (экзогенные геологические процессы)».

Прикладные задачи инженерной геологии.

Прикладные задачи инженерной геологии были сформулированы Г.С. Золотаревым в 1983 году:

1. Оценка инженерно-геологических условий с целью выбора места, типа, конструкции сооружения, технологии строительства и режима эксплуатации.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

2. Прогноз взаимодействия геологической среды и инженерного сооружения, изменения существующих и возникновение новых геологических и инженерно-геологических процессов в количественной форме.
3. Научное обоснование мероприятий по укреплению массивов горных пород и управлению геологическими и инженерно-геологическими процессами и по предотвращению опасных последствий строительства.
4. Организация режимных наблюдений (мониторинг) за развитием геологических и инженерно-геологических процессов, эффективностью мероприятий и надежностью работы сооружений.

Этапы развития инженерной геологии.

Многие цивилизации строили сооружения. Большое количество сооружений сохранилось и до наших дней. Выделяют следующие этапы развития инженерной геологии:

- древние зодчие – уникальные сооружения: дворцы, крепости, храмы;
- железнодорожное строительство (процессы) 1842-1914;
- орошение (Заволжье, Сев. Кавказ, Средняя Азия);
- строительство дорог и аэродромов;
- гидротехническое строительство (ГОЭЛРО);
- оформление инженерной геологии в самостоятельную науку (30-е годы);
- производственные организации;
- горное дело (объём свода обрушения по М.М.Протодьяконову);
- Плотины на равнинных реках и в горно-складчатых областях (берега 35 000 км);
- строительство городов (возникло больше 1000 с 1917 по 1979);
- трубопроводы (северный поток);
- экологические проблемы.

Образование и наука.

Для изучения науки были открыты кафедры:

- Кафедры инженерной геологии
  - ЛГИ - 1929 г.
  - МГРИ - 1932 г. Ф.П. Саваренский
- Кафедры грунтоведения
  - ЛГУ - 1930 г. П.А. Замятченский
  - МГУ - 1938 г. М.М. Филатов

В 1966 был создан Научный совет по инженерной геологии и грунтоведению в составе отделения геологии, геохимии и геофизики АН СССР. В 1968 была образована МАИГ на 23-й сессии Международного геологического конгресса в Праге. В 1980 возник Научный совет по инженерной геологии и грунтоведению при АН СССР. В те же самые годы началось создание станций по изучению оползней, карста и др. процессов.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

Одновременно с научными организациями возникали и производственные организации:

- 1932 г. – Лаборатория инженерной геологии при главном геолого-гидрогеологическом управлении – Ф.П. Саваренский, И.В. Попов.
- 1935 г. – Отдел инженерной геологии в Геологическом институте АН СССР – Ф.П. Саваренский, В.А. Приклонский.
- 1940 г. – ВСЕГИНГЕО – Богомолов, В.А. Приклонский ПНИИИС Госстроя СССР, Гидроэнергопроект, Мостранспроект и др.
- 1944 г. – Лаборатория гидрогеологических проблем им. Ф.П. Саваренского.

Связь инженерной геологии с другими науками.

Инженерная геология тесно связана с другими науками:

- Геологические науки (стратиграфия, тектоника, историческая геология, петрология, литология, геоморфология и др.).
- Гидрогеология, геокриология, геофизика.
- Географические науки (океанология, гидрология, климатология, метеорология и др.).
- Технические науки - горное (шахты, карьеры, откачки) и строительное (промыщленно-гражданское, дорожное, гидротехническое, подземное) дело.
- Естественные науки (физика, химия).
- Математика и механика.

Инженерная геология за рубежом.

Одни из крупнейших авторов за рубежом – это К. Терцаги:

- 1925 - Строительная механика грунтов
- 1929 - Инженерная геология (для строителей)

А также Л. Мюллер (Австрия) (1963 - Механика скальных массивов) и Ч. Джегер (Англия, Кембриджский ун-т) (1972 - Механика горных пород и инженерные).

Основным отличием было то, что в СССР естественно исторический подход к изучению инженерно-геологических условий, в то время как за рубежом количественная оценка показателей механических свойств пород, разработка аппаратуры и методики их определения.

Лекция 2. Инженерно-геологические условия

В 1959 году вышла книга И. В. Попова «Инженерная геология». В этой книге написано, что основным предметом «Инженерной динамической геологии или собственно инженерной геологии», являются инженерно-геологические условия:

- «совокупность геологической обстановки, которая включает в себя породы, подземные воды, процессы, рельеф. Совокупность этих

компонентов имеет значение для проектирования, строительства и эксплуатации инженерных сооружений;

- их изучение, выявление взаимозависимости и зависимости от других природных явлений (климата и др.) и прогноз взаимодействия их с инженерными сооружениями являются основной задачей инженерно-геологических исследований».

Компоненты инженерно-геологических условий.

Инженерно-геологические условия – факторы или элементы геологической среды, которые учитываются при проектировании, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений:

1) горные породы,
2) подземные воды,
3) рельеф,
4) современные геологические процессы.

Среди факторов, формирующих инженерно-геологические условия, И. В. Попов различал *региональные геологические* и *зональные*. Прогноз изменения инженерно-геологических условий является задачей инженерной геодинамики.

2.1. Горные породы

Одним из факторов инженерно-геологической обстановки являются горные породы.

Горные породы – это основной объект инженерно-геологических исследований:

- являются основанием,
- вмещают сооружения,
- входят в состав сооружений.

Горные породы:

- включают подземные воды;
- определяют формы рельефа
- являются средой развития современных геологических процессов.

Массивы горных пород.

Инженерная геология имеет дело с массивами горных пород, так как сооружение взаимодействует с массивом.

Массив – любая толща грунтов (не зависимо от её внутренней структуры), находящаяся во взаимодействии с инженерным сооружением. *Массив* – геологическое тело, образующее геологическую структуру и характеризующееся присущим только ему составом, строением и инженерно-геологическими закономерностями. Массив, сложенный дисперсными грунтами, называют *грунтовой толщей*. Зоны тектонических нарушений – *особые массивы*. Такая система представляет собой трещиноватую зону.

Инженерно-геологический элемент (ИГЭ) – часть массива, обладающая одинаковыми составом, строением, свойствами и состоянием. Выделение инженерно-

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

геологических элементов является основной задачей инженерно-геологических исследований для обоснования строительства.

Масштабный эффект.

Деятельностью инженер-геологов является отбор образцов и изучение свойств горных пород, которые служат основанием будущего сооружения. Эти эксперименты проводятся на образцах различного размера: в лабораторных условиях – на образцах малого размера, а в полевых условиях исследованию подвергаются большие по величине объемы горных пород (до кубических метров). Свойства пород зависят от того, на каком образце мы определяем эти свойства: если определять свойства на образце малого размера, то получаются максимальные по величине показатели изучаемого свойства. При увеличении образца для исследования постепенно величина свойства уменьшается. Это продемонстрировано на кривой – рисунок 2.1. Величина, которая характеризует свойства образцов максимального размера, асимптотически стремится к какой-то величине, которая характеризует свойства массива горных пород. Такой эффект называется *масштабным*: величина определяемого свойства зависит от размера образца.

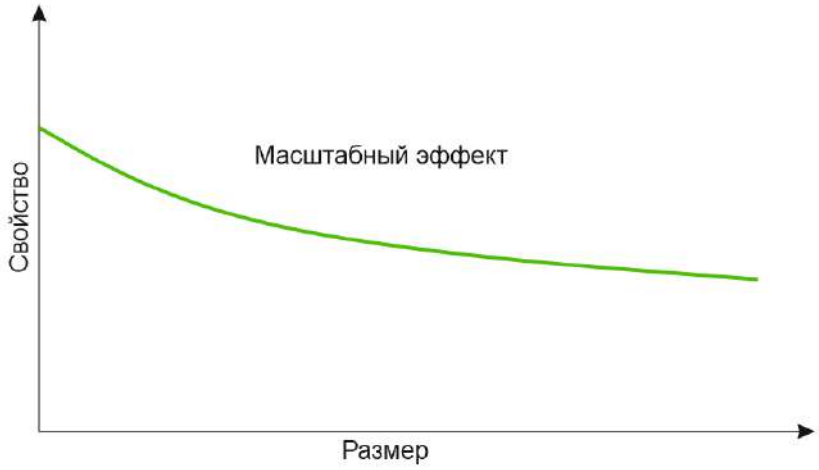

Рис. 2.1. Масштабный эффект

Состав, свойства, строение и состояние грунтов.

Горные породы отличаются по составу, свойствам, строению и состоянию.

На поверхности Земли могут обнажаться и магматические горные породы, которые имеют различный состав, и метаморфические, и осадочные.

Основными свойствами грунтов являются плотность, влажность, деформируемость, прочность, проницаемость и т.п.

В случае, когда речь идет о горных породах, которые будут служить основанием будущего объекта строительства, то в этом случае изучаются такие показатели как прочность и деформируемость.

Важной характеристикой являются условия залегания – слоистость, складчатые и разрывные тектонические структуры.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

Горные породы отличаются по состоянию:

- пески плотного и рыхлого сложения;
- глины твердые, пластичные, текучие;
- скальные - по степени трещиноватости;
- степень выветрелости;
- мерзлые и талые.

Изучение трещиноватости горных пород является очень важной инженерно-геологической задачей.

Верхние горизонты пород, которое обнажены на поверхность подвержены геологическим процессам и часто в них развита кора выветривания. Выветрелость горной породы может проникать на значительную глубину, которая может измеряться метрами. Часть горной породы, подверженная выветриванию, существенно изменяет свои свойства: уменьшается прочность, увеличивается деформируемость горной породы, изменяется проницаемость.

На большей части России наблюдается распространение многолетнемерзлых горных пород. В южной части мерзлота возникает сезонной, а на 70% территории нашей страны присутствует постоянная мерзлота.

Естественное напряженное состояние. Важное состояние горной породы – это напряженно-деформируемое состояние. Вся Земля находится под действием гравитационной силы Земли. Наличие этой силы приводит к тому, что все объекты Земли находятся под действием этой силы и, следовательно, находятся в напряженно-деформируемом состоянии. Это состояние в самых верхних горизонтах Земной коры проявляется не очень сильно, в то время как на глубинах, превышающих 500 м, проявляется интенсивно и сильно. Изучить напряженное состояние не очень просто, потому что оно меняется от точки к точке. Современным способом изучение напряженного состояния является математическое моделирование.

2.2. Трещиноватость

Одним из основных свойств скальных пород является трещиноватость. Трещиноватость влияет на изменение свойств скальных пород – прочность, деформированность (увеличивается с увеличением трещиноватости). Наличие трещин в горных породах определяет (увеличивает) их фильтрационные свойства. С трещиноватостью связаны процессы. На склонах гор/долин часто развиваются гравитационные процессы: оползни, обвалы, осыпи. Все эти процессы развиваются в тех местах, где породы обладают повышенной трещиноватостью и где развиты тектонические нарушения. Кроме того, трещиноватость горных пород приводит к тому, что они проще размываются, увеличиваются абразионные явления.

Инженерная геология связана с изучением генетических типов трещин: зная генетический тип трещин, можно получить много информации о параметрах и свойствах трещиноватости.

Генетические типы трещин:

- *Литогенетические* – контракционные, напластования, усыхания, усадки.

В процессе осаждения горной породы возникают трещины *напластования*.

При проникновении магматических горных пород в осадочные породы или на границе интрузия/осадочные породы происходит процесс остывания пород, которые образуются в результате остывания интрузивного тела. При остывании интрузивного тела уменьшается объем, и порода растрескивается: образуются две системы трещин (параллельные границе интрузивного тела трещины и перпендикулярные этой границе). В следствие этого возникает повышенная трещиноватость. Такие трещины называются *контракционными*.

Большие массивы горных пород в засушливых районах часто сложены глинистыми отложениями. На этих отложениях в результате осадков формируются значительные по глубине «озера», которые высыхают в засушливый период года. Глина, находившееся в контакте с водой, также высыхает и образуется процесс, который называется *усадкой*. Такие поверхности называю *такыры*. Такие трещины часто образуют многоугольники. Аналогичные процессы могут происходить и в эффузивных горных породах.

- *Тектонические* – по взаимоотношению со структурами: соскладчатые, приразрывные, оперяющие; по механизму образованию: сжатия, растяжения, сдвига, скола, проскальзывания по слоистости и т.п.

Тектонические трещины по-разному формируются в массивах горных пород. Трещины классифицируются по взаимоотношению с теми структурами, в пределах которых они образуются.

Тектонические трещины так же классифицируются по направлению усилия, в котором испытывает напряжение массив горных пород. Если массив горных пород испытывает сжатие, то образуются вертикальные трещины; если испытывает растяжение, то возникают трещины, перпендикулярные направлению растяжения. Сдвиговые явления приводят к возникновению различных трещин.

- *Экзогенные* – выветривания, разгрузки и разуплотнения, мерзлотные, оползневые (бортового сдвига, зоны скольжения, выдавливания), сдвижения, просадочные, суффозионные;

Экзогенные трещины в областях, где горные породы подвержены выветриванию. Трещины выветривания отличаются от всех предыдущих типов трещин. Так трещины напластования – протяженные, а трещины выветривания обладают незначительной протяженностью.

Трещины разгрузки и *разуплотнения* наблюдаются, когда происходит эрозия горных пород (например, при образовании речных долин). Обнаженные горные породы, находившиеся в напряженном горном состоянии, с одной стороны, перестают воспринимать действие пород, которые были разрушены и унесены. Соответственно,

эти горные породы начинают двигаться в сторону освободившегося пространства – разуплотняться.

Трещины разуплотнения и разгрузки образуются в результате не только природных процессов. Создание различного рода выемок приводит к тому, что порода освобождается от вышележащих горных пород.

Существует так же ряд трещин (например, просадочные), которые образуются в результате геологических процессов. Нередко для горных пород характерны просадки: какая-то часть пород осаждается с образование трещин по контуру этой просадки.

Существуют *оползневые* трещины, которые образуются в верхней части оползня (в месте отрыва от объема горных пород). Такие трещины, например, часто образуются на Ленинских горах.

- *Техногенные* – разгрузки, разуплотнения, сдвижения.

Техногенные трещины связаны с разгрузкой горных пород.

Параметры трещиноватости:

- Положение в пространстве определяется элементами залегания (угол падения, азимут простирания).
- Размер: ширина, протяженность, глубина проникновения.

В инженерной геологии главным параметром, характеризующим трещиноватость является интенсивность. *Интенсивность трещиноватости:*

- Модуль трещиноватости – количество трещин на 1 погонный метр какого-либо направления. Таким направлением может быть скважина.
- Коэффициент трещинной пустотности – отношение выраженное в % площади трещин к площади площадки подсчета.
- Коэффициент трещинной блочности – отношение среднего объёма элементарного блока породы к 1 м^3.
- Блочность – средний поперечный размер блока.

Коэффициент трещинной пустотности определяет механические свойства горных пород. Деление массивов по $K_{тп}$:

- <2% – слабо трещиноватые;
- 2 - 5% – средне трещиноватые;
- 5 - 10% – сильно трещиноватые;
- >10% весьма сильно трещиноватые.

Косвенные показатели интенсивности трещиноватости:

- процент выхода керна;
- удельное водопоглащение;
- скорость продольных упругих волн;
- *RQD* – отношение суммарной длины столбиков керна длиной более 10 см к длине интервала опробования.

В инженерной геологии изучается не только интенсивность трещиноватости.

Классификации трещин:

- По ширине:
  - дефекты кристаллической решетки <0,001 мм;
  - микротрещины 0,001 – 10 мм;
  - макротрещины 10 – 1000 мм;
  - мегатрещины >1000 мм.
- По форме: прямолинейные, криволинейные, волнистые. Это важный параметр трещин, так как оползни часто образуются по прямолинейным трещинам.

Существует несколько классификаций трещин. Трещины классифицируются по разным признакам:

- По взаимосвязи и ориентировке (сети трещин): системные, полигональные, хаотические.
- По характеру окончаний: затухающие, с ветвящимися концами, отсеченные другой трещиной.

Кроме трещин необходимо различать тектонические разрывы, которые могут отличаться порядком.

Инженерно-геологическое значение изучения трещиноватости.

Степень и характер трещиноватости горных пород определяет их свойства:

- деформируемость и прочность;
- водопроницаемость;
- блочность;
- фильтрационную и механическую анизотропию;
- разрабатываемость;
- горное давление;
- перераспределение напряжений.

Процессы, на которые влияет трещиноватость:

- оползни, обвалы, осыпи;
- карст;
- выветривание;
- эрозия и абразия.

Когда сооружение ставится на массив горных пород, в котором развиты трещины, то можно определить модуль деформации массива. Расчет модуля деформации массива пород в направлении перпендикулярном основанию:

$$E_{\perp} = \frac{E_0}{1 + \sum_{i=1}^{n} \eta_i (1 - sin^4 \theta_i)}$$

$$\eta_i = \frac{b_i}{\xi a_i}, \ \xi = 3 \cdot 10^{-2}$$

$E_{\perp}$ – модуль деформации в направлении перпендикулярном основанию,

E_0 – модуль деформации образца,

b_i – ширина трещины,

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

a_i – расстояние между трещинами,

θ_i – угол наклона i-той системы трещин.

ξ – эмпирический коэффициент – доля контактов в общей площади стенок трещины.

Изучение трещиноватости:

- Обнажения, горные выработки, керн.
- Фотогеологические методы (элементы залегания, ширина, протяженность)
- Геофизические методы (пустотность массива – ультрозвуковое просвечивание, оценка анизотропии – сейсмопрофилирование)
- Гидрогеологические методы – нагнетание в скважины для определения удельного водопоглощения – интенсивность трещиноватости.
- Улучшение свойств трещиноватых массивов – методы технической мелиорации.

Карты трещиноватости практически всегда составляются при оценке условий строительства различного рода сооружений. В основе лежит структурно тектоническая карта. На картах происходит выделение областей по интенсивности трещиноватости – по K_{mn}. Положение трещин в пространстве изображаются в виде розы трещиноватости или диаграммы плотности трещин.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

Лекция 3. Напряженное состояние верхних горизонтов Земной коры

3.1. Напряженное состояние массива горных пород

Напряженное состояние массива горных пород изучается: тектоникой, горным делом, механикой грунтов, инженерной геологией (геологические процессы).

В механике грунтов изучается напряженное состояние горных пород в связи с тем, что строится много сооружений, которые являются источником дополнительной нагрузки на горные породы. Это приводит к тому, что напряжения в грунтах изменяются и породы деформируются. Основной задачей механики грунтов является прогноз осадки, которая возникает в результате воздействия на горную породу поставленных на нее сооружений.

Позже вопросами напряженного состояния пород начали заниматься и в рамках инженерной геологии. Ряд процессов связан с изменением напряжений в массиве горных пород. Например, существуют оползни. Основной причиной появления оползней является изменение напряженного состояния грунтов в верхней части разреза. Кроме того, начиная с 1970-х инженерная геология стала заниматься проблемой сооружения крупных гидротехнических сооружений (на территории РФ таких сооружений достаточно много).

Инженерная геология занимается вопросами естественного напряженного состояния – напряженное состояния, в котором горные породы находятся до того, как построено сооружение и вопросами изменений, которые происходят под воздействием инженерных сооружений на горные породы.

Задачи, которые необходимо решать при изучении напряженного состояния горных пород:

- тип напряженного состояния,

Необходимо определить, какой тип напряженного состояния характерен для того или иного региона. Известно, что русская платформа имеет тип напряженного состояния в центральной части, который возникает только благодаря действию гравитационной силы. На Кольском полуострове – другая обстановка. Дело в том, что на напряженное состояние верхних горизонтов земной коры оказывает влияние не только гравитация, но и тектонические процессы. Так, на Кольском полуострове/в Скандинавии действует горизонтальное напряжение, которое приводит к тому, что усложняется напряженное состояние. На Кольском полуострове разрабатываются некоторые виды полезных ископаемых (в частности, апатиты). Эти разработки осуществляются с помощью горных выработок. Одной из горных выработок являются шахты, которые имеют округлую форму. В результате действия горизонтальных напряжений круглые формы шахт преобразуются в эллиптические формы (сжимаются вдоль действия напряжений).

Существует обстановка не только сжатия, но и растяжения. Так, на Красном море или Байкале, провалы в земной коре образовались благодаря действию тектонической силы, которая действует таким образом, что горные породы растягиваются. Растяжение

горных пород приводит к деформации, из-за которой возникают глубокие ущелья и заполняются водой.

- ориентация осей;

Необходимо определять главные оси напряжений, которые возникают в некоторых точках массива горных пород. Таких осей – три. При действии только гравитации, то одной из осей, по которой действует напряжение, является ось, которая совпадает с направлением действия гравитационной силы. Остальные две оси перпендикулярны этому направлению.

- величина напряжений.

Определить величины напряжений достаточно трудно.

Напряженно-деформированное состояние массива пород определяется *факторами*:

- Глобальные – гравитация.

Основным фактором, который всегда присутствует – это гравитационная сила.

- Региональные – тектоника, сейсмичность (землетрясения).
- Локальные:
  - рельеф,
  - подземные воды – взвешивание, фильтрационные силы,

Если горная порода опущена ниже уровня вод, то она испытывает взвешивание. Кроме того, движущаяся подземная вода оказывает на массив горных пород гидродинамическое давление – в массиве возникают фильтрационные силы.

  - неоднородность пород по деформационным свойствам,

Массив горных пород является неоднородным и состоит из минералов, которые отличаются друг от друга деформационными свойствами.

  - техногенные – сооружения, карьеры, подземные выработки, взрывы, откачки.

К техногенным факторам относятся различного рода воздействия. Кроме того, человек строит горные выработки – пустоты, которые создаются в массиве горных пород. В массиве есть и пустоты, образовавшиеся естественным образом – это различного рода карстовые полости и др. Это приводит к тому, что вокруг этих пустот происходит изменение напряжения. При взрывах также изменяется напряжение в массиве. Это происходит, потому что при взрыве распространяются волны (сейсмичность). Еще одним фактором являются откачки. При откачке изменяются те напряжения и силы, которые возникают в массиве флюида (уменьшается давление от флюида). Возникают так называемые *оседания*. Так, оседания, например, в 1920-х годах в Америке, достигали величины 8-12м. Оседания поверхности испытывают и Италия, и Российская Федерация и т.д.

Локальные факторы изменяют напряженное состояние на узких участках (небольших по площади) земной коры.

Модели НДС верхних горизонтов Земной коры.

Вопросом напряженного состояния горных пород человечество занялось не так давно. Одним из первых, кто занялся этим вопросом был Альберт Гейм (рис. 3.1).

Альберт Гейм (Цюрих, Швейцария) – президент геологической комиссии Швейцарского общества естествоиспытателей.

Альберт Гейм впервые высказал гипотезу о том, как распределены напряжения в массиве горных пород. Гипотеза о силах, действующих в нетронутом скальном массиве пород (1878 г.): «Давление пород есть не что иное, как тяжесть толщи пород».

Это было первое соображение о том, каким способом возникают напряжения в массиве горных пород. Его представление было основано на примере кубика, напряжение на гранях которого одинаковое. Из факторов напряженного состояния учитывалась только гравитация:

$$\sigma z = \sigma y = \sigma x = \rho g h$$

В 1920-е годы в Советском Союзе было высказано несколько другое мнение А.Н. Динник.

Динник Александр Николаевич – советский учёный в области горной науки, академик Академии Наук СССР прикладной математики, теории упругости и колебаний, одним из приложений которой является разработка теории горного давления, искривления скважин, расчёта шахтных крепей.

А.Н. Динник высказал предположение о том, что при рассмотрении куба (рис. 3.3) на глубине в определенной точке, то на поверхности, которая перпендикулярна действию гравитационной силы, возникают силы, которые равны весу вышележащих пород. На боковых гранях этого кубика тоже возникают напряжения, но они не равны той силе, которую испытывает горизонтальная поверхность, а они меньше:

$$\sigma z = \rho g h$$

$$\sigma y = \sigma x = \xi \rho g h$$

Рис. 3.1. Альберт Гейм

Рис. 3.2. Александр Николаевич Динник

Существуют такие массивы горных пород, которые приближаются по своим свойствам к той гипотезе, которая была высказана Альбертом Геймом. Например, соль – пластичная горная порода, в которой в «кубе» породы, на всех гранях действуют

аналогичные напряжения. Если же порода скальная, то она не деформируется таким образом, как деформируется соль. Поэтому на боковых гранях не могут возникнуть те же самые по величине напряжения.

Для изучения напряженного состояния в массиве горных пород необходимо знать, какие компоненты напряжения действуют в массиве пород в каждой точке (минимум 3 компоненты в каждой точке).

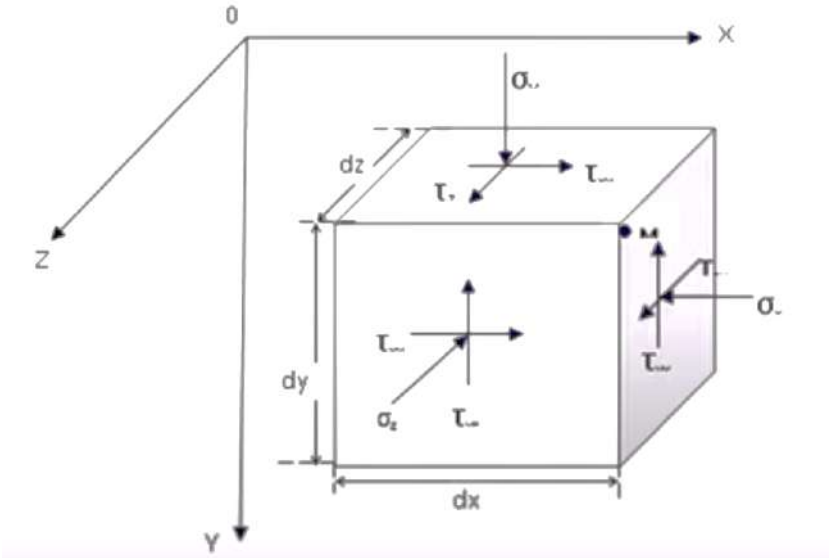

Рис. 3.3. Нормальные и касательные компоненты напряжений в точке

3.2. Гравитационная и тектонические силы

Естественное напряженное состояние верхних горизонтов земной коры формируется совместным действием гравитационных и тектонических сил

Гравитационная сила:

$$\sigma_{1г} = \rho g H;\ \sigma_{2г} = \sigma_{3г} = \frac{\mu}{(1-\mu)}\rho g H + T + \Delta T H,$$

где H – глубина точки, на которой рассматривается тектоническая сила. На боковых гранях возникают меньшие по величине напряжения, но они связаны с силой, которая действует на горизонтальную поверхность с помощью коэффициента Пуассона μ, как величина $\frac{\mu}{(1-\mu)}$. При таком рассмотрении градиент изменения напряжений в массиве горных пород составляет 0.2-0.32 кг/см^2/м.

Для тектонической силы существуют следующие выражения:

$$\sigma_2 = \sigma_{2г} + \sigma_{2m} = \frac{\mu}{(1-\mu)}\rho g H + T + \Delta T H$$

$$\sigma_3 = \sigma_{3г} + \sigma_{3m} = \frac{\mu}{(1-\mu)}\rho g H + \mu(T + \Delta T H)$$

Напряжения, действующие на вертикальных площадках куба связаны с напряжениями, действующими на горизонтальной площадке.

Тектоническая сила может действовать в различных направлениях: если рассматривать куб, то в каких-то направлениях тектоническая сила действует, а в каких-то не действует.

На рисунке 3.4 показан графики данных с Кольского полуострова, характеризующих горизонтальные напряжения. Левый график – это график изменения напряжения, с вязанный с действиями гравитационной силы, а правый график дополнительных напряжений. По разности эти графиков можно определить дополнительную силу, чтобы возникли напряжения, которые измерили экспериментальным путем.

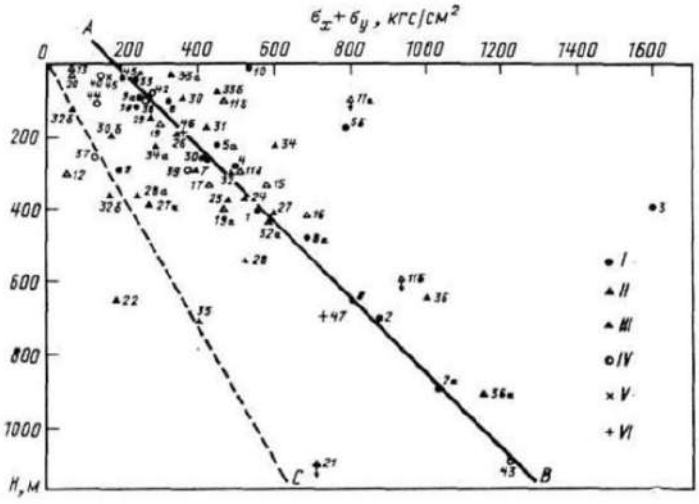

Рис. 3.4. Тектоническая сила (П.Н. Кропоткин, 1973)

Проанализировав график Кропоткина, можно посчитать тектонические силы.

Величина тектонической силы – 10-20 Мпа. В книге («Основы прикладной геомеханики в строительстве») Н.А. Цытовича определено, что величина тектонической силы может достигать 35-45 Мпа.

Преподаватель (Калинин Э.М) работал на Рогунской ГЭС, где была определена тектоническая сила в 12 Мпа. Сотрудниками геологического факультета были определены напряжения на Талнахский рудном узле – 23-38 Мпа. С помощью экспериментов определить величины напряжений достаточно сложно. Поэтому все значения и величины рассчитаны с некоторой точностью.

$$\sigma_{2m} = \mathrm{T}$$

$$\sigma_{3m} = \mu\mathrm{T}$$

$$T = \frac{(\sigma_{2m} + \sigma_{3m})}{(1 + \mu)}$$

Кроме тектоники, одним из существенных факторов, которые влияют на перераспределение напряжений – это воздействие землетрясений:

- Гипоцентр (очаг) и эпицентр землетрясения.
- Плейстосейстовая область (область, возникающая вокруг эпицентра).

- Во время землетрясений образуются продольные и поперечные волны. Под продольными волнами понимаются такие волны, когда колебание частиц совпадает с направлением распространения сейсмической волны. Поперечные волны – это такие волны, перемещение частиц которых перпендикулярно направлению распространения волны.
- Поверхностные волны: Лява и Релея (рис 3.5). Волны Рэлея – поверхностные волны, когда частицы на поверхности перемещаются по эллипсу по направлению, противоположному направлению распространению волны. Сам эллипс располагается вертикально и параллельно распространению волны. Волны Лява – поверхностные волны, которые действуют, когда частицы движутся по поверхности, перпендикулярно распространению волны.

Каждую монохроматическую волну одной частоты можно охарактеризовать через длину волны λ, период t или частоту колебания $f = \frac{1}{t}$, которые связаны с фазовой скоростью v соотношением $\lambda = tv = \frac{v}{t}$.

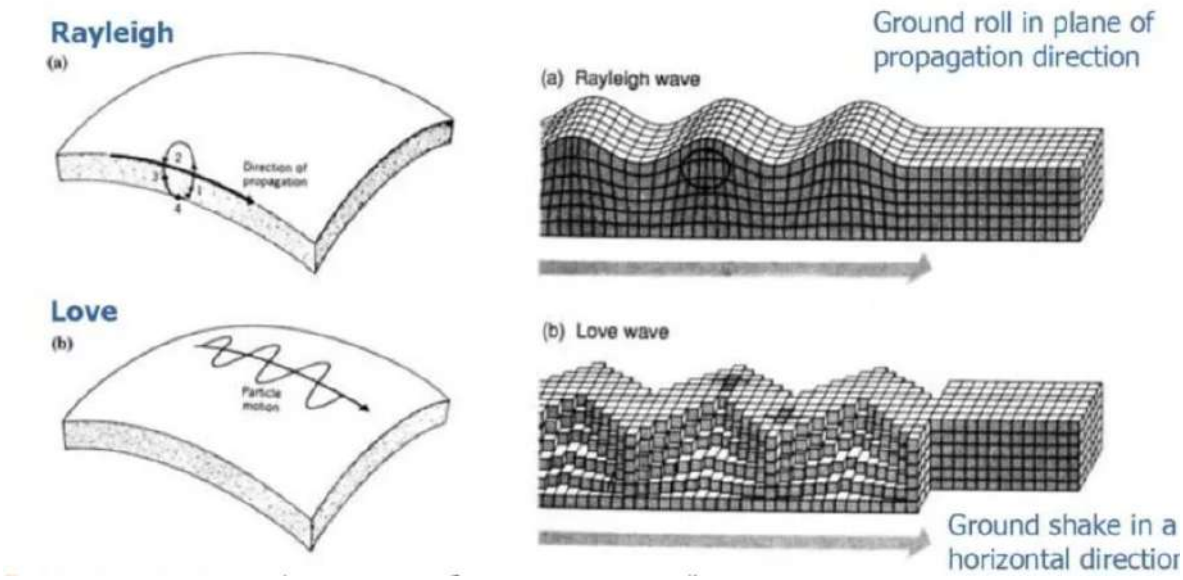

Рис. 3.5. Поверхностные волны Рэлея и Лява

Поверхностные волны формируются вблизи от поверхностей раздела с резким изменением упругих свойств (например, земной поверхности). Волна Лява возникает, когда на земной поверхности располагается слой с пониженной скоростью Vs_1, по сравнению с подстилающей Vs_2.

Наибольшую скорость имеют продольные волны. Поперечные волны обладают меньшей скоростью. Поэтому на сейсмостанции, которые принимают сейсмические волны, поступает сначала продольная волна, а затем поперечная волна. Поверхностные волны – еще более медленные.

На рисунках 3.5 и 3.6 показаны зоны концентрации интенсивности напряжений при прохождении сейсмической волны. Черным показан воздух, белым – массив

горных пород речной долины, по которой распространяется сейсмическая волна. Сначала волна идет равномерно. В некоторый момент начинаются осложнения, которые связаны с тем, что волна набегает на границу между горным массивом и воздухом, отражается и встречается с набегающей волной. Поэтому возникают концентрации напряжений.

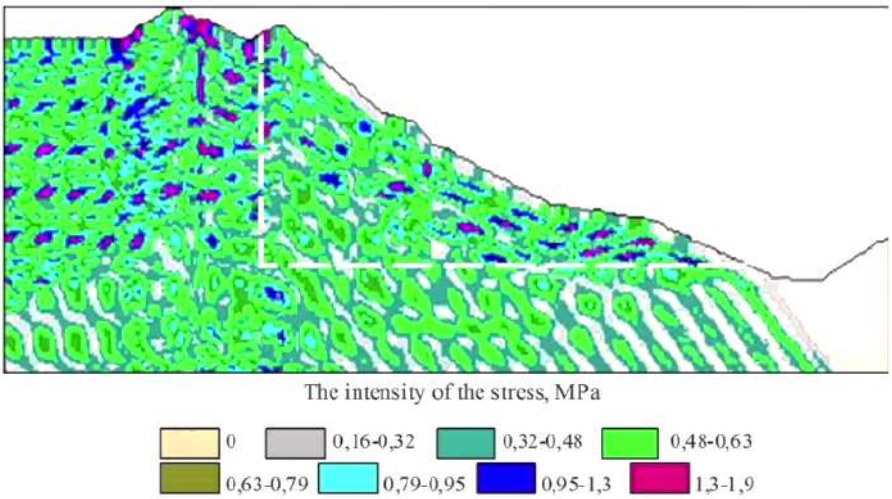

Рис. 3.6. Зоны концентрации интенсивности напряжений при прохождении сейсмической волны

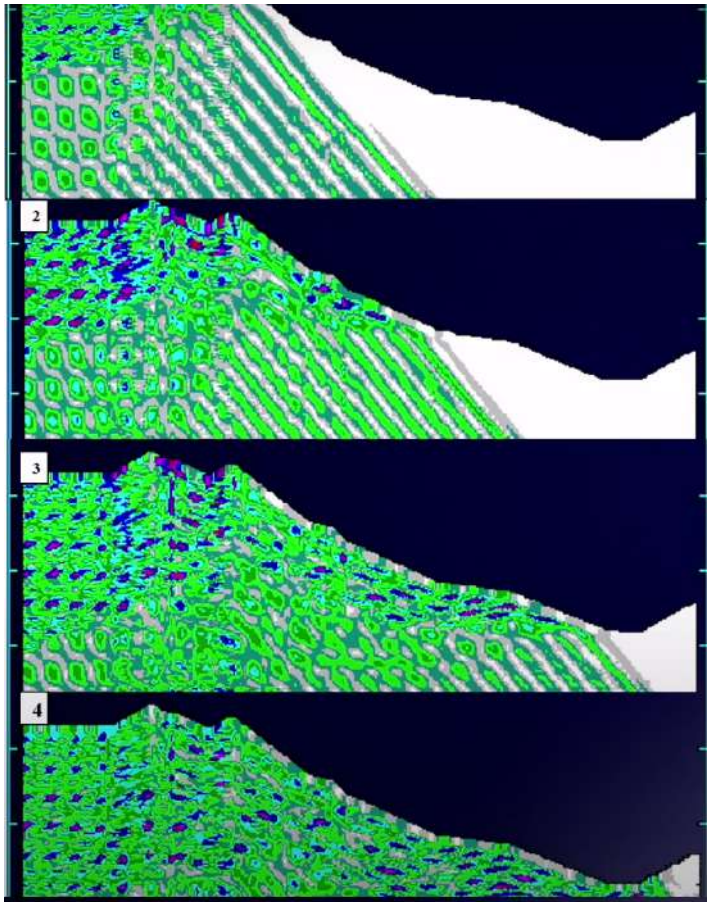

Рис. 3.7. Зоны концентрации интенсивности напряжений при прохождении сейсмической волны. Этапы продвижения волны в сторону речной долины

3.3.Напряженно-деформированное состояние (НДС) массива пород

Одним из факторов, который влияет на величину напряжений, является геометрия массива:

- Рельеф – размах 20 км.
- Полости, как естественные (например, карстовые), так и искусственные (различные выработки).

Влияние рельефа на НДС.

Распределение различных напряжений (горизонтальных и касательных) на примере речной долины/ущелья показано на рисунке 3.8. На левой части рисунка показано распределение горизонтальных напряжений, а на правой части – распределение касательных напряжений. Горизонтальные напряжения концентрируются и становятся наиболее максимальными в самой нижней точке ущелья. Касательные напряжения концентрируются в нижней трети речной долины.

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

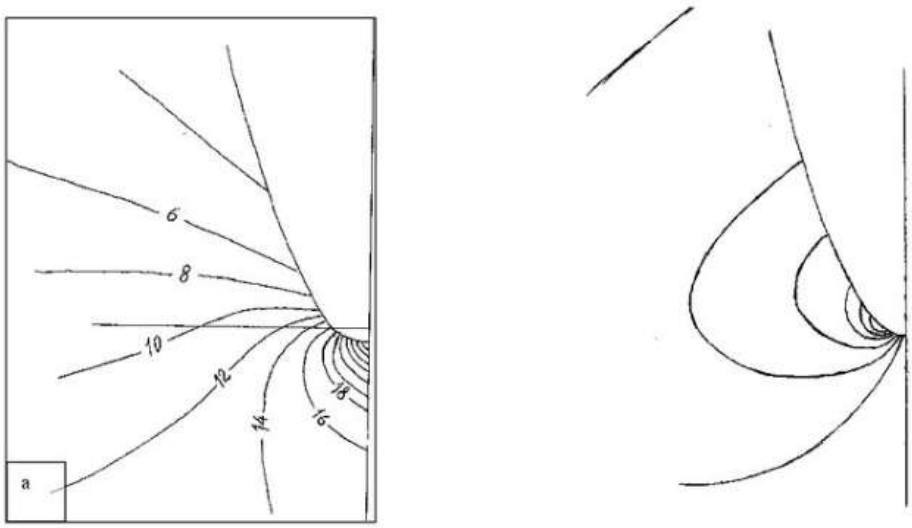

Рис. 3.8. Горизонтальные и касательные

Формирование напряженного состояния вокруг полостей показано на рисунке 3.9. Напряжения изменяются благодаря тому, что в массиве горных пород возникла полость. При приближении к этой полости/выработке по горизонтали горизонтальные напряжения уменьшаются и на самом контуре становятся нулевыми. Вертикальные напряжения же – возрастают до величины в 2.8 раза более высокие, чем те напряжения, которые являются гравитационными.

На поверхности горной выработки вертикальные напряжения уменьшаются. Горизонтальные напряжения растут, но при приближении к горной выработке они начинают уменьшаться. Горизонтальные напряжения из сжимающих превращаются в растягивающие, которые наблюдаются на поверхности горной выработки. Это приводит к тому, что в верхнем слое горных пород возникают трещины.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

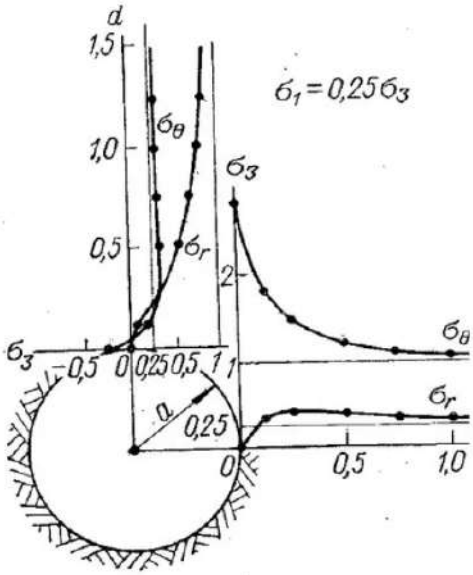

Рис. 3.9. Радиальные и тангенциальные напряжения в стенках подземной полости кругового поперечного сечения при геостатическом распределении напряжений ($a_1 = 0{,}25a_3$) [И.А. Турчанинов и др., 1977]

На рисунках 3.10 и 3.11 показано влияние подземной полости на распределение max (а) и min (б) напряжений при горизонтальном сжатии. Напряжение возникает на кровле и на подошве выработки.

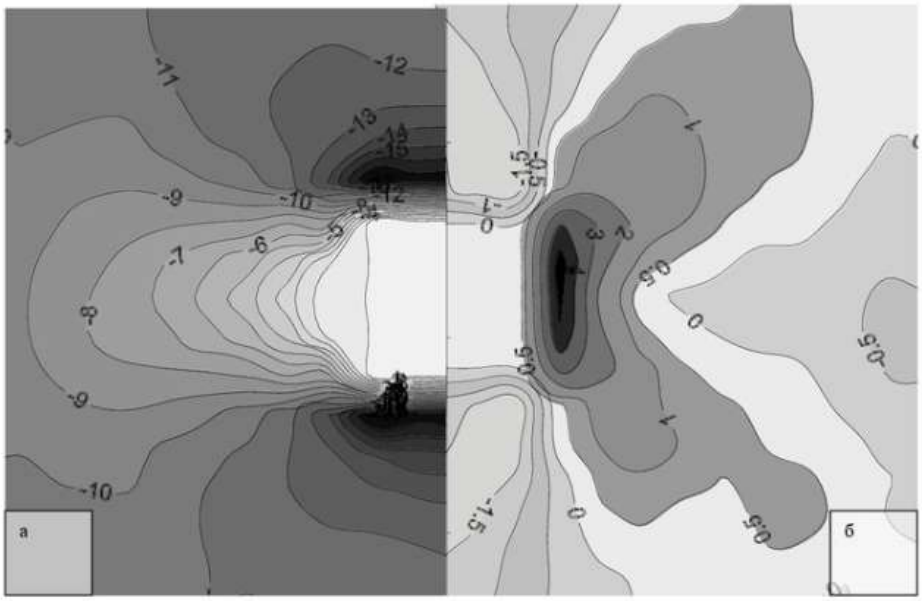

Рис. 3.10. Влияние подземной полости

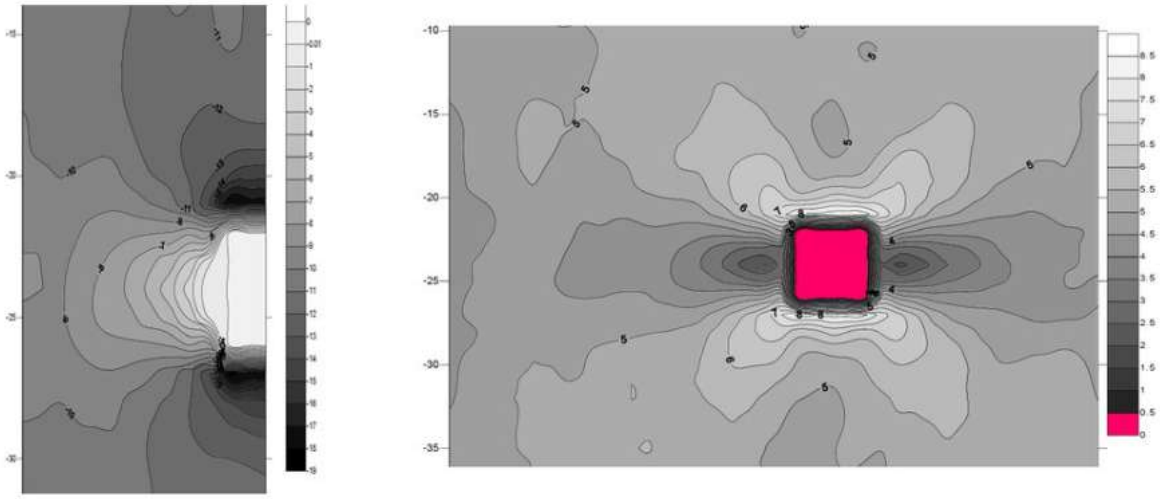

Рис. 3.11. Max (а) и min (б) напряжения при горизонтальном сжатии

Распределение максимальных касательных напряжений (tmax) (рис. 3.12) в результате образования пустоты в некотором слое горных пород. Над пустотой возникает перераспределение напряжений (максимальных касательных).

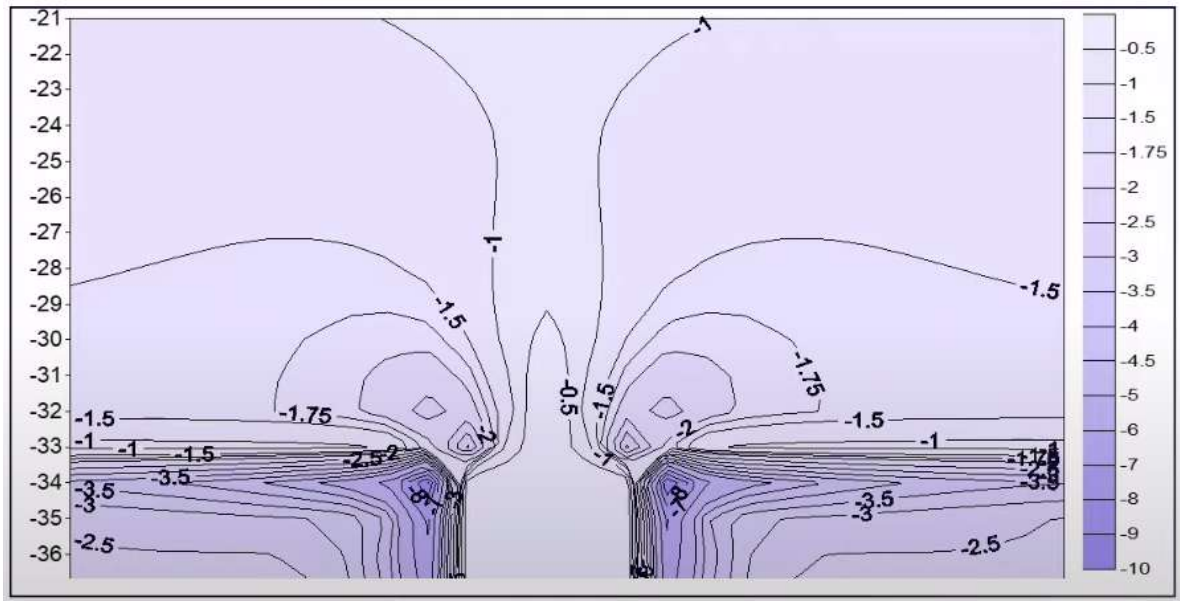

Рис. 3.12. Распределение максимальных касательных напряжений (tmax)

НДС массива пород.

Строение массива горных пород может повлиять на изменения напряжения в горных породах. Строение (неоднородность, трещиноватость), деформационные свойства – концентрация в жесткой части массива, разгрузка в мягких горных породах; разгрузка в разломах, концентрация вокруг них возрастание напряжений в кончике трещин.

Коэффициент концентрации – величина, которая представляет собой отношение, которое возникает в данной точке к номинальном напряжению. Номинальное напряжение – напряжение, которое возникло бы в точке, если бы поверхность была горизонтальной, а действовала бы одна гравитационная сила.

Коэффициент концентрации:

$$K = \frac{\sigma}{\sigma_{\text{ном}}}$$

На рисунке 3.13 показано распределение нормальных напряжений, действующих на горизонтальных (σy) и вертикальных (σx) площадках, в массиве с трещинами, сходящимися на глубине

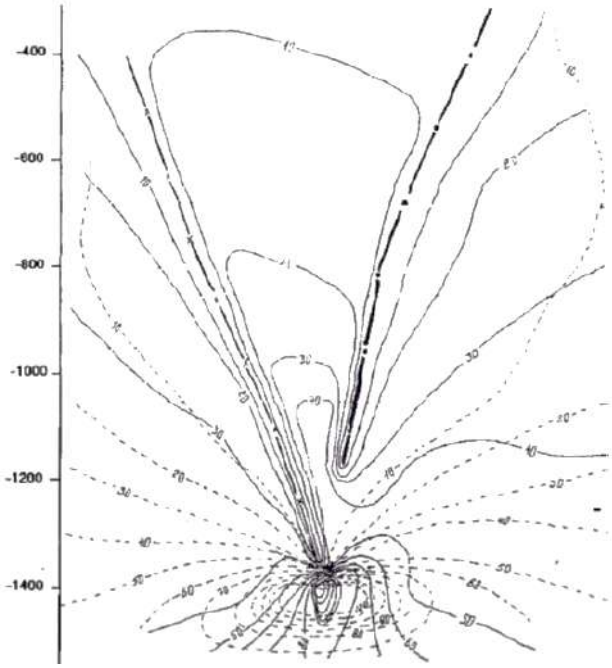

Рис. 3.13. Распределение нормальных напряжений, действующих на горизонтальных (σy) и вертикальных (σx) площадках, в массиве с трещинами, сходящимися на глубине (сплошная линия - σy, пунктир - σx)

На рисунке 3.14 определено распределение напряжений вокруг скважины, которая была пробурена на Кольском полуострове (Кольская сверхглубокая скважина, 12 км). В жестких породах напряжение возрастает вокруг трещин, в трещинах напряжение падает.

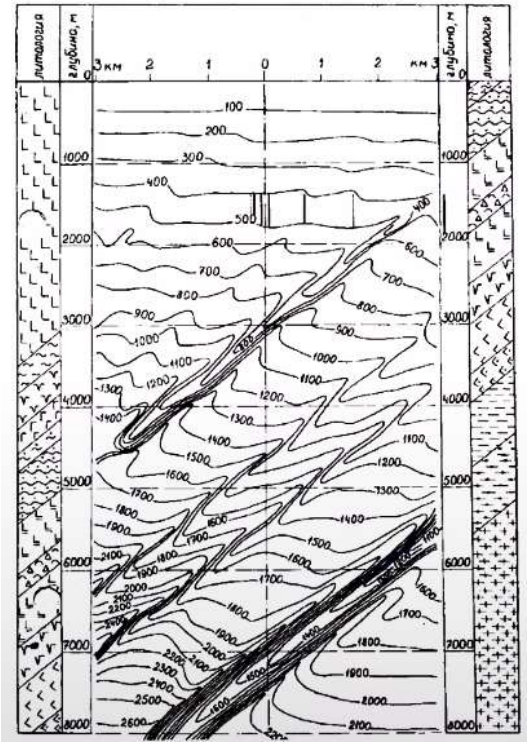

Рис. 3.14. Распределение нормальных напряжений (кг/см^2), действующих на горизонтальных площадках, в массиве пород, пройденном Кольской сверхглубокой скважиной

Воздействие подземных вод.

Среди факторов, которые влияют на распределение напряжений существует фактор воздействия подземных вод. Подземные воды действуют двумя образами: взвешиванием и гидродинамическим давлением.

Эффективные и нейтральные напряжения

$$\sigma_{\text{п}} = \sigma_{\text{эф}} + \sigma_{\text{н}};$$

$$\sigma_{\text{эф}}\sigma_{\text{п}} = \sigma_{\text{п}} - \sigma_{\text{н}};$$

$$d\sigma_{\text{эф}} = -d\sigma_{\text{н}}.$$

Взвешивание:

$$\gamma_{\text{взв}} = (\Delta - \gamma_{\text{в}})(1 - n)$$

Гидродинамическое давление:

$$f = \text{I}\gamma_{\text{в}}$$

$$\Phi = \text{I}\gamma_{\text{в}}\text{V}$$

Воздействие наземных вод также влияет на распределение напряжения: гидростатическое давление от водохранилища. Водохранилище заполняется (30 м) воды. На рисунке 3.15 показаны изменения нормальных напряжений на горизонтальных (а) и вертикальных (б) площадках в бортах и основании глубокой долины, выраженное в процентах к напряжениям, которые наблюдались до заполнения водохранилища. На боковые поверхности действует давление и сжимает горные

породы. На дно действует давление и аналогично сжимает породы. Кроме этого, наблюдаются растяжения как в первом, так и во втором случае.

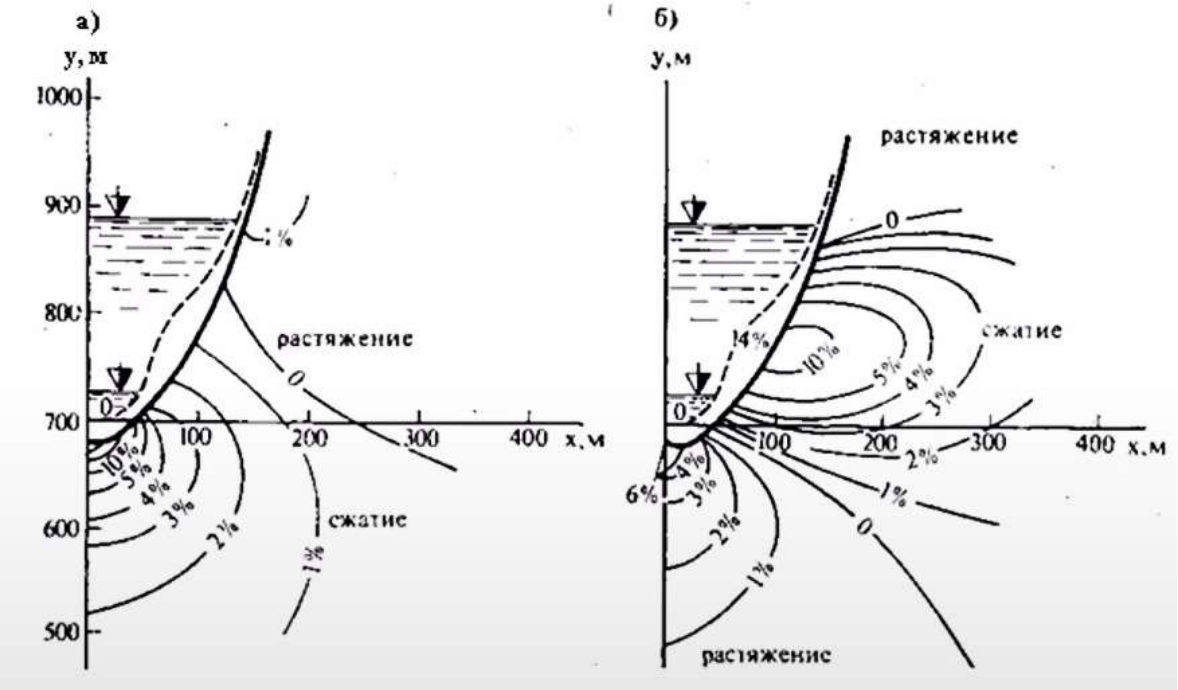

Рис. 3.15. Изменение нормальных напряжений на горизонтальных (а) и вертикальных (б) площадках в бортах и основании глубокой долины, выраженное в процентах к напряжениям, которые наблюдались до заполнения водохранилища

Техногенные воздействия.

Техногенные воздействия оказывают:

- города;
- горные выработки;
- карьеры;
- откачки;
- взрывы.

На территории городов построены многочисленные сооружения, которые сдавливают массивы горных пород.

На рисунке 3.16 показано перераспределение горизонтальных напряжений в левом склоне долины р. Вахш при создании подземной полости. Напряжения в поверхности этой полости являются растягивающими.

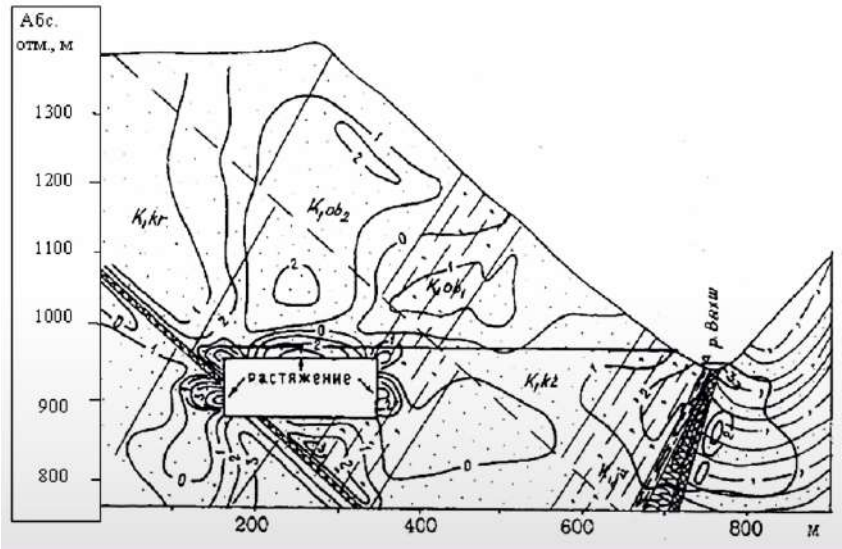

Рис. 3.16. Перераспределение горизонтальных напряжений в левом склоне долины р. Вахш при создании подземной полости

На рисунке 3.17 и 3.18 показано распределение горизонтальных и вертикальных напряжений в массиве (при прохождении в метро). Напряжение описывается через напряжение на трех площадках.

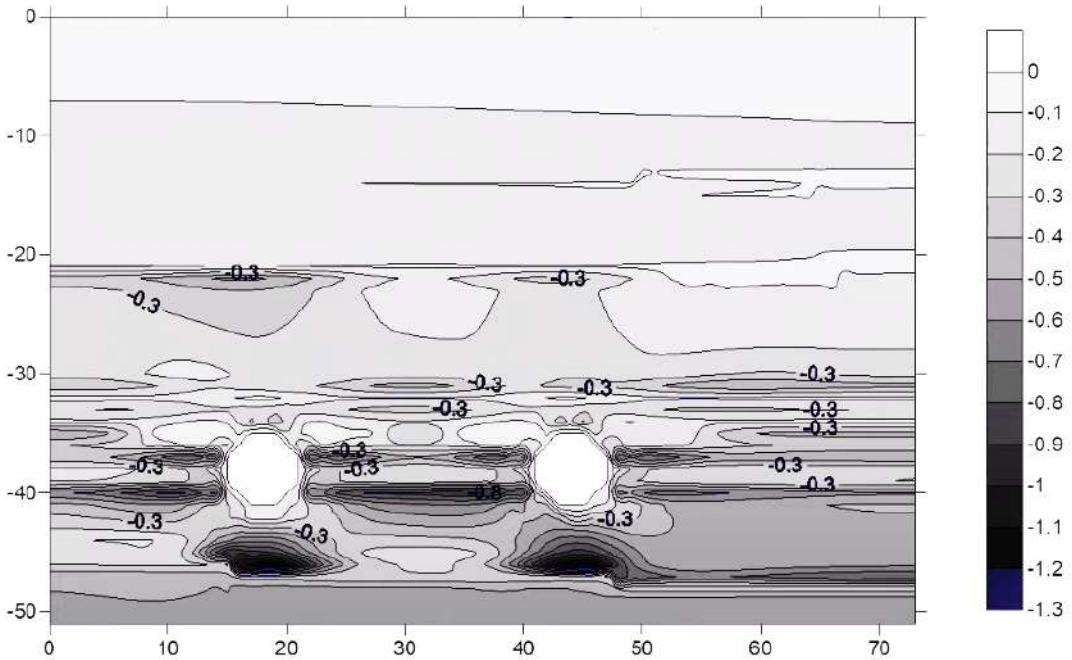

Рис. 3.17. Распределение горизонтальных напряжений в массиве

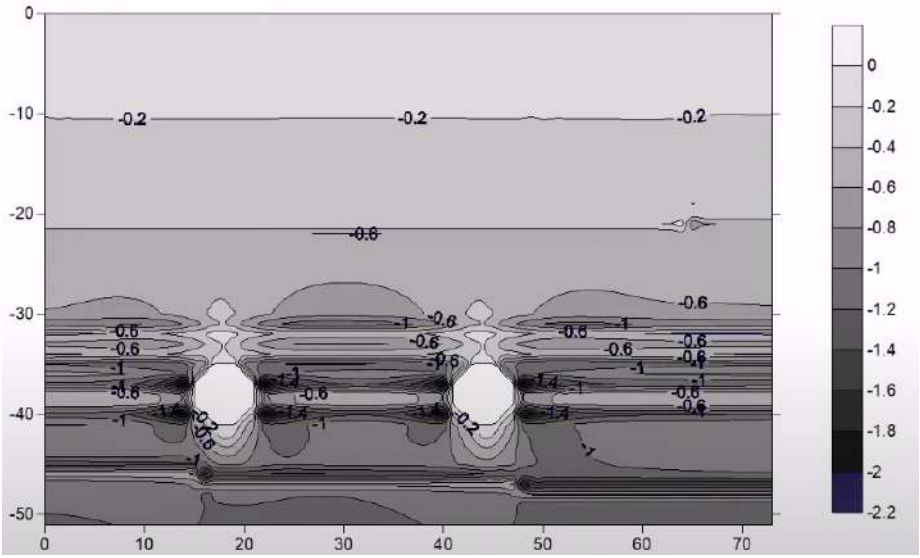

Рис. 3.17. Распределение вертикальных напряжений в массиве

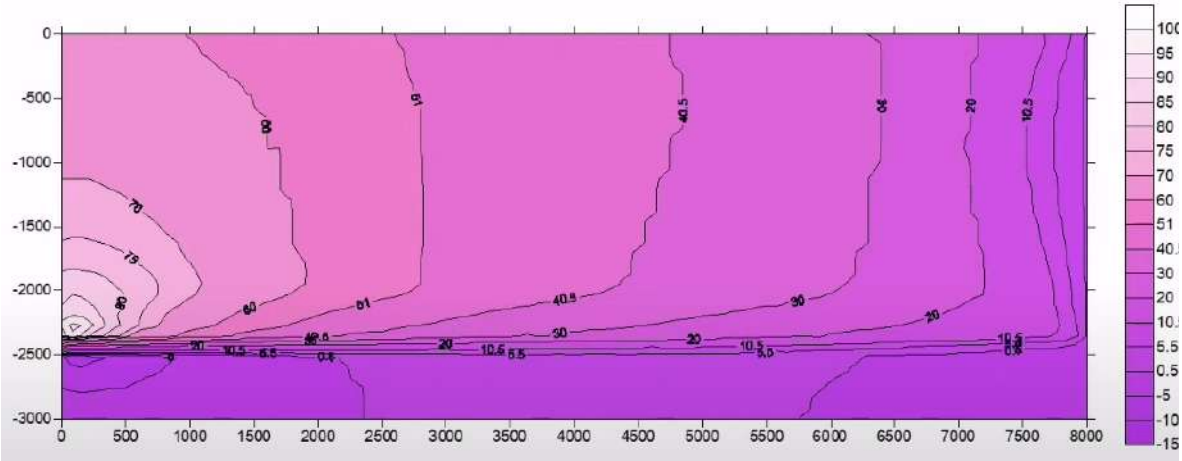

Рис. 3.18. Вертикальные перемещения (мм) в скелете пород через 5 лет после начала откачки (нефтяное месторождение в Западной Сибири)

На рисунке 3.18 показан участок нефтяного месторождения в Западной Сибири, где производится откачка. Эта откачка приводит к тому, что изменяется давление во флюиде, в нефти. Падение давления вызывает деформацию скелета, потому что падает сила, которая взвешивает. На поверхности образуются мульдооседания. Это один из вопросов, решением которого занимается инженерная геология.

Методы изучения НДС.

Среди методов различают следующие:

- Полевые:
  - геофизические (сейсмоакустические) в скважинах, в горных выработках;
  - опыты – разгрузки, восстановления, гидроразрыв;

- геологические - измерение трещин, зеркала и борозды скольжения, двойникование кристаллов;
- косвенные – выход керна, искривление скважин, деформация стенок выработок.

- Лабораторные:
  - Моделирование:
    - оптическое,
    - эквивалентными материалами,
    - центробежное.
  - Расчетные:
    - аналитические,
    - численные (МКЭ и др.).

Полевые опыты

Экспериментальное определение величин напряжений в выработках:

- Методы разгрузки,
- Методы восстановления напряжений,
- Способ гидроразрыва: $\sigma_{min} = P_{\text{ст}}$.

Геологические методы изучения НДС

- Метод М.В.Гзовского – σ_{max} совпадает с биссектрисой острого двугранного угла между сопряженными трещинами.
- Плоскости трещин отрыва направлению σ_{max}растягивающего напряжения
- Метод кинематического анализа плоскостей разрушения
- Реконструкция главных напряжений на основе анализа микроструктурных ориентировок в кристаллах (двойникование кальцита, магнезита и т.д.).

Косвенные геологические методы изучения НДС

Дискование керна:

$\frac{\sigma}{\sigma_{\text{сж}}} = 0.1 - 0.3$ – толщина дисков > радиуса

$\frac{\sigma}{\sigma_{\text{сж}}} = 0.3 - 0.7$ – толщина диска < 0.5 d

$\frac{\sigma}{\sigma_{\text{сж}}} = 1 - 2$ – обломки, буровая мелочь.

Действие тектонической силы влияет на:

- Искривление ствола скважин.
- Состояние стенок в горных выработках.

Сейсмоакустические методы изучения НДС

Принцип: скорость распространения упругих колебаний выше в породах, имеющих большую плотность, которая возрастает при увеличении напряжений

Где изучается – вдоль скважин и шахт (акустический каротаж), вокруг выработок, между выработками (ультразвуковое просвечивание) и т.д.

Задачи – качественное распределение напряжений, направление главных, иногда вычисление величин.

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Лекция 4. Компоненты инженерно-геологических условий

Основными компонентами инженерно-геологических условий являются:

- горные породы,
- подземные воды,
- формы рельефа,
- современные геологические и инженерно-геологические процессы.

4.1. Подземные воды

Подземные воды как компонент инженерно-геологических условий:

1. Изменение свойств горных пород и массивов (меняется прочность, деформируемость, размываемость; происходит выщелачивание, возрастает скорость прохождения волн).

При увлажнении прочность горных пород теряется, увеличивается деформируемость горных пород, повышается размываемость и происходит выщелачивание. Если в горных породах фильтруется вода, то при ее фильтрации возрастает скорость прохождения подземных вод. Кроме того, в обводненных горных породах возрастает скорость распространения сейсмических волн.

2. Фактор возникновения и развития процессов (карст, суффозия, оползни, просадки, набухание, подтопление, выветривание, кольматаж, изменение НДС и т.д.).

В любом оползневом процессе какую-то роль играют подземные воды. Просадки в массивах горных пород часто связаны с воздействием подземных вод. В результате подъема подземных вод часто подтапливаются значительные территории. Кроме того, наличие в горных породах подземных вод приводит к тому, что изменяется напряженно-деформированное состояние пород, так как на изменение НДС влияет взвешивание.

3. Агрессивность (к породам, бетону, металлам).

Подземные воды являются агрессивными по отношению к горным породам. Они разрушают и растворяют их (производят различного рода воздействие). Агрессивность подземных вод изменяет структуру горных пород: могут появляться полости и т.д. Агрессивность проявляется и по отношению к бетону и могут повлиять на изменение свойств бетона. Аналогично агрессивно подземные воды воздействуют и на металлы. В земле располагается много металлических конструкций.

4. Изменение режима подземных вод в зоне воздействия сооружений (города, плотины, каналы, водохранилища, водоотлив и т.д.).

Под изменением режима подземных вод понимается изменение направления движения подземных вод. Если поставить фундамент сооружения на пути движения воды, то воде придется каким-то образом огибать фундамент. Поэтому в городах часто нарушается режим подземных вод. Кроме того, существует много таких сооружений, как плотины: они перегораживают движение поверхностных вод (рек), из-за того создается разность напоров. Разность напоров приводит к тому, что возникает

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

фильтрация воды, как в обход плечевых примыканий плотины, так и под самой плотиной. Т.е. происходит нарушение режима движения вод. Аналогично можно судить и о строительстве канала. Канал сооружается в том месте, где раньше не было подземных вод. При сооружении канала начинается фильтрация воды в сторону той толщи, на которой этот канал сооружен. Соответственно, возникает подтопление территорий вокруг канала. А также после строительства водохранилища, вокруг водохранилища начинается фильтрация тех грунтов, которые слагают берега. Эта фильтрация может быть довольно интенсивной, так как водохранилища – достаточно высокие сооружения и создается большой напор. На тех участках, где породы становятся водонасыщенными и обводненными также начинается процесс подтопления территории. В результате подтопления может исчезнуть растительность. Поступление воды в горные породы из водохранилища приводит к существенным изменениям их свойств.

Для многих процессов достаточно малого количества воды. Важно также и сезонное обводнение (непостоянное), которое сказывается на развитии всех неприятностей, о которых сказано выше (изменение свойств горных пород). Например, нарушается состояние горных пород, происходит подтопление территорий и т.д.

4.2. Рельеф

Рельеф как компонент инженерно-геологических условий:

1. В рельефе *отражается геологическое строение* и история геологического развития территории: литология, залегание пород, тектонические структуры – пликативные и дизъюнктивные, линеаменты.

Например, на дизъюнктивных структурах наблюдают понижения в рельефе. Аналогичная ситуация и при наблюдениях пликативных структур: в вершинах антиклинальных складок наблюдается повышенная трещиноватость – в этих зонах порода может размываться более интенсивно, чем на склонах этой складки, поэтому будут формироваться определенные изменения в рельефе. Линеаменты – прямолинейные или дугообразные формы рельефа, которые наблюдаются на поверхности Земли. Они связаны с тектоническими нарушениями, которые поражают верхние горизонты земной коры. Эти формы рельефа были так названы еще в 1904 году.

Пример: Крымский полуостров.

2. В рельефе *отражаются процессы*: неотектонические движения, сейсмичность, вулканизм, эрозия, абразия, оползни, обвалы, осыпи, карст, суффозия и т.д.

В областях, где происходит вулканизм, присутствуют и конуса вулканов, и воронки, которые образуются на вершине вулкана в результате его извержения. Также рельеф отражает результаты сейсмических процессов, происходящих в земле. В результате сейсмической деятельности часто возникают тектонические разломы в верхних горизонтах земной горы. Разломы часто создают формы рельефа, например, уступы.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

На побережьях морей и океанов образуются абразионные уступы. Водоем в результате факторов разрушает горные породы – возникают различного рода уступы.

Речная эрозия приводит к тому, что преобразуются берега реки.

Оползни, обвалы и осыпи, которые происходят на склонах .приводят к образованию нового рельефа (существует такое понятие как «оползневой рельеф»). В результате оползневых процессов образуются бугристые поверхности: горные породы, находящиеся на высоте склона, спускаются вниз. В результате обвалов появляются области с большим количеством крупных глыб, накопившихся в основании склона. Оползни характерны для равнинных территорий, в то время как обвалы в большей степени происходят в горно-складчатых областях. Осыпи формируются в тех местах, где грунты сложены легко выветриваемыми породами. При выветривании верхний слой горных пород разрушается, образуются обломки, которые начинают постепенно спускаться (сыпаться) вниз – образуются осыпные шлейфы.

Карст – это подземный процесс. Карст приводит к тому, что на поверхности образуются воронки. В результате карста образуются пустоты: вышележащие горные породы проваливаются в эти пустоты, заполняя их и, таким образом, в рельефе образуются воронки.

Суффозионные процессы – вынос песчаного материала из горных пород. На поверхности, где этот процесс происходит, образуются провалы суффозионного происхождения: вышезалегающие породы теряют устойчивость, так как из-под них выносится материал.

3. Техногенное преобразование рельефа

Создание автомобильных дорог, карьеров и др сооружений связано в первую очередь с забором грунта из верхних горизонтов. Т.е. образуются новые формы рельефа.

Геоморфология является признаком для инженерно-геологического районирования. При инженерно-геологических изысканиях изучаются формы рельефа (микроформы).

4.3. Современные геологические процессы

Современные геологические процессы – важнейший компонент инженерно-геологических условий.

Определение И.В. Попова (1959): «Инженерная геология изучает динамику верхних горизонтов земной коры в связи с инженерной деятельностью человека».

Динамика этих горизонтов проявляется в:

- развитии эндогенных и экзогенных геологических процессов;
- изменении строения, состава, свойств и состояния массивов грунтов;
- изменении режима подземных вод;
- постоянном преобразовании форм рельефа;

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

- активизации естественных геологических и возникновении новых инженерно-геологических процессов под влиянием строительной и хозяйственной деятельности человека.

Г.К. Бондарик (1981) по отношению к геологическим процессам относился следующим образом: «Любой геологический процесс проявляется как изменение свойств и структур литосферы во времени» и «Экзогенный геологический процесс можно определить как движение приповерхностной геосистемы в физическом времени, обусловленное ее взаимодействием с внешними средами или взаимодействием между элементами геосистемы».

В 2001 году вышел учебник И.П. Иванова и Ю.Б. Тржцинского «Инженерная геодинамика»: «Геологический процесс следует рассматривать как движение (изменение) геологической среды во времени в результате ее взаимодействия с внешними средами или между элементами (компонентами) самой геологической среды. Иначе говоря, геологический процесс – это последовательная смена состояний геологической среды, характеризующих ее структуру и свойства в определенный момент времени».

4.4. Взаимозависимость компонент инженерно-геологических условий

Геологические процессы зависят от пород, они обусловлены подземными водами и рельефом. С другой стороны, геологические процессы приводят к изменению состояния пород, рельефа и режима подземных вод.

Условия и факторы развития современных геологических процессов.

Под условиями образования геологического процесса, «понимается фиксированный набор структур и свойств литосферы необходимый для его возникновения и развития. Область литосферы, где эти условия существуют, называется областью с неустойчивой структурой по отношению к данному процессу» [Бондарик, 2007].

Условия развития современных геологических процессов.

Развитие геологических процессов, как правило, определяется целым комплексом условий:

a) закономерности геологического строения массива;
b) состав, свойства, строение и состояние грунтов их слагающих;
c) рельеф территории;
d) мерзлотно-гидрогеологические условия в пределах криолитозоны и гидрогеологические условия вне её;
e) современные эндо- и экзогенные геологические процессы, включая современные тектонические движения, вулканизм и сейсмичность.

Факторы развития современных геологических процессов.

Под фактором (от лат. *factor* – делающий, производящий) понимается «причина, движущая сила какого-либо процесса или явления, определяющая его характер или отдельные его черты» (БСЭ, Т. 27, 1977).

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

«Под факторами геологического процесса (природного или техногенного) понимается набор воздействий, под влиянием которых возникает и развивается этот процесс, происходит разрушение геологической среды и переход к новому равновесному ее состоянию» (И.П. Иванов, Ю.Б. Тржцинский, «Инженерная геодинамика» 2001)

Природные факторы могут быть подразделены на две группы (И. В. Попов):

Региональные геологические факторы – прямо или косвенно управляются тектоническим развитием земной коры и её современной тектонической жизнью. Если сравнить процессы, которые происходят на равнинной территории и на горно-складчатых областях – это совершенно разные процессы.

Зональные геологические факторы – прямо или косвенно зависят от климатических условий.

Помимо естественных, природных факторов на современное состояние и динамику верхних горизонтов земной коры существенное влияние оказывают *антропогенные (техногенные) факторы*. В подверженных техногенному воздействию верхних горизонтах земной коры возникает комплекс антропогенных (техногенных, инженерно-геологических) процессов, приводящих к изменению природной обстановки.

Все факторы, обусловливающие развитие ЭГП, по отношению ко времени и применительно к долговременным и краткосрочным прогнозам подразделяются на три группы (ВСЕГИНГЕО):

Первая группа – геологическое строение (структурные, стратиграфические, литологические особенности) и геоморфологические условия (общий характер, морфология и морфометрия, генезис и возраст рельефа). Эти компоненты на время прогноза можно принять неизменными.

Вторая группа – медленно изменяющиеся – новейшие тектонические движения (горизонтальные, вертикальные) и климатические условия. Эти факторы определяют общую тенденцию развития ЭГП.

Третья группа – быстро изменяющиеся – метеорологические (атмосферные осадки, температура, ветер и др.), гидрологические (расходы и уровни воды в и реках, уровни воды и волнение в озерах и морях и др.), сейсмические условия и хозяйственная деятельность человека.

Факторы, определяющие формирование современных геологических процессов, по отношению к пространству могут быть подразделены на глобальные, региональные и локальные.

Среди действующих факторов есть такой, «который играет главную роль в формировании явления, и его можно назвать основной причиной или спусковым механизмом проявления процесса».

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

4.5. Классификации геологических процессов

Среди классификаций геологических процессов рассматриваются классификации:

- *общие* – охватывают все процессы,
- *региональные* – процессы, развитые в регионе,
- *частные* – для одного процесса,
- *специальные* – оценка процессов применительно к конкретным сооружениям.

Общие классификации.

Несмотря на многочисленность классификаций, которые составлялись в течение более 80 лет, до сих пор не создана единая инженерно-геологическая классификация современных геологических и инженерно-геологических процессов.

Основанием общих классификаций служит генетический признак.

Первая классификация, которая возникла в 1937 году, была создана Ф.П. Саваренским.

Классификация физико-геологических явлений (Ф.П. Саваренский, 1937):

I. Явления, связанные с деятельностью поверхностных вод (морей, озер, рек, каналов):

1) подмыв берегов и их обрушение (морская и речная абразия),
2) размыв склонов (овраги),
3) сели (муры)

II. Явления, связанные с деятельностью подземных и поверхностных вод:

4) болота,
5) просадки,
6) карст,

III. Явления, связанные с деятельностью подземных и поверхностных вод на склонах:

7) оползни,

IV. Явления, связанные с деятельностью подземных вод: 8) суффозия, 9) плывуны

V. Явления, связанные с деятельностью ветра:

10) развевание и навевание,

VI. Явления, связанные с промерзанием и оттаиванием грунта:

11) промерзание почвы и пучинность,
12) вечная мерзлота и ее проявления,

VII. Явления, связанные с внутренними силами в горных породах:

13) осадки, сжатие, разбухание,

VIII. Явления, связанные с внутренними силами Земли:

14) сейсмические явления,

IX. Явления, связанные с деятельностью человека:

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

15) поверхностные и подземные деформации при искусственных подземных и глубоких выработках.

Классификация экзогенных геологических процессов (И. В. Попов, 1959):

I. Явления, связанные с действием факторов выветривания.

II. Явления, связанные с действием силы ветра (абразия, эоловые процессы).

III. Явления, связанные с действием веса текучих вод (смыв, эрозия).

IV. Явления, связанные с действием веса текучей воды, взвешенных и влекомых ею составляющих твердого стока (сели).

V. Явления, связанные с действием веса пород (обвалы, осыпи, оползни).

VI. Явления, связанные с действием силы гидродинамического давления и веса подземных потоков вод (суффозия).

VII. Явления, связанные с силами, развивающимися при замерзании и оттаивании подземных вод (мерзлотные деформации, наледи, пучины).

И.В. Поповым в 1951 году было выполнено сопоставление геологических и инженерно-геологических процессов. Все инженерно-геологические процессы в той или иной степени повторяют имеющие место в реальной действительности естественные геологические процессы:

- Инженерно-геологические процессы – природные геологические процессы.
- Уплотнение пород в основании сооружений – уплотнение пород в процессе диагенеза под действием веса позднейших отложений. Уплотнение пород под действием нагрузок от ледника и др.
- Просадочные явления в лёссах вследствие утечек из водопроводов и фильтрации из каналов – уплотнение лёсса в процессе эпигенеза с образованием «степных блюдец».
- Мерзлотные деформации пород в основании сооружений и пучины на дорогах – наледи, ледяные бугры, термокарст и т.п.
- Деформации искусственных откосов – оползни, оплывины, обвалы, осыпи
- Переработка берегов водохранилищ – абразия по берегам морей и озер
- Сдвижение горных пород при подземных работах – провалы над карстовыми пустотами

В.Д. Ломтадзе в своей классификации различал процесс и явление.

Классификация экзогенных геологических процессов и явлений (В.Д. Ломтадзе, 1977):

- Деятельность поверхностных вод (морей, озер, водохранилищ, рек и временных водотоков):
    - Подмыв и разрушение берегов морей, озер и водохранилищ.
    - Подмыв и разрушение речных берегов. Размыв склонов – овражно-балочные явления.
- Паводки на горных реках: сели.

- Деятельность поверхностных и подземных вод: заболачивание территорий; просадочные явления; карст.
- Деятельность подземных вод: плывуны; суффозионные явления
- Действие гравитационных сил: оползни, обвалы.
- Деятельность ветра: развевание и навевание
- Промерзание и оттаивание горных пород: термокарст, морозное пучение, наледи.
- Действие внутренних сил в горных породах: набухание, усадка, разуплотнение.
- Действие внутренних сил Земли: сейсмические явления.
- Инженерная деятельность человека: Разрушение и уничтожение полезных площадей при разработке месторождений твердых полезных ископаемых. Оседание поверхности земли при значительных откачках подземных вод, нефти и газа. Затопление и подтопление территорий. Вторичное засоление горных пород при орошении территорий

Г.С. Золотарев предложил добавить несколько обстоятельств в классификацию.
Классификация Г.С. Золотарева (1979):

- Группы процессов и действующие факторы.
- Типы и виды процессов: геологических инженерно-геологических.
- Показатели:
  - пораженность (распространение) территории или массива пород,
  - объемы, размеры,
  - скорость развития.

Рис. 4.1. Г.С. Золотарев

Классификация экзогенных геологических процессов (Г.К. Бондарик, 1981).
<u>Признаки построения классификации:</u>

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

1) первичные (подготовительные) и вторичные экзогенные геологические процессы;

2) внешняя среда (атмосфера, гидросфера, литосфера), воздействующая на геологическую среду;

3) приуроченность процессов к контактам геологической среды с внешними средами;

4) характер взаимодействия по отношению: к геосистеме (динамическое или функциональное), к пространству (распределенное или сосредоточенное), ко времени (импульсное, квазипериодическое, непрерывное), к виду (гравитационное, механическое, химическое, термодинамическое);

5) процессы - компоненты изучаемого процесса;

6) источник энергии процесса;

7) стадии и режим процесса;

8) внешние (естественные и техногенные) причины процесса;

9) внутренние причины процесса;

10) характеристика условий процесса (областей с неустойчивой структурой).

Построение классификации:

1. Группа ЭГП – первичные и вторичные процессы.
2. Внешняя среда, на контакте с которой протекает процесс.
3. Главные естественные и искусственные внешние причины ЭГП.
4. Основные внутренние причины ЭГП.
5. Отношение взаимодействия к пространству.
6. Отношение взаимодействия ко времени.
7. Виды взаимодействий.
8. Название процесса.

Классификация процессов в инженерной геологии (Е.М. Сергеев,1982):

1) в классификации одновременно должны рассматриваться как природные (геологические) процессы, так и процессы, вызванные деятельностью человека (инженерно-геологические);

2) в равной степени необходимо рассматривать эндогенные и экзогенные процессы;

3) процессы нельзя рассматривать в отрыве от массивов горных пород, в которых они протекают, и без учета механизма их развития;

4) несмотря на то, что геологические процессы развиваются под воздействием многих факторов, для каждого из них должен быть выделен обязательный фактор, который необходим для возникновения данного процесса.

В таблице 4.1. показана классификация А.И. Шеко. В настоящее время этой классификацией чаще всего пользуются инженер-геологи. В это классификации выделяются группы, классы, типы и виды процессов.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Таблица 4.1. Общая классификация экзогенных геологических процессов (по А.И. Шеко, 1994 г.)

Группа	Класс	Тип	Вид
1	2	3	4
I. Обусловленные климатическими и биологическими факторами	Выветривание	Площадное Линейное	Физическое Химическое Биологическое
II. Обусловленные энергией рельефа (силой тяжести)	Движение без потери контакта со склоном или с незначительной потерей его	Оползни	Сплывы Оползни-блоки Оползни-потоки Оползни-обвалы
		Лавины	Снежные осовы Лотковые Прыгающие
		Ледники	Горные (долинные) Материковые (покровные)
	Движение с потерей контакта со склоном	Обвалы	Обвалы (собственно) Вывалы Камнепады
		Осыпи	Лотковые Площадные
III. Обусловленные поверхностными водами	Океанов, морей и озер	Абразия Термоабразия Вдольбереговое перемещение наносов	Океанов и приливных морей Бесприливных морей Озер
	Водохранилищ	Переработка берегов Заиление	Океанов и приливных морей Бесприливных морей Озер
	Водотоков	Эрозия	Склоновая Овражная Речная
		Термоэрозия	
		Сели	Гляциальные Дождевые Таяния снега Прорыва плотин

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

			Вулканогенные
		Затопление	
IV. Обусловленные подземными водами	Растворение и выщелачивание	Карст	Карбонатный Сульфатный Соляной
	Механический вынос	Суффозия	Суффозия Подземная эрозия
	Понижение уровня подземных вод	Оседание поверхности	
	Подъем уровня грунтовых вод	Подтопление	
		Засоление	
		Заболачивание	Верховые болота Переходные болота Низинные болота
	Ослабление и разрушение структурных связей грунтов	Просадка лёссовидных пород	
		Плывуны	
	Увеличение объема глинистых пород	Набухание	
V. Обусловленные ветром		Дефляция	
		Корразия	
		Аккумуляция	
VI. Обусловленные промерзанием и оттаиванием горных пород	Промерзание	Пучение	
		Морозобойное растрескивание	
		Наледи	
	Колебания температуры с переходом через 0 °С	Курумы	
	Оттаивание	Термокарст	
		Солифлюкция	
VII. Обусловленные выработкой	Добыча твердых полезных ископаемых и	Проседания и провалы земной поверхности	

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

подземного пространства	сооружение тоннелей		
	Добыча нефти и газа	Оседание земной поверхности	

В классификацию экзогенных геологических процессов В.Д. Ломтадзе (1977) включил набухание, усадку и разуплотнение пород, а А. И. Шеко (1994) затопление, подтопление, засоление и набухание. Эндогенные геологические процессы есть в классификации Г.С. Золотарева (1983), но нет геокриологических процессов и т.д.

Инженерно-геологическая классификация современных геологических процессов должна обязательно включать эндогенные процессы, процессы, обусловленные инженерной деятельностью человека, геокриологические процессы.

Одной из главных задач инженерной геодинамики на данном этапе её развития следует считать разработку общей классификации современных геологических процессов, охватывающей все без исключения их классы.

Степень опасности.

Степень опасности:

1. Практически отсутствует опасность.
2. Незначительно опасные.
3. Малоопасные.
4. Умеренно опасные.
5. Весьма опасные.
6. Чрезвычайно опасные.

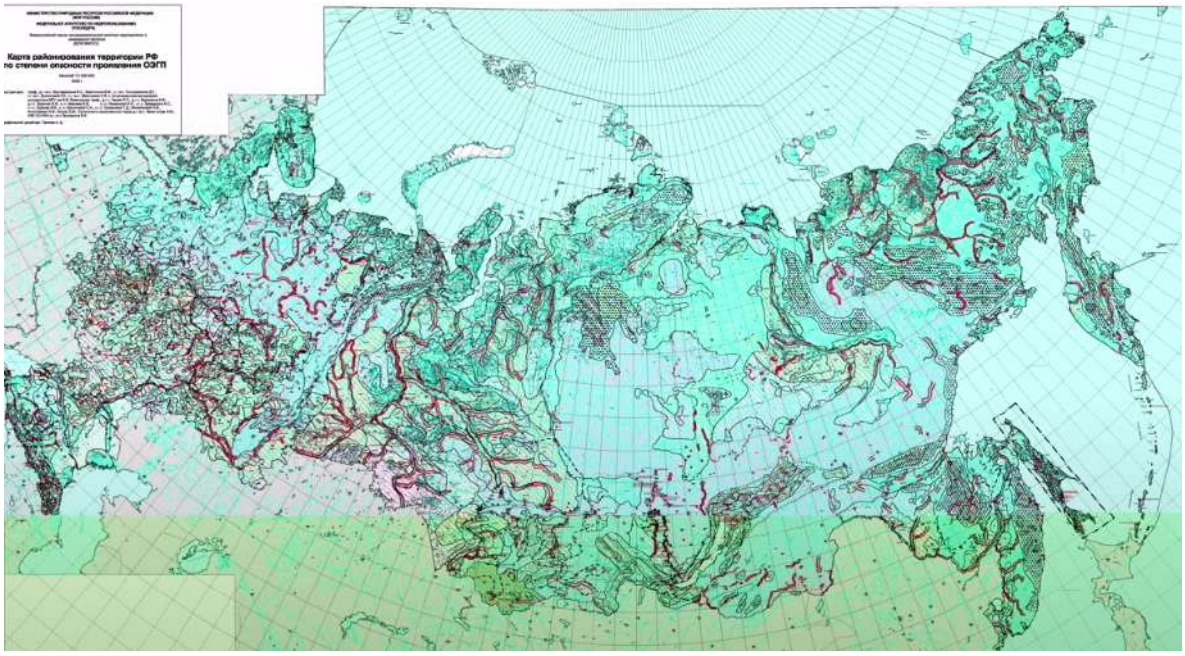

Рис. 4.2. Карта районирования территории РФ по степени опасности проявления ОЭГП (1:2 500 000)

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

На карте (рис. 4.2) видно, что наиболее опасный участок – участок, расположенный в южной части равнинной территории (в т.ч. Кавказ).

Геологические и инженерно-геологические процессы.

Отличие инженерно-геологических процессов от природных геологических процессов:

- локальное распространение;
- интенсивное проявление инженерно-геологических процессов.

Методы прогноза геологических и инженерно-геологических процессов

Основной задачей инженерной геодинамики является прогноз современных геологических и инженерно-геологических процессов:

- что – по форме проявления и интенсивности,
- где – в пространстве,
- когда – во времени.

Методы:

- сравнительно-геологические,
- экспериментального моделирования,
- расчетные.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Лекция 5. Эндогенные геологические процессы

Эндогенные геологические процессы – процессы, вызванные в основном внутренними силами Земли и происходящие, главным образом, внутри неё – в коре, мантии и ядре. Обусловлены энергией, выделяемой при развитии вещества Земли, действием силы тяжести и силами, возникающими при вращении Земли, стремлением к изостатическому равновесию.

К ним относятся:

- эпейрогенические колебания (медленные поднятия или опускания обширных площадей, не вызывающие изменения их структуры),
- медленные складчатые и разрывные тектонические движения, чаще дифференцированные (орогенные),
- сейсмические,
- извержения вулканов, лавовые потоки.

Прикладное значение изучения тектоники.

Данные изучения новейших и особенно современных движений и сейсмичности необходимо учитывать при строительстве ответственных сооружений.

Данные неотектоники имеют первостепенное значение при оценке сейсмической опасности, при составлении карт сейсмического районирования и прогноза землетрясений.

5.1. Современные тектонические движения

К ним относятся движения земной коры, проявившиеся в историческое и проявляющиеся в настоящее время и поддающиеся непосредственным, в том числе инструментальным, наблюдениям:

- медленные вертикальные колебательные движения (10мм/год);
- вертикальные и горизонтальные подвижки по разломам.

Неотектонические движения оказывают влияние на формирование современных черт рельефа и развитие экзогенных геологических процессов, создают условия для концентрации напряжений в различных частях земной коры, во многом определяют генезис, состав и условия залегания четвертичных образований и в целом существенно осложняют инженерно-геологические условия отдельных регионов.

Для устойчивости сооружений опасными являются разрывные тектонические смещения и наклоны земной поверхности, обыски, обусловленные перекосами блоков.

Примеры современных тектонических движений:

- Русская, Западно-Сибирская платформенные равнины отличаются умеренным уровнем современной геодинамики – скорости вертикальных движений в пределах 1 см/год.
- Балтийский кристаллический щит поднимается со скоростью 1 - 1,5 см/год
- Прикаспийская впадина – поднимается, Урал – опускается.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

- Водораздельные части Главного Кавказского хребта воздымаются со скоростью 10-12 мм/год, а побережье Черного моря в районе г. Поти опускается со скоростью 5 мм/год.
- Скорость раздвигания Североамериканского и Европейского континентов составляет 5 см/год, сближения Тихоокеанской и Азиатской плит – 10 см/год.
- Расстояние между хребтами Петра Великого и Гиссарским (Таджикистан) уменьшается на 20 мм/год.
- Смещения вдоль некоторых меж- и внутриконтинентальных разломных зон по наземным и спутниковым измерениям составляют 3 - 9 см/год (Талассо-Ферганский и др.); по разлому Сан-Андреас - 10 см/год.

Разлом Сан-Андреас:

1. Находится в Калифорнии на границе Тихоокеанской и Северо-Американской литосферных плит.
2. Длина 1200 км.
3. Землетрясение в Сан-Франциско в 1906 году магнитудой 7,7 баллов.
4. Горизонтальное смещение по поверхности 7м.
5. Землетрясение Лома-Приета магнитудой 7,1 балла в 1989 году.
6. Тихоокеанское вулканическое огненное кольцо объединяет 328 из 540 известных действующих вулканов на Земле.

- Горные системы межплитных шовных зон отличаются высокими темпами горизонтальных перемещений: Альпийско-Карпатский сектор до 1,5 - 4 см/год к северо-северо-востоку, Крымско-Кавказский – 2- 3 с - 3 см/год к северо-востоку, Памиро-Тяньшаньский – порядка 1 - 3 см/год к северо-востоку и северо-западу.
- Вертикальные подвижки по Ионахшскому разлому 1,4 мм/год.

Влияние тектонических движений на развитие современных экзогенных геологических процессов:

Погружение платформенных равнин приводит к затоплению территорий.

В карстовых районах современные тектонические движения влияют на расположение разноуровневых подземных карстовых форм.

В гумидных зонах материковых платформ современные тектонические движения являются одним из факторов, влияющих на интенсивность развития овражной эрозии.

Изучение неотектоники позволяет выявить участки побережий с преобладанием процессов поднятий и интенсивной абразионной деятельности и с преобладанием опусканий, обуславливающих широкое развитие процессов аккумуляции.

5.2. Геодинамические режимы

Под *типом геодинамического режима* понимается проявление эндогенных процессов на определенном уровне напряженности земной коры, характеризующее геодинамическое состояние пород: их неотектоническую нарушенность, состояние

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

сжатия – растяжения, частоту сотрясаемости, подверженность разному воздействию теплового потока.

Уровни напряженности:

Интенсивно напряженные – высокая сейсмичность (10 и более баллов), изостатическая некомпенсированность, вулканизм, высокогорный крутосклонный рельеф, высокие растягивающие горизонтальные напряжения (Кавказ, Забайкалье, Камчатка, Памир).

Напряженные – сейсмичность 8-9 баллов, изостатическая компенсированность, высокие горизонтальные напряжения, рельеф меньше расчленен, склоны более пологие (Саяны, Восточное Забайкалье).

Умеренные – асейсмичность, изостатическая компенсированность, небольшая глубина расчленения (Алтай, Урал).

Слабые – асейсмичность, плоскогорный холмисто-равнинный рельеф (Западно-Сибирская плита, Прикаспийская низменность).

Задачи изучения современных тектонических движений.

В основные задачи изучения современных тектонических движений входят:

1. Оценка влияния разрывных и складчатых структур - поднятий, опусканий, сдвигов, перекосов - на устойчивость сооружений.
2. Оценка изменения уровня трещиноватости, механических и фильтрационных свойств пород в зонах подвижек.
3. Зона динамического влияния. Под зоной динамического влияния понимается некоторая площадь, которая сопряжена с тектоническим нарушением и в которой происходят изменения, вызванные влиянием этого тектонического нарушения.
4. Выявление влияния тектонических движений на развитие рельефа и современных геологических процессов.
5. Обоснование конструкций сооружений и инженерных мер защиты на территориях развития тектонических движений.
6. Оценка влияния тектонических движений на НДС массивов пород.
7. Увязка проявлений сейсмичности с новейшими структурами и их дифференцированным движением.

Методы изучения современных тектонических движений.

Все методы разработаны соответствующими научными направлениями, которые занимаются изучением тектоники. Среди этих методов выделяют:

- Геоморфологический – перегибы в рельефе, террасы.
- Геодезический – повторное высокоточное нивелирование, с помощью лазерных дальномеров, космогеодезические методы.
- Инструментальные наблюдения – марки, наклономеры.
- Геолого-структурный – штрихи, характер заполнителя.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

5.3. Сейсмичность

С неотектоническими движениями тесно связана сейсмичность.

Землетрясения – колебания Земли, вызванные внезапным освобождением потенциальной энергии земных недр.

Землетрясения вызываются тектоническими силами, приводящими к накоплению напряжений. Освобождение энергии сопровождается разрывом и обратимыми деформациями, которые распространяются в виде упругих колебаний.

Последние вызывают деформации земной коры:

- разломы, трещины, сбросы, сдвиги и т. п.;
- оползни, обвалы и др. склоновые процессы;
- разрушение сооружений.

В России более 20 млн. человек постоянно испытывают угрозу разрушительных землетрясений.

Рис. 5.1. Разрывы, образовавшиеся при Гоби-Алтайском землетрясении 4 декабря 1957 года (Монголия)

Классификация землетрясений.

Классификация землетрясений в зависимости от вызывающих их причин.

Таблица 5.1. Классификация землетрясений

Тип землетрясения	Процент от общего числа	Диапазон магнитуд
Тектонические	Около 95%	До 9
Вулканические	До 5%	До 8
Обвальные (денудационные)	Менее 1%	Не более 5
Техногенные (антропогенные)	Менее 0.1%	Известны до 5

Область, где возникает процесс разрушения, называют *очагом*, *гипоцентром*, а проекция очага на поверхность - *эпицентром*. Область на поверхности Земли, где наблюдаются сейсмодеформации, называется плейстосейстовой областью.

Ежегодно происходит около миллиона землетрясений и только 1 землетрясение с магнитудой M>8 баллов.

Землетрясения:

- Поверхностные (мелкофокусные) – на глубине до 70 км;
- Среднефокусные – на глубине от 70 до 300 км;
- Глубокофокусные – глубже 300 км.

До сих пор не было зарегистрировано ни одного землетрясения с очагом глубже 720 км.

На рисунке 5.2 показана схема изосейст землетрясения в Байкальской рифтовой зоне. Цифрой 6 отмечен эпицентр.

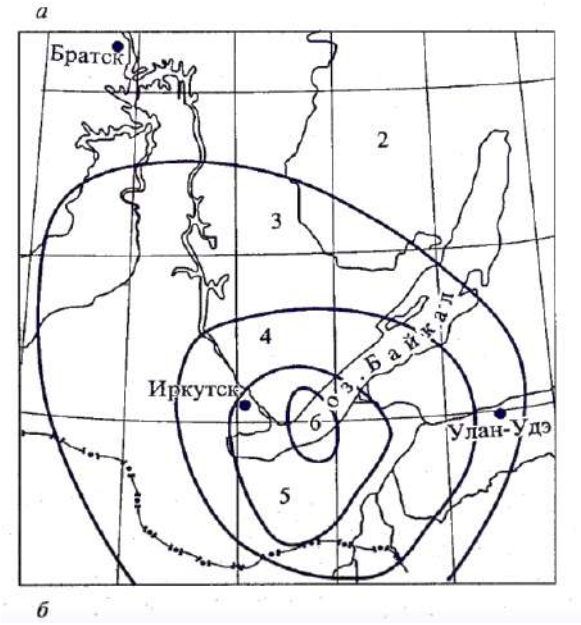

Рис. 5.2. Схема изосейст землетрясения в Байкальской рифтовой зоне (1981 г.). Цифры - интенсивность землетрясения в баллах

Сейсмические волны.

В результате землетрясения от очага распространяются волны:

- продольные (объёмные сжатия-растяжения, во всех средах), P-волны;
- поперечные (сдвиговые, изменение формы, только в твердых), S-волны;
- поверхностные: волны Релея и Лява, (L-волны). Волны Лява – волны, частицы которой двигаются по эллиптической траектории. Эллипс перпендикулярен поверхности Земли и параллелен распространению волны.

В скальных грунтах отношение скорости продольных волн к скорости поперечных составляет 1,73.

Параметры волн: скорость распространения – V м/с, длина волны – λ м, амплитуда колебаний – A мм, период колебаний – T с, частота – f 1/с (герц):

$$\lambda = VT, T = \frac{1}{f}$$

Частота колебаний при землетрясении – 0,5 - 5 герц. По частоте колебаний отличаются те колебания, которые возникают при землетрясениях от тех колебаний, которые появляются при взрыве, например, атомной бомбы.

Распространение землетрясений.

Землетрясения связаны с участками земной коры, в которых проявляются новейшие дифференцированные тектонические движения.

Два главных сейсмических пояса мира – Средиземноморский, простирающийся от берегов Португалии до Малайского архипелага (коллизия Евроазиатской плиты с Индийской, Аравийской и Африканской плитами), и Тихоокеанский, кольцом охватывающий берега Тихого океана и связанный с системой глубокофокусных желобов (обусловлен субдукцией).

В пределах материков эпиплатформенные орогены типа Тянь-Шаня и рифты Восточной Африки, Красного моря, Байкальской системы и др.

В пределах океанов сейсмической активностью отличаются срединноокеанические хребты.

Разрушительные землетрясения:

17 тыс. лет назад мощное землетрясение оторвало от нынешней Турции остров Самос.

11 тыс. лет назад землетрясение прорвало Босфор и в Черное море хлынула вода, затопив прибрежные села и города.

1455 год, Италия, Неаполь. Общее число жертв - 40 тысяч человек.

1556 год. В китайской провинции Шэньси землетрясением вызвано множество оползней и обвалов. Погибло 830 тысяч человек.

1737 год - Калькутта (Индия) – 300 тыс. погибших.

1755 год. Разрушен Лиссабон. Число жертв - около 60 тысяч.

1908 год, сильное землетрясение в районе Мессинского пролива (Италия) разрушило город Мессину и унесло 120 тысяч жизней

1920 год – землетрясение в Китае (провинция Ганьсу) вызвало оползни. Погибло около 200 тысяч человек.

1923 год. Район Токио оказался в зоне землетрясения. Огромный ущерб нанесли пожары и цунами. Количество жертв 143 тысяч человек

1948 год – Ашхабад (Туркмения); до 100 тыс. погибших

1975 год. В провинции Ляонин (Китай) при сильном землетрясении (предсказанное) число жертв составило всего несколько десятков человек. Данный случай исключительный.

1976 год. Землетрясением был разрушен город Таншан и ряд поселков. Погибло около 650 тысяч человек.

1988 год. Спитак (Армения) – 25 тыс. погибших.

1990 год, Западный Иран – 40-50 тыс., погибших

1995 год. Север о. Сахалин. М = 7,7. По шкале MSK - 9 баллов. Разрушен г. Нефтегорск, 2 тыс. погибших

2003 год. Горный Алтай. Один удар за другим. 8,4, снова 8 баллов.

Оценка силы землетрясений

Показатели силы землетрясений:

- в очаге – энергия землетрясения E Дж., энергетический класс $K = logE$, магнитуда *M;*
- на поверхности – интенсивность проявления землетрясения в баллах I_0, шкала MSK;
- Период повторяемости, лет;
- Количество землетрясений на 1000км^2/год.

Важной характеристикой для оценки устойчивости сооружений является сейсмическое ускорение

$$a = \frac{A \cdot 4\pi^2}{T^2}$$

A – амплитуда, мм, Т – период колебаний, с.

Магнитуда землетрясений.

Магнитуда землетрясений величина относительная. Шкала магнитуд определяет землетрясение стандартного масштаба и оценивает другие землетрясения по их максимальным амплитудам относительно этого стандартного масштаба при идентичных условиях наблюдения. (Ч. Рихтер, «Элементарная сейсмология», 1958)

$$M = \lg\left[\frac{A(\Delta)}{A_0(\Delta)}\right] = lgA(\Delta) - lgA_0(\Delta)$$

где Δ – эпицентральное расстояние, A_0 и A – максимальные амплитуды записи на определенном сейсмографе для стандартного и измеряемого землетрясения соответственно.

Стандартное землетрясение, отвечающее значению $M = lg1 = 0$ в формуле Рихтера, это землетрясение, при котором максимальная амплитуда записи на сейсмографе Вуда-Андерсона равна 1мкм на расстоянии Δ=100 км.

Максимально известное значение М приближается к 9. За год на земном шаре в среднем происходит землетрясений:

- 1 – с Магнитудой 28;
- 10 – с Магнитудой = 7 - 7,9;
- 100 – с Магнитудой = 6 - 6,9;
- 1000 – с Магнитудой = 5 -5,9;
- 10 000 – с Магнитудой = 4 - 4,9.

Ежегодно в среднем на Земле через землетрясения освобождается порядка 1019 Дж потенциальной тектонической энергии, которая, в конечном счете, идет на разрушение горных пород и их нагрев. Это соответствует 0,01 % тепловой энергии, излучаемой Землей в космическое пространство.

На главный пояс сейсмичности Земли, который узкой полосой обрамляет Тихий океан и связан с системой глубокофокусных желобов (в том числе Курило-Камчатским) приходится около 80 % мировой сейсмической энергии.

Предельно высокая сейсмичность в этой области вызвана подвигом холодной океанической литосферы под материки, окружающие океан и окраинные моря.

Таблица 5.2. Сопоставление сейсмического ускорения *a* с интенсивностью землетрясений *I* в баллах.

Балл	Сейсмическое ускорение *a*
4	< 0.01g
5	0.025g
6	0.025-0.05g
7	0.05-0.1g
8	0.1-0.2g
9	0.2-0.4g
10	>0.4g

Сейсмическое ускорение:

$$a = A \cdot \frac{4\pi^2}{T^2} \text{ мм/с}^2$$

где A – амплитуда колебаний, мм, T – период колебаний, с.

Коэффициентом сейсмичности называется отношение величины сейсмического ускорения к ускорению свободного падения:

$$K_c = \frac{a}{g}.$$

На рисунке 5.3 показан график повторяемости землетрясений. По левой вертикальной оси показано число землетрясений, которой приходится на 1000 км^2/год. По правой вертикали отложена повторяемость землетрясений. График представляет собой прямую линию: повторяемость землетрясений связана с тем числом землетрясений, которые происходят на Земле в течение одного года. По горизонтали отложены энергетические классы. Таких энергетических классов на графике: 15-17 – чем большее количество землетрясений возникает на поверхности Земли, тем меньше энергетические классы землетрясений.

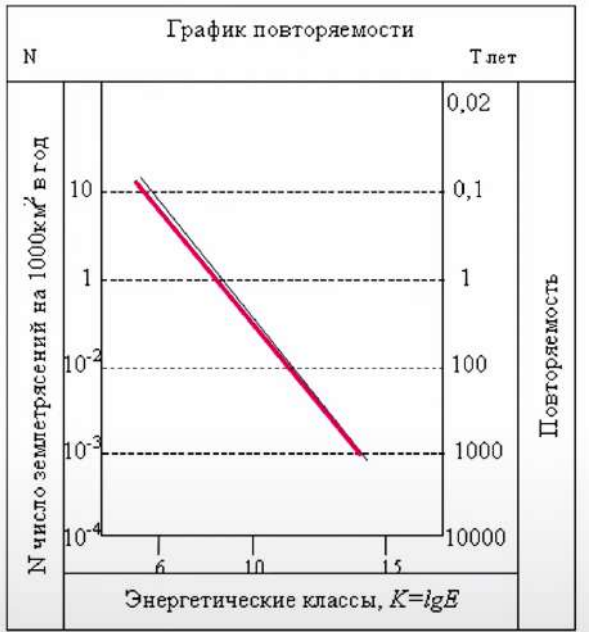

Рис. 5.3. График повторяемости

Кроме определения силы землетрясения в очаге, сила землетрясения определяется и на поверхности Земли. Для этого были составлены сейсмические шкалы интенсивности землетрясений. Одна из первых шкал – шкала Росси-Фореля, которая имеет максимально 10 баллов. В Советском Союзе была принята другая шкала: шкала типа Меркалли-Канкани-Зиберга MSK (Медведева-Шпонхойера-Карника) (модернизированная шкала Росси-Фореля).

Шкала Японского метеорологического агентства – 8 балльная.

Рис. 5.4. Сопоставление наиболее часто используемых сейсмических шкал (по Н.В. Шебалину)

Признаки определения балльности:

1. Виды повреждения сооружений.

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

2. Сейсмодеформации на поверхности Земли.
3. Ощущения людей.

Таблица 5.3. Шкала интенсивности землетрясений

Баллы	Краткая характеристика (по С.В. Медведеву)
I	Колебания почвы отмечаются приборами.
II	Ощущаются в отдельных случаях людьми, находящимися в спокойном состоянии.
III	Колебания отмечаются немногими людьми
IV	Колебания отмечаются многими людьми. Возможно дребезжание стекол.
V	Качание висячих предметов, многие спящие просыпаются.
VI	Легкие повреждения в зданиях.
VII	Трещины в штукатурке и откалывание отдельных кусков, тонкие трещины в стенах
VIII	Большие трещины в стенах, падение карнизов, дымовых труб
IX	В некоторых здания обвалы - обрушение стен, перекрытий, кровли.
X	Обвалы во многих зданиях. Трещины в грунтах шириной до 1 м.
XI	Многочисленные трещины на поверхности земли, большие обвалы в горах.
XII	Значительные изменения рельефа

Сейсмическое районирование.

Сейсмическое районирование проводится на основе оценки и картирования ожидаемого поверхностного эффекта землетрясений в заданном регионе и состоит в деления территории на районы с различной степенью интенсивности ожидаемых землетрясений.

Выполняется:

- общее сейсмическое районирование (ОСР),
- детальное сейсмическое районирование (ДСР),
- сейсмическое микрорайонирование (СМР).

Основное различие между ОСР, ДСР и СМР заключается не в масштабе картирования, а в объектах исследования: при ОСР и ДСР изучаются источники сейсмических колебаний, а при СМР – реакция среды на эти колебания.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

Лекция 6. Сейсмическое районирование

Одним из видов тектонических движений являются землетрясения, которые происходят на разных глубинах. Эти глубины изменяются от первых км до 800 км. Самое глубокое землетрясение, которое было зафиксировано, находилось на глубине 820 км. Землетрясения возникают в результате того, что в земной коре возникают напряжения. Разрядка этого напряжения приводит к деформации земной коры. Эта деформация сопровождается распространением волн, которые доходят до поверхности. Дошедшие до поверхности волны производят разрушения и деформации на поверхности. Деформации, которые возникают на поверхности Земли, являются предметом изучения инженер-геологов. Одним из направлений этого изучения является сейсмическое районирование.

Сейсмическое районирование проводится на основе оценки и картирования ожидаемого поверхностного эффекта землетрясений в заданном регионе и состоит в деления территории на районы с различной степенью интенсивности ожидаемых землетрясений.

Воздействие землетрясений осложняет строительство на поверхности, влияет на разрушение тех сооружений, которые уже построены. Землетрясения могут привести к гибели людей. Практические работы, которые необходимо проводить в связи с оценкой поверхностных явлений, которые возникают в результате землетрясений, являются основной *задачей* инженерной геологии.

Эффект землетрясения на поверхности приводит к тому, что этот эффект нужно определить. Сейсмическое районирование заключается в делении территорий на районы с различной степенью ожидаемости землетрясений.

Среди сейсмического районирования выделяют следующие виды:

- общее сейсмическое районирование (ОСР),
- детальное сейсмическое районирование (ДСР),
- сейсмическое микрорайонирование (СМР).

Первые карты сейсмического районирования появились в 1997 году. В настоящее время в нормативных документах используется районирование, которое было выполнено в 2016 году. Это районирование так же называется ОСР-2016. Создание карт сейсмического районирования еще не закончено – разработки продолжаются. В настоящее время создаются карты ОСР-2020.

Основное различие между ОСР, ДСР и СМР заключается не в масштабе картирования, а в объектах исследования: при ОСР и ДСР изучаются источники сейсмических колебаний, а при СМР – реакция среды на эти колебания.

6.1. Общее сейсмическое районирование

Карта общего сейсмического районирования (ОСР) составляется для всей территории страны в масштабе 1:5 000 000. Для ее составления используются исторические данные и инструментальные наблюдения за землетрясениями, геолого-тектонические и геофизические карты, данные о движении блоков земной коры.

На картах ОСР выделены территории, на которых степень сейсмической опасности для объектов разных сроков службы и категорий ответственности выражена расчетной интенсивностью I_0 сейсмических сотрясений в баллах шкалы MSK – 64, ожидаемых на данной площади с заданной вероятностью p (%) в течение определенного интервала времени t.

Расчетная интенсивность сотрясений на картах ОСР-97 отнесена к средним грунтовым условиям (II категории по СНиП). К средним грунтовым условиям относятся необводненные песчано-глинистые и гравелистые грунты.

Карты ОСР-97.

Существует три типа карт: ОСР-97-А, ОСР-97-В и ОСР-97-С.

Карта ОСР-97-А отражает 10%-ную вероятность возникновения в течение 50 лет в любом пункте зоны сотрясения, интенсивность которого равна значению балла, указанному на карте для данной зоны, либо превышает это значение. Это соответствует повторяемости такого сотрясения 1 раз в 500 лет.

Карта ОСР-97-В отражает 5%-ную вероятность возникновения в течение 50 лет в любом пункте зоны сотрясения, интенсивность которого равна значению балла, указанному на карте для данной зоны, либо превышает это значение. Это соответствует повторяемости такого сотрясения 1 раз в 1000 лет.

Карта ОСР-97-С отражает 1%-ную вероятность возникновения в течение 50 лет в любом пункте зоны сотрясения, интенсивность которого равна значению балла, указанному на карте для данной зоны, либо превышает это значение. Это соответствует повторяемости такого сотрясения 1 раз в 5000 лет.

На карте ОСР-97-А (рис. 6.1) показаны те участки, где сотрясения изменяются до 9-балльного значения. Самые сильные сотрясения показаны красным цветом. К таким территориям относится Кавказ, Прибайкалье, Камчатка, Сахалин и ряд участок на востоке РФ.

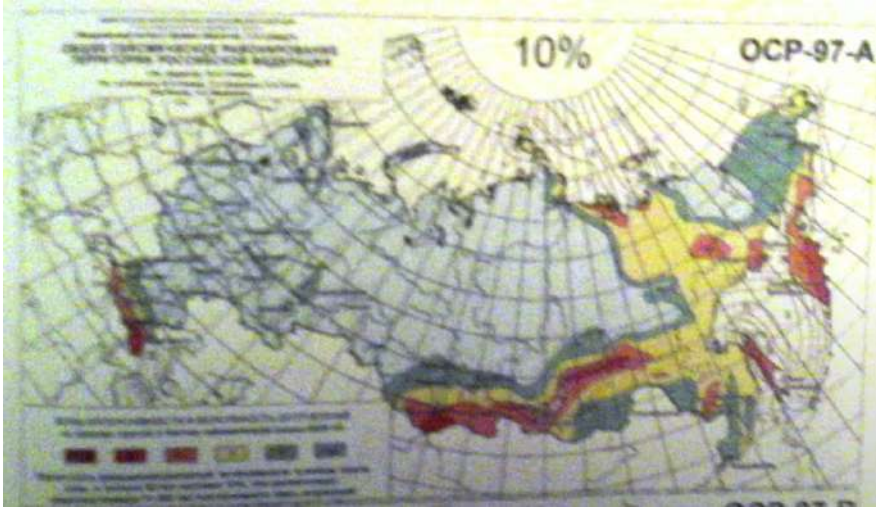

Рис. 6.1. Карта ОСР-97-А. 10%-ная вероятность возникновения в течение 50 лет в любом пункте зоны сотрясения

На карте ОСР-97-С (рис. 6.2) красный цвет занимает значительно большую часть территории, чем на предыдущей карте. Если пользоваться этой картой, то нужно будет создавать сооружения с большей устойчивостью.

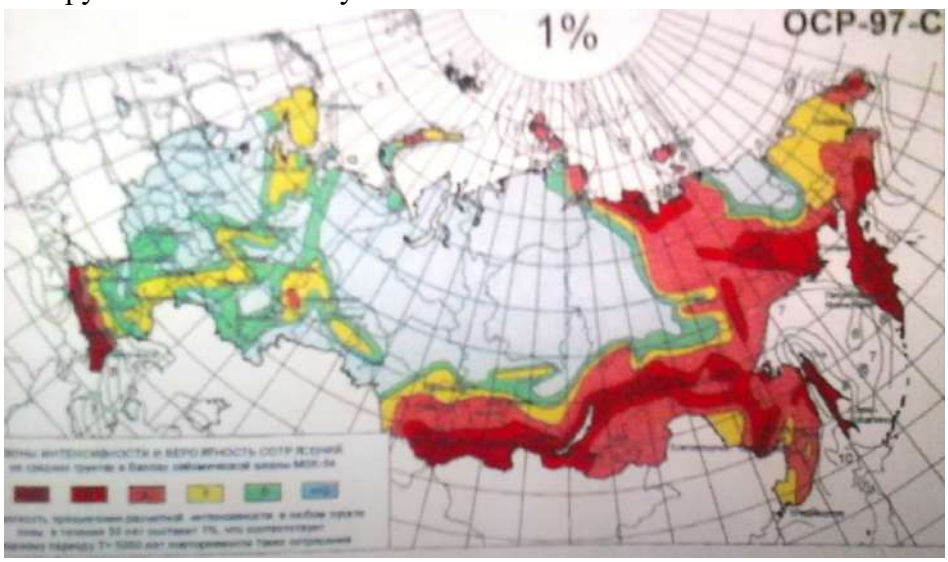

Рис. 6.2. Карта ОСР-97-С. 1%-ная вероятность возникновения в течение 50 лет в любом пункте зоны сотрясения

Рекомендуемые объекты строительства.

Как рекомендуется оценивать балльность территории в зависимости от того, какой вид строительства предусматривается.

- *Карта А* (10%). Массовое строительство жилых, общественных и производственных зданий (сооружений).
- *Карта В* (5%). Объекты повышенной ответственности:
  - здания и сооружения, эксплуатация которых необходима при землетрясении или при ликвидации его последствий (системы энерго- и водоснабжения, пожарные депо, сооружения связи и т.п.
  - здания с одновременным пребыванием в них большого числа людей (вокзалы, аэропорты, театры, цирки, концертные залы, крытые рынки, спортивные сооружения);
  - больницы, школы, дошкольные учреждения; здания высотой более 16 этажей;
  - другие здания и сооружения, отказы которых могут привести к тяжелым экономическим, социальным, экологическим последствиям.
- *Карта С* (1%). Особо ответственные объекты - атомные станции, плотины и т.д.

Сейсмическое микрорайонирование.

Карта сейсмического микрорайонирования составляется в масштабе 1:5000 - 1:25 000 для оценки степени сейсмической опасности застраиваемых территорий. *Основная*

задача – определение приращения балльности в зависимости от грунтово-гидрогеологических условий.

Факторами, которые влияют на приращение балльности на поверхности являются породы, которые обнажаются на этой поверхности (тал. 6.1). Если на поверхности обнажаются известняки или песчаники, на этих породах сейсмическая опасность более высокая. Поэтому приращение балльности составляет величину от 0.2 до 1.3. На всех грунтах, которые являются насыпными и обводненными – на этих участках приращение балльности может достигать 2 баллов, а на заболоченных участках – 4 баллов.

Вторым фактором, который влияет на изменение балльности на поверхности Земли, является глубина залегания грунтовых вод. Если глубина залегания грунтовых вод более 10 м, то в этом случае грунтовые воды не влияют на изменение балльности. Если залегание находится в пределах от 0 до 1 метра, необходимо прибавить 1 балл.

Таблица 6.1. Факторы, влияющие на проявление сейсмичности на поверхности

Породы	Приращение балльности
граниты	0
известняки, песчаники	0,2-1,3
гипсы, мергели, сланцы	0,6-1,4
галечники, гравий	1-1,6
пески, лессы	1,2-1,8
глинистые грунты	1,2-2,1
насыпные грунты	2,3-3
обводненные рыхлые отложения	1,7-2,8
заболоченные участки	3,3-3,9
Глубина залегания грунтовых вод	
0-1 м	1
1-5 м	0,5
>10 м	0

Приращение балльности зависит от строения разреза (тонкий рыхлый слой на крепких породах и т.п.), от рельефа (на вершинах гор амплитуда колебаний больше, чем у подножья), от наличия геологических процессов (подготовленные оползни, обвалы).

Приращение сейсмической интенсивности ΔB:

$$\Delta B = 1.67 lg \frac{V_0 p_0}{V_i p_i} + e^{-0.04h2}$$

$V_0 p_0$ – скорость распространения продольных волн и плотность (*сейсмическая жесткость*) пород, к которым отнесена балльность на карте ОСР-97,

$V_i p_i$ – то же для изучаемых пород, h – глубина залегания уровня грунтовых вод, м.

6.2. Прогноз землетрясений

Землетрясения необходимо прогнозировать. Прогноз землетрясений включает:

- *пространственный* – определение места землетрясения (анализ карт ОСР);
- *количественный* – расчет максимальной силы сотрясений земной поверхности,
- *временной* –установления времени землетрясения.
- Место – по тектоническим и геолого-структурным картам и картам ОСР,
- Сила – по картам ОСР,
- Время – по графику повторяемости, по предвестникам, по инструментальным наблюдениям за развитием деформаций в выработках, по поведению животных.

Одним из способов определения времени землетрясения является анализ графика повторяемости. График состоит из нескольких шкал. Шкала, где даны энергетические классы землетрясений – к информации о магнитуде мы можем определить и класс землетрясения. Если на карте ОСР в данном месте существует возможность землетрясения класса 11 баллов, повторяемость землетрясения составляет 100 лет.

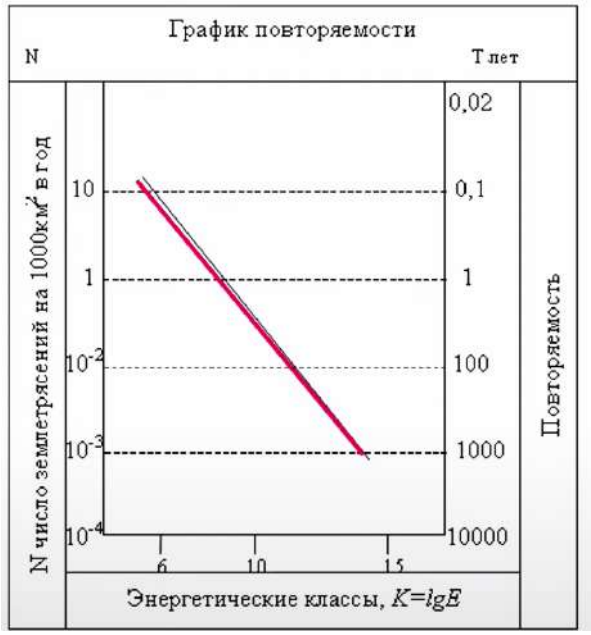

Рис. 6.3. График повторяемости

Предвестники землетрясения.

К *долгосрочным* предвестникам относятся:

- деформации земной поверхности на большой площади;
- переориентация осей напряжений в очагах «фоновых» землетрясений, повышение или понижение микросейсмичности, возникновение предваряющих глубокофокусных толчков, изменение частотного состава сейсмических волн;

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

- изменения электрического сопротивления пород, вариации теллурических токов и геомагнитного поля;

К *краткосрочным* предвестникам землетрясений относятся:

- вариации наклонов земной поверхности;
- флуктуации высокочастотных акустических и электромагнитных полей в приземном слое атмосферы;
- изменение уровней, температуры, химического и газового состава подземных вод

Эти изменения могут наблюдаться за несколько дней, часов и даже минут до землетрясения.

Гидрогеодеформационный мониторинг.

В 1982 году была обнаружена новая разновидность естественного поля – гидрогеодеформационное (ГГД) поле Земли (Гидрогеологический эффект Вартаняна – Куликова).

Гидрогеологический метод, разработанный на основе этого открытия, обеспечивает слежение в режиме реального времени за происходящими изменениями напряженно-деформированного состояния земной коры, за геодинамическими процессами, предваряющими сильные землетрясения

В качестве унифицированных показателей при ведении ГГД мониторинга применяются:

- уровень подземных вод;
- электропроводность (химический состав) и температура подземных вод;
- атмосферное давление, как внешний фактор, влияющий на уровенный режим подземных вод.

Предотвращение последствий возможных землетрясений:

1. Прогноз времени землетрясений.
2. Предварительная разрядка напряжений, например, путем закачки воды в скважины или взрывами.
3. Сейсмостойкое строительство.

Наведенная сейсмичность.

Наведенная сейсмичность объединяет в себе два вида сейсмических явлений (Природные опасности, 2000):

Инициирование – это воздействие на очаг уже подготовленного землетрясения, ускорение события, его «запуск» (trigger).

Возбуждение – это воздействие на определенные зоны земной коры, следствием чего является возникновение землетрясений, которые без такого воздействия не произошли бы (induce).

Причины наведенной сейсмичности:

Воздействия могут быть как природные, так и антропогенные (или техногенные). К *природным факторам* наведенной сейсмичности относятся:

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

- приливные деформации, связанные с фазами Луны и Солнца,
- изменение скорости вращения Земли,
- солнечная активность, вызывающая изменение климата,
- погодные явления, с которыми связано изменение атмосферного давления, температуры и т.п.,
- инициирование землетрясений землетрясениями.

К *антропогенным* или *техногенным факторам* наведенной сейсмичности относятся:

- возведение и эксплуатация крупных водохранилищ,
- извлечение со снижением пластового давления подземных вод, нефти и газа,
- закачивание под большим давлением промстоков и вод при добыче нефти,
- мощные промышленные и атомные взрывы,
- разгрузка при проходке горных выработок (горные удары),
- запуски тяжелых космических ракет.

До сих пор нет единой физической и математической теории или модели, которые бы удовлетворительно объясняли механизм наведенной сейсмичности.

В случае заполнения крупных водохранилищ на проблему генезиса и механизма возбужденной сейсмичности имеются разные точки зрения:

- влияние веса воды,
- изменение напряжений в элементах земной коры, вызванные водной нагрузкой и скоростью изменения уровня водохранилища,
- возрастание поровотрещинного давления, которое нейтрализует геостатическую нагрузку, уменьшает трение в горных породах, изменяет их прочность и т. д.

В случае разработки нефтяных и газовых месторождений причиной возбуждения тектонического землетрясения может стать:

- извлечение и закачка флюида (жидкости),
- изменение пластового давления и пластовой температуры,
- оседание поверхности и т. д.

Особенности наведенной сейсмичности:

- Землетрясения как правило мелкофокусные – основная масса очагов сосредоточена в верхнем 10 – 15 км слое земной коры.
- Интенсивность и магнитуда не превышают фоновую сейсмичность.
- Меньшие площади проявления.
- Более продолжительное время действия.
- Иное распределение форшоков и афтершоков.
- Смещение во времени – через 2 - 4 года после заполнения резервуара, а иногда через 15 лет.

- Отношение $\frac{V_p}{V_s}$ меньше.
- Необходимыми условиями для наведенной сейсмичности являются высокий уровень предварительной напряженности и водопроницаемые породы.

Наведенная сейсмичность при создании водохранилищ.

Одной из причин наведенной сейсмичности является создание водохранилищ. Известные сильные, наведенные землетрясения в Индии (на водохранилище Койна), в Африке (водохранилище Кариба)

Отмечена наведенная сейсмичность:

- плотины высотой H>140м – 21%;
- плотины высотой H>100м – 10%;
- плотины высотой H>10м – 0,63%.

Примеры наведенной сейсмичности.

Одним из классических примеров наведенных землетрясений, вызванных повышением порового давления и закачкой жидкости в пласт, являются знаменитые денверские землетрясения, которые произошли при закачке воды в скважину Денвер (штат Колорадо, США). В результате закачки жидкости в скважину глубиной 3.7 км за три года наблюдений было зарегистрировано 710 толчков. Причем магнитуды некоторых толчков достигали значений M = 5.0.

Сейсмическая активность проявлялась вдоль плоскости, которая проходит под скважиной на глубине около 10 км. Примером наведенных землетрясений являются сильные Газлийские землетрясения в 1976 и 1984 годах. Возможной причиной Газлийских землетрясений является резкое изменение напряжений вследствие смещения по разлому, залегающему ниже газовой залежи (Иванов, 2001).

Интенсивное нарастание сейсмической активности было замечено и при атомных взрывах на полигонах США и на Семипалатинском атомном полигоне в Казахстане.

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Лекция 7. Выветривание

Выветриванием, или *гипергенезом*, называется совокупность физических, физико-химических и биохимических процессов, происходящих в приповерхностной части литосферы при взаимодействии горных пород с атмосферой, гидросферой и биосферой (агентами выветривания) и приводящих к изменению состава, строения, состояния и свойств горных пород.

Виды и факторы выветривания.

Суть процесса сводится к физическому разрушению и химическому и биохимическому разложению материнских пород под действием многих факторов, таких как колебания температуры, расклинивающее действие замерзающей воды, воздействие кислорода, углекислоты, органических кислот и т.д.

Комплекс отложений, измененных в ходе выветривания, называют элювием, или корой выветривания.

Учение о формировании кор выветривания.

Основные положения учения о формировании коры выветривания были впервые разработаны Б.Б. Полыновым (1934):

1 Положение.

Элементы, слагающие горные породы, обладают различной миграционной подвижностью:

- энергично выносимые – *CI, S*;
- легко выносимые – *Ca, Na, K, Mg*;
- подвижные – кремнезем, входящий в состав силикатов;
- слабо подвижные – *Fe, Al, Ti*;
- практически неподвижные – кремнезем, входящий в состав кварца, окись алюминия.

2 Положение.

Стадии выветривания.

Выветривание является единым протекающим во времени процессом, т.е. все процессы, как физические, так и химические, протекают одновременно, но с разными скоростями, а степень преобразования коры выветривания является функцией времени. В соответствии с этим выделяются следующие стадии образования коры выветривания:

а) стадия обломочной коры выветривания. Происходит вынос хлора и сульфидной серы. Так как эти элементы присутствуют в небольшом количестве, то их удаление не вызывает глубокого минералогического преобразования породы, которая лишь дезинтегрируется, образуя грубый обломочный элювий;

б) стадия обызвесткованной коры выветривания. В эту стадию выносятся *Na, K, Ca* и другие подвижные элементы. Но из-за большого количества газообразной и растворенной в воде углекислоты часть мигрирующего кальция осаждается в виде карбонатов;

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

в) стадия сиаллитной коры выветривания. В процесс миграции вовлекается кремнезем силикатов, при этом разрушаются первичные и образуются новые (глинистые) силикаты;

г) стадия аллитной коры выветривания. Полный вынос силикатного кремнезема и накопление гидроокислов алюминия, железа и кварца.

3 Положение.

Типы кор выветривания

В зависимости от исходных пород выделяются следующие типы кор выветривания:

- ортоэлювий – на магматических и метаморфических горных породах,
- параэлювий – на морских осадочных породах,
- неоэлювий – на континентальных отложениях.

4 Положение.

Скорость процесса выветривания зависит от климатических условий. Наибольшие скорости выветривания происходят в южных районах, где много осадков. На севере, в условиях низких температур, скорость выветривания замедляется.

Изучение кор выветривания.

Процессами изменения пород в приповерхностной зоне занимаются различные естественные науки в соответствии со стоящими перед ними задачами:

- Геохимиков и минералогов интересует образование новых минералов.
- Интерес геологов связан с формированием гипергенных месторождений полезных ископаемых.
- Почвоведов интересуют, например, вопросы образования и деградации почв.

Инженерно-геологическое значение изучения кор выветривания.

Для инженерной геологии важным является то, что выветривание приводят к ряду негативных изменений свойств пород (снижению прочности, разуплотнению, повышению деформируемости), что влечет за собой активизацию многих экзогенных процессов (обвалов, осыпей, размыв и т.д.).

Изучение и прогноз развития процессов выветривания необходим:

- при оценке устойчивости склонов, прогнозе развития геологических процессов,
- при планировании, проектировании и строительстве инженерных сооружений, например, определяется мощность съёма пород.

7.1. Основные виды процесса выветривания

В зависимости от преобладающих факторов различают «*физическое*» и «*химическое*» выветривание. Выделяемое иногда «биогенное» выветривание сводится либо к физическим, либо к химическим процессам.

Физическое выветривание.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Физическое выветривание – это исключительно механическое разрушение материала, и причины его многообразны. Одни разрушающие силы возникают в самой породе, другие прилагаются извне.

Виды физического выветривания:

- термическое разрушение;
- разуплотнение пород;
- промерзание – протаивание;
- разрушение пород организмами.

Термическое разрушение.

Термическое разрушение – происходит под воздействием суточных и сезонных колебаний температуры. При этом мощность слоя, в котором происходят наиболее значительные колебания температуры и изменение объема может достигать первых десятков метров (Матвеев, 1972).

При этом минеральные зерна, слагающие горные породы испытывают попеременно то расширение при нагреве, то сжатие при охлаждении, в породе возникают соответственно то сжимающие, то растягивающие напряжения, что ведет в конечном итоге к ее растрескиванию.

Кроме того, верхние слои сжимаются-растягиваются более интенсивно, чем нижние, и это приводит к возникновению сдвиговых напряжений и как результат - к возникновению трещин отдельности, параллельных поверхности. Этот процесс называется шелушением или десквамацией.

Условия термического разрушения пород.

Наибольшему разрушению в результате температурного выветривания подвержены полиминеральные породы, такие как граниты, гнейсы, так как составляющие их минералы имеют различные коэффициенты объемного расширения.

Гораздо быстрее разрушаются темноокрашенные или пестрые и крупнозернистые породы.

Наиболее благоприятными условиями для развития температурного выветривания являются резкие перепады температур, низкая влажность, отсутствие защитного растительного покрова, из чего следует, что эти процессы более всего характерны для пустынь, высокогорья и северных областей.

Разуплотнение пород.

Разуплотнение пород в результате снятия нагрузки происходит в результате уменьшения природной или искусственной нагрузки или вследствие релаксации тектонических напряжений.

Причиной снятия напряжений могут являться эрозионный врез, отступание ледника, инженерно-хозяйственная деятельность человека.

Процесс разуплотнения в зоне разгрузки напряжений находит свое выражение в развитии трещиноватости и уменьшении плотности пород. Трещины разуплотнения

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

располагаются вблизи дневной поверхности и простираются параллельно ей, они открытые или заполнены элювием, раскрытие их уменьшается с глубиной.

Мощность зоны разуплотнения составляет десятки метров.

Промерзание – протаивание.

Замерзание воды в порах и трещинах при полном их заполнении вызывает колоссальные (до 250 МПа) напряжения, так как объем льда на 9.08% больше объема, который занимает вода.

Необходимым условием развития морозного выветривания является частые переходы температур через точку замерзания воды, т.е. процесс характерен для пород с сильным увлажнением и районов с суровыми климатическими условиями. Интенсивность разрушения пород под воздействием процессов промерзания зависит от степени их литификации и влажности.

Наиболее сильное перераспределение влаги и нарушение естественного сложения происходит в рыхлых глинистых и пылеватых грунтах. В этих породах возникновение температурного градиента приводит к интенсивной миграции пленочной воды к фронту промерзания и происходит формирование ледяных линз, параллельных ему.

Многократное промерзание-протаивание приводит к дроблению песчаных частиц и агрегированию глинистых до размера пыли.

Глубины сезонного промерзания-протаивания колеблются от первых десятков сантиметров до нескольких метров. Поэтому, мощность зоны механического дробления пород 1-10 м.

Химическое выветривание.

Химическое выветривание состоит в *растворении* и *кристаллизации солей* способствуют выветриванию горных пород.

Растворение особенно интенсивно проявляется в осадочных породах – хлоридных, сульфатных и карбонатных.

В результате растворяющей деятельности воды на поверхности растворимых пород появляются характерные формы – борозды, воронки, а в глубине различные полости, которые затем заполняются рыхлым материалом.

При изменениях, уменьшающих растворяющую способность воды (колебаниях температуры, испарении, изменении скорости потока), часть растворенных солей может выпадать в осадок.

Процессы химического выветривания

К процессам «химического выветривания», приводящим к изменению минерального состава пород, относятся:

- гидратация – дегидратация,
- гидролиз,
- катионный обмен,
- окисление-восстановление.

Гидратация.

Гидратация – процесс присоединения воды (гидратация) может происходить с образованием новых минералов (гипс, лимонит), либо без оного (гидратация глинистых частиц).

И в том, и в другом случае в породе возникают напряжения, которые могут приводить к ее разрушению.

При кристаллизации гипса возникают давления до 110 МПа.

Глинистые частицы окружены пленками связной воды. Уменьшение влажности глинистых пород ведет к неравномерному изменению их объема – усадке и возникновению сжимающих и сдвиговых напряжений. При этом в породе возникают трещины усадки. При увлажнении вода оказывает расклинивающее действие.

Гидролиз и катионный обмен.

Гидролиз и катионный обмен – это замещение ионов, входящих в состав минералов, ионами воды и ионами растворенных в ней веществ. При этом вытесняемые ионы либо выносятся (*выщелачивание*), либо осаждаются в виде трудно растворимых соединений.

Скорость гидролиза зависит от температуры, *pH* среды, гидродинамического режима, увеличиваясь в кислой среде, с повышением температуры и увеличением водообмена.

Реакции гидролиза, выщелачивания и катионного обмена наиболее интенсивно протекают в зоне аэрации и приводят к глубокому изменению минерального состава горных пород.

Окисление.

Окисление получает наибольшее развитие в железосодержащих минералах. Содержащееся в силикатах, сульфидах, карбонатах двухвалентное железо легко окисляется до трехвалентного. Конечным продуктом окисления является лимонит.

Наиболее интенсивно процессы окисления протекают выше уровня грунтовых вод, куда в больших количествах поступает кислород из атмосферы.

Процессам окисления весьма способствует большое содержание органического вещества в почвах, процесс разложения которых сопровождается выделением большого количества углекислоты, а также сложных органических соединений, агрессивных ко многим компонентам горных пород.

Биогенное выветривание.

Самым разнообразным воздействиям подвергаются породы со стороны живых существ. Корни растений, проникая в трещины и разрастаясь, вызывают раскалывание пород. Роющие животные – грызуны, термиты, земляные черви разрушают и перемешивают породы и т.д.

Огромную роль в изменении горных пород играют микроорганизмы. Бактерии, водоросли, лишайники способны разлагать многие минералы, в частности силикаты.

Некоторые зеленые и сине-зеленые водоросли аккумулируют в своих телах железо и способствуют появлению железистых корок «загара» на поверхности пород. Окисление сульфидов и сульфатов железа ускоряется при участии тиобактерий.

Грибы проникают по трещинам спайности слюд, полевых шпатов и других минералов и разрушают их.

7.2. Условия и факторы развития процессов выветривания

Интенсивность выветривания зависит от пород, их состава, состояния и условий залегания, рельефа, экспозиции, обводненности, растительности, климатических факторов и др.

Для выветривания характерны определенные закономерности, которые определяют гидрогеохимическую и климатическую зональность процесса.

В результате формируется профиль коры выветривания, имеющий зональное строение. Зоной коры выветривания называется часть коры выветривания, обладающая более или менее определенным минеральным составом, физическими свойствами и структурно-текстурными особенностями и характеризующаяся определенным комплексом происходящих и происходивших в ней геохимических процессов.

Условия развития процесса выветривания.

Гидрогеохимическая зональность проявляется по вертикали и связана с различными условиями протекания химических реакций выше и ниже уровня грунтовых вод. Ниже уровня грунтовых вод там, где вода полностью заполняет поры и пустоты в горных породах, преобладают процессы гидратации и восстановления. Выше развиваются процессы окисления, гидролиза и катионного обмена.

Климат сильно влияет на скорость и характер химических изменений в горных породах. Одни климатические условия обеспечивают быстрое физическое выветривание, другие способствуют развитию химических и биохимических процессов.

Вода необходима для большинства химических реакций, и, следовательно, от общего количества осадков и гидродинамического режима зависит интенсивность химического выветривания.

Температура влияет на скорость химических процессов – повышение температуры на 10°С увеличивает скорость химических реакций в 2-4 раза. В сухом и жарком климате быстрое испарение способствует кристаллизации солей и образованию «корок» – карбонатных, сульфатных, солевых. В холодных полярных зонах химические реакции практически не протекают, а происходит процесс дезинтеграции пород. В условиях, где осадки преобладают над испарением, продукты выветривания удаляются растворами.

Факторы развития процессов выветривания.

Факторы развития процессов выветривания:

- Атмосферные осадки, их химический состав.
- Инсоляция, увеличивающая скорость химических реакций.

- Воздух (кислород, углекислый газ).
- Почвы, увеличивающие *pH* инфильтрующихся вод.
- Растительность, усиливающая агрессивность атмосферных осадков при их прохождении через крону.
- Микроорганизмы, продуцирующие органические кислоты, которые поступают в подземные воды.
- Животный мир.
- Техногенные факторы (вскрытие пород, загрязнение атмосферы и подземных вод, промышленные отходы и пр.).

7.3. Основные вопросы инженерно-геологического изучения кор выветривания

Основными вопросами инженерно-геологического изучения кор выветривания являются:

1. Строение коры выветривания.
2. Степень выветрелости.
3. Скорость выветривания.

Строение кор выветривания.

Основой для всех существующих схем расчленения коры выветривания в инженерной геологии стала схема Н.В. Коломенского (1952), разработанная для апшеронских глин района Мингечаурского гидроузла.

Зоны выветривания (Н.В. Коломенский, 1964):

Зона IV. Тонкого дробления (дисперсная). Пыль с небольшой примесью мелких обломков. Состоит в основном из вторичных минералов с примесью тонкораздробленных первичных. Коэффициент фильтрации практически равен 0. Сжимаемость резко возрастает, прочностные свойства уменьшаются по сравнению с зоной III. порода приобретает новые свойства: сцепление, пластичность, набухаемость.

Зона III. Зернистая или мелкообломочная. Обломки различной величины (до 10 см, редко больше) сопровождаются значительным количеством пылеобразных продуктов. Большое содержание вторичных минералов. Текстурные признаки материнской породы не прослеживаются. Физико-механические свойства продолжают снижаться. Резко снижаются фильтрационные свойства.

Зона II. Глыбовая. Наличие трещин выветривания, разбивающих породу на отдельные глыбы, химико-минеральный состав которых отвечает составу материнских пород. В трещинах наблюдаются вторичные изменения (кристаллы гипса, ожелезнение). Физико-механические свойства резко меняются по сравнению с неизмененными. Породы обладают наибольшей фильтрационной способностью, прочностные свойства резко снижаются.

Зона I. Монолитная. Порода не имеет видимых глазом трещин выветривания, но уже претерпела расшатывание связей. Раскалывается по определенным плоскостям, иногда на плоскостях скола встречаются слабые железистые налеты. Физико-

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

механические свойства практически не отличаются от неизмененных пород. Увеличивается проницаемость.

На схеме расчленения коры выветривания Г.С. Золотарева (рис. 7.1) для глинистых и изверженных пород выделяется зона линейного или трещинного выветривания, в которой процесс развивается лишь вдоль трещин, не затрагивая основной массив грунта.

Рис. 7.1. Схема расчленения коры выветривания (Г.С. Золотарев, 1983)

Показатели степени выветрелости.

Показатель выветрелости (К. Терцаги, 1934):

$$V = \frac{H - h}{h}$$

где h – действительная твердость породы (берется из таблицы); H - теоретическая твердость $100H = P_1h_1 + P_2h_2 + P_3h_3 + \cdots$. P_1, P_2, P_3 – геометрически определенные части объема в процентах, приходящиеся на отдельные минералы; h_1, h_2, h_3 – их средние твердости.

Степень выветрелости (З.К. Баранова, Е.М. Сергеев, 1959): определяется по разности коэффициентов пористости выветрелых и невыветрелых пород.

Показатель степени выветрелости i (А. Хэмрол, 1961)

$$i = \frac{P_2 - P_1}{P_1}$$

где P_1 – вес образца, высушенного при 105°, P_2 - вес того же образца, после водонасыщения в течение 1.5 - 2 часов.

Показатель стойкости (П.Н. Панюков, 1962):

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

$$K_{\text{в}} = \frac{\sigma_{\text{сж1}} - \sigma_{\text{сж2}}}{\sigma_{\text{сж1}}}$$

где $\sigma_{\text{сж1}}$, $\sigma_{\text{сж2}}$ – временное сопротивление пород сжатию в невыветрелом состоянии и после годичного цикла воздействия агентов выветривания.

$$B_c = \frac{\varepsilon_f^A - \varepsilon_c}{\varepsilon_f^A - \varepsilon_0}$$

ε_f^A – коэффициент пористости породы в состоянии предела текучести, характеризует состояние максимального с инженерно-геологической точки зрения разрушения данной породы в зоне выветривания,

ε_c – коэффициент пористости оцениваемой породы,

ε_0 – коэффициент пористости породы в невыветрелом состоянии.

Показатель выветрелости К (В.Б. Швец, 1964).

$$K_{\text{в}} = \frac{K_t - K_0}{K_t}$$

K_t – отношение массы частиц меньше 2 мм к массе частиц больше 2 мм после истирания в специальном барабане,

K_0 – то же в природном состоянии.

Коэффициент выветрелости (Г.С.Золотарев,1969):

$$B_c = \frac{F_H - F_0}{F_H - F_a}$$

где F – показатель какого-либо свойства породы (плотность, пористость, временное сопротивление сжатию), а индексы *н, 0, а* – относятся к невыветрелой, оцениваемой и предельно выветрелой породе соответственно.

По этому показателю выделяются четыре категории пород: сильновыветрелые – B_c > 0.9, выветрелые – B_c=0.7-0.9, средневыветрелые B_c=0.3-0.9 и слабовыветрелые B_c <0.3.

Показатель интенсивности выветривания (Л.А. Ярг, 1974)

$$K_R = \frac{\overline{R_{i,n}} - \overline{R_{i,n-1}}}{\frac{h_n}{2} + \frac{h_{n-1}}{2}} = 2\Delta R$$

$\overline{R_i}$ – среднее значение какого-либо показателя свойств пород для соответствующей зоны выветривания, h – мощность.

Скорость выветривания.

Скорость выветривания – отношение мощности возникшей коры выветривания ко времени, за которое она образовалась. Определяется мощность коры выветривания по изменению свойств горных пород.

Скорость выветривания в условиях постоянного сноса постоянная, в глинах – 0,5 м/год; в условиях ограниченного сноса уменьшается.

Три стадии скорости развития процессов выветривания (Ю.Д. Матвеев, 1970):

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

1 – интенсивная; 2 – замедленная; 3 – затухающая; равномерно затухающий процесс.

Скорость выветривания возрастает по мере того, как увеличиваются различия между термодинамическими условиями образования горной породы и теми условиями, в которых протекает процесс выветривания.

Поэтому осадочные породы выветриваются медленнее, чем изверженные.

Задачи и методы изучения процессов выветривания.

Задачи и методы изучения процессов выветривания:

- Установление закономерностей распространение кор выветривания, их мощностей, типов, строения, возраста - картирование, горные выработки
- Определение свойств пород коры выветривания, их изменение - опробование в шурфах и скважинах.
- Расчленение профиля коры выветривания - шурфы.
- Оценка интенсивности выветривания.
- Определение скорости выветривания – стационарные наблюдения на площадках.
- Геофизические методы (электро-, сейсмо- и др.) на поверхности, в горных выработках, на образцах: мощность и физико-механические свойства и состояние выветрелых пород.
- Лабораторные экспериментальные (хим., мин. состав и свойства) и моделирование (создание в лаборатории условий, близких к природным).

Меры стабилизации процессов выветривания.

Меры стабилизации процессов выветривания:

- Искусственная нейтрализация некоторых агентов выветривания:
  - путем введения в породу солей, уменьшающих растворимость пород,
  - планировка и отвод вод.
- Лесомелиорация.
- Укрепление - пропитывание пород жидкими смолами, гудроном.
- Устройство защитных покрытий из песка, суглинка, иногда бетона и цемента.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Лекция 8. Абразия

Абразия (от латинского *abrasio* – соскабливание, сбривание) – это геологический процесс механического разрушения берегов морей, озёр и крупных водохранилищ волнами, течениями и прибоем.

При этом горные породы испытывают удар волны, коррозионное разрушение под действием ударов камней и песчинок, растворение, в полярных областях протаивание (термоабразия) и другие воздействия.

Интенсивность абразии зависит от степени волнового воздействия и свойств пород.

Инженерно-геологическое значение изучения абразии.

Инженерно-геологическое значение изучения абразии обусловлено:

- необходимостью оценки влияния интенсивности абразии и размеров отмели и надводного уступа в нарушении устойчивости склонов и вызывающего или активизирующего оползни, обвалы, овражную эрозию;
- необходимостью рационального размещения и обеспечения устойчивости объектов на берегу и на верхней части шельфа;
- необходимостью защиты застроенных и осваиваемых территорий от абразии и обоснования проектирования и строительства берегоукрепительных сооружений;
- необходимостью характеристики мест и интенсивности образования наносов за счет размыва пород в береговых уступах.

Абразия создаёт на берегах абразионную террасу, или бенч, и абразионный уступ, или клиф. Образующийся при этом в результате разрушения горных пород материал вовлекается в процессы перемещения наносов и сносится волнами и течениями к подножию абразионного подводного склона, образуя здесь прислонённую аккумулятивную террасу.

По мере расширения абразионной террасы процессы абразии постепенно затухают (так как расширяется полоса мелководья, на преодоление которой расходуется энергия волн) и сменяется аккумуляцией.

На рисунке 8.1 показана схема абразионных форм и элементов берега. Схема разработана В.П. Зенкевичем, который работал на географическом факультете Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова и активно занимался процессами абразии. На схеме показан клиф – крутой уступ берега, который разрушается под действием волн. Пологая поверхность абразионной террасы – бенч. В основании бенча расположена подводная аккумулятивная терраса. Линией УВ показан уровень воды в том водоеме, который подходит к этому берегу и разрушает этот берег.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

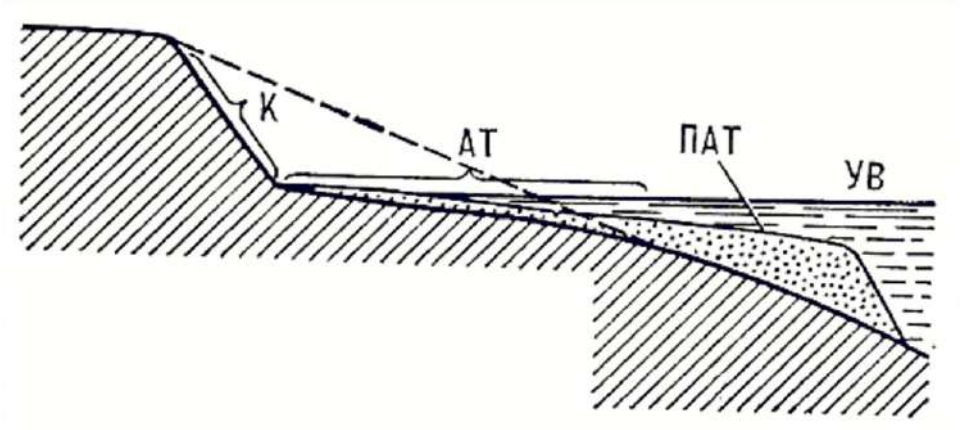

Рис. 8.1. Схема абразионных форм и элементов берега (В.П. Зенкевич, 1962) : К – клиф; АТ – абразионная терраса (бенч); ПАТ – подводная аккумулятивная терраса; УВ – уровень воды

8.1. Типы абразии

Разрушительная работа волн может осуществляться *механическим*, *химическим*, *термическим* путем.

Механическая абразия.

Механическим путем разрушение пород происходит под действием гидравлического удара прибойной волны, мгновенной компрессии и декомпрессии воздуха в трещинах пород, а также бомбардировкой и истиранием горной породы обломками той же или другой породы (Зенкевич, 1962).

Химическая абразия.

Химический путь реализуется на берегах, сложенных растворимыми породами. Чаще всего наблюдаются абразионные берега, сложенные известняками. На поверхности известняков возникают различные формы выщелачивания в виде борозд по трещинам или выемок по наиболее податливым участкам породы.

Скорость химической абразии зависит от гидродинамического режима, состава пород, слагающих берег и от минерализации и степени насыщения воды компонентами, обуславливающими её агрессивность. На скорость химической абразии влияет температура воды. Холодная вода способна растворить большее количество CO_2 и благодаря этому она более агрессивна к известнякам. Скорость химической абразии берегов, сложенных известняками 0,5-5,0 мм в год.

Химическая абразия обычно комбинируется с механической, но не создает особого типа берега, а лишь в той или иной степени осложняет морфологию «обычного» абразионного берега.

Термоабразия.

Термоабразия является сочетанием процессов теплового и механического разрушения берегов водоёмов при воздействии прибоя на участках побережья, сложенных мёрзлыми горными породами, содержащими большое количество подземных ледяных тел.

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Интенсивность термоабразии зависит от температуры воды, энергия волноприбойных процессов и от литологического состава мерзлых пород.

Скорость термоабразии очень высокая и может достигать 18-20 и более м/год.

8.2. Типы морских берегов

Одним из ученых, который занимался процессами абразии, был О.К. Леонтьев. С генетической точки зрения (О.К. Леонтьев, 1961), выделяют следующие типы берегов: *неразмываемые*, *абразионные*, *аккумулятивные* и *биогенные*.

Абразия, подмывая основания склонов и нарушая их устойчивость, вызывает развитие таких геологических процессов, как оползни, обвалы, осыпи и др. Это обусловливает необходимость разделения абразионных берегов на подтипы: абразионно-оползневые, абразионно-обвальные, абразионно-осыпные или различные комбинации их.

Среди берегов наиболее распространены аккумулятивные берега, на долю которых приходится 28% береговой линии, абразионные берега составляют 21.8%.

Биогенными называются берега, формирующиеся в ходе жизнедеятельности различных организмов. Это атоллы — кольцеобразные постройки, окаймляющие подводные известняковые террасы, барьерные рифы — протяженные кораллово-известняковые гряды.

В результате деятельности различных исследователей были выделены абразионные и аккумулятивные берега (рис. 8.2.).

Рис. 8.2. Морфологические особенности абразионного и аккумулятивного берега (В.П. Зенкевич, 1962)

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

На абразионных и аккумулятивных берегах выделяются три зоны: побережье, береговая зона и открытое море/океан. На абразионном береге побережье сложено теми породами, которые занимают берега этого участка.

8.3. Условия и факторы формирования берегов морей

Среди основных факторов, определяющих динамику формирования берегов морей, крупных озер, водохранилищ выделяются геологические, геоморфологические, гидрологические, климатические и техногенные:

Геологические:

– неотектонические и современные движения (происходит либо опускание, либо поднятие суши);

– породы, состав, залегание, трещиноватость;

Залегание горных пород также влияет на их разрушение. Так, например, в слоистых горных породах

– физико-механические свойства пород, сопротивление волновому размыву, их изменение при разуплотнении, выветривании и других процессах;

– современные геологические процессы: выветривание, склоновые, карст.

Рельеф надводной и подводной части берега.

Гидрологические:

– уровенный режим водоема в историческом аспекте и в настоящее время;

– волновой режим – высота, длина повторяемость и энергия волны;

– течения вдоль береговые и придонные;

– наносы – закономерности формирования - перемещение, аккумуляция, косы, бары;

– воздействие льда на берег.

Климатические:

– температурный режим водоема по сезонам года;

– наличие или отсутствие льда;

– количество выпадающих осадков;

– амплитуда колебания температуры.

Техногенные:

– инженерные сооружения – изменение волнового режима;

– химические и биогенные факторы воздействия на породы отмели и берега;

– растительность.

Неотектонические процессы как фактор формирования берегов.

При формировании берегов морей и крупных озер большое влияние оказывают неотектонические и современные движения, которые прямо влияют на динамику абразионных процессов.

Образование заливов, лиманов, глубоких фьордов связано как с медленными (Балтийский щит), так и разрывными грабенообразными опусканиями (например, залив «Провал» на Байкале, возникший при землетрясении 1862 г.)

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Неотектонические движения, обуславливают контрастность рельефа, отражаются и на развитии геологических процессов – эрозионных, селевых, обвальных и оползневых на склонах, обрамляющих морские берега или озерные впадины.

Например, на Кавказском побережье, в районе г. Анапы, грандиозные оползни конца верхнеплейстоценового времени, вероятно под действием землетрясений сформировали два больших мыса выступающих в море – Большой и Малый Утриш.

Параметры, характеризующие морские волны.

Высота и *длина волны* определяются глубиной водоема, длиной разгона (расстояние, на котором формируется волна), скоростью и продолжительностью ветров.

Периодом называется время, за которое волна проходит путь между смежными гребнями или ложбинами. Период зависит от длины волны: мелкие, близко следующие друг за другом волны, имеют период в несколько секунд, гребни же длинных волн в открытом море могут следовать один за другим с интервалом до 20 с.

Скорость распространения волны рассчитывается путем деления длины волны на его период.

Энергия работы, производимой волнами (В.П. Зенкович, 1962), находится в прямой зависимости от высоты (H) и длины (L) волн. Суммарная энергия морской волны определяется по формуле:

$$E = \frac{1}{8} H^2 L.$$

Волны оказывают двоякое воздействие на берега. С одной стороны, они их разрушают, превращая скальные монолитные грунты в глыбы, обломки, валуны, гальку, песок, с другой — переносят и отлагают продукты разрушения, создавая пляжи и аккумулятивные типы берегов.

Сила удара волн о берег может достигать очень больших величин. Волна высотой 2 метра оказывает давление около 15 тс/м. В открытых морях сила удара может достигать 30 тс/м.

Воздействие волн на побережье.

Волны оказывают двоякое воздействие на берега. С одной стороны, они их разрушают, превращая скальные монолитные грунты в глыбы, обломки, валуны, гальку, песок. С другой – переносят и отлагают продукты разрушения, создавая пляжи и аккумулятивные типы берегов.

Сила удара волн о берег может достигать очень больших величин. Волна высотой 2 метра оказывает давление около 15 тс/м. В открытых морях сила удара может достигать 30 тс/м.

Параметры, характеризующие абразию.

Количественные показатели, характеризующие активность проявления абразии, подразделяются на три группы:

1) показатели формы проявления абразии;

2) показатели ее распространения;

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

3) показатели ее динамики.

Объём переработки – количество разрушенных пород ($м^3$/год) на 1 погонный метр берега.

Пораженность – отношение протяженности абразионных берегов к общей длине побережья (%).

Активность – отношение количества (длины берега) свежих форм проявления процесса к их общему числу (длине абразионных берегов).

Основным количественным параметром, характеризующим динамику абразии или переработки берегов водохранилищ, согласно СНиП 22-01-95, является *скорость отступания береговой линии (м/год)*.

Берегоукрепительные мероприятия.

Волнозащитные вдольбереговые:

- подпорные береговые стены (набережные) волноотбойного профиля из монолитного и сборного бетона и железобетона, камня, свай;
- железобетонные и металлические шпунтовые стенки;
- ступенчатые крепления с укреплением основания террас;
- массивные волноломы.

Волнозащитные откосные:

- монолитные покрытия из бетона, асфальтобетона, асфальта;
- покрытия из сборных плит;
- покрытия из гибких тюфяков и сетчатых блоков, заполненных камнем;
- покрытия из синтетических материалов и вторичного сырья.

Волногасящие вдольбереговые проницаемые сооружения с пористой напорной гранью и волногасящими камерами

Волногасящие откосные, включающие наброску из камня, наброску или укладку из фасонных блоков, искусственные свободные пляжи.

Пляжеудерживающие вдольбереговые подводные банкеты из бетона, бетонных блоков, камня. Пляжеудерживающие поперечные буны, молы, шпоры (гравитационные, свайные, из фасонных блоков и др.)

Специальные:

- регулирующие сток рек;
- струенаправляющие дамбы из каменной наброски и грунта;
- искусственное закрепление грунта откосов (мелиорация, лесомелиорация).

Воздействие на геологическую среду водохранилищ.

Водохранилище – это всякого рода устройства для сбора и хранения воды. К концу XX века на земле эксплуатировались уже более 60 тысяч водохранилищ (из них около 2300 в России) общим объёмом более 6500 $км^3$ (Рогунское 11 $км^3$). Площадь их водного зеркала равна 400 тыс. $км^2$ (площадь одиннадцати Азовских морей). Протяженность берегов водохранилищ соответствует длине экватора.

Мгновенное заполнение вызывает резкое изменение природной обстановки, нарушение динамического равновесия. Изменяются климатическая обстановка, температура, осадки, влажность, растительность, гидрологическая обстановка и т.п.

Наблюдается загрязнение и новые геологические процессы.

Активизация геологических и возникновение инженерно-геологически процессов.

Активизация геологических и возникновение инженерно-геологически процессов:

1. Образование мелководий – бросовые равнинные земли.
2. Всплывание торфяников – на мелководье примерзают ко льду, отрываются, плавают, мешают судоходству, попадают в водоприемники.
3. Подтопление территорий, заболачивание, засоление.
4. Вдольбереговой перенос отложений – размыв, новые накопления, нарушение устойчивости сооружений.
5. Заиление в Среднеазиатских водохранилищах.
6. Переработка берегов. Особенности переработки лессовых берегов.
7. Значительные колебания уровней горных водохранилищ приводят к развитию склоновых процессов.
8. Возбужденная сейсмичность (Нурекское водохранилище).

Задачи инженерной геологии.

В *задачи* инженерной геологии входят:

- Прогноз неблагоприятных процессов:
  - переработка берегов – установление величины и профиля;
  - размыв и вдольбереговой перенос;
  - утечки и подтопление, заболачивание и засоление.
- Методы расчета переработки берегов
  - сравнительно-геологические – предварительное изучение водоемов, существующих на данной территории, измерение углов отмелей, бичевников и т.д.;
  - энергетические – объём V размытых пород пропорционален энергии E волнения:

$$V = kEt^a$$

где k – коэффициент размываемости пород, t – время, год, a – показатель степени меньше единицы;

  - сложные случаи – берега оползневые, в лессах, в зоне распространения многолетнемерзлых пород и т.д.

Мероприятия по стабилизации.

Мероприятия по стабилизации:

1. Подготовительные работы: вырубка леса, уборка торфа, очистка дна.
2. Борьба с переработкой:

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

- Укрепление берегов:
  - а) лесомелиорация;
  - б) укрепление (мелиорация) пород;
  - в) каменная мостовая, свайные стены, бетонные плиты и др.
- Гашение энергии волн:
  - а) отмели, пляжи;
  - б) буны, дамбы, волноломы.
- Перенос сооружений.

3. Борьба с затоплением и подтоплением:
   - а) обвалование;
   - б) дренажные системы.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

Лекция 9. Эрозия

Эрозия (от лат. *erosio* – размывание, разъедание) – процессы разрушения горных пород и почв водным потоком. Различают эрозию:

- плоскостную – плоскостной смыв на склонах;
- линейную – оврагообразование;
- в речных долинах – донная и боковая.

Процессы разрушения проявляются в результате:

- механического воздействия потока, уносящего твердые частицы породы;
- растворения горных пород (коррозии) водой;
- истирания и обтачивания ложа потока переносимыми водой (корразия) частицами;
- температурного воздействия (термоэрозии) потока на льдосодержащие горные породы.

Эрозионные процессы являются одним из ведущих факторов, формирующих современный рельеф земной поверхности.

9.1. Плоскостной смыв

Плоскостная (поверхностная) эрозия приводит к сглаживанию неровностей и уменьшает расчлененность рельефа. Преобладает струйчатая эрозия.

Основными *факторами*, характеризующими плоскостной смыв:

- рельеф – уклон (4-6 – 10-20º), протяженность, размах;
- климат – количество, интенсивность и частота осадков, характер и скорость снеготаяния;
- геологическое строение – сопротивление горных пород размыву (водопрочность): скальные и полускальные, пески, глины, лессы, наиболее интенсивно размываются почвы и продукты выветривания;
- социально-экономические – уничтожение растительности, распашка, выпас скота, строительно-хозяйственная деятельность. Эти факторы, связанные с внедрением человека, приводят к увеличению разрушения горных пород под воздействием водных потоков. Строительно-хозяйственная деятельность человека приводит к увеличению скорости водных потоков.

Скорость эрозионного процесса характеризуется коэффициентом смыва, определяемым путем повторного нивелирования: V *м*^{3}/S *м*^{2} (отношение объема размытых горных пород к их площади) за единицу времени.

В результате плоскостного смыва, совершаемого дождевыми и талыми водами, формируются отложения, называемые *делювием*.

Показатели, характеризующие плоскостную эрозию.

Показателями, характеризующими динамику плоскостной эрозии, являются (СНиП 22-01-95):

- площадная пораженность территории (%),

Площадная пораженность территории – это отношение территории, которая размыта и изменена теми потоками, которые движутся по поверхности склона ко всей территории.

- скорость развития плоскостной эрозии ($м^3$/га в год),

Скорость развития плоскостной эрозии – объем размытой горной породы к единице площади в годы.

- скорость временного водотока (*Vx*, м/с),
- модуль смыва почвы (*W*, т/га за год) .

Меры предупреждения.

Одной из существенных мер, которая предотвращает интенсивный эрозионный размыв поверхности – это *рациональное ведение хозяйства* – соблюдение правил ведения строительных, горнодобывающих и сельскохозяйственных работ и норм землепользования.

Кроме того, к мерам предупреждения относят:

- Лесомелиорация – искусственный посев быстрорастущих трав.
- Регулирование поверхностного стока – изоляции с использованием покрытий и отвод поверхностных вод.
- Укрепление пород, террасирование склонов.
- Наибольший ущерб плоскостной смыв наносит почвенному покрову – почвенная эрозия, модуль смыва почвы (*W*, т/га за год).

9.2. Овражная эрозия

Овражная эрозия – разновидность линейной эрозии – возникает там, где равномерный плоскостной смыв нарушается и формируются под действием струй воды в существующих естественных понижениях отдельные промоины. Рост промоин приводит к размыву или эрозии пород склона. Так начинается процесс оврагообразования, сопровождающийся ростом промоины в глубину, ширину и вверх по склону.

Временные потоки, формирующиеся в пределах овражной сети, в устье оврага образуют конуса выноса, представленные особым типом отложений - пролювием.

Оврагообразование.

Оврагообразование – процесс стадийный. В развитии оврага выделяется четыре стадии (рис. 9.1) в результате которых вырабатывается его продольный профиль.

Первая стадия — стадия промоины или рытвины, в которой концентрируются потоки талых или дождевых вод. Глубина таких промоин 30—50 см. Продольный профиль следует за рельефом местности. Поперечный профиль промоины меняется от треугольного в верховьях до трапециевидного.

Вторая стадия начинается с образования вершинного перепада или обрыва (2—10 м). Овраг растет в сторону водораздельного пространства (регрессивная эрозия). Устье оврага находится выше местного базиса эрозии. Глубина оврага достигает 10—30 м. Поперечный профиль имеет треугольную форму, борта оврагов крутые,

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

обрывистые, обнаженные, пораженные склоновыми процессами. На этой стадии происходят разветвление оврагов и создание овражной системы. Возможен постоянный водоток.

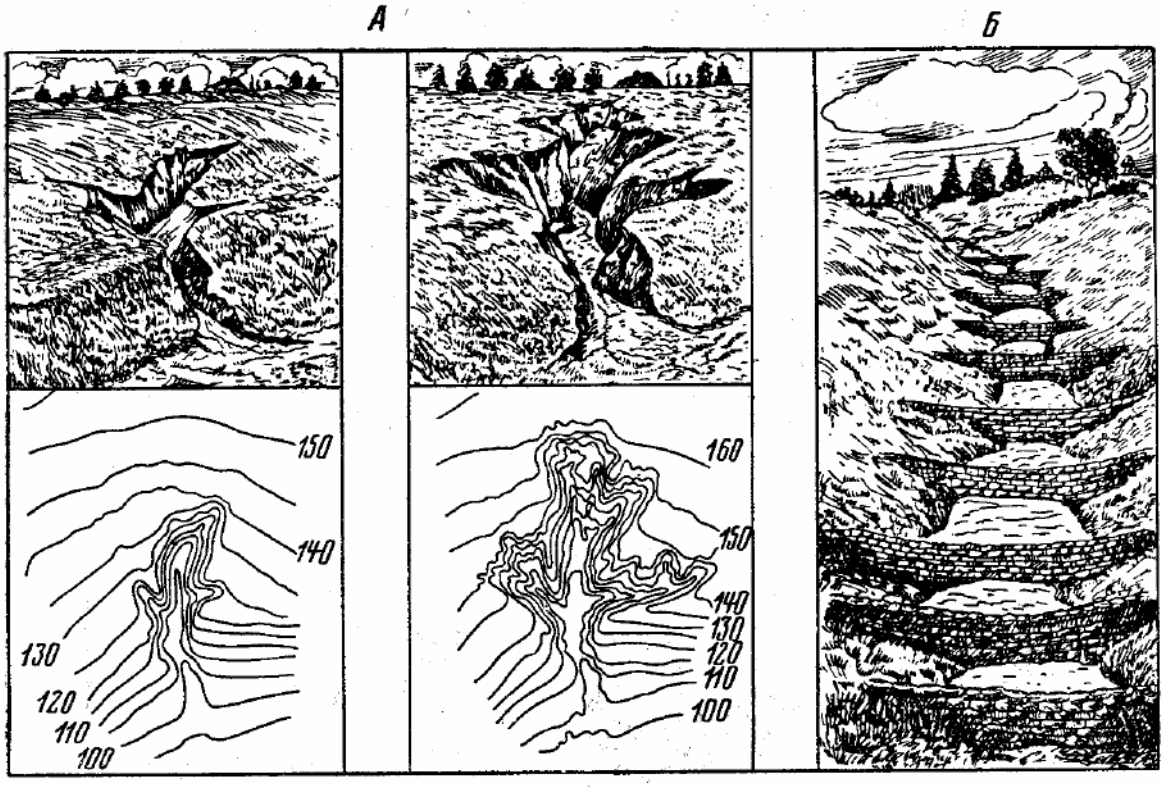

Схема развития оврага (*А*) и борьба с ростом оврага (*Б*), (рис. Н. П. Костенко)

Рис. 9.1. Схема развития оврага (А) и борьба с ростом оврага (Б), (рис. Н. П. Костенко)

Третья стадия начинается, когда овраг достигает своим устьем базиса эрозии. Продольный профиль оврага приобретает вид плавной кривой, а поперечный в верхней части сохраняет обрывистые формы, тогда как в нижней выполаживается. Дно оврага становится широким и плоским, по нему течет временный или постоянный водный поток, который продолжает углублять и расширять овраг. Глубина оврага может достигать 20—30 м. Его склоны сглаживаются и покрываются растительностью.

Четвертая стадия – стадия затухания. Происходит уменьшение глубинной эрозии, сглаживается обрыв вершины. Склоны оврага постепенно осыпаются и зарастают. Если овраг вскрывает водоносный горизонт, то возникает постоянный водоток – ручей, приводящий к дальнейшему углублению, расширению и удлинению оврага и формируется овражный аллювий. Склоны оврага покрываются делювиальными образованиями, осыпями, а на их поверхности формируется почва и растительный покров. Овраг с мягкими пологими склонами, покрытыми делювиальными отложениями называется балкой.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

Условия формирования оврагов.

Характер, динамика, стадийность процессов оврагообразования зависит от комплекса природных и техногенных факторов, к которым можно отнести:

а) геологические условия – наличие неводопрочных, легкоразмываемых пород главным образом пылеватого состава, выветрелость пород, особенности напластования, неотектонические условия региона, определяющие изменение базиса эрозии и т.д.;

б) климатические условия – количество и тип выпадающих осадков, характер снеготаяния и т.п.;

в) геоморфологические особенности рельефа – общий уклон местности, крутизна склонов, наличие промоин, борозд, ям на поверхности и т.п.;

г) особенности почв и растительности, развитой на поверхности склонов;

д) неорганизованный сброс поливных, фильтрационных, хозяйственных и других вод с освоенных территорий;

е) распашку склонов, уничтожение растительности и иное землепользование с нарушением норм или не обеспеченное водосбросными мероприятиями;

ж) изменение уровней и режима рек и озер при создании водохранилищ, судоходных каналов и других инженерных сооружений.

Влияние человека на оврагообразование.

Инженерно-хозяйственная деятельность человека является мощным фактором роста интенсивности эрозионных процессов.

- Нарушение режима поверхностного и подземного стока при строительстве гидротехнических сооружений,
- Разрушение защитного растительного покрова при вырубке лесов и кустарников в процессе сельскохозяйственного освоения земель,
- Формирование искусственного рельефа местности при строительстве дорог, каналов, горнодобывающих предприятий и т. п.
- Последствия оврагообразования, вызванного деятельностью человека, являются гораздо более масштабными и значительными, чем те, которые вызываются только природными факторами.

Показатели, используемые для оценки овражной эрозии (СНиП 22-01-95).

Степень эрозионной расчлененности ($C_р$, м^3/га) - отношение приращения общего объема растущих оврагов за год, десятилетие или столетие к площади их водосборов, определяемых повторными аэро- или фототеодолитными съемками (Золотарев, 1983).

Коэффициент овражно-балочного расчленения $K_{об}$ или *густота овражной сети* – отношение суммарной длины оврагов, балок и мелких речных долин к общей площади исследуемой территории (км/км^2):

$$K_{об} = \frac{\sum_1^n l_i}{S_0}$$

где l_i – длина эрозионных форм, км; n – количество этих форм; S_0 – площадь изучаемой территории, км^2.

Коэффициент овражно-балочной пораженности ($K_П$)

$$K_{\Pi} = \frac{\sum_1^n S_i}{S_0}$$

где S_i – площадь эрозионной формы по сечению на дневной поверхности; S_0 — площадь изучаемой территории, км^2

Объем грунтовой массы V_o*, вынесенной оврагом*, дает полное представление об интенсивности оврагообразования, так как для его определения используются все параметры оврага — глубина, ширина и длина (Попов, 1951):

$$V_0 = \frac{1}{2n}[(a_1 + b_1)h_1 + (a_2 + b_2)h_2 + \cdots + (a_n + b_n)h_n]l_0$$

a и b – ширина оврага по верху и по низу в разных сечениях; h – глубина оврага в этих сечениях; l_o – общая длина оврага; n – число сечений, в которых проводились измерения.

Плотность оврагов характеризуется показателем П (шт/км^2):

$$\Pi = \frac{N}{S_т}$$

где N – общее число оврагов на данной территории площадью $S_т$.

Средняя длина оврагов задается показателем $l_{ср}$, км:

$$l_{ср} = \frac{K_{об}}{\Pi}$$

Мероприятия по стабилизации овражной эрозии.

Мероприятия по стабилизации овражной эрозии направлены на:

- снижение скоростей, расходов и энергии стока «овражных» вод;
- повышение эрозионной устойчивости размываемых пород.

Такими мероприятиями являются инженерные мероприятия.

Инженерные мероприятия – комплекс гидротехнических сооружений, направленных на водоулавливание, водоудержание и водорегулирование поверхностных вод и атмосферных осадков: канавы, лотки, дамбы, валы, плотины.

Инженерные мероприятия, направленные на борьбу с растущими оврагами или на восстановление (рекультивацию) пораженной территории: засыпка эрозионных форм с последующей планировкой территории, мощение их камнем, укрепление их бетонными плитами или асфальтом.

Иногда используют методы технической мелиорации, направленные на укрепления склонов оврагов и балок, борьба с боковой эрозией и оползнями, укрепление вершины оврага или отвод вод от неё.

Лесомелиоративные мероприятия – агротехнические приёмы, которые устраняют или уменьшают поверхностный сток и способствуют задержанию влаги на полях: почвозащитные севообороты, вспашка и последующие обработки почвы поперёк склонов, прерывистое бороздование, щелевание, полосное размещение сельско-хозяйственных культур, создание поперёк склонов полос-буферов из

многолетних трав, заравнивание промоин и др., а также посадку водопоглощающих лесных полос по горизонталям склоновых земель.

Для предотвращения развития эрозионных процессов необходимо соблюдать нормы и правила землепользования, агротехники строительства различных сооружений, предусматривающие предупреждение возникновения и развития оврагов, и своевременно осуществлять профилактику защитных инженерных сооружений.

9.3. Речная эрозия

Эрозионная деятельность рек осуществляется динамическим воздействием воды на горные породы, слагающие дно и берега реки, вызывая соответственно донную и боковую эрозию. В скальных грунтах к этому воздействию прибавляется корразия (обтачивание), т.е. истирание пород обломками, переносимыми речными водами. Когда речной поток встречает на своем пути водорастворимые породы или породы, содержащие водорастворимые соли, то он производит растворяющее воздействие (коррозия-разъедание).

Эрозионная деятельность рек проявляется в размыве пойм и уступов речных террас и коренных склонов, в формировании бечевников рек. Наибольшее эрозионное воздействие речных потоков производится на поворотах русел.

Рис. 9.2. Сарезское озеро

Факторы развития речной эрозии.

К факторам развития речной эрозии относят:

1. Гидрологические и орогидрографические – ширина реки, глубина, форма русла, скорость течения, твердый сток, наличие притоков, взаимоотношение с бассейном аккумуляции.
2. Геоморфологические – тип речной долины, ее уклон, положение базиса эрозии.
3. Геологические – тип пород вдоль речной долины, их водопрочность, размываемость, выветрелость.
4. Климатические – количество выпадающих осадков, регулирующих водность реки, наличие льда, длительность ледового периода.

5. Неотектонические, определяющие современный базис эрозии и динамику речного потока.
6. Наличие и характер растительности по берегам реки.
7. Техногенная деятельность человека.

Интенсивность речной эрозии резко возрастает в периоды половодий и паводков, так как при этом возрастают и водная масса, и скорость ее течения.

Интенсивность проявления эрозионных процессов зависит от состава пород в речной долине и их размываемости, наличия складчатых и разрывных структур, интенсивности и деференциированости современных тектонических движений.

Техногенная деятельность человека оказывает значительное влияние на главный фактор речной эрозии – кинетическую энергию водного потока.

Создание *водохранилищ* приводит к прекращению эрозионных процессов и наоборот развитию абразионного преобразования берегов верхнего бьефа, а в нижнем бьефе наблюдается активизация русловой эрозии.

Гидромелиоративные системы, осушая болота, дренируют горизонты грунтовых вод, что в конечном итоге уменьшает подземный сток воды, питающей реки. С другой стороны, ликвидация болотных систем, аккумулирующих поверхностный сток и распределяющих его равномерно, способствует увеличению паводков во время таяния снега и выпадения дождей.

Река осуществляет два противоположных процесса: переносит в растворенном, во взвешенном состоянии и перекатыванием материал, а также аккумулирует с образованием перекатов, отмелей и т.д.

Показатели, характеризующие речную эрозию.

Изучение динамики процессов речной эрозии производится в процессе проведения инженерно-геологической съемки, натурных, включая режимные, наблюдений, а также с помощью дистанционных аэро- и космических методов.

Основными количественными параметрами, характеризующими скорость боковой речной эрозии, является *скорость отступания берега* (м/год), а также *протяженность* (в погонных метрах) эрозионных участков вдоль русла реки.

Оценка опасности русловых процессов характеризуется числом Лохтина (*Л*) и коэффициентом стабильности Н.И. Маккавеева (1986) (Кс).

Число Лохтина определяется по формуле:

$$Л = \frac{d}{I},$$

где d – крупность аллювия (донных отложений), мм; I – уклон, %.

Коэффициент стабильности (K_c) рассчитывается по формуле:

$$K_c = \frac{d}{bI},$$

где b – ширина русла реки, м.

- Устойчивые русла, где отсутствует постоянное движение наносов, *Л > 15-20*.
- Относительно устойчивые русла с постоянным перемещением влекомых наносов *Л* ~ 5.
- Реки с неустойчивым руслом и весьма подвижным дном *Л*<<1-2.

- Для равнинных рек *Л* колеблется от 1-2 до 8-10.

Устойчивые русла имеют реки Восточной Сибири. Наименее устойчивы русла рек Средней Азии

Мероприятия по предотвращению речной эрозии.

К *профилактическим* относятся агротехнические и лесотехнические предупреждающие мероприятия, реже строительство укрепительных или защищающих от воздействия водного потока сооружений (каменные пригрузки, канавы и др.), а также регулирование водного режима реки, особенно в периоды весенних и осенних половодий.

Инженерные сооружения создаются для борьбы с боковой эрозией, с гравитационными явлениями на береговых склонах и на участках, угрожающих устойчивости зданий и сооружений. Это подпорные стенки, банкеты, пригрузочные призмы, а также струенаправляющие стенки, располагающиеся под углом к направлению течения реки и отклоняющие его от берега, защитные дамбы и буны, регулирующие направление течения реки.

Для борьбы с донной речной эрозией применяют укрепление дна каменной наброской и фашинными тюфяками, загруженными камнем.

В городах реки «одеваются» в камень в виде набережных, пристаней, подпорных стенок и других защитных сооружений.

На многих реках ограничение их эрозионного воздействия связано со строительством защитных сооружений от гравитационных процессов и явлений на склонах.

Лекция 10. Сели

10.1. Формирование селевых потоков

Сель, грязевой поток (от арабского *сайль* – бурный поток) – внезапно формирующийся в руслах горных рек временный поток, характеризующийся резким подъёмом уровня и высоким содержанием продуктов разрушения горных пород.

Сели относятся к эрозионным русловым процессам. Плотность материала селевых потоков изменяется от 1.2 до 1.9 т/м^3. Объёмы единовременных выносов достигают сотен тысяч, а иногда и миллионов м3, крупность переносимых обломков до 3—4 м в поперечнике при массе 100—200 т, V=100м^3.

В зависимости от состава и содержание твердого материала сели бывают водо-снежными, водокаменными, грязекаменными и грязевыми. Различные сели отличаются плотностью.

Селевые потоки могут двигаться в «квазиламинарном» или турбулентном режиме. Продолжительность селей составляет от 3—5 до 8—12 ч. Перемещение селей носит пульсирующий характер, что связано с замедлением движения в суженных частях долин перед естественными или искусственными запрудами. Скорость движения селевых потоков до 3-6 – 10-12 м/с, высота вала 4-5м, до 10-12м.

Для селей характерна периодичность. Они возникают редко, но внезапно.

Рис. 10.1. Результаты селевого потока, прошедшего по узкому ущелью.

Селеносным бассейном называется бассейн водотока, в котором формируются селевые потоки. В его пределах выделяют три основные зоны:

- *селевой очаг* – участок долины водотока, где происходит первоначальное зарождение селевого потока, выше абсолютной отметки 2500 м, где уже нет лесов;
- *транзитная зона* – часть бассейна, где происходит движение уже сформировавшегося селевого потока: каньон, ущелье или узкая долина с крутыми и высокими берегами и уклоном русла в 25—30°;

- *зона затухания или разгрузки*, селевого потока – часть долины, где происходит аккумуляция пролювиального материала.

К селеопасным районам, по данным МЧС, относится 20% территории России.

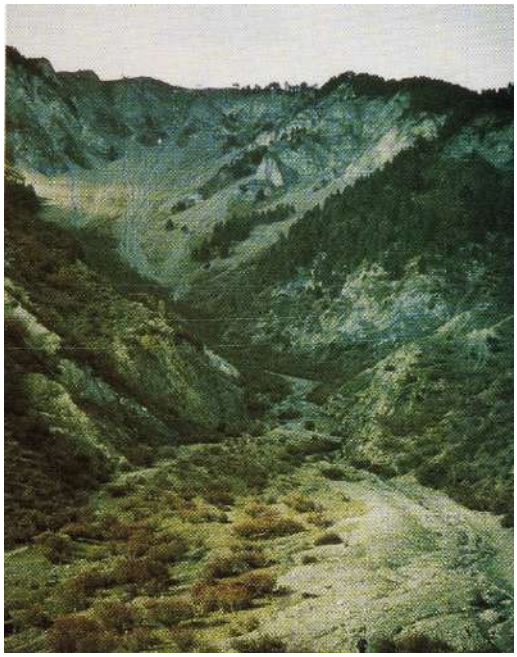

Рис. 10.2. Селевой бассейн на Северном Кавказе. В верхней части – очаги зарождения селей, в нижней – зона аккумуляции

В. Ф. Перов – сотрудник географического факультета МГУ. Он занимался в основном изучением селей на территории СССР. Он создал схему распространения селей на территории СНГ.

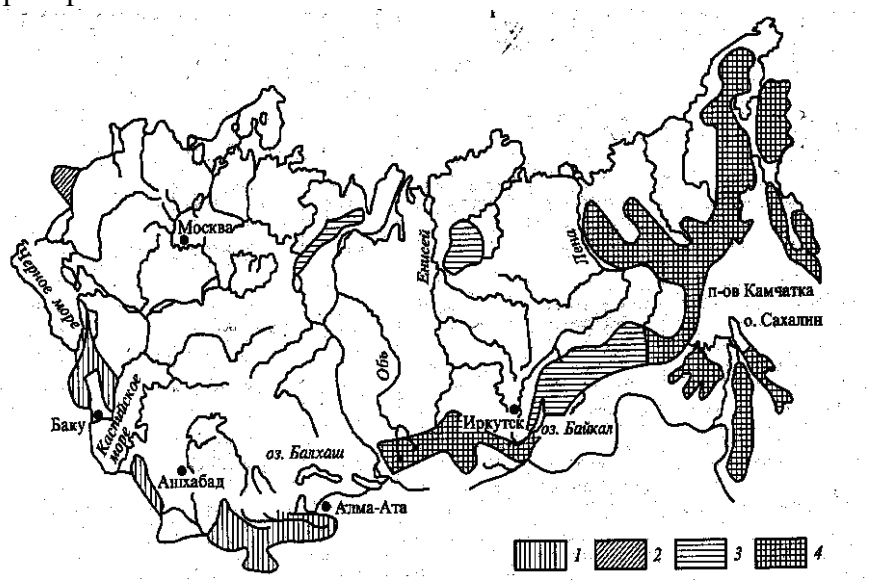

Рис. 10.3. Схема распространения селей на территории СНГ (В.Ф. Перов, 1989) районы развития селей: 1 – интенсивного; 2 – средней интенсивности; 3 – слабой интенсивности; 4 – возможного развития.

Условия образования селей.

Инженерно-геологическое значение изучения селей – ущерб, уничтожение сооружений и территорий, часто с селевыми потоками связаны жертвы, которые находились в районе воздействия этого селевого потока.

Основными условиями образования селей являются:

1. Геоморфологические – высокогорный крутосклонный рельеф.

2. Гидрометеорологические – обильное единовременное количество воды: выделяют сели ливневые, гляциальные и прорыва. Наиболее благоприятным для образования селей является такое распределение осадков, когда после затяжных дождей, обеспечивающих глубокое промачивание потенциально опасных грунтов, происходили ливни с интенсивностью 60 мм и более.

3. Геологические – наличие большого количества рыхлого материала: продукты выветривания, делювиальные, оползневые, обвальные отложения и т.п. Периодичность возникновения селей.

4. Социально-экономические – сведение растительности, выпас скота, строительство и др.

Стадии формирования селей.

Выделяются две стадии селевого процесса: *первая* (подготовительная) – образование мощных обломочных накоплений в селеопасной долине (на склонах и в русле водотока) и *вторая* – быстрый сброс по селеопасной долине большой массы воды за счет прорыва ледниковых озер, таяния снегов, ливневых дождей.

Две формы начала движения селя: *первая* предполагает, что основной механизм образования селевого потока связан с размывом обломочно-глинистых отложений долины и прилегающих склонов, *вторая,* что началу движения селевого потока предшествует обвал, оползень, курум.

Типы селей и очагов их формирования

Классификация селей по состоянию воды и режиму их движению: *связные* – свободная (гравитационная) вода в селевом потоке практически отсутствует; *несвязные* – со значительным содержанием свободной воды в составе селевого потока.

Селевые потоки характеризуются турбулентным и ламинарным режимом движения. Наиболее характерное движение селевых потоков – турбулентное.

Классификация селей по гранулометрическому составу твердой составляющей (С.М. Флейшман, 1970): грязевые, грязекаменные, каменно-грязевые, водно-каменные, водно-песчаные, водно-пылеватые. Водно-каменные – жидкие, турбулентные, 50-100кг/м^3, 10-15% твердой фазы, плотность 1,05 г/см^3. Грязекаменные – связные, структурные, 600-1000кг/м^3, 30-50 до 60% твердой фазы, плотность 1,7-1,9 г/см^3.

Классификации по генезису зарождения селей: 1) связаны с выпадением большого количества жидких осадков или интенсивным снеготаянием; 2) с подпруживанием горных рек; 3) с деятельностью современных ледников; 4) с вулканической деятельностью.

10.2. Методы изучения селей

Существует две категории изучения селей – методы изучения и оценки селевых процессов и методы наблюдения (мониторинга) и прогноза.

Параметры, характеризующие селевой процесс: площадная пораженность территории (%); площадь проявления на одном участке (км^2); объем единовременного выноса (млн. м^3); скорость движения (м/с); повторяемость (ед. в год).

Скорость селевого потока *V* возможно определять по формулам расчета речного стока.

Прогноз селевых процессов

Выделяет *региональные* и *локальные* прогнозы. При разработке региональных прогнозов выполняются съёмки масштабов 1:100 000 – 1:200 000, для локальных, в зависимости от целевых задач, сложности природных условий и стадий разработки проектов защитных мероприятий, в масштабах 1:25 000 – 1:5 000.

Меры борьбы с селевыми процессами

Для инженерной защиты территорий, зданий и сооружений от *селевых потоков* применяются следующие виды сооружений и мероприятий:

- *профилактические* – стабилизирующие сооружения:
    - подпорные стены, дренажные устройства, террасирование склонов, агролесомелиорация, направленные на предотвращение образования потенциально опасных масс обломочно-глинистых отложений,
    - каскады запруд направлены на ослабление динамических характеристик потоков;
- *селезадерживающие* бетонные, железобетонные, из каменной кладки водосбросные и сквозные плотины и глухие из грунтовых материалов; останавливают поток, защищают русло от размыва и уменьшают его уклон;
- *селерегулирующие:*
    - *селепропускные* каналы – для пропуска селевых потоков через населенные пункты и промышленные предприятия, позволяющие в одном уровне с ними пропустить селевой поток через объект или в обход его, и селеспуски – для пропуска селевых потоков под линейными объектами (автомобильные и железные дороги, каналы, нефтепроводы и др.);
    - *селенаправляющие* сооружения, предназначенные для направления потока в селепропускные сооружения, отвода селевого потока от защищаемого объекта или предотвращения подмыва защищаемой территории, и ограждающие дамбы;
- *организация* службы наблюдения и оповещения.

Селевые потоки образуются внезапно. В этом случае могут пострадать люди. Именно поэтому необходима организация, которая будет информировать о возникновении селевого потока.

На рисунке 10.4 показан вид на селезащитную плотину в Медео со стороны селехранилища. Селезащитная плотина расположена в 15 км к югу от Алматы в горной долине р. Малая Алматинка (1750 м над уровнем моря). Создана с помощью направленных взрывов е 1966 м 1967 годах. Высота плотины 110 м, емкость селехранилища 6.2 млн. м^3.

В 1973 году произошел катастрофический сель объёмом 5,3 млн. м^3. Гидротехнические сооружения были разрушены и образовалось грязекаменное море. В селехранилище не осталось свободного объёма.

Рис. 10.4. Вид на селезащитную плотину в Медео со стороны селехранилища

В 1980 г. возведена вторая очередь плотины. Высота 150 м, длина по гребню 800 м, емкость селехранилища 12,6 млн. м^3. Материалом для строительства послужил сель 1973 года.

Рис. 10.5. Вид на селезащитную плотину в Медео со стороны г. Алма-Ата

На рисунке 10.6. показаны поперечный и продольный разрезы плотин 1973 года и после.

Рис. 10.6. Поперечный и продольный разрезы плотин в Медео

На рисунке 10.7 показано изображение селеудерживающего мероприятия: массивный барраж из каменной кладки и отводящее русло.

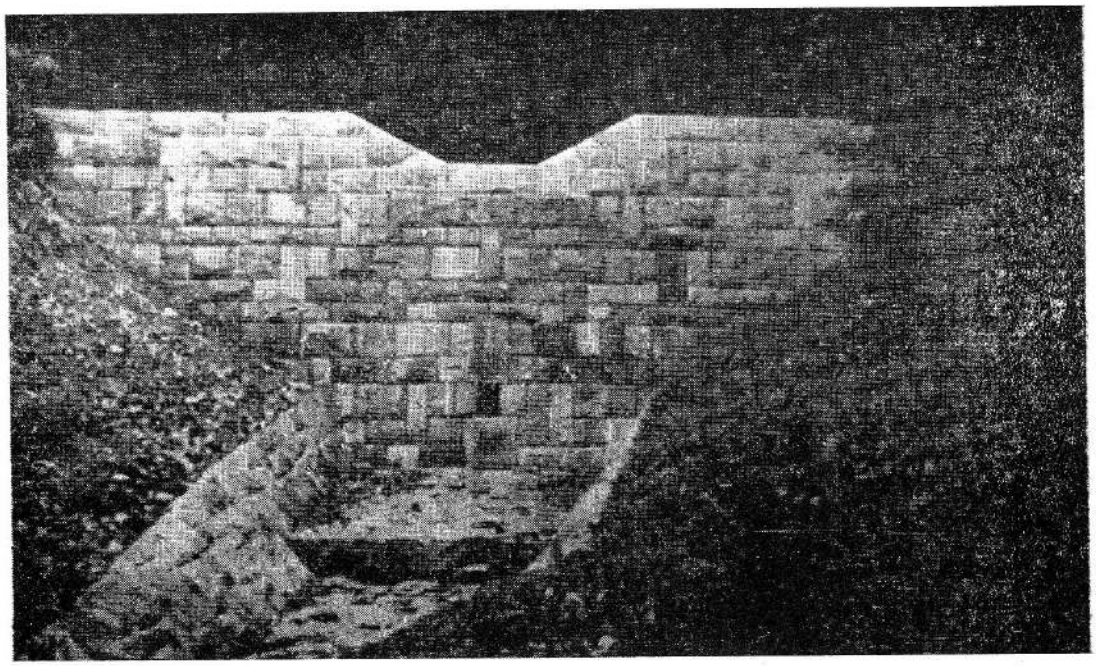

Рис. 10.7. Массивный барраж из каменной кладки и отводящее русло. Чехословакия (Л. Скатула).

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Лекция 11. Гравитационные склоновые процессы

Гравитационными склоновыми процессами называется «совокупность процессов образования склонов путем смещения рыхлого покрова или блоков коренных пород, слагающих склон, по склону с последующей их аккумуляцией у подножия склона, или дальнейшей транспортировкой другими агентами денудации (река, ледник, волновая деятельность и пр.)».

Склоновые процессы – это процессы перемещения слагающих склон пород вниз по склону под действием силы тяжести.

Основной причиной развития гравитационных склоновых процессов является превышение действующих в склоне напряжений над прочностью горных пород, слагающих склон. Формирование этих процессов возможно только при наличии склона, а сами процессы служат рельефообразующим фактором.

На территории Земли не существует такого участка, где не было бы склонов. Все они отличаются породами, которыми они сложены, высотой и крутизной. Поэтому гравитационные склоновые процессы присутствуют на всех поверхностях.

Инженерно-геологическое значение изучения гравитационных склоновых процессов:

1. Склоновые процессы влияют на оценку инженерно-геологических условий территории и осложняют строительство инженерных сооружений.

2. Склоновые процессы затрудняют эксплуатацию таких инженерных сооружений как автомобильные и железные дороги, плотины, здания в городах, расположенных на побережье или на склонах, и т.д. Наносят исключительно большой ущерб различным линейным сооружениям и особенно дорогам

3. Результатом этих процессов могут быть плотины, перегораживающие горные речные долины и образующие озера. Прорыв плотин грозит в дальнейшем катастрофическими последствиями.

4. Эти процессы угрожают населенным пунктам и сооружениям, расположенным в горно-складчатых областях, нередко имеют катастрофический характер, наносят значительный экономический ущерб и приводят к человеческим жертвам.

5. Строительная и хозяйственная деятельность человека часто является причиной активизации или возникновения новых гравитационных склоновых процессов.

Факторы, формирующие склон и обуславливающие развитие на них гравитационных процессов:

1) Новейшие тектонические движения, определяющие поднятие территории. Поднятие территорий вызывает образование склонов.

2) Сейсмичность территории, связанная с тектоническими движениями. В районах, где развита сейсмичность, склоны становятся более опасными.

3) Состав, свойства, состояние и условия залегания пород, слагающих склон.

4) Выветривание и разгрузка пород склонов.

5) Подземные воды:

а) обводнение пород склонов, ухудшающее их прочностные свойства;

б) гидростатическое и гидродинамическое давление.

6) Гидрологические факторы:

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

а) эрозия речная, овражная и плоскостной смыв;

б) волновые процессы на морях и водохранилищах.

7) Хозяйственная и строительная деятельность человека.

Все факторы взаимообусловлены. Некоторые из этих факторов способствуют действию других факторов. Совместная деятельность этих факторов приводит к тому, что склоны разрушаются.

Существуют различного рода классификации гравитационных склоновых процессов. Самая известная классификация – классификация Г.С. Золотарева, 1983 г.

Таблица 11.1. Классификация гравитационных склоновых процессов

Группа процессов и явлений		Типы и виды
I. Обвальные - отчленение от основного массива блока и клуб пород разных объемов, их обрушение, дробление и последующее скатывание	–	Осыпи и вывалы глыб; обналы; развалы; лавины обломочно-глыбовые («каменные»); лавины снежно-каменные
II. Оползневые - отчленение и скольжение пород разного состава, сложения, состояния и объемов по подготовленной или вновь формируемой поверхности (зоне) разной формы и толщины, с различным характером деформации пород	Переходные	Оползни-обвалы, осовы.
	Выдавливания (детрузивные)	Оползни блокового строения прочных пород с деформациями ползучести и глинистых, и плывунных песчаных и в зонах тектонических нарушений.
	Консеквентные	Оползни скольжения блокового строения со смешениями по имеющимся в массиве поверхностям и зонам ослабления
	Вязкопластические (деляпсивные); с преобладанием сдвиговых и частично пластических деформаций водонасыщенных обломочно-глинистых масс	Оползни-потоки и сплывы; оползни «внезапного» разжижения лессовых и малолитифицированных («подвижных») глин

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

III. Десерпционно-солифлюкционные - медленные смешения (вязкого течения и сдвига) шебнисто-глыбовых и обломочно-глинистых водонасыщенных масс на пологих склонах в нивальных и высокогорных областях	Сложные и переходные типы	Консеквентно-детрузивные: сейсмически возбужденные потоки и лавины; деляпсивно-детрузивные большой энергией
	Курумы и обособленные глыбы; льдокаменные глетчеры; оплывины, солифлюкционные натечные бугры и ступени	
IV. Специфические смещения	Изгибы торцов пластов у поверхности склона (пластические деформации), смешанные и переходные виды движений, например, от быстрых оползней-потоков к «связным» селям или от сплывов к солифлюкционным формам и др.	

11.1. Обвалы

Обвалом называется геологический процесс, состоящий в отчленении и последующем обрушении с крутых склонов различных по размерам блоков горных пород, происходящий с опрокидыванием оторвавшихся блоков, их дроблением на более мелкие глыбы при падении и ударах и быстрым скатыванием их вниз по склону.

Обвалы происходят в горно-складчатых областях с активными неотектоническими движениями на высоких и крутых склонах, сложенных прочными горными породами.

К обвальным процессам относятся собственно обвалы, вывалы, развалы и щебнисто-глыбовые лавины.

Для возникновения обвалов необходимо наличие в породах ослабленных зон или контактов, образованных по тектоническим трещинам, поверхностям напластования и т.п., по которым могут активно развиваться процессы выветривания и разгрузки. Кроме того, на возникновение обвалов влияет смачивание поверхностей ослабления подземными и поверхностными водами, гидростатическое давление при заполнении водой вертикальных трещин. Сейсмичность, приводящая к увеличению трещиноватости массива и нередко выступающая в качестве инерционной силы, вызывающей обрушение подготовленных к обвалу массивов пород. Увеличение высоты и крутизны склонов под влиянием природных и техногенных причин также является существенным фактором того, что на склоне возникают обвальные процессы.

Рис. 11.1. Оползень-обвал

Классификация обвалов.

Обвалы могут подразделяться:

- по породам, в которых они образуются, на обвалы в известняках, в гранитах и т.д.;
- по объемам со следующим примерным разделением: до 100м^3 – одиночные глыбы; малые – до 10 тыс. м^3; средние – до 100 тыс. м^3; большие – до 0,5-1 млн. м^3; крупные - несколько миллионов кубических метров и грандиозные – десятки и сотни миллионов кубических метров (Г.С. Золотарев, 1983).

Вывалом называется явление при размерах обвалившихся блоков, не превышающих 100 м^3.

Факторы и условия развития обвалов.

На формирование обвалов влияют:

1) новейшие и современные тектонические движения, поддерживающие контрастность и энергию рельефа;

2) степень расчлененности рельефа;

3) состав, свойства и физическое состояние горных пород, обусловленные их выветрелостью, трещиноватостью и раздробленностью;

4) сейсмичность района, периодически вызывающая перераспределение напряжений в горных породах склона;

5) обводнение массива поверхностными и подземными водами;

6) климатические факторы, определяющие темп и характер выветривания горных пород;

7) инженерная и хозяйственная деятельность человека: подрезка склонов выемками, придание им недопустимо большой крутизны без учета ориентировки поверхностей слоистости, сланцеватости, трещин и других тектонических

разрывов, производство взрывных работ там, где это не всегда допустимо, нарушение стока дождевых и талых вод и другие виды воздействия.

Рис. 11.2. Обвал

Причины и повод образования обвалов.

Основной причиной формирования обвалов является превышение действующих в массиве горных пород, слагающих склон, напряжений над их прочностью. Поводом для обвала нередко служит землетрясение или обильное выпадение атмосферных осадков. Обвалы проявляются внезапно, процессу предшествует длительная подготовка и обвалы происходят сравнительно редко.

Параметры обвального процесса.

Количественными характеристиками движения глыб на горных склонах с инженерно-геологических позиций являются скорость их перемещения и дальность их отлета от основания склона. Скорость движения обломков зависит от крутизны склона:

- При крутизне до 20-25° – движения их не происходит.
- На склонах крутизной 30-60° возникает движение глыб, которое может в зависимости от характера поверхности склона, наличия растительного покрова, своей формы и других факторов либо разгоняться, либо несколько замедляться.
- На склонах крутизной более 60° обломки горных пород перемещаются крупными незатухающими скачками.

Разрушающая сила P обвалов и вывалов определяется по формуле:

$$P = \frac{mV^2}{2},$$

где m – масса горных пород; V – скорость ее перемещения.

На рисунке 11.2 показан блок горных пород, который откалывается и падает по склону. Необходимо определить: как далеко блок уйдет от поверхности склона. Этот параметр является важной характеристикой. Исходя из этого параметра люди ближе/дальше планирую строительство сооружений.

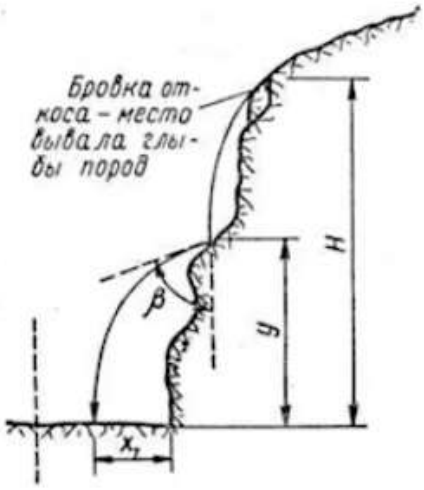

Рис. 11.3. Схема возможного вида перемещения глыб горных пород при вывалах

Конечная скорость движения глыб V оценивается по формуле (Н.М. Ройнишвили, 1973):

$$V = 2gH(1 - Kctg\alpha),$$

где H – высота склона; α – угол склона; g – ускорение силы тяжести; K – коэффициент, устанавливаемый экспериментально и учитывающий влияние формы и размера глыб, микрорельефа и т. п.

Дальность отлета камней $L_{макс}$ при очень крутых склонах (α >60°) и высотой H H>45м Н.М. Ройнишвили предлагает оценивать по формуле:

$$L_{\text{макс}} = 0.25H + 0.5 \text{ м},$$

Ширина улавливающей полки можно также определить по упрощенной эмпирической формуле:

$$x_T = (\alpha + 45)H/450,$$

которая показывает дальность отлета глыб в зависимости от крутизны откоса α и его высоты H.

Изучение и прогноз обвалов.

Оценка угрозы и прогноз обвальных явлений рассматривается в двух аспектах:

1) возможность образования обвалов и вывалов как следствие нарушения равновесия массивов горных пород на склонах и

2) возможное расположение зоны влияния обвалов и вывалов по отношению к местности, объектам или сооружениям.

Изучать необходимо геоморфологические условия территории, историю формирования склонов, состав, условия залегания, степень выветрелости и трещиноватости горных пород, слагающих склоны, характер обводнения пород, современные тектонические движения и сейсмичность района.

Исследования следует выполнять путем проведения инженерно-геологических съёмок в масштабе 1:25000 - 1:50000 обязательно с использованием плановых и перспективных аэрофотосъемочных материалов и космических снимков.

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

На выявленных в процессе съёмочных работ обвалоопасных участках необходимо проводить более детальные работы с применением инструментальных методов и фототеодолитных съёмок. Фототеодолитные съемки часто являются решением большого количества задач.

Прогноз обвальных явлений включает решение трех вопросов: каков объём предполагаемого обвала, где он произойдет и когда.

Профилактические противообвальные мероприятия.

Основными профилактическими противообвальными мероприятиями являются:

1) организация наблюдательной службы;

2) периодическое обследование обвальных участков с целью выявления опасных неустойчивых глыб и блоков горных пород, расположенных на нагорном склоне, и составление ведомости расположения опасных глыб и блоков, и производство их маркировки;

3) организация автоматической сигнализации с целью предупреждения об обвалах и вывалах;

4) наблюдения за нормальной работой противообвальных сооружений.

Укрепление склонов.

Мероприятия по борьбе с обвалами включают:

1) цементацию трещин для придания породам в обнажениях монолитности и устойчивости;

2) облицовочные стенки и покрытие торкрет-бетоном для защиты горных пород от выветривания в обнажениях на горном склоне;

3) закрепление неустойчивых блоков горных пород анкерами из металлических стержней, труб и троса;

4) обрушение и уборка неустойчивых глыб и блоков горных пород в обнажениях на горном склоне с целью предупреждения образования обвалов и вывалов.

Противообвальные сооружения.

К специальным противообвальным сооружениям относятся (защита от обвалов):

1) улавливающие валы, канавы и стенки на нагорном склоне;

2) надолбы, расположенные в шахматном порядке на горном склоне, для задержки и снижения скорости движения масс горных пород при обвалах;

3) специальные сети для улавливания отдельных падающих камней;

4) улавливающие площадки и стенки в основании откосов выемок и полувыемок;

5) галереи и козырьки с надежными перекрытиями у откосов выемок и полувыемок для защиты полотна дорог от обвалов и вывалов;

6) обходы обвального участка по новой трассе или туннелем.

11.2. Осыпи

Осыпной процесс заключается в отчленении, главным образом, при выветривании от пород обнаженного уступа мелких обломков и щебня с последующим почти непрерывным по времени скатыванием их вниз по склону.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Осыпной процесс пользуется очень широким распространением и встречается практически во всех тектонических областях.

Осыпи образуются на крутых (более 40°) склонах различной высоты и сложенных разными, но легко выветривающимися породами: гранитами, мергелями, сланцами, песчаниками, твердыми глинами и др.

Часто осыпи приурочены к зонам повышенной трещиноватости и разломам.

По сравнению с обвалами осыпи образуются в менее прочных породах и формируются постоянно.

В результате в основании склона формируются осыпные шлейфы и конуса, сплошным чехлом мощностью до 10 м и более перекрывающие его нижнюю часть.

Форма и размеры обломков, слагающих осыпи, зависят от петрографического состава, слоистости и трещиноватости разрушающихся пород склона.

Крутизна осыпи в зависимости от крупности и формы обломков различна и составляет:

- для песчаных осыпей – 32-33°,
- для мелкощебнистых – 35-36°,
- для крупнощебнистых – 38 40°.

В старых осыпях наблюдается сортировка и кольматация обломочного материала в результате процессов вмывания глинистых частиц, привноса водами карбонатов, окислов железа и др.

Типы осыпей.

Типы осыпей – действующие, полузакрепленные и закрепленные.

Действующие осыпи характеризуются постоянным перемещением обломочных масс; причем движутся поверхностные слои, где наблюдаются перекатывание и соскальзывание обломков друг по другу.

Скорость движения щебнистых масс в осыпном конусе неравномерна; наибольшая их подвижность наблюдается в периоды дождей и снеготаяния; средняя скорость движения осыпи составляет 10-20 см/год.

Рис. 11.4. Поверхность осыпи

Для осыпных отложений характерна сортировка материала – крупные обломки скапливаются в нижней части конуса осыпания, а мелкие преобладают вверху. В связи с этим осыпи имеют выпуклую форму, так как угол естественного откоса для крупных обломков выше, чем для мелких.

Поверхность осыпи имеет наклон, соответствующий углу естественного откоса при условии сухого состояния того обломочного материала, из которого образовалась осыпь.

Изучение осыпей.

Степень подвижности осыпей характеризуется коэффициентом подвижности осыпи, представляющим собой отношение угла поверхности осыпи, а к углу естественного откоса материала осыпи φ:

$$K = \frac{\alpha}{\varphi}$$

При $K>1$ осыпь подвижная и постоянно пополняется материалом, при $K<1$ осыпь устойчивая, закрепленная.

В инженерно-геологическом отношении осыпи приходится оценивать с точки зрения их влияния на дорожные сооружения.

Изучение осыпей производится в двух направлениях:

- Во-первых, путем проведения инженерно-геологических съёмок для установления региональных закономерностей размещения осыпей. При съёмочных работах необходимо использование аэрофотосъемочных материалов и космических снимков.
- Во-вторых, изучаются отдельные осыпи, особенно те, которые угрожают дорожным сооружениям. Устанавливаются размеры осыпи, степень её подвижности, скорость движения и т.п.

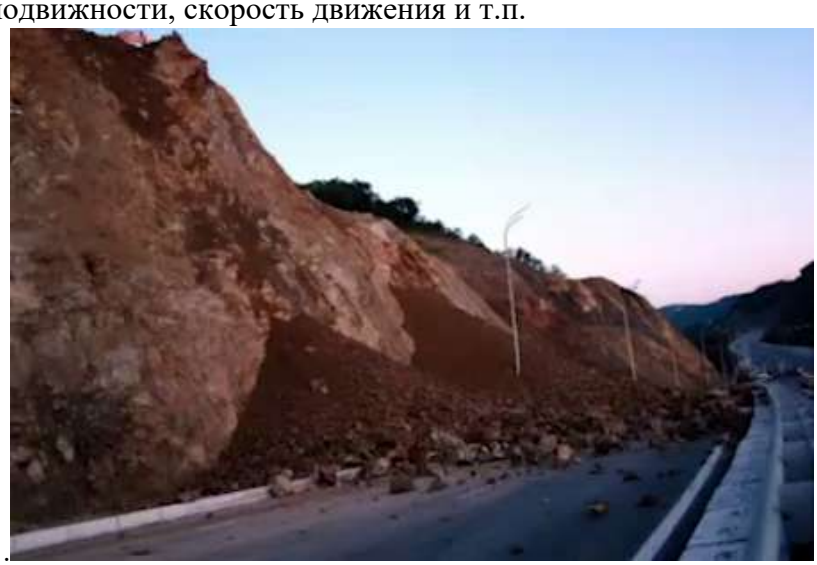

Рис. 11.5. Осыпи

Меры борьбы с осыпями.

Борьба с осыпями осуществляется в следующих направлениях:

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

1) закрепление осыпей производится путем террасирования склона и лесомелиоративными мероприятиями, применяется также планировка поверхности осыпи;

2) для защиты дорог от наступающей осыпи в основании склона сооружаются подпорные стенки с обязательной уборкой нижней части осыпи, накапливающейся за подпорным сооружением;

3) на дорогах иногда применяются козырьки и галереи для пропуска осыпи над дорожным сооружением.

11.3. Осовы

Осов – быстрое смещение щебнисто-глыбового материала, накопленного на склоне, под влиянием водонасыщения или при землетрясении.

При смачивании водой, главным образом атмосферными осадками, вся осыпь в целом или часть ее внезапно приходит в движение, начинает сползать и устанавливается под углом, отвечающим углу естественного откоса в водонасыщенном или влажном состоянии.

Осовы возникают на высоких крутых склонах в щебнисто-глыбовых образованиях, в осыпях в результате подтопления поднимающимися водами в период дождей, снеготаяния или наполнения водохранилищ в горах.

Смещение пород при осовах происходит без четко выраженной поверхности скольжения, материал перемещается в пределах всего смещающегося тела.

11.4. Оползни-обвалы и развалы

Оползни-обвалы – смещение объёма пород на склоне начинается со скольжения по поверхности ослабления (признак оползня), а при достижении им обрывистой части склона происходит его обрушение, дробление и быстрое скатывание со всеми признаками обвала.

Развалы – нагромождения на относительно пологих склонах глыб и щебня прочных пород, образуются при раздроблении крупных блоков (останцев, оползших массивов) благодаря выветриванию. Образующиеся при этом глыбы смещаются вниз по склону, в результате накопления обломочного материала имеют в плане овальную, вытянутую по склону форму.

Рис. 11.6. Осыпи

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

11.6. Щебнисто-глыбовые лавины

Лавины – быстрые перемещения обломочного материала в виде потока по узкой ложбине.

Образуются на крутых *(>40°)* горных склонах в прочных трещиноватых породах. Образуются при нарушении равновесия накопившихся в верхних частях горного склона обломочных масс. Возникают внезапно, протекают в течении непродолжительного времени, скорость движения 120 м/мин. Внизу формируется конус выноса, частично сортированный. В отличие от селей образуются без воды, от обвалов - обрушение уже сместившегося материала.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Лекция 12. Гравитационные склоновые процессы: оползни

12.1. Определения оползневого процесса

Оползневым процессом называют движение масс горных пород вниз по склону под действием силы тяжести в виде скольжения по хорошо выраженной поверхности или зоне без потери связи с нею.

Определения оползневого процесса:

- Погребов Н.Ф. (1935) Движение масс горных пород вниз по склону под действием силы тяжести, часто при участии поверхностных и подземных вод.
- Попов И.В.(1959, с. 124) Скользящее смещение горных пород, слагающих склон, под действием их веса.
- Емельянова Е.П.(1972, с. 55, 57) Как процесс, "это смещение на более низкий уровень части горных пород, слагающих склон (а иногда также его основание, подножие и территорию за его бровкой) в виде скользящего движения, в основном без потери контакта между движущимися и неподвижными породами". Горные породы, оползающие в рассматриваемый момент или периодически, также называют оползнем.
- Геологический словарь (1973, т. 2, с. 33) Отрыв земляных масс и перемещение их по склону под влиянием силы тяжести.
- Сергеев Е.М.(1978, с. 223) В общем представлении оползень – это скользящее смещение горных пород на склонах под действием силы тяжести при участии поверхностных и подземных вод.
- Золотарев Г.С.(1983, с. 197-198) Оползнями называются такие смещения на склонах горных пород разного состава, сложения и объёмов, в которых преобладает механизм скольжения их по имеющейся или формируемой в процессе движения поверхности или зоне, когда сдвигающие усилия больше прочности пород.
- Иванов И.П., Тржцинский Ю.Б. (2001, с. 263) Оползневые явления (оползни) - движение больших масс горных пород вниз со склона или откоса по поверхности (или поверхностям) скольжения под влиянием различных гравитационных сил (веса пород, давления воды, сейсмического воздействия, техногенной нагрузки).
- Под гравитационными склоновыми процессами (ГСП) понимают денудационно-аккумулятивные экзогенные геологические процессы на естественных склонах и искусственных откосах, проявляющиеся в виде смещенного грунтового материала на более низкие гипсометрические уровни под действием силы тяжести без существенного влияния каких-либо транспортирующих агентов. Опасные экзогенные процессы, (1999, с. 99).

Общими в этих определениях являются следующие позиции:

1) оползневой процесс представляет собой смещение масс горных пород вниз по склону;

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

2) основной движущей силой является вес смещающихся пород;

3) движение оползневых масс на склоне происходит в виде скольжения или в отдельных случаях течения;

4) смещение оползня происходит без потери контакта между движущимися породами и неподвижным основанием.

Распространение оползней.

Оползни широко распространены как в горно-складчатых областях, так и на равнинных территориях. Оползни развиты на морских побережьях, на склонах речных долин, в бортах больших оврагов и балок, на склонах водоразделов и высокогорий, на шельфе и континентальном склоне морей. Они тесно связаны с геоморфологическими условиями территории, литологическим составом и степенью обводненности пород, слагающих склоны.

На рисунке 12.1 показана карта распространения оползней на европейской части Российской Федерации. На карте показаны основные оползневые территории, где оползни обладают ярким развитием (часто проявляются): центральная часть, окружающая Московскую область. Здесь оползни встречаются весьма широко: они развиты на склонах, сложенных глинистыми отложениями. Эти оползни образуются на склонах долин реки Оки и Волги. Большое количество оползней развито на склонах долины реки Кама. Кроме того, оползневые процессы широко распространены на склонах Кавказских гор. Оползни являются одним из существенных факторов, которые осложняют склоны горных массивов, находящихся на Крымском полуострове. Так же большое количество оползней в доле реки Днепр.

Рис. 12.1. Карта распространения оползней (И. В. Попов, 1959)

На рисунке 12.2 показана карта мира, на которой белыми пятнами показаны оползни, которые возникли не в результате сейсмических воздействий, но вызвали большое количество гибели людей.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

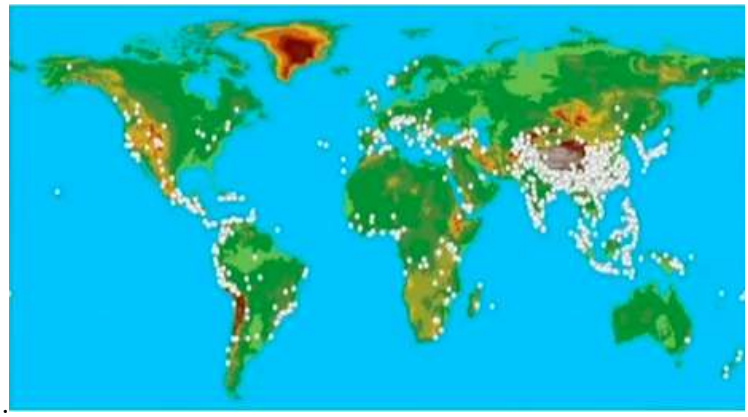

Рис. 12.2. Карта распространения оползней не сейсмического характера, вызвавшие гибель людей

Оползневой процесс – второй процесс в мире, который приводит к гибели людей (на первом месте – землетрясения). По статистике начала 2010-х годов за 10 лет от оползней погибло 89 177 человек, в среднем, каждый год жертвами оползней во всем мире становятся почти 9 тысяч.

Рис. 12.3. Результат оползневого процесса

12.2. Классификация оползней

Оползни весьма разнообразны по размерам, строению, причинам образования и условиям, способствующим их возникновению и развитию, механизму и динамике процесса и др. Существует большое количество классификаций оползневых процессов.

Классификации гравитационных склоновых процессов традиционно делятся на три группы: *общие*, *региональные* и *частные*.

Общие классификации охватывают всё многообразие оползневых процессов, Региональные классификации разрабатываются для отдельных районов развития оползней. Частные классификации основаны на признаках, существенных для оценки значения в развитии оползней отдельных факторов.

Частные классификации.

А. Павлов (1903) оползни подразделял на *деляпсивные*, или соскальзывающие, и *детрузивные*, или толкающие.

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

По классификации Ф.П. Саваренского (1934) выделяются асеквентные, консеквентные и инсеквентные оползни. К асеквентным относятся оползни, перемещение которых происходит по цилиндрическим поверхностям в однородной, неслоистой породе.

Консеквентными являются оползни, которые перемещаются по поверхностям, падающим в сторону склона. Инсеквентные оползни перемещаются по поверхности, секущей напластование пород.

Таблица 12.1. Схема подразделения оползневых явлений по возрасту (И.В. Попов, 1959)

Возраст оползней	Вид оползней	Состояние равновесия масс горных пород
Современные, отвечающие современному положению базиса эрозии и уровня абразии	Движущиеся	Процесс установления равновесия продолжается
	Приостановившиеся	Действие силы, вызывающей нарушение равновесия, временно уравновешено факторами устойчивости
	Остановившиеся	Силы, нарушающие равновесие, временно устранились
	Закончившиеся	Действие силы, вызывающей нарушение равновесия, исчерпано
Древние, не отвечающие современному положению базиса эрозии и уровня абразии	Открытые	Оползневое тело выходит на поверхность
	Погребенные	Оползневое тело перекрыто позднейшими отложениями

На рисунке 12.4 показана схема общей классификации Е.П. Емельяновой. Исследователь делит оползни на нормальные и особенные, которые делятся на классы. Нормальные (истинные) оползни подразделяются на глубокие и поверхностные. Особенные (псевдооползни) подразделяются на оползни проседания над пустотами оседания при уплотнении и проседания при выплывании плывунов.

В настоящее время классификация Е.П. Емельяновой ни в научном отношении, ни в производственном отношении практически не используется.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

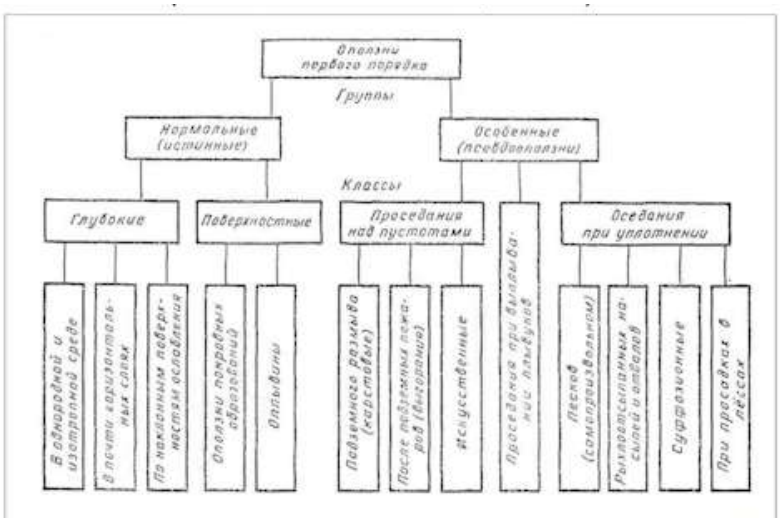

Рис. 12.4. Схема общей классификации оползней (Е.П. Емельянова, 1972)

В 1964 году была выпущена классификация Г.С. Золотарева (1964). Классификация генетических типов оползней:

1) детрузивные, или I-го порядка, и выдавливания;
2) соскальзывания, или консеквентные;
3) деляпсивные (оползни-потоки и сплывы);
4) оплывины;
5) «внезапного» разжижения;
6) суффозионные и выплывания;
7) коры выветривания изверженных и метаморфических пород;
8) сложные и переходных типов.

Большинство авторов выделяют два типа оползней: оползни-скольжения и оползни-течения.

12.3. Строение оползня и динамика оползневого процесса

Строение оползня.

Элементы оползня:

- Оползневое тело.
- Снизу вверх: подошва оползня, язык оползня, оползневой откос, бровка оползневого тела, оползневая ступень (терраса), оползневая западина, тыловой шов, вершина оползня, надоползневой откос (стенка срыва, оползневой обрыв), бровка срыва, трещина отрыва (закола).
- Поверхность скольжения, скорее зона, разной формы, устанавливается по изменению структуры, свойств пород, зеркалам скольжения и т.п.
- Базис оползания, совпадает с подошвой оползня, линия пересечения поверхности скольжения и склона, может находиться у основания склона и не совпадать с ним.

Признаки оползней:

- бугристая поверхность склона;
- оползневые цирки;

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

- межоползневые гребни, разделяющие оползневые цирки;
- оползневые уступы;
- оползневые трещины;
- плоскости срыва;
- валы у подножья оползня;
- застой воды в западинах;
- пьяный лес;
- нарушение залегания пластов в оползневых телах;
- большое число водопроявлений;
- повышенная влажность и нарушение структуры пород вблизи поверхности скольжения;
- разрушение сооружений.

Условия, способствующие образованию оползней:

- Процессы, изменяющие высоту, крутизну и форму склона:
  - неотектонические движения, изменяющие положение базиса эрозии;
  - подрезка склонов волнами и текучими водами;
  - подрезка склонов выемками.
- Процессы, изменяющие строение и свойства пород:
  - выветривание;
  - увлажнение подземными, дождевыми, талыми и хозяйственными водами;
  - ухудшение свойств пород при их смещении;
  - за счет выщелачивания и суффозии;
  - при землетрясении.
- Процессы, создающие дополнительное давление:
  - гидродинамическое давление при фильтрации воды в сторону склона;
  - гидростатическое давление в трещинах и порах;
  - сейсмические удары;
  - искусственные статические и динамические нагрузки на склоне.
- Специфические рельеф, геологическое строение и гидрогеология склонов и откосов.

Динамика оползневого процесса.

Основной причиной оползания является превышение сдвигающей составляющей силы тяжести над прочностью пород, слагающих склон.

Формирование оползня происходит в три этапа:

1) подготовка оползня – постепенное уменьшение устойчивости масс горных пород в результате уменьшения их прочности, изменения высоты и крутизны склона и приложения дополнительных сил;

2) смещение оползня в результате потери устойчивости, скорость от нескольких см в день, до катастрофических, подвижки с перерывами;

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

3) стабилизации оползня, восстановление устойчивости масс горных пород.

Оползневой процесс является необратимым.

Таблица 12.2. Характерные признаки оползневого процесса на отдельных стадиях его развития (И.П. Иванов, 2001)

I.Подготовительная стадия	II. Стадия появления оползня	III. Стадия затухания оползневого процесса
Начало или активизация воздействия природных или техногенных факторов, монотонно уменьшающих степень устойчивости склона или откоса. Продолжительность: от нескольких месяцев до нескольких десятилетий. Появление трещин за верхней бровкой склона и вала выпирания перед нижней бровкой. Неравномерное увеличение скорости.	Движение пород вниз по склону (откосу) с большой скоростью в твердых породах и небольшой в глинистых отложениях, находящихся в зоне сдвига. Уменьшение угла наклона оползневого склона, оформление нового профиля склона. Расчленение оползневого тела трещинами отрыва и сжатия. Скорость движения оползня от 1 мм/ч до 1 м/ч. При катастрофических процессах до 1 м/с. Возможность циклического хода процесса – с остановками и редкими подвижками. Образование вертикальных трещин различной глубины – от десятков см до десятков метров. Оформление тела оползня, его поверхностей и языка.	Быстрое затухание движения оползневых масс скальных пород или в случае наличия контрафорса (противоположного берега, борта карьера). Время стабилизации – несколько часов. Медленное затухание процесса в глинистых породах и при глинистой зоне скольжения, а также при отсутствии препятствий и без участия оползневого потока. Время затухания – несколько суток при отсутствии повторов, от нескольких месяцев до нескольких лет при развитии склоновых процессов в оползневых массах. Активизация оползня и его частей при воздействии строительных и горных работ по ликвидации последствий.

12.4. Типы оползней

Виды оползневых смещений:

- скольжения,
- срезания,
- выдавливания,
- потоки,
- проседания,
- выплывания (суффозионные),
- разжижения,

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

- сложные виды оползней.

Оползни скольжения.

Оползни скольжения (соскальзывания, консеквентные) – один из наиболее распространенных типов оползней.

Основным условием образования этих оползней является наличие в склоне поверхностей ослабления, падающих в сторону склона под углом меньшим угла склона.

Поверхности скольжения в слоистых породах совпадают со слабыми прослоями, представленными, главным образом, глинистыми разностями. В интрузивных и эффузивных породах поверхности скольжения совпадают с тектоническими разрывами и трещинами, заполненными глинистым материалом.

Способствуют образованию оползней скольжения сезонное обводнение, выветривание, разгрузка пород в зоне ослабления, что приводит к дальнейшему уменьшению их прочности.

Большое влияние на развитие оползней скольжения оказывают гидродинамическое давление, взвешивание пород и инерционные силы, возникающие при землетрясениях.

Присутствующие в породах вертикальные трещины помогают отделиться и прийти в движение блокам сползающих по наклонной поверхности пород.

Для оползней скольжения характерны большие скорости перемещения.

Типичным оползнем скольжения является оползень на правом берегу р. Ангары в районе строительства Богучанской ГЭС.

Рис. 12.5. Оползни скольжения

Оползни срезания.

Оползни срезающие (блоковые, инсеквентные, вращения) развиты в осадочных песчано-глинистых породах, в однородных, слоистых и смятых в складки, в искусственных намывных или насыпных сооружениях, таких как плотины, дамбы, насыпи и др.

Оползни срезания образуются на высоких и крутых склонах, сложенных любыми горными породами, в случае, когда напряжения в породах склона превышают их прочностные свойства.

Дополнительные факторы: увлажнение подземными и поверхностными водами, абразия и эрозия, выветривание.

Для оползней срезания характерна большая глубина захвата пород склона и круглоцилиндрическая поверхность смещения.

Рис. 12.6. Оползни срезания

Оползни выдавливания.

Оползни выдавливания (детрузивные) широко распространены на платформах на склонах, сложенных горизонтально залегающими горными породами.

Основным условием развития оползней выдавливания является присутствие в основании склона выдержанных горизонтов пород, обладающих низкой прочностью, и перекрытых сверху прочными породами значительной мощности. В качестве слабых слоев могут выступать глины, слабые аргиллиты и алевролиты.

Формированию оползней выдавливания способствуют уменьшение прочности подстилающих глинистых пород в результате их разуплотнения, выщелачивания, увлажнения подземными водами из выше расположенных горизонтов, и возникновение очагов концентрации напряжений из-за увеличения высоты и крутизны склона в результате эрозии или абразии, неотектонических поднятий, искусственных подрезок.

Превышение в подстилающем слое напряжений над прочностью слагающих его пород приводит к развитию в них пластических деформаций и выдавливанию глинистых пород из-под залегающих над ними прочных отложений, которые теряют опору, расчленяются на блоки по существующим первичным и тектоническим трещинам и начинают ползти по практически горизонтальной поверхности.

Поверхность смещения в верхней части вертикальна, затем постепенно переходит в круговую, а в средней и нижней частях оползня становится горизонтальной.

Верхняя часть оползня – зона растяжения; средняя часть – зона перемещения и транзита; нижняя часть – зона сжатия и поднятия, которая занимает полосу вдоль подножья склона и впереди нее. Образование зоны сжатия связано с сопротивлением пород, не захваченных оползанием, движению оползающих масс.

Наиболее классическим оползнем выдавливания является оползень (рис.12.7), который находится на побережье Черного моря в районе Одессы. Пока не выяснено, какие основные причины появления этого оползня. Толща сложена отложениями нижнего мела.

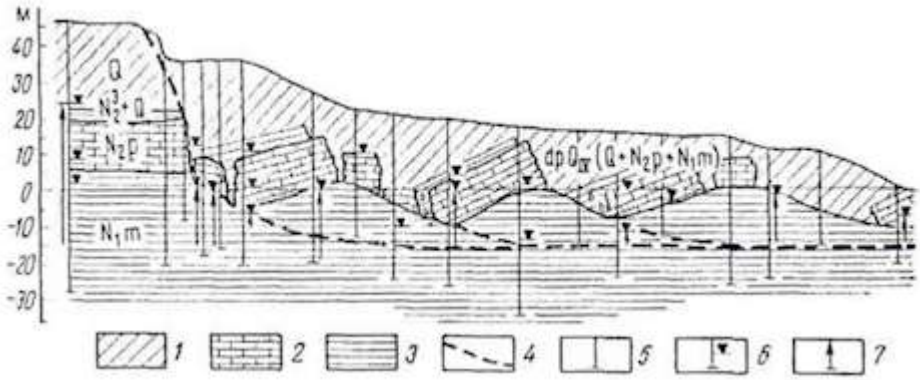

Рис. 12.7. Оползни выдавливания (г. Одесса) 1 – лессовидные суглинки; 2 – известняка; 3 – глины; 4 – поверхность смещения; 5 – скважины; 6 – положение уровня подземных вод; 7 – гидростатический напор.

На рисунке 12.8 показано, что в море образуются валы выпирания, потому что смещающий массив горных пород набегает на те горные породы, которые находятся в море, и эти породы выдавливаются и образуются бровки горных пород, выходящих выше уровня моря.

Рис. 12.8. Валы выпирания (г. Одесса)

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Оползни выдавливания существуют и в Москве: на дне Москва-реки наблюдаются валы выпирания.

Оползни выдавливания есть и на реке Ангаре (рис. 12.10). В основании склона залегают каменноугольные отложения (песчаники, алевролиты, аргиллиты). Сверху залегают интрузии траппов. Они достаточно мощные и раздавливают те породы, которые залегают в основании, образуя характерный вид.

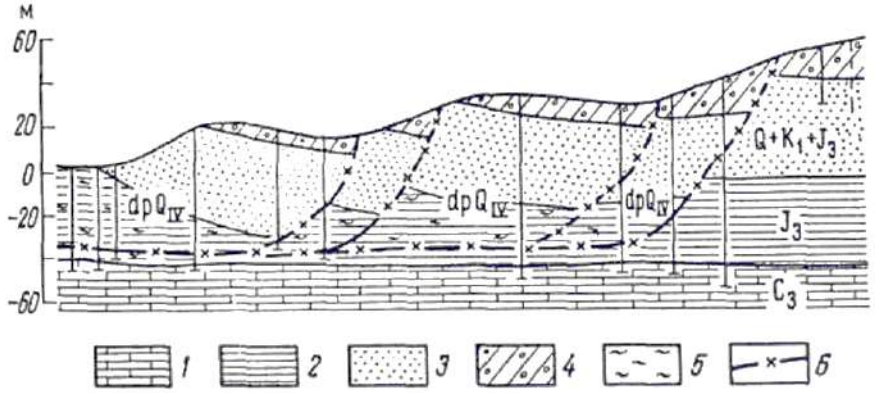

Рис. 12.9. Оползни выдавливания (г. Москва) 1 - известняки; 2 - глины; 3 - пески; 4 - морена; 5 - юрские глины, вовлеченные в оползневое смещение; 6 - поверхность смещения

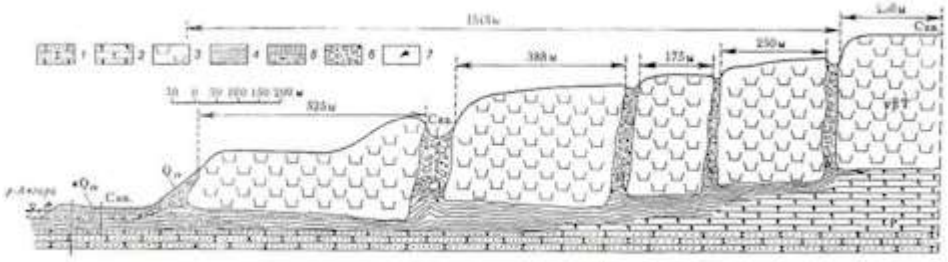

Рис. 12.10. Оползни выдавливания (р. Ангара) 1 – песчаники карбона; 2 – алевролиты и аргиллиты карбона; 3 – интрузия траппов; 4 – глинистые породы в зоне пластических деформаций; 5 – аллювий; 6 – щебнистая осыпь – вверху и выдавленные глинистые массы внизу, 7 – родники

Оползни потоки.

Оползни-потоки (деляпсивные, консистентные, пластические, вязкого течения) – наиболее часто встречающийся тип оползней.

Оплывинами и сплывами называются оползни этого типа, но небольшого объёма.

В оползневое смещение вовлекаются отложения элювия, делювия, древних оползневых накоплений и других рыхлых пород, расположенных на склоне.

Оползни возникают при увлажнении их образующих пород дождевыми, снеговыми, подземными или хозяйственными водами, в результате чего, из-за снижения прочности обломочно-глинистые массы начинают под действием силы тяжести двигаться как вязко-пластическое тело по сформированным в процессе смещения поверхностям.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Для оползней-потоков характерна большая длина, незначительная ширина и малая мощность.

Необходимыми условиями для формирования оползней-потоков являются склон крутизной 12-15°, наличие постоянно пополняющегося источника рыхлого материала и его обводнение.

Способствует развитию оползней-потоков морская абразия, речная эрозия, размывающие оползневой язык.

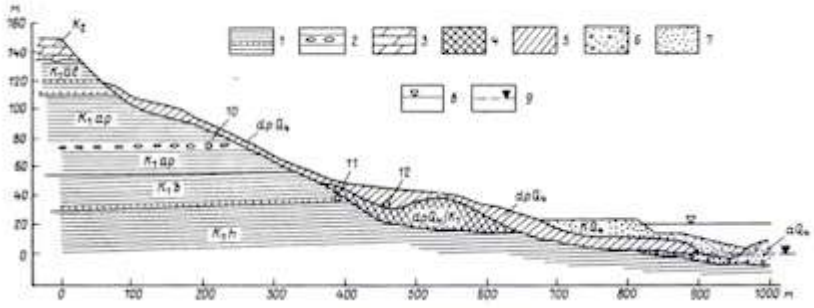

Рис. 12.11. Геологический разрез волжского склона в г. Ульяновске (через участок оползня 1955 г.) 1 – нижнемеловые глины с отдельными слоями песков; 2 – сланцеватые глины с прослоем окремненного мергеля ("аптская плита"); 3 – верхнемеловые мергели; 4,5 – современные оползневые накопления (4 – смещенные блоки нижнемеловых пород; 5 – перемятые оползневые глины); 6 – современные аллювиальные отложения (пески с гравием и галькой); 7 -– грунты контрбанкета (пески); 8 - уровень водохранилища; 9 – прежний меженный уровень протоки Волги; 10 – 12-дренажные галереи (10 – в аптском водоносном горизонте, 11 – в барремском водоносном горизонте, 12 – в оползневых накоплениях).

Вмч

Рис. 12.12. Оползень сплыв

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Другие типы оползней.

Оползни проседания образуются в условиях аридного климата, в районах развития толщ лёссовых и лёссовидных пород в результате замачивания основания крутого откоса.

Оползни выплывания (суффозионные) образуются при переходе пород, залегающих в основании склона, в плывунное состояние в результате резкого возрастания гидродинамического давления и вовлекающих в движение породы перекрывающей толщи.

Оползни с практически аналогичным механизмом могут возникать в результате суффозионного выноса песчаных пород из основания склона и вовлечения в оползание перекрывающей толщи.

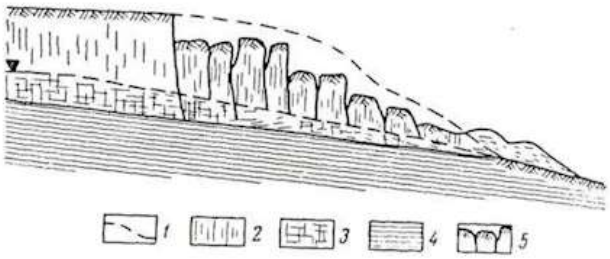

Рис. 12.13. Оползень проседания (Северный Кавказ)
1 - поверхность склона до оползня, 2 - лессовые породы слабовлажные; лессовые породы водонасыщенные; 4 - глины палеогена; оползневые массы

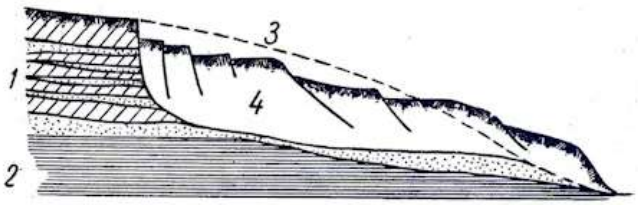

Рис. 12.14. Суффозионно-структурные оползни. Вид оползня в песчано-глинистых породах четвертичного комплекса с сообщающимися водоносными горизонтами: 1 – песчано-глинистые породы с сообщающимися водоносными горизонтами; 2 – третичные глины; 3 – конфигурация склона до образования оползней; 4 – суффозионно-структурные оползни

Оползни разжижения.

Оползни разжижения (внезапного разжижения) распространены в областях развития молодых малолитифицированных глинистых отложений, преимущественно морского генезиса.

Они формируется внезапно с образованием глубокой оползневой депрессии округлой формы, диаметром в несколько десятков метров, и разжиженные массы, в виде грязевых потоков, вырываются из суженной горловины и с большой скоростью текут вниз по склону.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Объемы разжижающихся масс достигают нескольких сотен, реже тысяч кубических метров, а скорости движения оползневых потоков составляют несколько метров в секунду.

Толчком к разжижению могут служить усиление эрозии или абразии, вибрация от проходящего транспорта, подсечки склонов при строительных работах и другие внешние факторы.

Сейсмогенные оползни.

Для сейсмогенных оползней наиболее характерно:

1) формирование в прочных массивах, для которых оползнеобразование не типично, т. е. отсутствие других реальных факторов, способных вызвать смещение;

2) необычно большой захват склона в глубину;

3) отсутствие четкой зависимости формы ниш от пространственного развития зон ослабления, т. е. наложенный характер поверхностей отрыва;

4) продолжение последних за водоразделы.

Как подчеркивал В. П. Солоненко (1976), они перемещаются на гораздо большие расстояния, имеют значительные объёмы и иную динамику, а иногда и направления смещения, чем обычные гравитационные оползни.

При нише наблюдаются склоновые сейсмодислокации.

Рис. 12.15 Сейсмогенный оползень, сформировавший Сарезское озеро

Рис. 12.16. Завальное озеро Ихнач (большое) со следами перелива воды из чаши озера

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Лекция 13. Сейсмогенные оползни

13.1. Формирование сейсмогенных оползней

Для сейсмогенных оползней наиболее характерно:

1) формирование в прочных массивах, для которых оползнеобразование не типично, т. е. отсутствие других реальных факторов, способных вызвать смещение;

2) необычно большой захват склона в глубину;

3) отсутствие четкой зависимости формы ниш от пространственного развития зон ослабления, т. е. наложенный характер поверхностей отрыва;

4) продолжение последних за водоразделы.

Как подчеркивал В. П. Солоненко (1976), они перемещаются на гораздо большие расстояния, имеют значительные объёмы и иную динамику, а иногда и направления смещения, чем обычные гравитационные оползни. При нише наблюдаются склоновые сейсмодислокации.

Рис. 13.1 Сейсмогенный оползень, сформировавший Сарезское озеро

Рис. 13.2. Бельтирский сейсмогенный оползень, образовался в результате Чуйского землетрясения 27 сентября 2003 года.

В учебнике Иванова И.П. «Инженерная геодинамика» изложены факторы возникновения оползневых явлений (таблица 13.1).

Таблица 13.1. Факторы возникновения оползневых явлений (И.П. Иванов, 2001)

Природные факторы	Техногенные факторы	Характер и результаты воздействия
I группа факторов, изменяющих свойства горных пород, слагающих склон или откос		
Выветривание пород	Разрушение пород строительными, горными и другими работами	Уменьшение прочности пород за счет изменения их физического состояния
Увлажнение природными водами	Увлажнение техногенными водами	Уменьшение прочности пород за счет их разуплотнения, набухания и размокания

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Изменение температуры пород	Оттаивание ММП при разработке МПИ и эксплуатации сооружений	Разрушение цементационных связей, уменьшение прочности
Суффозионный вынос	Фильтрационный вынос (выпор)	Уменьшение плотности и прочности песчано-глинистых пород
Вековая ползучесть горных пород	Продолжительность эксплуатации откосного сооружения	Реологические изменения, уменьшение прочности
Выпадение цементирующих соединений из природных растворов	Техническая мелиорация горных пород	Увеличение прочности и устойчивости пород
II группа факторов, изменяющих напряженное состояние горных пород приоткосного массива		
Эрозия и абразия	Подрезка природных склонов	Увеличение угла наклона склонов и откосов, возрастание сдвигающих усилий
Изменение базиса эрозии	Углубление выемки	Увеличение высоты склонов и откосов, возрастание сдвигающих усилий
Изменение уровня грунтовых вод	Осушение карьерных полей	Формирование гидростатического и гидродинамического давлений воды
Затопление атмосферными осадками и поверхностными водами	Затопление и подтопление при строительстве гидротехнических сооружений	То же
Пригрузка склонов делювием и обвальными массами	Статическая и динамическая нагрузка от сооружений и транспорта	Возрастание сдвигающих усилий, формирование порового давления
Землетрясения	Наведенные землетрясения, промышленные взрывы	То же
Аккумуляция аллювиально-делювиальных отложений	Террасирование, подпорные сооружения	Увеличение удерживающих усилий. Возрастание коэффициента устойчивости

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

Классификация методов прогнозирования оползневых процессов (К.А. Гулакян, В.В. Кюнтцель, Г.П. Постоев, 1977)

Рис. 13.3. Классификация методов прогнозирования оползневых процессов (К.А. Гулакян, В.В. Кюнтцель, Г.П. Постоев, 1977)

Методы прогноза оползней и оценки устойчивости склонов

Сравнительно-геологический метод оценки современной устойчивости склона и прогноза его дальнейшего развития и метод природных аналогов.

Расчетные методы, основанные на анализе напряженного состояния массива пород: 1) в пределах всего склона и 2) только вдоль известной или предполагаемой поверхности скольжения.

Методы экспериментального моделирования: на поляризационно-оптических и эквивалентных материалах.

Противооползневые мероприятия.

К противооползневым мероприятиям относят:

- изменение рельефа (планировка) склона: срезка, террасирование, контрбанкеты;
- регулирование стока поверхностных вод устройством системы поверхностного водоотвода и предотвращение инфильтрации воды в грунт;
- защита от подмыва и размыва, борьба с эрозией дамбами, пляжами и др.;
- искусственное понижение уровня подземных вод для устранения их разупрочняющего воздействия на грунты и снижения фильтрационного давления: водопонизительные скважины, различные дренажи;
- агролесомелиорация: многолетние травы, деревья, кустарники для укрепления грунта корневой системой, осушения, предотвращения эрозии, уменьшения инфильтрации, снижения воздействия выветривания;
- техническая мелиорация: цементация, смолизация, силикатизация, электрохимическое и термическое закрепление грунтов для обеспечения устойчивости склонов (откосов) в слабых и трещиноватых грунтах;

- защитные покрытия из торкретбетона, набрызг-бетона и др., наносимые на укрепленную анкерами сетку: защита обнаженных склонов (откосов) от выветривания, образования вывалов и осыпей.
- удерживающие сооружения: подпорные стены, свайные конструкции и столбы, анкерные крепления, поддерживающие стены и контрфорсы, облицовочные стены, покровные сетки в сочетании с анкерными креплениями;
- профилактические мероприятия и стационарные режимные наблюдения.

13.2. Солифлюкция

Солифлюкцией (*solum* – почва, грунт; *fluxus* – течь) называется медленное перемещение протаивающих переувлажненных почв и дисперсных грунтов на пологих склонах, возникающее под влиянием попеременного промерзания и протаивания почв и пород, действия силы тяжести, криогенных процессов (миграция влаги, смена фаз воды, пучение и усадка при промерзании и протаивании) и др.

Солифлюкционное течение грунтов происходит по мерзлой поверхности не оттаявшего основания, сцементированного льдом.

Солифлюкция широко развита в полярных областях и высокогорных странах умеренного пояса, в областях распространения многолетнемерзлых и сезонно мерзлых глубоко промерзающих пород.

Формы солифлюкции.

Под влиянием солифлюкции образуются натечные ступени, бугры, оплывины, солифлюкционные потоки и покровы, "языки", гряды, солифлюкционные террасы и др.

Скорости солифлюкционных смещений обычно составляют от нескольких до десятков сантиметров в год.

Сцепление практически равно нулю, а угол внутреннего трения составляет 2- 4°.

Критическая толщина текучего слоя может быть оценена по формуле:

$$D_c = h_c(1 - cos\theta)/2sin\alpha sin\theta,$$

где h_c – толщина слоя; α – угол склона; $\theta = 45 + \varphi/2$; φ – угол внутреннего трения.

13.3. Курумы

Курумами называются сформировавшиеся в суровых климатических условиях скопления крупнообломочного материала на склонах крутизной меньше угла естественного откоса обломков, перемещающиеся под определяющим воздействием криогенной и термогенной десерпции.

Распространены в полярных областях и высокогорных районах, особенно в зоне 54-64°с.ш.

Действующим фактором, вызывающим перемещение курумов, является *десерпция* (от лат. *deserptio* – сползание, опускание).

Термогенная или температурная десерпция – движение, вызванное изменением объема материала в результате периодического изменения его температур.

Криогенная десерпция заключается в том, что пучение пород при их промерзании на склоне происходит по нормали к последнему, а движение при оттаивании под воздействием силы тяжести – по вертикали.

Условия формирования курумов.

Условия образования курумов:

1) наличие многолетнемерзлых пород или глубокого сезонного промерзания;

2) суровый климат, благоприятствующий интенсивному криогенному выветриванию скальных пород и преобразованию рыхлых обломочных отложений;

3) наличие склонов с крутизной от 3-5° до угла естественного откоса грубообломочного материала и благоприятной экспозиции;

4) близкое к дневной поверхности залегание скальных пород, трещиноватых, но устойчивых к выветриванию. Мощность СТС (СМС) должна быть больше мощности чехла рыхлых отложений;

5) существенные колебания температур на поверхности грунта, приводящие к термогенной десерпции;

6) большое количество атмосферных осадков или геоморфологические предпосылки для концентрации поверхностного и подповерхностного стоков, способствующих интенсивным процессам суффозии мелкодисперсного материала;

7) сегрегационное льдообразование в СТС, приводящее к криогенной десерпции.

Рис. 13.4. Курумные поля

Рис. 13.5. Курумная река

Источники питания курумов.

По источникам питания грубообломочным материалом выделяются два больших класса курумов.

Первый класс – это курумы с внутренним питанием, в которые обломочный материал поступает из их ложа при разрушении выветриванием, выносом мелкозема, выпучиванием обломков и др.

Второй класс – курумы с внешними источниками питания, когда обломочный материал поступает извне, вследствие действия гравитационных процессов (обвалы, осыпи и др.).

Динамика процесса курумообразования.

В курумообразовании выделяются три стадии:

Стадия зарождения, которая заключается в образовании на поверхности склона слоя грубообломочного материала с простейшим десерпционным механизмом перемещения;

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Стадия прогрессивного развития, которая сопровождается увеличением мощности его чехла, промытого от дисперсного заполнителя, и усложнением механизма перемещения;

Стадия затухания, когда обломочный материал курума заполняется мелкоземом; возможно полное исчезновение курума.

Строение курумов.

Верхняя часть разреза курумов представлена грубообломочным чехлом без дисперсного заполнителя, а нижняя часть может иметь разнообразное строение:

1. Ниже находятся трещиноватые скальные грунты, а дисперсный материал отсутствует или присутствует в очень небольшом количестве.

2. Нижняя часть заполнена дисперсным материалом: суглинками, дресвой, супесями, песком.

3. Под грубообломочным чехлом встречается слой дисперсного материала мощностью от 0,30,4 до 3,0 м. Ниже находятся скальные породы.

4. Грубообломочный материал расположен на рыхлых отложениях, представленных песками, супесями, суглинками с включениями щебня и глыб от 40 до 60%.

5. Грубообломочный чехол курума в нижней части разреза заполнен гольцовым льдом мощностью от 0,3 до 1,0 м.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Лекция 14. Снежные лавины. Карст

14.1. Снежные лавины

Лавиной (от лат. *Labor*, *labi* – скользить) называется движущаяся снежная масса, состоящая из снежного покрова, потерявшего устойчивость и пришедшего в движение под действием силы тяжести вниз по склону и захватывающего на своем пути новые порции снега.

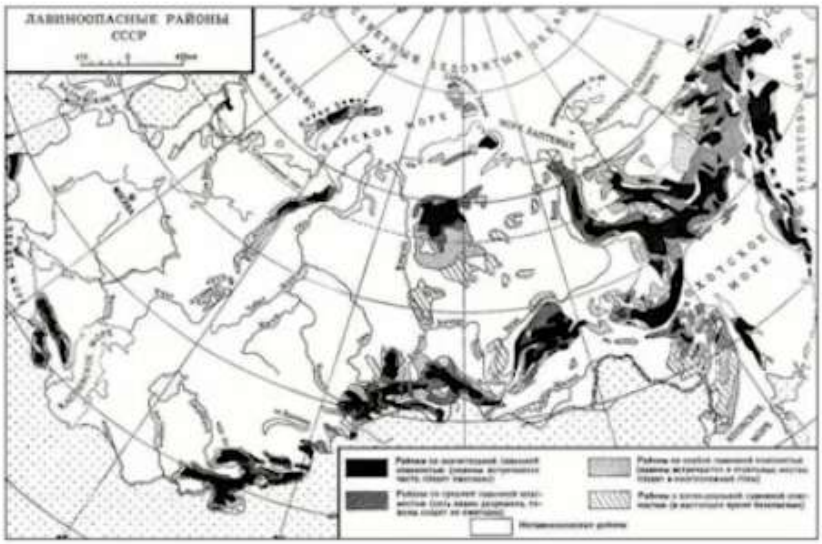

Рис. 14.1.

Три зоны в лавиносборах:

- Зона зарождения лавинных потоков – в верхней части склона чашеобразное углубление, где накапливается масса снега;
- Зона транзита (пути движения) лавинных потоков – русло (лавинный лоток) или располагается на относительно ровном склоне;
- Зона отложения (выброса) лавинных потоков представляет собой конус выноса лавины.

Факторы, влияющие на возникновение лавин.

К факторам, влияющим на возникновение лавин, относят:

- Много снега – катастрофические лавины возникают после многодневных обильных снегопадов
- Склон, угол наклона которого превышает 14 градусов (если угол склона 30 - 40 градусов, то лавина неизбежна).
- Наличие открытого склона длиной 100 - 500 метров.
- Фактором образования лавин служат ослабленные слои снега, в которых формируются слабо связанные кристаллы глубинной изморози. Нижний слой снежного покрова теряет связность, и по нему происходит сдвиг вышележащей снежной толщи.
- При резком таянии или интенсивном дожде структура слоев снега быстро разрушается, и тогда формируются грандиозные "мокрые" лавины.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

- Причиной нарушения устойчивости снежного покрова служит увеличение массы (мощности) снега до критической величины в результате выпадения осадков и метелевого снегопереноса.
- Другая распространенная причина - уменьшение удерживающих сил в результате разупрочнения снега вследствие процессов ползучести, метаморфизма и таяния (Лосев, 1966).

Рис. 14.2. Лавина

Рис. 14.3. Лавина

Характеристика лавин.

Длина пути лавин измеряется сотнями метров или немногими километрами. Скорость лавин достигает нескольких десятков м/с, в среднем порядка 20-30 м/с (варьируя от 115 до 180 км/ч, иногда достигая 400 км/ч.). Объем достигает 1 млн. м^3, при плотности 0.5 г/см^3. Давление на препятствие – 100 т/м^2 (давление 0.5 т/м^2 проламывает окна и двери, 3 т/м^2 разрушает деревянные постройки, 100 т/м^2 – каменные здания). Толщина лавинных завалов на дне долин 30-50 м, иногда более 100 м.

Рис. 14.4. Конус выноса лавины Домашняя, близ пос. Азау в Приэльбрусье

Изучение лавин.

Исследование лавин ведется в основном гидрометеослужбой. На снеголавинных станциях производится сбор данных по различным сезонам в очагах лавинной опасности. Задачи: метеорологические наблюдения, регулярные измерения толщины, плотности и физико-механических свойств снега, фиксируется сход лавин. На станциях проводятся лабораторные исследования снега, описания лавин, дается прогноз лавин на основе местных признаков и локальных связей с метеорологическими показателями. Снеголавинные станции раз в несколько дней передают бюллетени о лавинной опасности всем заинтересованным учреждениям. Сейчас такие станции проводят работы на территориях практически всех горных массивов.

Рис. 14.4. Лавина, сошедшая в декабре 2001 г. с северного склона Чегета

Рис. 14.5. Лавина с Белухи, сошедшая на ледник Менсу. Алтай. Январь 2003

14.2. Карст

Определение карста.

Слово «карст» произошло от названия «*Крас*» – горного плато в Словении.

Карст – совокупность геологических явлений в Земной коре и на её поверхности, вызванных химическим растворением горных пород и выраженных в образовании в земной коре пустот, в разрушении и изменении структуры и состояния пород, в создании особого характера циркуляции и режима подземных вод, а так же характерного рельефа местности и гидрографического режима речной сети.

Карст – сложный геодинамический процесс, оказывающий влияние на все элементы литосферы:

- геологический процесс (растворение породы, изменение ее состава, структуры, текстуры, образование новых минералов, осадочных пород и подземных ископаемых);

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

- гидрогеологический (формирование коллекторов подземных вод разного химического состава);
- геохимический (миграция химических элементов в системе порода – вода);
- геоморфологический (образование поверхностных и подземных форм рельефа);
- физико-географический (формирование особого типа ландшафтов);
- инженерно-геологический (приводящий к изменению прочностных свойств пород и устойчивости территорий).

Рис. 14.6. Схематическая карта карстовых районов европейской части России, Урала и Кавказа 1 – известняки, доломиты, мраморы; 2 – сульфатно- карбонатные породы; 3 – мел и мергель; 4 – карбонатный флиш; 5 – гипсы, ангидриды; 6 – соли; 7 – соляные купола; некарстующиеся породы: 8 – осадочные; 9 – изверженные.

Инженерно-геологическое значение изучения карста.

В мире: карбонатные породы – 40 млн. км^2,
- сульфатные – 7 млн. км^2,
- соли – 4 млн. км^2.

- Прослеживаются до глубины 300-400м.
- Образование карстовых воронок и провалов;
- Увеличение деформируемости и уменьшение прочности пород;
- Незаполнение водохранилищ;
- Прорыв карстовых вод в подземные выработки.
- С карстом связан особый тип накоплений:
  - доломитовая мука,
  - химические – натечные формы, сталактиты и сталагмиты.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Рис. 14.7. Карстовая воронка

Условия развития карстового процесса

Условиями развития карстового процесса по Ф.П. Саваренскому (1934) и Д.С. Соколову (1962) являются:

- Наличие растворимых горных пород - к труднорастворимым относятся карбонатные (известняки – 14мг/л, доломиты, мел, известняковый туф, мраморы), к среднерастворимым – сульфатные (гипс – 2г/л, ангидрит), к легкорастворимым – соляные (галит – 320г/л, сильвинит, мирабилит) породы.
- Водопроницаемость горных пород – поровая, трещинная, по разломам.
- Наличие движущихся подземных вод (необходим постоянный водообмен).
- Растворяющая способность поверхностных и подземных вод (агрессивность), обусловленная их химическим составом, температурой, присутствием газов (CO_2, H_2S), органических кислот и т.д.

На побережьях морей и озер образуются карры рифовых известняков, ячеи, ниши, гроты. Карбонатная агрессивность современных морских вод связана с содержанием в них углекислоты, а растворению способствует высокая водопроницаемость новейших органогенных известняков .

В растворимых породах, слагающих речные побережья, часто наблюдаются ниши, гроты и ячеи, образовавшиеся под непосредственным воздействием речных вод. Это воздействие выражается в сочетании процессов выщелачивания и механического разрушения.

Растворяющая способность поверхностных вод, под действием которых развиваются карстовые формы, зависит от ряда факторов, главными из которых являются температура, солевой состав и содержание углекислоты (для карбонатного карста). Большинство карстовых форм развивается в условиях питания карстовых вод и их дальнейшего движения к своим дренам.

Зона глубинной циркуляции

Зона глубинной циркуляции располагается вне непосредственного влияния местной гидрографической сети. В этой зоне подземные воды движутся с малыми скоростями в сторону удаленных очагов разгрузки. Эти условия типичны для артезианских бассейнов.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Зона глубинной циркуляции характеризуется малой закарстованностью пород. Карст здесь проявляется в образовании кавернозности пород и расширении трещин.

Горизонтальная зональность: присклоновая, придолинная, водораздельная. Этажность закарстованности массива в зависимости от тектонического развития территории.

В горно-складчатых областях: расчлененность рельефа, интенсивность тектонических движений, сложные структуры, разломы, большая водность, теплый климат. Большая закарстованность древних поверхностей, локальная приурочена к тектоническим нарушениям.

Факторы, влияющие на развитие карста.

К природным факторам относятся:

- неоднородность литологического строения и состава карстующихся пород, наличие в них нерастворимых слоев и примесей, текстурные особенности;
- трещиноватость массива пород, ее интенсивность и пространственное распространение;
- новейшая геологическая история района, характер и интенсивность неотектонических движений, обусловливающих формирование рельефа и положение местных и региональных базисов дренирования подземных вод;
- рельеф карстового покрова, наличие покрова четвертичных глинистых пород и растительности, влияющих на поверхностный сток и инфильтрацию атмосферных осадков;
- климатогидрологические факторы, отражающиеся на гидрогеологической обстановке карстующихся массивов пород: количество и распределение осадков, температура воды и т.п.; климатические факторы имеют зональный характер, оказывают наибольшее воздействие на карст в верхних частях массива, наибольшее развитие карст получает в условиях влажного и избыточно влажного климата, наименьшее в районах ММП;
- тектонические структуры – складчатые и особенно разрывные, определяющие пути движения основных потоков подземных вод.

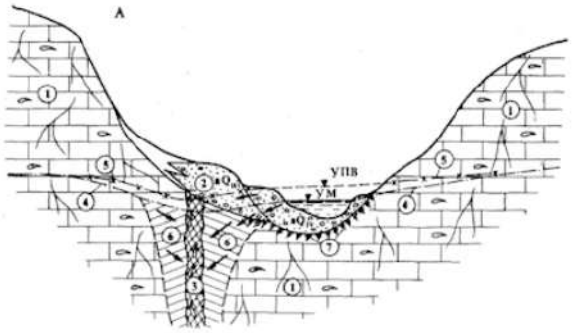

Рис. 14.7. Влияние тектонических разрывов на гидродинамические зоны и на развитие карста

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Пространственная неравномерность развития карста.

Проявлением пространственной неравномерности развития карста в зоне полного насыщения является снижение закарстованности с глубиной, так как с глубиной снижается трещинная водопроницаемость, что сопровождается замедлением движения карстовых вод и снижением с глубиной растворяющей способности карстовых вод.

Повышенная закарстованность пород наблюдается в зонах интенсивной тектонической трещиноватости, а также вдоль разрывных нарушений, где в связи с повышенной водопроницаемостью подземные воды движутся с большими скоростями и быстрее отводятся в сторону речной долины. Такие тракты играют роль подземных дрен, вдоль которых усиливается развитие карста.

Существование в карстующемся массиве водоупорных «перегородок» (прослоев и линз непроницаемых или слабопроницаемых пород или водонепроницаемых зон разрывных нарушений) также способствует дифференциации массива по степени закарстованности. Вблизи «перегородок» концентрируются фильтрационные токи и, следовательно, обостряется развитие карста.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Лекция 15. Карст. Часть II.

15.1. Пространственная неравномерность развития карста

Проявлением пространственной неравномерности развития карста в зоне полного насыщения является снижение закарстованности с глубиной, так как с глубиной снижается трещинная водопроницаемость, что сопровождается замедлением движения карстовых вод и снижением с глубиной растворяющей способности карстовых вод.

Повышенная закарстованность пород наблюдается в зонах интенсивной тектонической трещиноватости, а также вдоль разрывных нарушений, где в связи с повышенной водопроницаемостью подземные воды движутся с большими скоростями и быстрее отводятся в сторону речной долины. Такие тракты играют роль подземных дрен, вдоль которых усиливается развитие карста.

Существование в карстующемся массиве водоупорных «перегородок» (прослоев и линз непроницаемых или слабопроницаемых пород или водонепроницаемых зон разрывных нарушений) также способствует дифференциации массива по степени закарстованности. Вблизи «перегородок» концентрируются фильтрационные токи и, следовательно, обостряется развитие карста.

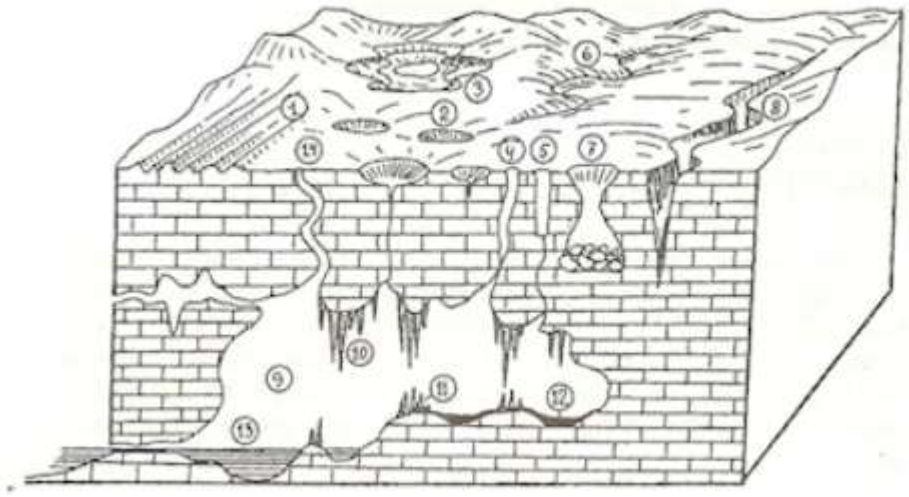

Рис. 15.1. Карстовые формы: 1 – карры, 2 – воронки, 3 – полье, 4 – колодцы, 5 – шахты, 6 – исчезающие реки, 7 – провальные воронки, 8 – ущелье, 9 – пещера, 10 – сталактиты, 11 – сталагмиты, 12 – «терра-росса», 13 – пешерное озеро, 14 – сифоны

Среди карстовых воронок выделяют три основных генетических типа: 1) воронки поверхностного выщелачивания, или чисто коррозионные, которые образуются за счет выноса выщелоченной на поверхности породы через подземные каналы в растворенном состоянии; 2) провальные воронки, или гравитационные, формирующиеся путем обвала свода подземной полости, возникшей за счет выщелачивания карстующихся пород на глубине и выноса вещества в растворенном состоянии; 3) воронки просасывания, или коррозионно-суффозионные, образующиеся путем вмывания и проседания рыхлых покровных отложений в колодцы и полости карстующегося цоколя.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

Полья по своему происхождению разделяются на следующие типы:

1) тектонически-коррозионные и тектонически-коррозионно-эрозионные,

2) возникшие путем подземного механического выноса нерастворимой породы, залегающей среди карстующихся известняков или на контакте с ними,

3) образовавшиеся путем слияния группы смежных воронок и котловин при их росте в горизонтальном направлении,

4) провальные.

Рис. 15.2. Коррозионно-суффозионная воронка

Рис. 15.3. Коррозионно-суффозионная воронка

Рис. 15.4. Воронка в населенном пункте

15.2. Формы карста

Среди форм карста различают:

- *Открытый* – карстующиеся породы обнажаются на поверхности.
- *Скрытый*: карстующиеся породы перекрыты
  а) нерастворимыми непроницаемыми породами
  б) нерастворимыми водопроницаемыми породами.

В настоящее время в Российской Федерации выделяются следующие *морфолого-генетические типы карста:*

1) погребенный, или ископаемый, карст;

2) бронированный карст;
3) покрытый карст;
4) задернованный карст;
5) полузадернованный и частично задернованный карст;
6) голый карст;
7) останцовый тропический карст (в России только реликтовый);
8) карст, развивающийся в условиях вечной мерзлоты;
9) морской карст.

По составу карстующихся пород выделяются следующие литологические типы, с которыми совмещаются морфолого- генетические: 1) известняковый карст; 2) доломитовый карст; 3) карст в мраморах; 4) меловой карст, в том числе карст в мелоподобных мергелях; 5) гипсово-ангидритовый карст; 6) соляной карст.

Степень закарстованности пород.

Под степенью закарстованности горных пород следует понимать степень нарушенности их монолитности в результате образования разнообразных пустот и полостей при выщелачивании и растворении.

Количественно закарстованность оценивается как отношение объема карстовых пустот и полостей в рассматриваемом объеме горных пород:

$$З = \frac{v}{V} \cdot 100\%$$

где *З* – показатель закарстованности пород в процентах, v – объем пустот в изучаемом объеме пород, *V* – объем пород, в пределах которого измерен объем карстовых пустот (Ломтадзе, 1977).

Замеры площадей участков, пораженных карстом, дают возможность рассчитать среднюю пораженность территории карстовыми провалами (в процентах) как суммарную площадь провалов ($\sum f$) на единицу площади (*F)* исследуемой территории:

$$B = \frac{\sum f}{F} \cdot 100\%$$

Методы оценки степени закарстованности территорий и пород

Степень закарстованности пород оценивают главным образом косвенными приемами по данным:

1) геоморфологических наблюдений - подсчет количества воронок на единицу площади или отношение площади воронок к площади распространения карстующихся пород;

2) наблюдений и непосредственных замеров объёмов карстовых пустот в обнажениях (трещинная пустотность) и в самих карстовых пустотах;

3) наблюдений при проходке горных выработок и буровых скважин - провалы инструмента и потеря промывочной жидкости при бурении;

4) геофизических разведочных работ - электро и сейсморазведка;

5) специальных гидрологических наблюдений - по разнице расходов реки в различных створах равного поглощению речного стока;

6) определения объёма пустот при водоотливе;

7) опытных фильтрационных – откачек и нагнетаний по определению коэффициента фильтрации и удельного водопоглащения и опытных цементационных работ;

8) наблюдений за деформациями сооружений.

Скорость развития карста

В районах развития сульфатного и соляного карста необходимо знать не только степень закарстованности пород, но и скорость развития карста, так как в гипсах, ангидритах и солях карст развивается с очень большой скоростью.

Скорость развития карста характеризуется показателем активности карста (А) (по Н.В. Родионову, 1958), который показывает интенсивность развития карстового процесса (в процентах за тысячелетие):

$$A = \frac{v_{1000}}{V} \cdot 100\%$$

где v_{1000} – объем растворенной горной породы, выносимой подземными водами за 1000 лет, V – общий объем карстующейся породы.

Активность карста.

Среднегодовое количество провалов (P) на единицу площади (F) рассчитывается по следующей формуле:

$$P = \frac{n}{Ft}$$

где t – промежуток времени, n – количество карстовых провалов на исследуемой территории.

Среднегодовая поражаемость карстовыми провалами (B, %) – это суммарная площадь ($\sum f$) провалов, образовавшихся за один год, на единицу площади (F) исследуемой территории:

$$B = \frac{\sum f}{Ft}$$

где t – промежуток времени.

Скорость развития карста

Оценка степени устойчивости территорий по количеству воронок, образующихся на 1 км^2 за единицу времени (год):

1) весьма неустойчивые – 5-10 воронок в год,

2) неустойчивые – 1-5 воронок в год,

3) средней устойчивости – 1 воронка от 1 до 20 лет,

4) устойчивые – 1 воронка за 20-50 лет,

5) весьма устойчивые – 1 воронка за более 50 лет.

Гидрологический-гидрохимический метод оценки скорости растворения путем измерения химического состава вод реки в двух створах.

Противокарстовые мероприятия

Характер и объём противокарстовых мероприятий определяется инженерно-геологическими условиями и видом строительства.

Прекращение доступа поверхностных и подземных вод к карстующимся породам с целью предотвращения карста:

- организация стока поверхностных вод;

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

- каптаж подземных вод и дренаж обводненных пород;
- водонепроницаемые покрытия.

Улучшение закарстованных массивов пород:

- искусственное обрушение кровли карстовых пустот и заполнение их глинистым материалом;
- заполнение (тампонирование) карстовых полостей и трещин песком, щебнем и цементным раствором с помощью засыпки и нагнетания;

Методика исследования карста.

Задачи, содержание, виды и объёмы инженерно-геологических исследований карста зависят от: инженерно-геологических условий, вида строительства и стадии изысканий. Они включают:

- инженерно-геологическую съёмку;
- разведочное бурение;
- геофизические работы: электро- и сейсморазведку;
- опытные гидрогеологические работы;
- изучение климатических условий, растительности и гидрологии местности;
- режимные наблюдения;
- лабораторные работы.

Инженерно-геологические исследования карста.

При инженерно-геологических исследованиях карста изучают:

1) глубина залегания растворимых пород от поверхности земли, рельеф их поверхности, мощность, состав и свойства покрывающих отложений;

2) мощность растворимых пород, степень их закарстованности, пространственное расположение поверхностных и подземных форм;

3) размер активной зоны проектируемых сооружений, ее распространение в толщу закарстованных пород, несущая способность закарстованных пород и покровных отложений;

4) водопроницаемость и водообильность закарстованных пород, глубина залегания уровня карстовых вод и их напор (если проектируются сооружения глубокого заложения);

5) интенсивность развития карста, виды, формы и частота его проявления, причины и условия, способствующие его развитию;

6) опыт строительства и эксплуатации сооружений в рассматриваемом районе.

Расчет карстового процесса.

Основные задачи на различных стадиях развития кастового процесса:

1. Определение скорости химической денудации.
2. Оценка изменения напряженного состояния пород вокруг карстовой полости.
3. Установление характера разрушения кровли карстовой полости.
4. Суффозионный процесс над карстовой полостью, условия его развития.
5. Механизм образования провалов на поверхности.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Лекция 16. Суффозия

Суффозия (от лат. *suffossio* – подкапывание) – процесс механического выноса мелких частиц из грунтов, заполнителя трещин и полостей фильтрационным потоком подземных вод или размыв пород внутри толщи, обладающих низкой сопротивляемостью эрозионному воздействию движущихся подземных вод.

Суффозия является результатом силового воздействия движущихся подземных вод на вмещающие их дисперсные грунты. Это либо большие скорости движения фильтрационного потока, который вымывает частицы, либо возникающее в фильтрационном потоке гидродинамическое давление.

Различают химическую суффозию или выщелачивание – вынос водорастворимых солей (гипс, карбонаты и др.) из нерастворимых осадочных пород, приводящий к разрушению структурных связей и уменьшению прочности, увеличению деформируемости и размываемости пород.

16.1. Условия и факторы развития суффозии

Условия развития суффозии

Для развития суффозии необходимы следующие условия:

1) структурно-текстурная неоднородность (1:20) горных пород, при которой возможно передвижение более мелких частиц среди более крупных и их вынос;

2) определенные градиенты потока (>5), вызывающие повышенные скорости фильтрации воды или определенной величины гидродинамическое давление в массиве грунтов;

3) наличие области выноса, разгрузки толщи от мелких частиц.

Суффозия происходит внутри пласта или путем переноса мелких частиц из одного пласта в другой.

Процессам суффозии подвержены

- преимущественно пылеватые и мелкозернистые пески,
- лессовые и реже пылеватые и глинистые грунты,
- дисперсная составляющая образований из зон тектонических разрывов и накопления в карстовых полостях.

Область выноса образуется при выходе грунтов на поверхность, вскрытии их котлованами, выемками, карьерами, подземными выработками, дренажами или при контактировании их с более водопроницаемыми породами, способными поглощать мелкие частицы, выносимые потоком из грунтов, подверженных суффозии.

На рисунке 16.1 показана схематическая карта развития суффозии на территории РФ.

Условные обозначения к карте развития суффозии на территории РФ: области 1 – ограниченного развития суффозии; 2 – выноса заполнителя трещин и полостей в скальных грунтах и подземной эрозии; 3 – подземной эрозии в виде «глинистого карста»; 4 – подземной эрозии в виде «лёссового псевдокарста»; 5 – подземной эрозии и фильтрационного разрушения; 6 –интенсивного развития суффозии; 7 – псевдовулканической, 8 – присклоновой, 9 – закрытой (внутренней) суффозии: (а) - природного, (б) - техногенного происхождения

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

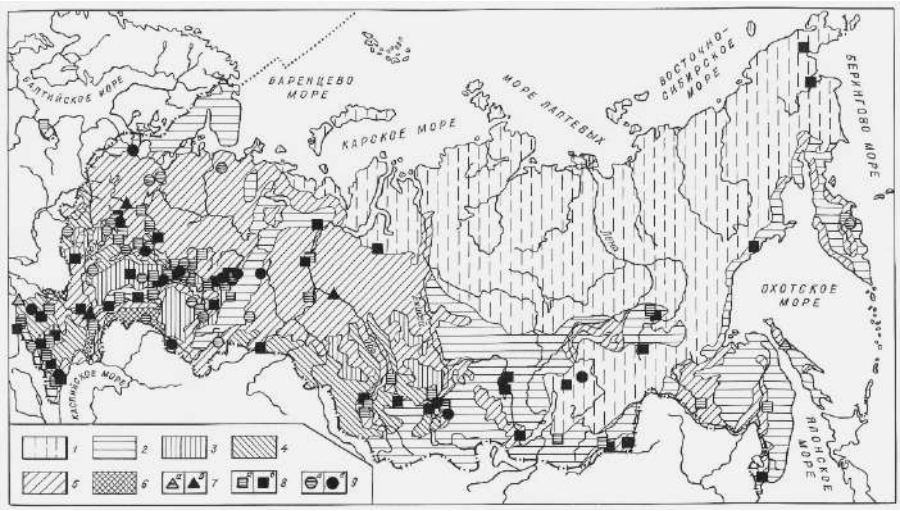

Рис. 16.1. Схематическая карта развития суффозии на территории РФ (В.П. Хоменко, 2003)

Факторы развития суффозии.

Развитию суффозии способствует наличие в геологическом разрезе песчаных и лессовых грунтов.

Суффозионному процессу благоприятствуют восходящие современные тектонические движения.

Развитие суффозии тем больше, чем более контрастен рельеф данной местности, особенно если такая контрастность обусловлена речной и овражной эрозией.

Деревья и кустарники укрепляют своими корневыми системами толщи дисперсных грунтов, делая их более устойчивыми по отношению к суффозионным процессам.

Виды суффозии.

Суффозионный вынос материала на земную поверхность называется внешней суффозией, а вынос в трещины и полости или перемещение внутри них – внутренней суффозией.

Если материал выносится нисходящим потоком к подножию склона – *присклоновая суффозия.*

Восходящая суффозия при восходящем потоке подземных вод – *псевдовулканическая.*

Техногенные факторы развития суффозии.

В настоящее время во всех индустриально развитых странах мира техногенная суффозия доминирует над природной [Хоменко, 2003].

Суффозия широко распространена в районах добычи полезных ископаемых: присклоновая суффозия при открытой разработке твердых полезных ископаемых, а закрытая (внутренняя) – при подземной. В бортах Лебединского карьера КМА, в глинистых альб-сеноманских песках, на расстоянии 20-70 м от бровки борта провальные воронки.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

В районах добычи нефти и газа способом заводнения нередки проявления псевдовулканической суффозии.

На закарстованных территориях, в пределах крупных депрессионных воронок, сформировавшихся при эксплуатации месторождений подземных вод, часто отмечается интенсивное развитие закрытой суффозии, проявляющейся на земной поверхности в форме провалообразования.

Широкое распространение суффозионных процессов наблюдается на подтопленных территориях и в районах орошаемого земледелия - подъем уровня грунтовых вод.

Суффозия активно присклонового типа развивается на берегах равнинных водохранилищ.

На территориях городов техногенная суффозия связана с подземной урбанизацией, со строительными работами, с утечками из водонесущих коммуникаций и с эксплуатацией подземных вод для целей водоснабжения.

Суффозия присклонового типа активно развивается на берегах равнинных водохранилищ. Пример: вынос заполнителя из трещин в основании плотины Иркутской ГЭС.

На территориях городов техногенная суффозия связана с подземной урбанизацией, со строительными работами, с утечками из водонесущих коммуникаций и с эксплуатацией подземных вод для целей водоснабжения.

Техногенно-обусловленная суффозия нередко становилась причиной деформаций памятников истории и архитектуры.

Причины суффозии.

Выход области суффозионного выноса на контакт с водонасыщенными суффозионно неустойчивыми грунтами:

- *природные* – абразия, речная и овражная эрозия, оползневые процессы, провалообразование, карст, разрушение глинистых водоупоров над полостями;
- *техногенные* – разрушение берегов искусственных водотоков и водоёмов, экскавация грунтов, производство буровых работ и проходка подземных горных выработок.

16.2. Параметры суффозионного процесса

Параметры суффозионного процесса

Начальную скорость фильтрационного потока v, при которой может начаться суффозионный вынос, можно рассчитать по формуле Зихарда:

$$V = \sqrt{\frac{K_ф}{15}},$$

где $K_ф$ – коэффициент фильтрации породы, м/с.

Критический градиент восходящего фильтрационного потока, при котором может начаться разрушение грунтов, К. Терцаги (1933):

$$J_p = (p_s - 1)(1 - n)$$

где p_s – плотность частиц грунта, г/см^3; n – пористость грунта

Для развития суффозионного процесса необходимы суффозионно-неустойчивые горные породы, имеющие коэффициент неоднородности гранулометрического состава:

$$Cu = \frac{d_{60}}{d_{10}} > 20$$

d_{60} – контролирующий диаметр частиц; d_{10} – действующий или эффективный диаметр частиц.

Анализ кривой, аппроксимирующей зависимость минимальных (безопасных) градиентов фильтрационного потока (при фильтрации, направленной снизу вверх) от степени гранулометрической неоднородности породы, показывает, что чем больше степень неоднородности гранулометрического состава грунта, тем при меньших градиентах фильтрационного потока начинается суффозия (рис. 16.2).

Рис. 16.2. График зависимости минимальных (безопасных) градиентов фильтрационного потока от степени неоднородности породы при фильтрации снизу вверх (В.И. Истомина)

Проявление суффозии в рельефе.

Суффозионные проявления поверхностные, как правило, это отрицательные формы рельефа, и подземные – структурные элементы массива горных пород.

Поверхностные суффозионные формы могут быть как аккумулятивными (конусы суффозионного выноса), так и деструктивными (поноры, провалы, оседания).

Наиболее типичные поверхностные проявления суффозионного процесса – оседания и провалы, представляющие собой замкнутые понижения земной поверхности округлой формы. Отличаются они тем, что оседания не сопровождаются нарушением сплошности земной поверхности, а провалы всегда ограничены резким уступом и имеют форму обращённого вершиной вниз усечённого конуса.

Склоновые поверхностные проявления суффозии подразделяются на два типа.

К *первому* относятся различные ниши, которые часто сопровождаются аккумулятивными формами в виде шлейфов и языков. Суффозионные ниши крупных размеров называются пещерами.

Ко *второму* типу склоновых суффозионных проявлений относятся оползни, которые развиваются унаследованно на месте ниш.

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Подземные проявления – это структурные элементы массива горных пород. Они подразделяются на: полости, псевдоплывунные зоны, зоны разуплотнения и зоны дезинтеграции.

Прогноз суффозионного процесса.

Изучается суффозионная устойчивость с помощью опытно-фильтрационных работ на кустах путем создания сосредоточенной фильтрации с разными скоростями через блок пород между скважинами одновременными нагнетаниями и откачками, для определения критического градиента, при котором возникает размыв пород.

Прогнозируется возможное начало суффозионного процесса и возникновение провала.

Для прогноза суффозии успешно применяется лабораторное моделирование.

Противосуффозионные мероприятия.

Все меры по локализации суффозионного процесса разделены на пассивные и активные.

Пассивные мероприятия связаны с рациональным размещением инженерных сооружений, их конструктивными особенностями и проведением мониторинга природно-технических систем, расположенных в зонах возможного развития суффозии.

Активные меры направлены на устранение причин развития процесса суффозии:

- осушение или уменьшение скоростей фильтрации;
- перекрытие мест выноса частиц породы фильтрующим грунтом – обратный фильтр;
- искусственная цементация.

Противосуффозионные мероприятия делятся также на профилактические и оперативные. Профилактические меры используются еще до начала эксплуатации сооружения, а оперативные – в условиях взаимодействия сооружения с окружающей средой.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

Лекция 17. Плывуны. Заболачивание

17.1. Плывуны

Под плывунностью понимается полная или частичная потеря несущей способности водонасыщенного дисперсного грунта и переход его в текучее состояние при вскрытии горными или строительными выработками либо при воздействии на грунт динамических нагрузок. Плывунные грунты ведут себя подобно вязким текучим жидкостям.

«Истинные плывуны» – тонко-, мелкозернистые пески, глинистые, с примесью органики и коллоидной фракции, слабофильтрующие, обладающие высокой потенциальной подвижностью за счет тиксотропных свойств (А.Ф. Лебедев, 1935).

Распространение плывунов.

Плывуны распространены в песках пойм и первых террас речных долин, встречены и в озерных, ледниково-озерных, озерно-болотных, флювиогляциальных отложениях.

В Прибалтике плывуны встречаются на приморских равнинах в голоценовых и верхнеплейстоценовых морских отложениях. В южных районах Русской плиты плывуны встречаются среди неогеновых и палеогеновых отложений.

В области распространения железорудных месторождений Курской магнитной аномалии большие трудности приходится преодолевать при проходке плывунов, встречающихся в аптских и неокомских отложениях нижнего мела, а под Москвой и в Поволжье – среди верхне- и нижневолжских отложений верхней юры.

Природа плывунности.

Истинные плывуны имеют характерный состав, предопределяющий их повышенную гидрофильность и склонность к текучести под воздействием даже ничтожно малых сил таких как силы тяжести, гидростатического взвешивания и гидродинамического давления.

Скорость развития плывунных процессов зависит от величины гидродинамического давления (напорного градиента). Если этот градиент велик, плывун плывет с большой или даже катастрофической скоростью, образуя прорыв.

В песках-плывунах обычно преобладают (до 60-90%) фракции 0,25-0,1 и 0,1-0,05 мм, содержание частиц менее 0,002 мм доходит до 8-11%. Пористость 40-56%, коэффициент фильтрации колеблется от нескольких сантиметров до 1 м/сут, практически отсутствует водоотдача, высокая влажность.

На переход в плывунное состояние водонасыщенных песков существенное влияние оказывают микроорганизмы, которые способны выделять газопродукты, которые создают избыточное поровое давление и являются энергетическим фактором плывунности породы.

17.2. Заболачивание

Заболачиванием (*Marsh forming*) называется процесс образования болота на переувлажненных участках земной поверхности вследствие затрудненного стока, подъема уровня подземных вод или изменения режима испарения (БСЭ, 1973).

Болото (*Bog; Fen; Marsh; Mire; Muskeg*) – избыточно увлажнённый участок земной поверхности, постоянно или большую часть года насыщенный водой и

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

покрытый специфической болотной растительностью. Накапливающиеся в верхних горизонтах мертвые неразложившиеся растительные остатки со временем превращаются в торф, который на болотах имеет мощность не менее 30 см.

Заболоченными территориями или заболоченными землями называются избыточно увлажнённые земельные площади, на которых в течение большей части года наблюдается избыток влаги, скапливающейся на поверхности, в почве или подпочвенных горизонтах, покрытые влаголюбивой растительностью, но не имеющие торфа или покрытые слоем торфа менее 30 см.

На формирование заболачиваний и болот влияет литологический состав грунтов, залегающий непосредственно под почвой. Наличие слабопроницаемых грунтов (суглинков, глин) затрудняет или даже исключает инфильтрацию дождевых и талых вод, ведет к их застою и образованию заболоченностей.

Если под почвой залегают пески, то заболоченности или болота могут формироваться на участках близкого положения уровня грунтовых вод и отсутствия дренирования.

Типы заболачивания суши, зависящие от жесткости или мягкости воды.

Жестководное заболачивание наблюдается в понижениях рельефа с близким к поверхности водоупорным горизонтом. Выклинивающиеся минерализованные грунтовые воды создают постоянные переувлажнение, а это способствует росту растений *низинных болот* и отложению торфа. Расположены в низких местах.

При мягководном заболачивании избыток влаги создаётся потому, что количество атмосферных осадков превышает испарение, и тогда образуются *переходные* или *верховые* болота. Расположены на водоразделах.

В природе обычны сочетания обоих типов заболачивания. Начинается заболачивание с жестководного типа и по мере роста болота вверх и выхода его деятельного слоя из сферы влияния грунтовых вод развивается дальше по типу мягководного заболачивания.

К необратимому заболачиванию приводят отрицательные неотектонические движения земной коры (опускание рельефа), образование карстовых воронок, естественный подпор стока поверхностных и почвенно-грунтовых вод.

Сокращение заболачивания происходит тогда, когда имеет место положительные неотектонические движения земной коры (поднятие рельефа) и активизация процесса глубинной эрозии.

Торф.

Торф – органогенная порода, образующаяся в процессе естественного отмирания и неполного разложения болотных растений в условиях избыточного увлажнения и недостаточного доступа воздуха. Органического вещества в нём до 50—60%.

Торфяные залежи образуются при зарастании болотной растительностью водоёмов, мелких озёр, медленно текущих речек или заболачивании водораздельных пространств, пойм рек.

В верхнем слое болотная растительность медленно разлагается, образуя торфогенный слой. Растительность, нарастающая поверх этого слоя, постепенно погребает его и полностью изолирует от доступа воздуха.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

В более глубоких слоях торфяной залежи разложение растительных остатков почти прекращается и торф сохраняет свои свойства на протяжении тысячелетий.

На поверхности болота торф нарастает очень медленно — около 1 мм в год.

Влияние человека на развитие заболачивания.

В условиях хозяйственной деятельности человека заболачивание происходит активно на нарушенных территориях – городских площадях, на орошаемых землях, участках, прилежащих к водохранилищам, в результате и сплошной рубки леса в районах с избыточным увлажнением.

К основным техногенным факторам заболачивания относятся:

а) искусственное изменение гидрогеологических условий местности, приводящее к развитию подпора грунтовых вод, подтоплению и устойчивому обводнению пород;

б) неправильная планировка рельефа, нарушение при этом естественного поверхностного стока и дренажа;

в) создание водонепроницаемых оснований, задерживающих дренаж инфильтрующихся вод;

г) неправильное строительство инженерных сооружений (дорожных насыпей, дамб и т.п.), нарушающих естественный поверхностный сток;

д) строительство гидроузлов;

е) в зоне тундры и многолетнемерзлых пород – нарушение естественного растительного покрова и тепло-влагообеспеченности грунтов сезонно-талого слоя.

Борьба с заболачиванием.

Для борьбы с заболачиванием в инженерно-геологических целях применяют различные мероприятия, а также специальные конструктивные схемы строительства на заболоченных территориях:

а) осушение болот путем создания систем дренажа территорий;

б) создание насыпей под сооружения;

в) создание песчаных или специальных дрен (заполненные дрены);

г) замораживание;

д) применение свайных оснований.

Осушительные системы.

Осушение территории производится при помощи закладки осушительной системы, состоящей из следующих элементов:

1. Регулирующая сеть осушителей: дрены, каналы, ложбины, предназначенные для понижения уровня грунтовых вод или ускорения стока поверхностных вод и их отвода за пределы осушаемой площади.

2. Проводящая сеть, закрытые или открытые коллекторы, выполняет водопроводную функцию, она принимает воду из регулирующей сети осушителей и транспортирует её в магистральный канал.

3. Магистральный канал – открытый канал, принимающий воду из коллекторов, он впадает в водоприёмник на самотёчной системе осушения.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

4. Водоприёмник - естественный водоток (ручей, река) или водоём (озеро), сухой тальвег или овраг, в которые впадает магистральный канал и сбрасывает всю избыточную воду с осушаемой площади.

5. Оградительная сеть – предназначена для защиты осушаемой территории от поступления избыточных поверхностных (склоновых или русловых) и грунтовых вод. Дамбы обвалования.

Причины подтопления.

Основными причинами подтопления являются:

- широкое распространение слабо фильтрующих грунтов на территориях способных ухудшать свои фильтрационные свойства под воздействием строительства и эксплуатации;
- плоский слаборасчлененный рельеф, характеризующейся низкими фильтрационными свойствами грунтов, близким залеганием водоупора, слабой естественной дренированностью;
- техногенные утечки из водонесущих коммуникаций, плохая организация сброса ливневого стока на территории населенных пунктов, железнодорожных насыпей и многочисленных автодорог, препятствующих естественному стоку;
- засыпка естественных водоемов, служивших местом сбора поверхностных вод с окружающей территории, нарушение поверхностных стока вод на территориях, прилегающих к болотам и заболоченным участкам;
- отсутствие соответствующей вертикальной планировки при строительстве города и системы дренажных и ливневых коллекторов.

Последствия подтопления.

Высокое стояние уровней грунтовых вод способствует быстрому износу наземных и подземных инженерных сооружений и коммуникаций, заболачиванию и засолению почв, гибели растительности, созданию неблагоприятной экологической обстановки в населенных пунктах, развитию и активизации опасных экзогенных геологических процессов (просадки грунтов, пучения и т. п.), повышению сейсмичности.

Кроме населенных пунктов подтоплению грунтовыми водами подвержены сотни тысяч гектаров сельскохозяйственных земель.

Борьба с подтоплением.

Комплекс основных мероприятий по борьбе подтоплением:

1. Откачка воды из затопленных подземных сооружений со сбросом воды на поверхность в ближайшие понижения рельефа.

2. Искусственное повышение планировочных отметок территории строительства.

3. Способом защиты от подтопления является метод лучевого дренажа (ЛД), который заключается в водопонижении системой вертикальных колодцев. Из каждого колодца бурятся ниже подтопленных объектов лучевые горизонтальные дренажные скважины.

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Лучевыми дренажными скважинами наиболее эффективно осушаются слабопроницаемые суглинки, что является одним из главных преимуществ данного способа инженерной защиты от подтопления.

Поступающая из скважин вода собирается в водосборнике, находящемся в дренажном колодце, откуда откачивается насосом.

При сооружении колодца ЛД применяются экологически чистые материалы, поэтому дренажная вода может использоваться для полива и других видов водоснабжения.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Лекция 18. Просадочные явления

Просадочный процесс – реализация в пространственно-временной системе просадочных свойств лёссовых пород под действием их собственного веса или дополнительной нагрузки при увеличении их влажности до значений, превышающих влажность начальной просадочности, вследствие природных и техногенных причин.

К просадочным относятся грунты, которые под действием внешней нагрузки и собственного веса или только от собственного веса при замачивании водой или другой жидкостью претерпевают вертикальную деформацию (просадку) и имеют относительную деформацию просадки $\varepsilon_{sl} \geq 0,01$.

К просадочным относятся лессовые породы и пепловые туфы.

Просадочные процессы распространены в континентальных засушливых областях, в сухих степях и полупустынях.

Инженерно-геологическое значение изучения просадочных явлений.

К инженерно-геологическому значению изучения просадочных явлений относят:

- промышленно-городское строительство – подъём уровня грунтовых вод и просадка;
- ирригационное строительство – утечки из каналов, размыв берегов и просадочные явления;
- дорожное строительство;
- переработка лессовых берегов водохранилищ.

Состав, строение и состояние лессовых пород

Просадочность лёссовых пород обусловлена особенностями их состава, состояния и строения:

1) лёссовые породы – это структурированные песчано-глинисто-пылеватые дисперсные системы с резким преобладанием пылеватых частиц и обладают малой гидрофильностью;

2) лёссовые породы характеризуются низкими значениями плотности скелета и высокой пористостью (42-55%), причем среди пор преобладают поры открытые;

3) эти породы до момента замачивания обладают низкой природной (естественной) влажностью и, соответственно, твердой или полутвердой консистенцией;

4) в лёссовых породах в больших количествах (до 10% и более) присутствуют карбонаты и воднорастворимые соли, которые в условиях невысокой природной влажности обуславливают структуру переходного (коагуляционно-цементационного) типа с высокой прочностью структурных связей и всего грунта в целом;

5) прочность такой структуры в лёссовых породах резко по величине и быстро во времени падает при водонасыщении.

Показатели просадочности.

К основным показателям, количественно характеризующим просадочность грунтов, относятся коэффициент относительной просадочности (относительная просадочность), начальное просадочное давление и начальная просадочная влажность. К этой же категории показателей относят суммарную просадку толщи лёссовых пород и величину мощности просадочной толщи.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

Коэффициент относительной просадочности – показатель, учитывающий вертикальную компоненту изменения объёма грунтов при просадке:

$$\varepsilon_{sl} = \frac{\Delta h_{sl}}{h_0},$$

где Δh_{sl} – просадка образца грунта в результате замачивания; h_0– высота образца грунта с природной влажностью при природном давлении. При $\varepsilon_{sl} \geq 0{,}01$грунты относят к просадочным.

Величина *начального давления просадочности* представляет собой минимальное давление, при котором в условиях полного водонасыщения проявляется просадка. За величину начального просадочного давления по результатам компрессионных испытаний принимают давление, при котором относительная просадочность равна 0,01.

Начальная просадочная влажность лёссовых пород представляет собой влажность, при которой просадочные грунты, находящиеся под давлением собственного веса или дополнительного давления сооружения, начинают проявлять просадку. Это минимальное значение влажности, при котором под действующим давлением.

Мощность (величина) просадочной толщи лёссовых пород представляет собой величину той части их разреза в метрах, в пределах которой проявляются просадочные свойства лёссовых пород при действующей нагрузке. Численное значение этой величины зависит от величины нагрузки и достигает наибольших значений (до 35-40 м и более) при действии собственного веса пород и дополнительной нагрузки.

Суммарная, или полная, просадка толщи лёссовых пород (S_{sl}) — максимальная величина просадки, которая формируется при реализации просадочных свойств при замачивании под действием собственного веса пород и дополнительной нагрузки от сооружения. Величина этого показателя изменяется в широком диапазоне и может достигать 2-3 м.

Подразделение толщ лёссовых пород.

Согласно СНиП 2.02.01-83 *грунтовые условия территорий*, сложенных просадочными грунтами, в зависимости от возможности проявления просадки грунтов от собственного веса подразделяются на два типа:

I тип – грунтовые условия, в которых возможна в основном просадка грунтов от внешней нагрузки, а просадка от собственного веса грунта отсутствует или не превышает 5 см;

II тип – грунтовые условия, в которых помимо просадки грунтов от внешней нагрузки возможна просадка от собственного веса и размер ее превышает 5 см.

Гидродинамические схемы обводнения массивов лессовых пород.

При местном замачивании сверху при условии, что мощность просадочной толщи больше ширины источника замачивания, в массиве лёссовых пород образуется увлажненная его часть, имеющая в поперечном сечении форму, близкую к усеченному эллипсу.

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Когда ширина источника замачивания больше или равна мощности просадочной толщи лёссовых пород интенсивное замачивание сверху массивов лёссовых пород приводит к формированию увлажненной зоны трапециевидной формы.

Развитие просадки протекает быстро в первый период и затем замедляется. Просадка в этот период формируется в течение 1-3 месяцев. Полное затухание просадки массива лёссовых пород даже при интенсивном непрерывном замачивании сверху наступает через 1-3 года.

Просадочные формы рельефа.

В результате просадочной деформации массива лёссовых пород на его поверхности появляются неровности, часто имеющие в природных условиях овальную форму и называемые «степными блюдцами». Среди них различают: малые – диаметром 3-30 м при глубине 0,5-1,5 м и крупные – диаметром более 30 м при глубине 1,5-5 м. Иногда вокруг блюдцеобразных понижений формируются концентрические трещины шириной по поверхности массива около 20 см и глубиной не более 4-5 м.

Более крупные отрицательные линейно ориентированные формы рельефа на поверхности массивов лёссовых пород получили названия «поды» и «долы». Они могут иметь длину до 400 м и более. Бессточные формы.

Методика инженерно-геологического изучения просадочных процессов.

При выполнении инженерно-геологических работ в районах, сложенных просадочными грунтами, в дополнение к общим требованиям должны быть установлены:

– площадные особенности распространения лёссовых пород;

– относительная просадочность лёссовых пород от собственного веса и нагрузки от фундамента для всех литологически различных слоев и с интервалом 1-2 м в однородных по составу слоях;

– величина начального просадочного давления с интервалом 1-2 м по глубине и для каждого литологически различного слоя просадочной толщи;

– величина начальной просадочной влажности для всех различных по составу пород слоев в случаях отсутствия замачивания просадочных грунтов;

– мощность толщи просадочных лёссовых пород;

– тип грунтовых условий исследуемых площадок по просадочности; возможные величины просадок толщ лёссовых пород от их собственного веса и нагрузок;

– модули деформации грунтов в пределах сжимаемой зоны при природной или установившейся влажности и в водонасыщенном состоянии;

– степень изменчивости сжимаемости основания, сложенного просадочными грунтами;

– прочностные характеристики (удельное сцепление и угол внутреннего трения) просадочных грунтов природного сложения, а также уплотненных до различной степени плотности.

Методы изучения просадочных процессов.

Для получения названных характеристик лёссовых пород и сложенных ими массивов необходим широкий комплекс методов:

- инженерно-геологическая съемка и маршрутные исследования;

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

- проходка горных выработок – шурфов, дудок, скважин;
- отбор по определенной методике образцов для последующего изучения состава, строения, состояния и свойств лёссовых пород;
- лабораторное изучение этих образцов;
- опытно-полевое изучение просадочности лёссовых пород;
- статистическую обработку полученных данных и получение нормативных и расчетных показателей для каждого выделенного в массиве лёссовых пород инженерно-геологического элемента.

Меры предупреждения просадочного процесса.

Мерами предупреждения просадочного процесса являются:

• Предотвращение утечек.

• Предварительное замачивание.

Для того, чтобы просадочные явления не возникали в связи с замачиванием, замачивание горных пород осуществляется сначала.

• Мелиорация: уплотнение трамбованием, цементация, обжиг, создание техногенного массива.

• Свайные фундаменты.

Основные факторы, способствующие просадочному процессу.

Лёссовые породы при естественной влажности обладают низкой деформируемостью и относительно высокой прочностью. Их увлажнение до значений, превышающих начальную просадочную влажность, приводит к развитию просадочных деформаций в массивах. Поскольку природные просадки развиваются при действии собственного веса пород массива, то необходимым условием для их проявления является достаточное увлажнение, приводящее к снижению прочности грунта.

Внутренние факторы: химико-минеральный состав – сульфаты, карбонаты, водорастворимые хлориды; состав – малое содержание воды; строение – преобладание пылеватой фракции, активная пористость >15%.

Внешние факторы: напряженное состояние пород, гидравлический напор и количество поступающей воды, её химический состав, динамические воздействия.

В природных условиях возникновение просадочных явлений возможно при застаивании атмосферных вод в малейших понижениях, обусловленных эрозией поверхности.

Развитие просадочных деформаций.

Просадка – сложный физико-химический процесс, основным проявлением которого является уплотнение грунта за счет перемещения и более компактной упаковки отдельных частиц и их агрегатов, благодаря чему понижается общая пористость грунта до состояния, соответствующего действующему давлению.

Просадочные деформации протекают следующим образом. По активным порам и трещинам в лессовую породу проникает вода, ослабляющая и разрушающая ионно-электростатические структурные связи. При этом резко уменьшается капиллярное давление, что также ведет к уменьшению сцепления между частицами. Одновременно происходит разрушение неводостойких мезо- и макроагрегатов, составляющих основу неводостойкой системы лессового грунта. Воздействие гидростатических сил

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

активизирует свободный поровый воздух. Он приходит в движение, усиливая разрушение агрегативной системы грунта. Ослабляются и исчезают кристаллизационные связи, сформированные за счет цементации легко растворимыми, а в дальнейшем и среднерастворимыми солями. В случае наличия фильтрационного тока воды возникает процесс выщелачивания.

Скорость и площадь развития просадочности определяются геологическим строением участка, уровнем залегания грунтовых вод, степенью однородности строения и водопроницаемости лессовой толщи.

Прогноз развития просадочного процесса.

Тип грунтовых условий массивов лёссовых пород по просадочности определяется по данным лабораторных испытаний или в ходе опытно-полевых работ, в частности по результатам замачивания опытных котлованов.

Величина просадки массива лессовых пород (Sпр) определяется по формуле суммирования:

$$S_{\text{пр}} = \sum_{I=1}^{n} \varepsilon_{sli} h_i K_i$$

где $\varepsilon_{sli} h_i$ – относительная просадочность, определяемая для каждого выделенного слоя массива просадочного грунта при давлении P_i (равном природному или сумме природного и дополнительного давления) в середине рассматриваемого слоя: h_i– толщина того же слоя лессового грунта, см; K_i – коэффициент условий работы основания.

Мощность просадочной толщи принимается на глубине, ниже которой относительная просадочность при суммарном давлении на грунт от его собственного веса и дополнительных нагрузок не превышает 0,01.

Время развития просадок определяется путем длительных испытаний на компрессионных приборах, путем замачивания опытных котлованов, а также натурными наблюдениями просадочных деформаций сооружений.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Лекция 19. Эоловые процессы

Эоловыми называют процессы, обусловленные деятельностью ветра, а также создаваемые ими формы рельефа и отложения.

Они включают как *эоловую денудацию (*дефляцию, корразию), так и аккумуляция.

Протекают эти процессы в сухих (пустынях) и умеренно влажных областях всех климатических зон.

Эоловая денудация - разрушительная работа ветра, выражающаяся в выдувании и раздувании рыхлого песчаного, пылеватого и глинистого материала, и в корразии, которая производится воздушным потоком, насыщенным песком, реже мелким щебнем.

19.1. Дефляция

Дефляция – (*deflatio* — выдувание) — разрушительная деятельность ветра, выражающаяся в развевании и выдувании песчаного пылеватого и глинистого материала.

Различают выдувание площадное, или плоскостное, понижающее поверхность со скоростью до 3 см в год, и локализованное, приуроченное к дорогам и пухлым солончакам, или сорам (соровая дефляция), образующее сорово-дефляционные впадины.

С дефляцией связано образование ребристых и сетчатых поверхностей (сотовое выветривание) пестрого литологического состава.

Рельеф так называемых аккумулятивных пустынь также наполовину обязан своим существованием дефляции, так как аккумулятивные песчаные формы возникают за счет песка, выдутого с какой-либо поверхности, на которой после выноса образуется углубление.

Одновременно с развеванием песка выносится содержащиеся в песчаных толщах пылеватые частицы. Не находя условий для оседания в пустынях, они уносятся за ее пределы и отлагаются в предгорьях, давая материал для образования толщ лёссовых пород.

Форма разрушения ветром породы зависит от её состава и строения. Более слабые породы обтачиваются больше, чем более прочные, в породах образуются бороздки, желобки, ниши, ямки. Способность ветра выделять наиболее твердые и крепкие участки пород носит название эоловой препарировки. Развитию дефляции способствует литологический и гранулометрический состав пород: в первую очередь выдуваются более мелкие частицы, обнажая так называемые «бронированные поверхности» и создавая котловины, борозды, траншеи и другие пониженные формы рельефа.

Корразия.

Корразия – (*corrasio* — обтачивание) — процесс обтачивания, шлифования, полирования горных пород и высверливания в них ниш ветром, обломочным материалом, а также обтачивание самих обломков.

В пустынях корразия производится песком, несомым ветром, в ложе ледника — валунами, вмерзшими в лед, в русле реки — обломками, перекатываемыми водой, на склонах — в результате гравитационных перемещений. Таким образом, под корразией

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

понимается достаточно широкий комплекс, которые связаны с тем, что обтачивание горных пород производится тем обломочным материалом, который несут либо ветер, либо ледник.

На рисунке 19.1 показаны формы рельефа, которые образуются в песчаных районах, где корразия развита интенсивно. Рыхлый, тонкий песчаный материал, которых легко выносится ветром – удален, остались только крепкие структуры.

Рис. 19.1. Каменные останцы арки и башни, выточенные корразией

19.2. Эоловые отложения

В результате эоловых процессов формируются эоловые отложения. При ослаблении скорости ветра происходит аккумуляция песка и пыли и формируются *эоловые отложения*.

Они образуют *подвижные* (дюны, барханы) и *закрепленные* (грядовые, бугристые) массивы песков.

Дюны образуются по берегам рек и морей в результате навивания песка ветром возле какого-нибудь препятствия. Это холмовидные накопления песка высотой до 20-40 м

Барханы возникают в пустынях, где постоянно дуют сильные ветры преимущественно одного направления. По морфологии они представляют песчаные холмы серповидной формы. Высота бархана в пустынях достигает 60-70 м при ширине крыльев в десятки и даже сотни метров.

Кроме подвижных форм рельефа, образуются и закрепленные. Закрепленные пески распространены достаточно широко. *Грядовые пески* представляют собой вытянутые формы высотой 10-20 м; *бугристые пески* – неподвижные холмы с пологими склонами, редко высотой более 10 м.

Эоловая денудация.

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Характер и интенсивность эоловой денудации определяется группой факторов как природного, так и техногенного генезиса.

Интенсивность эоловой денудации определяется *типом* и *скоростью ветра*.

Чем больше скорость ветра, тем значительнее производимая им работа: 3-4-бальный ветер (скорость 4,4-6,7 м/с) несёт пыль; 5-7- бальный (9,3-15,5 м/с) – песок, а 8- бальный (18,9 м/с) – гравий. Дефляция усиливается во время сильных атмосферных вихрей – смерчей и ураганов. Скорость ураганов превышает 30 м/с и достигает 60-70 м/с.

Резкое кратковременное усиление ветра называется шквалом.

Смерч – атмосферный вихрь, возникающий в грозовом облаке и затем распространяющийся в виде тёмного рукава или «хобота» по направлению к поверхности суши или моря. Смерчем частицы перемещаются на расстояния до 60 км.

При значительной концентрации частиц в воздухе и большой скорости ветра возникают *песчаные* или *пыльные бури*.

Большую работу по разрушению пород производит *корразия*.

Факторы эоловой денудации.

Форма разрушения ветром породы зависит от её *состава и строения*. Более слабые породы обтачиваются больше, чем более прочные, в породах образуются бороздки, желобки, ниши, ямки. Способность ветра выделять наиболее твердые и крепкие участки пород носит название *эоловой препарировки*.

Развитию дефляции способствует литологический и гранулометрический состав пород: в первую очередь выдуваются более мелкие частицы, и строение массива: обнажая так называемые «бронированные поверхности» и создавая котловины, борозды, траншеи и другие пониженные формы рельефа.

Гидрогеологические факторы – глубина залегания подземных вод и увлажненность горных пород и почв зоны аэрации. Дефляция развивается только на сухих массивах и на не увлажненных почвах.

Геоморфологические факторы – дефляции способствуют открытые ровные пространства, где скорость ветра может достигать больших величин, но дефляция может развиваться и в регионах со сложным рельефом, конфигурация которого обусловливает сильные ветры вдоль определенных долин, межгорных впадин.

Техногенные факторы: уничтожение растительности; осушение земель; неправильная агротехника на полях; перевыпас скота. Особенно сильные пыльные бури возникают при нерациональной распашке земли.

В результате современной дефляции формируются:

1) отрицательные формы рельефа, образование которых связано в основном с процессом выдувания: пятна и котловины выдувания, "яреи".

2) положительные формы рельефа (дефляционно-аккумулятивные), связанные с процессами перевевания песка: дюны и бугристые пески.

Эоловый перенос и аккумуляция.

Процесс переноса ветром частиц обломочного материала можно назвать планетарным, так как эти частицы переносятся ветром на большие расстояния по всему земному шару.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Среди эоловых отложений выделяют глинистые, пылеватые и песчаные.

Песчаные эоловые отложения чаще всего образуются в непосредственной близости от областей дефляции и корразии.

Глинистые и пылеватые эоловые отложения, в отличие от песчаных, могут осаждаться на значительном удалении от области развевания.

Эоловая аккумуляция формируется под действием *техногенных факторов:* создание искусственных положительных или отрицательных форм рельефа, способствующих накоплению отложений; создание искусственных массивов дисперсных грунтов (отвалов, насыпей и т.п.), способных к перевеиванию;

- искусственные планировки рельефа, обнажающие песчаные массивы на открытых пространствах;
- осушение территорий, сложенных песчано-пылеватыми грунтами;
- искусственное сведение растительности, ведущее к развитию процесса опустынивания.

Защита от негативного воздействия эоловых процессов.

Дефляция разрушает грунты в основании сооружений, обнажает трубопроводы, разрушает дамбы, насыпи и другие инженерные сооружения. Огромный ущерб дефляция наносит сельскому хозяйству, выдувая из почв наиболее плодородные горизонты и обусловливая ветровую эрозию почв.

Защита почв от дефляции сводится к максимально возможному повышению количества биомассы на поверхности почвы. Развитию дефляции противодействует правильная агротехника на полях, недопущения перевыпаса скота на пастбищах и гидромелиоративные работы.

К основным *защитным мерам от эоловой аккумуляции и движущихся песков* относятся:

- *фитомелиорация* – высадка растений, создание защитных лесополос и т. п.;
- искусственные преграды (щиты, стенки, заборы и т. п.);
- закрепление верхнего слоя песков (методами технической мелиорации – битумизация и др.);
- создание почвенного слоя;
- изменение гранулометрического состава пород верхнего слоя.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Лекция 20. Вулканизм

Вулканизм как глобальный процесс является частью магматизма и его эволюции в истории Земли. Это комплекс явлений, связанных с излиянием и выбросом магматического вещества на поверхность Земли и в атмосферу. Благодаря вулканизму в течение геологической истории сформировались внешние оболочки

Земли. На Земле свыше 800 действующих вулканов. Их общая средняя «производительность» – 3-6 млрд т извергаемого вещества в год. Вещество это извергается из недр планеты в расплавленном состоянии с температурой, обычно превышающей 1000 °С, и представляет собой в основном пирокластический материал: вулканические пеплы, шлаки, бомбы. Небольшая часть извергаемого материала лавовые потоки и лавовые купола. Вулканы выносят на поверхность и газы. В среднем масса газа равна 3-4 % от веса извергаемого раскаленного пирокластического материала. Показано наличие в них важнейших составляющих живого вещества – абиогенных органических соединений, в том числе аминокислот, нуклеотидов и сложных углеводородов. Главную опасность для жизни представляют лавовые потоки, грандиозные оползни, боковые взрывы, большие скопления выброшенной тефры, и быстро двигающиеся пирокластические и грязевые потоки. Чем длиннее период покоя вулкана, тем более мощным может быть его извержение. С объемом продуктов в 1 км^3 они бывают в среднем раз в 500 лет, в 10 км^3 – раз в 5000 лет, а с объемом более 100 км^3 – раз в 50 000 лет. Т.е. чем более сильное извержение вулкана, тем реже он работает на поверхности Земли.

Рис. 24.1. Сангай, Южная Америка

20.1. Области современного вулканизма

Кавказ, Южно-Байкальская, ряд Забайкальских, Дальневосточных, Северо-Восточных. Главной областью вулканизма является Курило-Камчатская. Вулканическая деятельность на территории России связана с молодыми горными

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

сооружениями, обрамляющими Россию с юга, юго-востока и востока. Камчатка и Курильские острова, приуроченные к зоне перехода океан - континент, являются самыми обширными на территории Российской Федерации регионами массового проявления молодого вулканизма и сосредоточения всех действующих вулканов. Вместе они составляют Курило-Камчатскую вулканическую область, пространственно совпадающую с одноименным звеном системы островных дуг Северо-Западной Пацифики. В Курило-Камчатском вулканическом поясе насчитывается 68 действующих вулканов, или 12 % от общего числа действующих наземных вулканов мира. Средний вес изверженных за год продуктов – 240 млн т, что составляет 16 – 17 % от аналогичного веса изверженных продуктов всех наземных вулканов мира. Длина цепи действующих вулканов составляет здесь 700 км. На Камчатке находится 29 действующих вулканов. Здесь располагаются известнейшие вулканы: Ключевской, Шевелуч, Толбачик, Безымянный, Авачинский, а также не менее известная Долина гейзеров.

Курило-Камчатский вулканический пояс.

Вулкан Ключевской является крупнейшим действующим вулканом Евразии и одним из крупнейших вулканов мира. Его высота 4700 до 4800 м в зависимости от заполнения вершинного кратера. Ключевской поставляет на поверхность Земли 60 млн т базальтов в год, что составляет 2,5 % от вулканических пород, извергаемых всеми 850 действующими наземными вулканами планеты. Продуктивность Ключевского вулкана в 35 раз больше средней для вулканов суши. Среди разнообразных твердых, жидких и газообразных продуктов, которые выносят вулканы Камчатки, более 95 % по весу составляют силикатные расплавы вещества коры и верхней мантии - базальты, андезито-базальты, андезиты, дациты.

Рис. 20.2. Вулкан Ключевской

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

Вулканизм Камчатки начал развиваться в меловое время. Усиленная вулканическая деятельность проявлялась на обширной территории Камчатки с верхнего плиоцена в течение последних 2-2,5 млн лет. В четвертичное время на Камчатке образовались два вулканических пояса: Один из них приурочен к Срединному хребту Камчатки, другой – к Восточной Камчатке.

В современную эпоху вулканические ландшафты Камчатки определяют порядка 4000 разнообразных по размерам и происхождению вулканических образований, возникших за последние 40-50 тыс. лет. Из крупных форм самые заметные – существенно пирокластические стратовулканы, конусы которых на 70-80 % сложены пирокластикой и на 20-30 % лавами.

Север Кавказского региона.

Конец прошлого столетия характеризовался сейсмической активизацией и резкой активизацией грязевого вулканизма на Тамани и в Дагестане. Сейсмическая активность в последние десятилетия распространилась к северу от Малого Кавказа. В европейской части России к потенциально действующим относится вулкан Эльбрус, у которого не было сильных эксплозивных извержений 1700-1800 лет, и вулкан Казбек, который, по данным радиоуглеродного датирования, извергался около 6000 лет назад. Двухвершинный вулкан Эльбрус высочайшая вершина Европы (а. о. 5642,7 м).

Северная часть Большого Кавказского хребта относится к одному из наиболее активных в геодинамическом плане регионов России. В истории Эльбрусского вулканического центра выделены крупные циклы развития: докальдерный, кальдерный, начало которого ознаменовалось мощным эксплозивным извержением, приведшим к образованию кальдеры, и посткальдерный, в результате которого сформировался современный стратовулкан Эльбрус. Подавляющее большинство лавовых потоков вулкана Эльбрус отвечает по составу дацитам, а туфовые горизонты - риолитам.

Обширный снежно-ледовый покров (площадь 139 км2, объем льда "6 км3) делает вулкан Эльбрус более опасным, к извержению обязательно добавится опасность от образования лахаров и крупномасштабных наводнений, образования подпруженных озер и пр. Ледники питают многие реки и ручьи. В средней и нижней частях долины крупные водохранилища – Джегутинское и Краснодарское. Высокий вулкан Эльбрус и гигантская Эльбрусская кальдера были в прошлом и остаются в настоящее время крупнейшим на Кавказе центром оледенения.

Исследователи доказывают возможность происхождения катастрофических обвалов и быстрых подвижек ледников на вулкане Эльбрус и в дальнейшем. Период повторяемости сильнейших землетрясений составляет 1500-1900 лет, а вулканических извержений – 1000-2000 лет, причем отмечается отсутствие синфазности в проявлениях того и другого вида природных катастроф.

Горное обрамление озера Байкал.

Область включает ряд обособленных областей новейшего вулканизма – Токинскую, Удоканскую, Витимскую и крупнейшую среди них Южно-Байкальскую. Они входят в состав обширной Центрально-Азиатской позднекайнозойской вулканической провинции, которая в целом типично внутриплитная. По вулканической

активности она отличается от вулканических областей на границе литосферных плит. Вулканические проявления представлены многочисленными лавовыми полями, возникшими на протяжении последних 5 млн лет. Формирование вулканических полей продолжается до настоящего времени.

Область объединяет поля позднекайнозойских вулканических пород основного состава, распространенных на площади 600 × 400 км в южном горном обрамлении оз. Байкал. Формирование области началось в позднем олигоцене. Наибольшего размаха вулканическая активность достигла в раннем миоцене, когда было сформировано лавовое плато большой (до 500 м) мощности.

Наиболее значительные излияния были связаны с Восточно-Тувинским вулканическим ареалом, где возникло крупное Восточно-Тувинское лавовое нагорье (> 2000 км^2) и ряд лавовых потоков большой протяженности (до 120 км) по долинам рек Большого и Малого Енисея, Билина, Кыштага.

Закономерности проявления новейшего вулканизма в этом регионе заключаются в многоимпульсном характере излияний и что отдельные фазы вулканизма разделены интервалами вулканического затишья. Этот регион следует рассматривать как вулканически опасный.

Рис. 20.3. Озеро Байкал

20.2. Типы вулканов, характер вулканических отложений

Характер извержения вулкана определяется составом расплава, его температурой, давлением, концентрацией летучих компонентов и др. Причиной извержения магмы является ее дегазация. Газы, заключенные в расплаве, служат тем «движителем», который вызывает извержение, В зависимости от количества газов, их состава и температуры они могут выделяться из магмы относительно спокойно, тогда происходит *эффузия* лавовых потоков. Когда газы отделяются быстро, происходит мгновенное вскипание расплава, и магма разрывается расширяющимися газовыми пузырьками, вызывающими *эксплозию*. Если магма вязкая и температура ее невысока, то расплав медленно выжимается, выдавливается на поверхность, происходит

экструзия магмы. Способ и скорость отделения летучих компонентов определяют три главные формы извержений: эффузивные, эксплозивное и экструзивное.

Среди вулканов выделяют центральные (извержения происходят через центральные выводные отверстия) и трещинные (лава изливается из трещин в земной коре). Различен процесс извержения и по продолжительности: в одних случаях он кратковременный и ограничивается одним событием, в других – растянут на многие сутки и месяцы.

Один цикл от другого может отделяться стадией поствулканического режима, длящегося десятки и даже сотни лет.

Классифицирование вулканических извержений.

Генетическое классифицирование вулканических извержений по составу магмы и лав. По характеру извержений и их продуктам деятельность вулканов разделяется на четыре категории:

- эффузивную (наземную и подводную) с преобладанием жидкой лавы;
- пирокластовую с преобладанием твердых продуктов извержения;
- эксплозивную – газо-взрывную.

Типы называются по вулкану, извержение которого является образцом.

Эффузивные наземные извержения проявляются на побережьях континентов (вдоль зон глубинных корово-мантийных разломов) и связаны с основной, базальтовой, магмой.

Трещинные извержения исландского типа на территории России наблюдаются на Камчатке. Здесь 29 действующих вулканов, расположенных вдоль разломов параллельно берегу океана. Извержения камчатских вулканов очень разнообразны и относятся преимущественно к пирокластовой категории. В июле 1975 г. произошло извержение вулкана Плоский Толбачик по исландскому типу. На склоне вулкана образовалась протяженная трещина. Толщина лавы у основания равнялась 40-70 м. Извержение продолжалось 5 месяцев. Было выброшено 2,17 км^3 пирокластического материала (пепел, шлак, бомбы). В атмосферу вылетело 72,28 км^3 (1 млн т) паров воды и газов, изверглось 0,7 км3 (2,52 млрд т) лавы.

Вулканы на Камчатке.

Вулканы пирокластовой (смешанной) категории характеризуются выбросами как лавы, так и твердых и газообразных продуктов. Они центрально-кратерного типа, обладают конусами правильной формы. Обычно конусы состоят из переслаивания лавы и твердых продуктов (бомбы, пепел и др.), в связи с чем их называют стратовулканами. В этой категории выделяют: стромболианский, везувианский, этнинский типы.

В России к везувианскому типу относятся некоторые фазы извержения вулкана Ключевская Сопка на Камчатке. Вулканы этнинского типа распространены на Курильских островах и Камчатке. Ярким примером является Ключевской вулкан, активный в последние 250 лет. Произошло 37 циклов извержений, в среднем м через 6-7 лет. Извержения газов и пирокластического материала происходили через вершинный кратер, а излияния лавы – через боковые трещины. Паразитических конусов на склонах вулкана свыше 60. Лава основного состава, а длина её потоков 16 км.

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Эксплозивные (газово-взрывные) вулканы извергают огромное количество газа и пара и малое количество лавы. Извержения связаны чаще всего с магмой кислого и среднего состава. В эксплозивной категории выделяются: пелейский, кракатауский, маарский и бандайсанский типы. Экструзивные извержения пелейского типа с выдавливанием вязкой лавы имели место на Камчатке у вулканов Безымянного и Шивелуча. В результате мощных эксплозий вершинная часть стратовулкана может быть уничтожена с образованием кальдеры.

Кальдеры очень характерны для полей кислых игнимбритов, порождаемых пепловыми потоками, которые возникают во время мощных эксплозивных извержений. Классическим примером кальдеры глубиной 2,5 км является Верхнечегемская на Северном Кавказе.

Поствулканическая (фумарольная) стадия характеризуется сильным ослаблением вулканической деятельности, когда на поверхность выходят газово-паровые струи и горячая вода. По мере удаления от очага пары воды преобразуются в выбросы горячей, сильно минерализованной воды в виде горячих источников. Источники бывают постоянно действующими или периодическими (гейзерами). Вокруг гейзеров наблюдаются отложения в виде пористых известковистых или кремнистых туфов. В России гейзеры известны в Долине гейзеров.

Одна из характерных особенностей позднеплейстоценовых отложений России – присутствие в них прослоев, линз и пятен вулканических пеплов (тефры). Во всех разрезах вулканический пепел представлен палево-светло-серым (иногда желтоватым или зеленоватым) несцементированным алевропелитом с небольшой примесью разнозернистого песка. Состав пепла трахитовый. Источником пеплов, обнаруженных на юге России, являются Флегрейские поля, располагающиеся к западу от г. Неаполя.

Вулканические формации.

Они состоят из эффузивов, экструзивов, вулканокластических образований и вулканогенно-осадочных пород, объединяемых общим термином «вулканиты». Наряду с вулканитами в состав вулканических формаций входят осадочные породы. В процессе проявления каждого типа вулканизма формируется определенное количество тех или иных разновидностей вулканитов. Океанский вулканизм характеризуется мощными излияниями лав.

Вулканокластических пород при этом образуется всего лишь около 3 %. Вулканогенные обломочные породы в подвижных геосинклинальных системах слагают мощные структурно-фациальные зоны. В подводных условиях и наземных орогенических поясах они резко преобладают над эффузивными породами. Платформенный вулканизм наряду с мощными толщами лавовых покровов дает колоссальное количество вулканокластического материала. При посторогенном вулканизме формируется всего лишь около 10 % вулканокластических пород от общего количества вулканитов.

Изучение вулканитов имеет большое значение для восстановления истории развития земной коры. Оно необходимо для реконструкции вулканических сооружений, составления прогнозных карт, расшифровки генезиса месторождений полезных ископаемых (железо, марганец, полиметаллы, фосфор, редкие элементы,

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

золото и различные нерудные ископаемые). Они изучаются так же, как водоносные и водоупорные горизонты, коллекторы нефти и газа и основания под сооружения.

20.3. Последствия извержения вулканов

Воздействие вулканов на природную среду разнообразно: во-первых, это прямое воздействие на окружающую среду извергающихся вулканических продуктов (лав, пеплов и т. п.); во-вторых - воздействие газов и тонких пеплов на атмосферу и тем самым на климат; в-третьих - воздействие тепла продуктов вулканизма на лед и снег, часто покрывающие вершины вулканов, что приводит к катастрофическим селям, наводнениям и лавинам, и, наконец, вулканические извержения обычно сопровождаются землетрясениями. Особенно долговременны и глобальны воздействия вулканического вещества на атмосферу, что отражается на изменении климата Земли. При катастрофических извержениях выбросы вулканических пыли и газов, сублимирующих частички серы и других летучих компонентов, могут достигать стратосферы и вызывать катастрофические изменения климата. После катастрофических извержений вулканов Этна в Сицилии и Гекла в Исландии замутнение стратосферы привело к резкому двухлетнему похолоданию, массовому неурожаю и гибели скота, эпидемиям, которые охватили всю Европу и вызвали 30-50% вымирание населения Европы. Эксплозивные извержения вызывают климатический эффект типа «ядерной зимы».

Извержение вулканов.

За период 1945-1992 гг. на Камчатке и Курильских островах произошло около 130 извержений различной мощности и типов. Извергнуто порядка 8,4 км^3 лавы и пирокластики и около 0,5 млн т газообразных продуктов. Средний уровень активности вулканов данного региона России составлял 0,18 км^3 в год лавы и пирокластики и 0,01 млн т в год вулканических газов. В течение 1945-1992 гг. в пределах Курило-Камчатского региона отмечались периодические усиления вулканической активности через каждые 10 ± 3 года. Отмечалось двукратное увеличение числа извержений (до шести извержений в год), многократное увеличение расхода лавы и пирокластики (до 1 км^3 в г.) и эмиссии вулканических газов (до 0,1 млн т в год), имели место крупные катастрофические извержения, после которых происходили нарушения климата и природной среды на значительных площадях.

Эмиссия SO_2, CO_2, H_2O, HCl вулканами региона в стадию пассивной и активной дегазации составляет 10 % валовой эмиссии всех остальных вулканов мира. По масштабам воздействия на атмосферу вулканические извержения значительно превосходят антропогенное влияние, хотя и действуют кратковременно.

Другим факторам прямого воздействия вулканов на окружающую среду относится влияние лав и пирокластики на биосферу, гидросферу, населенные пункты, инфраструктуру территорий и т. п. При вершинном извержении Ключевского вулкана на его склоны излились лавовые потоки длиной до 4 км и пирокластические потоки до 6 км, а длина грязевых потоков достигала 30 км. В результате была разрушена дорога около г. Ключи. Пепловая колонна поднималась до высоты 12 км и прослеживалась на 2000 км к востоку, что изменило маршруты полетов самолетов вдоль восточного побережья Камчатки. Интересно изучение извержения вулкана Карымского. Были

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

установлены четкие признаки растяжения и вертикальные деформации земной коры вблизи центра извержения. Размеры кратера 600 × 650 м, а глубина – 58 м. Произошли значительные изменения рельефа берегов Карымского озера. Температура воды в озере повысилась в процессе извержения на 10 °С. До извержения это было чистое пресное озеро, а после извержения превратилось в один из крупнейших в мире водоемов с разбавленной кислотой (pH 3,2) и с минерализацией 6800 мг/л. %. Прежняя жизнь (диатомовые и ракообразные) была уничтожена.

Вулканы и их извержения воздействуют на живые организмы. Вопросы взаимодействия между вулканическими процессами и продуктами, с одной стороны и живыми организмами, с другой – имеют большое практическое значение. В этом отношении можно выделить следующие аспекты:

- влияние живого вещества на преобразование вулканических продуктов и превращение их в осадочные породы;
- влияние вулканизма на экосистемы и медицинский аспект.

При взаимодействии живого вещества с вулканическими пеплами ведет к разложению силикатного вещества пеплов и образованию почв. В качестве примера, можно привести изменение кормовой базы некоторых пород рыб в нерестовых озерах возле вулканических пеплопадов.

20.4. Методика ИГ изучения и прогнозирования развития вулканической деятельности

Районирование областей вулканической опасности – выделение районов разной степени опасности в зависимости от возможности возникновения вулканических извержений и их последствий: лавовых потоков, пирокластических потоков, вулканических бомб, выпадения тефры, обломочных лавин и обрушений склонов вулканов, направленных взрывов, грязевых потоков, вулканических землетрясений, вулканических газов, заражения питьевой воды.

Прогноз извержений вулканов имеет значительные успехи, наиболее важным является прогноз времени, места, силы и опасности извержения. Методы прогноза делятся на долгосрочные, среднесрочные и краткосрочные (оперативные). В основе разработки методов прогнозирования лежит изучение и понимание закономерностей вулканического процесса и механизма извержений.

Само извержение является только одним из этапов в длительном процессе образования, накопления и перемещения магмы в глубинных частях вулкана и выхода ее на поверхность Земли. Этот процесс сопровождается предвестниками вулканических извержений – различными геологическими, геофизическими и геохимическими явлениями, которые предваряют извержения. На вулканический процесс кроме внутриземных оказывают влияние и общепланетарные явления, такие как земные приливы, неравномерность вращения Земли, тектонические движения, атмосферные осадки, изменения атмосферного давления, сезонные изменения температуры, а также внеземные процессы - движения планет, солнечная активность и др.

Прогноз вулканических извержений.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Долгосрочный прогноз извержений и вулканическое районирование основаны на изучении истории развития вулкана, на повторяемости извержений в прошлом, на исследовании связи извержений с космическими и общепланетарными явлениями. Используется в основном при оценке вулканической опасности и вулканическом районировании.

Физической основой краткосрочного прогноза является постепенное и непрерывное возрастание давления в магматическом очаге и выводном канале вулкана перед извержением. Оно вызывает напряжения и упругие деформации в твердых породах, изменение их физ. свойств, что отражается в физическом поле в районе вулкана. Установление закономерностей связи изменений физического поля вулкана с его деятельностью и непрерывные наблюдения за этими изменениями - суть краткосрочного прогноза извержений. Наиболее перспективными считаются методы краткосрочного прогноза, основанные на наблюдениях за вулканическими землетрясениями, деформациями земной поверхности и газогидрохимическими явлениями на вулканах.

Количественное описание динамики магматических процессов, основанное на фундаментальных физических законах, позволяет анализировать многие геодинамические процессы в теле вулканической постройки с учетом резонансных особенностей вулканических систем. Это открывает определенные перспективы при решении задач прогнозирования извержений (места и времени) и сопутствующих им катастрофических событий.

Потенциальная вулканическая опасность.

К традиционным видам фатальных вулканических явлений относят пирокластические потоки, лахары и др. Максимальное снижение последствий их воздействия на природную среду, людей и хозяйство зависит от прогноза и своевременного оповещения о готовящемся вулканическом извержении. Прогноз строится на совокупности разнообразных параметров, среди которых предвестники извержений, цикличность извержений и др. Наиболее детальные исследования по этой проблеме в нашей стране были проведены на Камчатке, Кавказе и юге Сибири. На Камчатке проведены широкомасштабные вулканологические исследования, которые позволили воссоздать режим активности большинства действующих вулканов региона за 10 000 лет и составить карты вулканической опасности. Для оценки геотермальных ресурсов и их использования на Камчатке проводится изучение конвективного выноса тепла. По подсчитанным объемам вулканитов вынос тепла оценивается в $34{,}45 \cdot 10^8$-Дж/с. В областях современного вулканизма наиболее интенсивный вынос тепла связан с функционированием современных гидротермальных систем, проявляющихся на поверхности сосредоточением на небольшой площади различных форм гидротермальной деятельности. Гидротермальные системы – это термоаномалии, формирующиеся в верхних частях земной коры в областях современного вулканизма, возникающие при внедрении в водоносные слои глубинного теплоносителя, например магмы. Например, на Камчатке выделяется т.н. *Паужетская гидротермальная система*.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

20. 5. Гидротермы

Все известные гидротермальные системы и термопроявления расположены в Восточно-Камчатском и Центрально-Камчатском вулканических поясах. Источники теплового питания – восходящий флюидный поток и неглубокозалегающее магматическое тело как показатели связи гидротермальных систем с вулканической деятельностью.

Всего насчитывается более 150 групп термальных источников. Гидротермы Камчатки выносят 2310 МВт тепла, причем 1771 МВт тепла составляет тепловая разгрузка высокотемпературных гидротермальных систем. По характеристике тепловой мощности конкретных гидротермальных систем и групп термальных источников оцениваются прогнозные ресурсы геотермальных месторождений.

Высокотемпературные месторождения, представляющие собой участки крупных высокотемпературных гидротермальных систем, вызывают интерес, так как благодаря высокой температуре в недрах (180-300 °С) в скважинах возможно получение пара и его использование для выработки электрической энергии. Высокотемпературный теплоноситель применяется для теплоснабжения различных объектов, для извлечения полезных химических компонентов и в некоторых случаях в бальнеотерапии. Термальные воды с температурой менее 100° используются в теплоснабжении, обогреве теплично-овощных комбинатов, в бальнеологии.

Вулканическая активность.

Минимальные ресурсы высокотемпературных гидротермальных систем Камчатки равны примерно 7000 МВт, С учетом коэффициента извлечения и использования электрической энергии они могли бы обеспечить работу геотермальных станций мощностью порядка 1000 МВт.

Возможность возобновления вулканической активности изучалась также в Южной Сибири, в Южно-Байкальской вулканической зоне. развитие этой области, связанное с деятельностью мантийного плюма, началось примерно 35 млн лет назад и продолжается до настоящего времени. Новейший вулканизм тяготеет к периферии вулканической области, что е потенциально опасно в отношении возобновления катастрофической вулканической деятельности.

Проблема возобновления вулканической активности в пределах Кавказа в связи с густой заселенностью этого региона активно изучается. Вулкан Эльбрус был активен в голоцене, и вероятность его извержения в будущем высока. Установлено, что в интервале 500-590 лет назад в Приэльбрусье зафиксированы пожары, выявлены катастрофические лахары , землетрясения (2520 ± 60 лет назад), запруды рек, аэральный перенос больших объемов пеплового материала на расстояния до 700 км и т. п.

Для достоверного прогноза на действующих вулканах проводят мониторинг вулканической активности. На Камчатке с 1946 г. вблизи вулкана Ключевского проводятся инструментальные сейсмологические наблюдения. В 1990-х гг. Институтом вулканологии проводится аэрофотограмметрическая съемка всех действующих вулканов Камчатки, Мониторинг действующих вулканов для прогноза основных взрывных событий является серьезной проблемой вулканологии.

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

20.6. Грязевой вулканизм

Грязевые вулканы представляют собой пологие сопки, возвышающиеся над местностью на несколько метров. Конус грязевой сопки сложен продуктами ее извержения, сопочной брекчией. На вершине расположен кратер, от полуметра до 2-3 м в диаметре, в кратере в период покоя образуется озерцо или лужа. В некоторых случаях грязевой вулкан не образует возвышения в рельефе, а представляет собой поле высохшей грязи, становящейся жидкой по мере приближения к жерлу – грифону.

По характеру извержения и консистенции выбрасываемой грязи различают «густые» и «жидкие» сопки. «Густые» образуют конус, и извержения их характеризуются регулярной периодичностью, которая может составлять несколько лет. В периоды покоя сопочная брекчия высыхает и закупоривает жерло, но продолжается выделение газов по трещинам. При следующем извержении образовавшаяся пробка взламывается взрывом, а вырвавшаяся струя газа с разжиженной грязью иногда самовозгорается.

В «жидких» сопках извержения происходят более спокойно, как излияния из переполняющего сосуда. В периоды покоя в кратере таких сопок происходит пульсирующее выделение газовых пузырей.

По составу продуктов извержения грязевые вулканы обнаруживают связь с нефтяными и газо-нефтяными залежами и могут служить индикаторами потенциальной нефтегазоносности территории. В составе газов преобладает метан, а также углекислые и сернистые газы.

Твердая составляющая выбросов грязевых вулканов представляет собой измельченные частицы окружающих и подстилающих пород, которые вместе с водой и газами образуют сопочную грязь, превращающуюся в дальнейшем в сопочную брекчию. Жидкая грязь обычно содержит единицы (4-6 %) процентов твердых частиц, а твердая – десятки (40-50 %). По механическому составу сопочная грязь Таманской области близка к глинам майкопской свиты. Жидкая грязь обычно содержит единицы (4-6 %) процентов твердых частиц, а твердая – десятки (40-50 %). По механическому составу сопочная грязь Таманской области близка к глинам майкопской свиты. Помимо тонкодисперсного глинистого вещества в сопочной грязи содержится некоторое количество щебня, отвечающего по составу твердым материнским породам.

Вопрос взаимосвязи грязе-вулканических явлений с сейсмичностью очень сложен. Районы развития грязевого вулканизма располагаются в сейсмически активных зонах, Некоторые исследователи представляют районы грязевого вулканизма асейсмичными участками в зонах повышенной сейсмической опасности.

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

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Лекция 21. Процессы в подземных горных выработках

Изменение напряженно-деформированного состояния массива пород вокруг горной выработки.

Горное давление – это нагрузка, которая передается горной породой на обделку (крепь) в результате их взаимодействия.

Опорное давление – это повышенное (по сравнению с первоначальным) давление нависающих пород, действующее по опорному контуру обнажения перпендикулярно к пласту, возникающее вследствие перераспределения напряженного состояния пород при проведении выработок.

Изменение состояния горных пород при вскрытии горными выработками начинается с их *разуплотнения*, которое происходит тем большее, чем выше уровень действующих в массиве напряжений. Образуются трещины разгрузки и далее выветривания.

На рисунке 21.1 показан график с горной выработкой, которая имеет квадратное сечение. Изменения напряженно-деформированного состояния происходит в тех горных породах, которые располагаются либо в кровле, либо в подошве горной выработки или на боковых гранях этой горной выработки. Важно то, что и в кровле, и в подошве (отмечено красным цветом) горные породы испытывают растяжение – они прогибаются в сторону свободного пространства, и, благодаря прогибу, возникает напряженное состояние, которое приводит к растяжению горных пород. Аналогичный процесс, но в меньшей степени, происходит и на боковых сторонах. В угловых точках горной выработки происходит увеличение сжимающих напряжений – НДС массива горных пород возрастает.

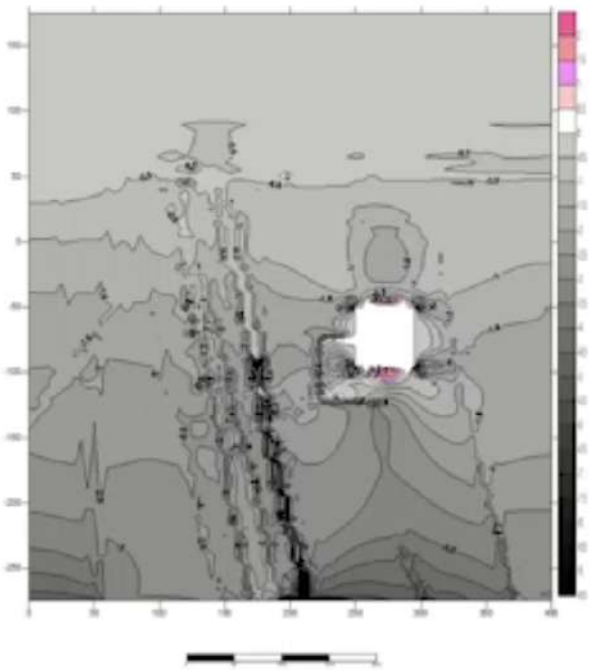

Рис. 21.1. Изменение НДС вокруг горной выработки

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Так как при горной выработке часть массива горных пород убирают, то породам сложнее сопротивляться давлению, направленному вниз вышезалегающими горными породами. Поэтому происходит деформация.

21.1. Пучение и выпор

Пучение – процесс выдавливания породы в горную выработку, обусловленный действием горного давления. Пучение, иначе выдавливание или выпор, характеризуется увеличением объёма горных пород и вызывается их набуханием, выдавливанием из-под целиков и другими причинами. Процесс наблюдается преимущественно в почве горных выработок в глинах, аргиллитах, алевролитах, глинистых и песчано-глинистых сланцах и, редко, в глинистых песчаниках.

Существуют геологические и техногенные факторы, которые способствуют развитию пучения.

Геологические факторы:

1) геологическое строение, литология и условия залегания полезного ископаемого и вмещающих горных пород, мощность и выдержанность отдельных слоев; тектоническая обстановка, палеорельеф, глубина залегания полезного ископаемого;

2) состав, текстура, структура и структурные связи полезного ископаемого и вмещающих пород;

3) гидрогеологические условия месторождения: обводненность, водопроницаемость, мощность водоносных горизонтов, величины напоров, состав подземных вод;

4) прочность, деформируемость, реологические свойства полезного ископаемого и вмещающих пород; их влажность, плотность, трещиноватость, водоустойчивость, теплоемкость, температуропроводность.

Техногенные факторы:

1) глубина выработки;

2) положение выработки по отношению к элементам залегания промышленного пласта и пород почвы;

3) положение выработки относительно очистных работ или других выработок;

4) размеры и форма выработки;

5) размеры целиков;

6) технология и скорость проведения горных работ;

7) конструкция и податливость крепи.

21.2. Вывал и обрушение пород кровли

Вывал – локальное обрушение небольшого объема горных пород преимущественно из кровли горных выработок, отделяющегося при определенном сочетании в породах поверхностей и зон ослабления, обусловленных слоистостью, сланцеватостью, трещиноватостью, дроблением и пр.

Вывалы образуются как в призабойной части горных выработок по мере продвижения забоя, так и в выработанном пространстве незакрепленных выработок и имеют различную форму и размеры в зависимости, от типа пород, слагающих кровлю, от их прочности, трещиноватости и слоистости.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

21.3 Горные удары и стреляние

Основными геологическими условиями, определяющими развитие горных ударов, являются: строение участка месторождения или шахтного (рудного) поля, характеризующееся наличием в разрезе однородных и достаточно мощных удароопасных слоев, толщ или зон полезного ископаемого или вмещающих пород с определенными показателями физико-механических свойств; их сильная тектоническая нарушенность и высокое или избыточное естественное напряженное состояние.

Динамические явления наиболее интенсивно проявляются в породах, рудах и углях, отличающихся повышенной твердостью, высокой степенью литификации, обладающие высокой плотностью, прочностью и хрупкостью, умеренной текучестью, и пониженной скоростью релаксации напряжений.

Динамические явления приурочены к областям и участкам новейших и современных тектонических движений и распространены, преимущественно, в складчатых областях, в пределах сводов и крыльев крупных антиклинальных и синклинальных складок, в пределах тектонических блоков, ограниченных глубокими разрывами, надвигами.

Горный удар возникает вследствие нарушения системы «полезное ископаемое – вмещающие породы» в том случае, когда скорость деформации, определяемая нарастанием напряжений, превышает максимальную скорость пластического деформирования пород, находящихся в предельно напряженном состоянии.

Динамические явления вызываются накопленной потенциальной энергией упругого сжатия пород и ее внезапным высвобождением в форме цепной реакции мгновенного хрупкого разрушения участка массива, находящегося в предельном напряженном состоянии.

Горный удар породы (угля, песчаника, руды и т.д.) – это быстро протекающее хрупкое разрушение угольного целика, краевой части пласта или боковых пород, находящихся в предельно напряженном состоянии, проявляющееся в виде отброса или выдавливания породы в горные выработки и приводящее к повреждению горной крепи, смещению машин, оборудования и нарушению технологического процесса (Инструкция …, 2004). Удар сопровождается резким звуком, образованием большого количества пыли и воздушной волной.

Микроудар – осыпание породы в горные выработки без нарушения технологического процесса, сопровождаемое резким звуком, сотрясением горного массива, образованием пыли, а на газоносных пластах – газовыделением.

Стреляние горных пород – это быстрое откалывание и отскакивание кусков породы от обнаженной поверхности в горных выработках, сопровождающееся звуковым эффектом и возникающее вследствие их хрупкого разрушения при соответствующем напряженном состоянии. Чаще и сильнее всего куски отделяются с боков выработки, реже в почве и ещё реже – в кровле. Отделение происходит параллельно обнаженной поверхности забоя как сразу после проведения выработки, так и спустя несколько недель или даже месяцев.

Толчками принято называть горные удары, проявляющиеся в разрушении горных пород и полезного ископаемого за пределами контуров выработок на некоторой глубине в толще пород, без их выброса в горную выработку. Толчки обнаруживаются по треску, значительному звуку, сотрясению масс пород, появлению пыли, осыпанию обломков пород и полезного ископаемого со стен выработок.

Горно-тектонический удар вызывается воздействием энергии сейсмических волн от толчкообразного деформирования горного массива, в том числе техногенных землетрясений, и проявляется в виде горных ударов на нескольких участках шахтного поля или группы шахт. Горно-тектонический удар сопровождается сильными сотрясениями массива, резким звуком, образованием пыли и воздушными волнами.

21.4. Суффозия, плывуны, прорывы воды и глин

Разработка месторождений полезных ископаемых часто сопровождается вскрытием водоносных горизонтов и комплексов, что вызывает изменение направления движения подземных вод в сторону выработанного пространства и формирование новой депрессионной поверхности, и, как следствие, развитие разнообразных фильтрационных явлений и деформаций:

1) суффозия;

2) разжижение песков-плывунов и их перемещение в выработанное пространство;

3) выпор, прорыв подземных вод и плывунов в горные выработки и их затопление.

Все фильтрационные явления связаны с подземными водами и обусловленным ими действием гидростатических, гидродинамических и химических (коррозионных) сил на устойчивость горных пород и, соответственно, на устойчивость горных выработок и безопасность ведения горных работ.

При разработке угольных месторождений встречаются случаи выхода водосодержащих песков непосредственно в почву или кровлю угольного пласта.

Их неожиданное вскрытие горными работами приводит к быстрому заполнению выработки плывуном.

Водные прорывы при разрушении глинистых водоупорных слоев, изолирующих водоносные горизонты от горных выработок, связаны с гидростатическим давлением залегающих в почве или кровле подземных выработок подземных вод, которое определяется величиной водяного столба, приложенного к почве или кровле слоя глин.

В числе мероприятий, направленных на предотвращение прорывов подземных вод в горные выработки: осушение массивов и соблюдение технологии крепления горных выработок.

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Лекция 22. Мерзлотные процессы

Мерзлотные процессы.

Мерзлотные процессы – совокупность физических и физико-химических экзогенных процессов, возникающих в массивах грунтов в результате охлаждения их до отрицательных температур, замерзания и оттаивания из, а также в результате нагревания мёрзлых пород до положительных температур.

Криогенные процессы – это экзогенные физико- геологические процессы, происходящие на поверхности Земли и в самых верхних частях земной коры, °С обусловленные переходом температуры среды через 0 °С в область отрицательных значений.

Посткриогенные процессы – экзогенные физико- геологические процессы, происходящие на поверхности Земли и в самых верхних частях земной коры, обусловленные главным образом переходом температуры среды через 0 °С в область положительных значений.

Различают процессы, протекающие в *многолетней* криолитозоне и в *сезонной* криолитозоне.

Первые развиваются в верхнем слое земной коры, характеризующемся устойчивой в течение многих лет отрицательной или нулевой температурой, обеспечивающей круглогодичное и длительное (не менее двух лет подряд) сохранение подземного льда. Эта часть криолитозоны сложена многолетнемерзлыми горными породами, подземными ледяными телами, морозными горн. породами без льда и не промёрзших горизонтов с сильноминерализованными подземными водами, находящимися в условиях длительного существования нулевых и отрицательных температур.

Второй вид процессов развивается обычно в сезонной криолитозоне, которая слагается из сезонно мёрзлых (т. е. полностью оттаивающих в тёплое время года) горных пород.

Если взять районы развития сезонно мёрзлых и многолетнемерзлых пород, то это будет область, занимающая почти 100 % территории России. Около 70 % – это территория криолитозоны, т. е. области развития многолетнемерзлых пород, и около 25-30 % – это области развития сезонно мёрзлых пород. В пределах этих территорий развиты названные виды мерзлотных процессов.

Сезонная криолитозона.

Сезонная криолитозона – мерзлотные процессы, развивающиеся при сезонных изменениях температур в слое сезонного промерзания-протаивания.

Мерзлотные процессы, вызванные сезонными изменениями температур в слое сезонного промерзания-протаивания, можно подразделить на две основные группы: процессы, вызванные снижением температур и промерзанием грунтов, и процессы, вызванные повышением температур и протаиванием грунтов.

Среди первых охарактеризованы сегрегационное льдообразование, морозобойное растрескивание, локализованное сегрегационное льдообразование с пучением, локализованное инъекционное льдообразование с пучением, консервация речных,

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

озерных и морских льдов, , морозное выветривание, сортировка обломочного материала, пятнообразование и наледеобразование.

Среди вторых – термокарст, термоэрозия, термоабразия и солифлюкция.

22.1. Криогенные процессы, развивающиеся при снижении температур и промерзании грунтов

Сегрегационное льдообразование.

В дисперсных горных породах наряду с переходом воды в лед без заметного ее перемещения с образованием льда-цемента наблюдается миграция влаги и ее последующее замерзание с образованием шлирового (сегрегационного) льда. Промерзание с образованием льда-цемента наблюдается или в песчаных грунтах, когда в процессе его развития влага отжимается книзу от фронта промерзания, или при замерзании в условиях низких температур замкнутых объемов маловлажных тонкодисперсных грунтов, в которых существуют условия для «свободного» увеличения объема воды при переходе ее в лед.

Мощность шлиров сегрегационного льда и интервалы между ними варьируют в широком диапазоне: от 0,1 до 50 см и от 0,1 до 100 см и более, что зависит от многих факторов:

1. Толщина шлиров сегрегационного льда возрастает с уменьшением скорости промерзания, если в данный момент скорость промерзания выше оптимальной

2. Наиболее благоприятна для формирования толстых шлиров сегрегационного льда оптимальная скорость промерзания или интенсивность охлаждения пород, при которой интенсивность кристаллизации слабосвязанной воды находится в равновесии с максимально возможной интенсивностью ее миграции к фронту промерзания.

3. При скорости промерзания ниже оптимальной для данной породы, увеличение её вплоть до оптимальной приводит к возрастанию толщины шлиров сегрегационного льда при одном и том же периоде промерзания и к усилению морозного пучения грунтов.

4. При интенсивности охлаждения пород, равной или ниже оптимальной, толщина шлиров сегрегационного льда определяется продолжительностью периода промерзания и количеством воды, участвующей в сегрегационном льдообразовании.

5. Дифференциация температуры кристаллизации воды в тонкодисперсных отложениях служит дополнительной причиной сокращения возможной в данных условиях толщины шлиров сегрегационного льда. Особая роль сегрегационного льдообразования состоит в том, что именно с ним обычно связана пучинистость промерзающих дисперсных отложений.

Морозобойное растрескивание.

Механизм морозного растрескивания состоит в том, что суточные и годовые колебания температуры вызывают на поверхности пород объёмно- градиентные напряжения и приводят к образованию систем трещин с поперечником грунтовых полигонов от 0,5 до 50 м. Ширина трещин поверху обычно составляет 2-4 см, однако зафиксированы трещины шириной более 10-15 см.

Трещины проникают вглубь многолетнемерзлых пород до 10-12 м, в сезонномёрзлые породы – до их подошвы.

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Морозобойное растрескивание сопровождается образованием полигонально-жильных структур трех типов:

- повторно-жильные льды,
- изначально-грунтовые жилы,
- первично-песчаные жилы.

Морозобойное растрескивание грунтов является следствием сильного их охлаждения в зимний период. Оно развито во всех районах севера и обусловливает появление системы трещин в толще пород. В результате сезонного охлаждения поверхности грунтов в них развиваются напряжения, близкие к пределу длительной прочности на разрыв.

Пороговое значение теплового удара, необходимое для образования трещин, возрастает в целом от начала к концу зимы. Образование морозобойных трещин в грунтах происходит путем отрыва и является хрупким, т. е. протекает при достаточно малых деформациях и за время, не превышающее период релаксации, когда растягивающие усилия в приповерхностных горизонтах мерзлых грунтов не успевают существенно перераспределиться.

После образования трещины напряжения в ее окрестности снимаются, а с удалением от нее возрастают до предельного значения и возможно образование второй трещины, параллельной первой. Образование параллельных и перпендикулярных им трещин происходит одновременно. Из года в год трещины образуются в одном месте, способствуя развитию по ним повторно-жильных льдов.

С понижением температуры сопротивление мерзлого грунта на разрыв возрастает. Одновременно увеличивается сжатие мерзлого грунта, в результате чего напряжение в нем возрастает. Концентрация напряжений приводит к образованию микротрещин и дальнейшему макроскопическому разрушению.

Образование морозобойных трещин в сезонно-талом слое отличается от глубокого морозобойного растрескивания: трещины и образуемые полигоны меньше размером.

Жильные льды в сезонно-талом слое никогда не достигают таких больших размеров, как повторно-жильные льды в многолетнемерзлых породах.

Характерным признаком трещин деятельного слоя является их изгибание, нередко до горизонтального положения на контакте с многолетнемерзлыми породами.

Характерной особенностью морозобойных трещин на большей части Забайкалья является развитие их лишь в слое сезонного промерзания.

Морозобойные трещины имеют преимущественно вертикальное направление.

Криогенное растрескивание и рост повторно-жильных льдов в грунтах происходят под взлетно-посадочными полосами и рулежными дорожками в связи с расчисткой снега и, как следствие, дополнительным охлаждением грунтов оснований.

Локализованное сегрегационное льдообразование с пучением.

Сезонное морозное пучение грунтов возникает из-за неоднородности промерзания сезонномерзлого слоя. Процесс связан с образованием при промерзании сезонномерзлого слоя гидравлически замкнутых объёмов водонасыщенного грунта. Неоднородность промерзания вызывается пространственной изменчивостью

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

литологического состава грунтов, различием в мощности сезонно-талого слоя, обводненности и положении уровня грунтовых вод.

Размеры сезонных бугров: диаметр от 1-2 до 10-30 м, высота до 0,5-2,0 м. Максимальная мощность линз сегрегационного льда в сезонных буграх редко превышает 1,0-1,5 м (до 4-5 м). Она ограничена мощностью сезонно-талого слоя, который редко превышает 2 м.

Оптимальные условия для развития мощных линз сегрегационного льда создаются на таких участках, где достаточно велика мощность этого слоя, имеется хороший подток влаги в течение всего периода промерзания и достаточно высока интенсивность охлаждения.

Локализованное инъекционное льдообразование с пучением.

Инъекционным называется льдообразование, связанное с кристаллизацией воды, внедрившейся под напором в промерзающие горные породы. Инъекционный лед в деятельном слое – это подземный лед.

Сезонное инъекционное льдообразование приводит к формированию бугров пучения. *Бугор пучения* – это выпуклая форма криогенного рельефа с ледяным или ледогрунтовым ядром, образующаяся в области многолетнемерзлых и сезонных пород в результате неравномерного льдообразования в породах.

Промерзание сезонно-талого слоя обусловливает возникновение напора в изолирующихся сильнообводнённых фрагментах слоя, следствием чего является образование полостей и трещин, заполняющихся напорной водой, промерзание которой приводит к образованию плосковыпуклых ледяных линз - лакколитов.

Сезонные инъекционные бугры пучения шире развиты в южных и относительно континентальных районах в условиях глубокого сезонного промерзания. Ледяные линзы в сезонных буграх представляют собой промерзшую верховодку, сжатую между промерзающими породами и кровлей многолетнемерзлых пород. Сезонные бугры развиваются в слое сезонного промерзания и протаивания, разрушаются в течение года.

Сезонные инъекционные бугры пучения есть в северной части территории Европейского Севера России на обводненных участках с мощным сезонно-талым слоем, в приустьевых частях полос стока, в долинах промерзающих ручьев, у подножий склонов и т. п. Поперечник бугров 1-6 м, высота 0,5-1,5 м. Они образуют скопления протяженностью до 100 и 2 метров. Ледяные ядра бугров обычно не превышают по мощности 0,5-0,8 м.

В Северном Забайкалье можно встретить сезонные гидролакколиты высотой от 1,5 до 5,0 м при диаметре оснований около 15-30 м. Образуются в результате интенсивного подтока вод межмерзлотного талика; полностью разрушается к концу лета в результате вытаивания льда.

Когда бугор увеличивается в размерах, гидростатическое давление разрывает наиболее слабую часть поверхности и под напором вода выплескивается из тела бугра. На вершине разрушающихся бугров пучения продольные трещины шириной до 1,5 м и глубиной 0,3 м разделяют бугры на сегменты, в которых вскрываются остатки инъекционного льда.

Консервация речных, озерных и морских льдов.

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Консервация (захоронение) припайных морских и речных льдов происходит в прибрежно- морских и аллювиальных осадках севера России при их сингенетическом промерзании. Этот процесс чаще всего отмечается при промерзании русловых фаций аллювия. Случаи захоронения речного льда под слоем илистого и заторфованного суглинка наблюдались на участках пойм рек западного побережья Ямала и Гыданского полуострова. Погребение речного льда происходит в конусах выноса оврагов в весеннее время, когда в русле еще сохранился лед, а снег в долине растаял.

Важнейший визуальный диагностический признак захороненного речного льда – столбчатая структура, образованная шестигранными чистыми прозрачными кристаллами высотой до 30- 40 см, ориентированными по нормали к горизонтальным плоскостям слоя.

Линзы и залежи погребенного льда различной формы и небольшого размера отмечались также и в разрезах лагунно-морских и прибрежно-морских голоценовых отложений.

Этот тип льдов в сингенетически промерзших голоценовых породах развит не широко. Большие глыбы морского льда попадают на прибрежное мелководье после шторма или остаются после распада зимнего ледового покрова. Потом, основная часть их объема тает. Не успевающие растаять за одно лето льдины оказываются, таким образом, в кровле сингенетически промерзающей толщи.

Современные погребенные пластовые льды распространены сравнительно нешироко. В более древних толщах они развиты шире и представлены более мощными и протяженными телами.

Воздействие на морское дно айсбергов, плавучих и припайных льдов оказывает отрицательное влияние на подводные инженерные сооружения и, в первую очередь, на устойчивость подводных трубопроводов.

Морозное выветривание.

Морозное (криогенное) выветривание обусловлено неравномерными температурными напряжениями и деформациями в породах, периодическим замерзанием и оттаиванием воды в их трещинах и порах и расклинивающим действием тонких водных плёнок. Интенсивность процесса зависит от циклов замерзания - оттаивания пород, частоты и амплитуды температурных колебаний, градиентов температуры в породах.

Увлажненные породы разрушаются быстрее, чем сухие. Продуктами криогенного выветривания могут быть глыбы, щебень, дресва, песок и пыль.

Общая схема криоэлювиального процесса заключается в последовательных стадиях разрушения грунтов в слое сезонного протаивания-промерзания - от первично-трещиноватого скального грунта через обогащенный обломочным материалом мелкозем к пылеватым лессовидным породам. Механическое разрушение пород в суровых климатических условиях криолитозоны происходит в процессе сезонного, а в некоторых случаях и суточного льдообразования, и таяния в деятельном слое. Главной причиной дробления плотных горных пород является закупорка при промерзании трещин льдом близ дневной поверхности, вследствие чего при кристаллизации воды, насыщающей трещины, глубже развиваются напряжения, приводящие к разрывам.

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

На территории Сибирских платформ начальная фаза криогенного выветривания - механическое разрушение - наиболее рельефно наблюдается в пределах среднегорий и равнин, покрытых чехлом средне- и позднечетвертичных ледниковых отложений.

Развитие процесса криогенного выветривания во времени привело к формированию плаща криогенного элювия с обломочным материалом. Более широко развито морозное выветривание дисперсных грунтов. приводящего к формированию покровных лессовидных образований, обладающих в талом состоянии ярко выраженными тиксотропными и плывунными свойствами.

Сортировка обломочного материала.

Процесс криогенного выветривания сопровождается интенсивной сортировкой всех фракций криогенного элювия в пределах слоя сезонного протаивания. Морозная сортировка обломочного материала приводит к формированию так называемых структурных грунтов, залегающих в верхней части этого слоя.

Главные факторы сортировки материала – заложение трещинной полигональной сети от усыхания грунтов; вымораживание крупных обломков на поверхность; вспучивание мелкоземистого грунта при промерзании; миграция при промерзании как вверх, так и в направлении заложившихся трещин; сползание вымороженных обломков в сторону пониженных трещинных зон за счет работы ледяных стебельков. Сформированные таким образом структуры образуются под непосредственным влиянием сезонного промерзания.

На участках распространения ледниковых отложений, обогащенных обломочным материалом, отмечаются обширные площади, занятые каменными многоугольникам.

В центральной части они имеют выпуклую форму поверхности и сложены песчанисты влажным суглинком. Диаметр ядра обычно составляет 40-80 см, иногда до 1,5-1,8 м.

Глубина трещин различна и колеблется в пределах 0,1-0,5 м, иногда больше.

Иной морфологический эффект приобретает морозная сортировка на склоновых поверхностях, где талый слой все лето находится в сильно увлажненном состоянии и медленно движется к пониженным местам.

Пятнообразование.

Образование пятен-медальонов связано с промерзанием слоя сезонного протаивания. Оно происходит при неравномерном промерзании с поверхности глинистых грунтов, приводящем к проявлению «поршневого эффекта». В местах, где промерзание происходит медленнее, водонасыщенный пылеватый грунт более глубоких горизонтов под влиянием гидростатического давления выдавливается, разжижается и изливается на поверхность, образуя пятна-медальоны.

Эти микроформы рельефа, широко развитые во многих районах севера региона, представляют собой пятна лишенного растительности грунта. Чаще они имеют округлую форму, которая на склонах переходит в вытянутую. Размеры пятен изменяются от 0,3 до 1,0-1,5 м в поперечнике. Сливаясь, образуют одно большое пятно диаметром до 2-3 м. Поверхность пятен плоская или выпуклая. Между собой пятна-медальоны разделяются трещинами-канавками глубиной 15-20 и шириной 25- 30 см.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Оттаявший грунт в пятнах находится в переувлажненном состоянии, обладает хорошо выраженными тиксотропными свойствами.

Проникновение морозобойных трещин происходит до подошвы деятельного слоя. В начале промерзания, которое происходит по бокам трещины быстрее, в центре создается избыточное давление и талый грунт может прорвать тонкую промерзшую поверхностную корочку деятельного слоя и в виде жидкой массы залить площадку. Образуется пятно из грязи, ограниченное полигональной сеткой трещин. Повторяется многократно и по краям пятен-медальонов возникает травянистая растительность.

Наледеобразование.

Наледи – это слоистые ледяные массивы, возникшие при замерзании периодически изливающихся природных или техногенных вод на поверхность земли, льда или инженерных сооружений. Образование, режим нарастания и разрушения наледей, а также выбор противоналедных мероприятий зависит от генезиса участвующих в процессе вод.

При промерзании верхней части водоносных пород в них возникает нарастающее гидростатическое давление. Это происходит из-за того, что вода, превращаясь в лед, увеличивается в объёме, сдавливая незамёрзшую воду, и одновременно блокирует выходы подземных вод на поверхность. Незамёрзшая вода давит на ледяную оболочку, пока не прорвёт её и извергнется на поверхность, где она быстро замерзает и образует наледь.

Факторы наледеобразования:

- естественная гравитационная разгрузка бассейнов подземных вод;
- промерзание водоносных систем с образованием криогенного напора;
- приложение внешней нагрузки на ледяной покров;
- колебания расходов подналедных водных потоков;
- таяние снега и льда в условиях частого перехода воздуха через 0 °С;
- водопритоки на охлаждённый берег в результате периодических и непериодических приливов;
- сброс промышленных и бытовых вод.

По времени существования выделяются однолетние (полностью оттаивающие летом), летующие (существующие до конца лета), многолетние (существующие несколько лет) наледи. Гигантские наледи по-якутски «тарыны».

Внимание обычно привлекают крупные ледяные поля, формирующиеся за счет излияния и последующего намораживания подземных вод. Эти массивы льда «нанизаны» на русла рек, имеют округлую конфигурацию и распространяются на всю ширину днища долины, отделяясь друг от друга.

В зоне распространения многолетнемёрзлых пород, в суровых климатических условиях, где бедное грунтовое питание, наблюдается перемерзание рек до дна. Образуется висячий ледяной покров, «сушняк», при истощении питания реки. Например, площадь Момской наледи в долине р. Момы достигает 160-180 км^2, а объем – 500-600 млн м^3. Подобные мощные ледяные хранилища вод, стаивая летом, оказывают существенное влияние на меженное питание рек.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

В пределах горного пояса Восточного Саяна встречаются крупные наледные поля речных, подземных вод и смешанного типа, ежегодное формирование которых обусловлено резко континентальным суровым климатом, большой продолжительностью зимнего сезона, наличием многолетнемёрзлых пород, достаточно высокими запасами подземных вод и промерзанием рек.

Рост наледей здесь начинается в конце октября - начале ноября. Наиболее интенсивный рост наледей связан с условиями их питания и происходит во второй половине зимы.

Разрушение наледей начинается с середины апреля и заканчивается в июле - августе. Разрушение наледей связано с количеством поступающего на её поверхность тепла, механическим воздействием водных потоков и атмосферных осадков.

Наледные процессы сопровождаются опасными явлениями - пучением грунтов, суффозией, солифлюкцией, термокарстом, наледям сопутствуют бугры пучения и гидролакколиты.

Состояние наледей изучается краткосрочными наземными, аэровизуальными и авиадесантными наблюдениями, аэро- и космическими съемками, с использованием характерных признаков и свойств криогенных природных комплексов.

Изучение наледной активности имеет важное практическое значение при оценке наледной опасности на трассах автозимников, на участках проектирования и строительства мостов, ледовых переправ, трубопроводов, при прогнозировании весенних паводков и ледяных заторов, при общей оценке проходимости территории и т. д.

22.2. Посткриогенные процессы, вызванные повышением температур и протаиванием грунтов и воздействием других процессов

Посткриогенные процессы, вызванные повышением температур и протаиванием грунтов – *термокарст*, *термоэрозия* и *термоабразия*, активно развиваются в криолитозоне в течение тёплого летнего периода. Однако эффект их развития проявляется в течение многих лет. Поэтому целесообразно рассмотреть посткриогенные процессы здесь и как сезонный, и как многолетний процесс.

Масштабы проявлений посткриогенных процессов: сезонных и многолетних - разные. Если результат сезонных процессов исчисляется сантиметрами, реже первыми метрами, то масштаб проявления посткриогенных процессов в многолетней динамике – это метры и десятки метров по глубине и сотни метров или километры по простиранию.

Термокарст.

Термокарст – процесс вытаивания подземных льдов или оттаивания мёрзлого грунта и образования просадочных и провальных форм рельефа. Механизм процесса заключается в уплотнении оттаявших сильно льдистых пород, под действием давления оттаявшего слоя, когда внутри грунтовая влага отжимается на поверхность или дренируется водоносным горизонтом.

Причиной возникновения термокарста является такое изменение теплооборота на поверхности массива грунтов, при котором глубина сезонного оттаивания начинает превышать глубину залегания подземного льда или сильно льдистого

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

многолетнемерзлого грунта, либо происходит смена знака среднегодовой температуры и начинается многолетнее оттаивание мёрзлых толщ.

Формы проявления термокарста – это заболоченные западины и термокарстовые озёра глубиной от 0,5 до 20 м на слабодренированных поверхностях. При развитии термокарста по повторно-жильным льдам на дренированных участках образуются положительные формы рельефа – байджерахи и бугристые полигоны.

Одна из причин термокарста – деятельность человека, проявляющаяся в нарушении почвенно-растительного покрова, что влечёт за собой резкое увеличение глубины сезонного протаивания.

Термокарст развивается при определенных режимах теплообмена в системе грунт – вода – атмосфера. Важную роль в тепловом балансе играет поглощение солнечной радиации. Поскольку процесс сопровождается образованием отрицательных форм рельефа, то важен и процесс тепловой осадки оттаивающего грунта.

Скорость консолидации значительно меньше скорости протаивания. Скорость движения фронта протаивания возрастает с увеличением толщины водного слоя на поверхности грунта и температуры на границе раздела вода – воздух.

Выделяют три стадии термокарстового процесса. Это начальная, зрелая и стадия высохших озер (аласо- или хасыреообразования). Полный термокарстовый цикл составляет 150-300 лет. Термокарстовые процессы подразделяются на активные, устойчивые и деградирующие. Наиболее предпочтительны для строительства инженерных сооружений территории с устойчивой динамикой термокарстового процесса.

Общепринятое понятие термокарста – протаивание и проседание льдистых грунтов – рассматривается обычно в двух аспектах:

1) теплофизическом (проявление этого процесса определяется повышением температуры грунта и таянием льда в нем);

2) геоморфологическом, когда возникает просадка поверхности вследствие выжимания оттаявшей воды и уплотнения породы.

Вытаивание крупных скоплений залежей пластового льда приводит к образованию огромных по размерам озер. Их глубины могут достигать 30- 50 м, а поперечники – до 15-20 км.

Термокарстовые озера постепенно мигрируют, подвергая переработке значительные участки поверхности террас и водораздельных равнин. Поэтому высохшие термокарстовые плоскодонные котловины (хасыреи) могут достигать в поперечнике нескольких километров.

Суммарная интенсивность современных термокарстовых явлений заметно уменьшается от молодых поверхностей к более древним.

Степень пораженности термокарстом резко увеличивается в районах распространения синкриогенных сильнольдистых пород. С увеличением уклона поверхности уменьшается интенсивность проявления термокарста.

Территория несплошного распространения многолетнемерзлых пород с шлировым льдом более однородна в отношении пораженности ее поверхности термокарстом. Менее поражены термокарстовые участки поверхности поздне- и

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

средне-четвертичных ледниковых равнин. Увеличение интенсивности термокарстовых явлений объясняются наличием депрессий и выровненных поверхностей, где развиты высокольдистые торфяники.

Техногенная активизация термокарстового процесса (в связи со строительством инженерных сооружений) встречается повсеместно.

Термоэрозия.

Процесс разрушения мёрзлых пород при тепловом и механическом (размывающем) воздействии постоянных и временных водотоков. Необходимой составляющей термоэрозии является сезонное протаивание льдистых пород, приводящее к их разупрочнению.

Начальная стадия термоэрозии пород предопределяется вытаиванием содержащихся в них ледяных жил, вследствие чего на поверхности возникает полигональная сеть эрозионных канав. Эти канавы при наличии естественного уклона становятся путями стока талых и дождевых вод, что оказывает дальнейшее тепловое и эродирующее воздействие на мёрзлые породы.

Интенсивность развития термоэрозии определяется соотношением скоростей размыва и оттаивания подстилающей мёрзлой породы и зависит от параметров, обусловливающих структурную прочность оттаивающих пород (сцепление, угол φ), и условий, определяющих темпы оттаивания мёрзлых пород под водотоком (температура, энергия водного потока, свойства грунтов, их состав, льдистость, криогенная текстура, продолжительность снеготаяния и выпадения осадков, количество поступающей солнечной радиации и т. д.).

Хозяйственная деятельность человека резко активизирует термоэрозию и может приводить к катастрофическому росту термоэрозионных промоин с превращением их в овраги. Нарушение растительного и почвенного покрова и стока. Скорость роста промоин в длину достигает 20, а иногда 150 м/год.

При увеличении скорости фронта эрозии происходит увеличение скорости фронта протаивания и уменьшению толщины талой прослойки. При росте льдистости мерзлых грунтов скорость движения фронта протаивания замедляется, толщина талой прослойки уменьшается.

Термоэрозионные процессы, захватывающие породы слоя сезонного оттаивания, развиты повсеместно в криолитозоне. Многолетнее развитие этого процесса и размыв пород приводят к преобразованию рельефа. В центре Ямала выделяют 3 процесса первичного расчленения территории:

1) эрозионно-аккумулятивная деятельность рек Се-Яхи и их притоков. В результате формирования их долин возник основной перепад высот до 40 м.

2) процессы криопланации – вытаивание пластовых льдов и образование террасовидных поверхностей на отметках, привязанных к уровню воды в реке или озере; перепад высот до 30 м.

3) процессы спуска термокарстовых озер и понижения местных базисов эрозии. Здесь влияние на овражную эрозию имеют криогенные разрушительные процессы - оплывы. Естественные овраги формируются на морских и аллювиальных террасах с относительной высотой 20-45 м, формируются вдоль ложбин при нарушении

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

растительного покрова и увеличения поверхностного стока. Крутые обращенные к реке склоны террасы расчленены береговыми оврагами длиной 50-70 м.

Эти короткие овраги формируются как в результате прямого линейного эрозионного размыва оголенных уступов, так и при вытаивании здесь линз пластовых льдов и образовании термокаров.

В средней и нижней частях овраги в областях повышенной льдистости размываемых грунтов вырабатывают стабильный продольный профиль, их борта закрепляются растительностью, в днище происходит аккумуляция наносов и они приобретают облик балок.

В динамике термоэрозии ею выделено 3 стадии: активная, переходная и затухания, которые характеризуются соответственно предельно-термоэрозионным, термоэрозионным и эрозионным типами размыва.

При достаточных запасах тепловой энергии водотока его воздействие приводит к катастрофическому размыву мерзлых грунтов, который для грунтов различного состава, строения, свойств и криогенной текстуры в 10-40 раз превышает величину начальной предельной интенсивности размыва.

Термоэрозионные овраги развиваются на льдистых грунтах с массивной и шлировой криогенной текстурой на участках с достаточно глубоким базисом эрозии. В отличие от них эрозионно-термокарстовые овраги развиваются на участках мерзлых льдистых грунтов с полигонально-жильными льдами, перекрытыми слоем торфа.

Термоабразия.

Термоабразия, «тепловое соскабливание» – это процесс разрушения берегов морей, озёр или водохранилищ, сложенных льдистыми многолетнемерзлыми породами или льдом, в результате совместного воздействия механической энергии волн, тепла воды и воздуха. Она приводит к отступанию береговых уступов за счет развития трех процессов: термоденудации береговых уступов, термоэрозии и тепловой осадки дна.

Тепловая осадка углубляет прибрежную зону, облегчая доступ волн к береговым уступам, где развиваются термоабразия и термоэрозия. Термоабразионное воздействие волн у подножья берегового уступа приводит к формированию волноприбойной ниши, углубление которой вызывает периодические обрушения талых и мерзлых блоков и глыб. Эти накопления, оттаивая и размываясь водой, временно защищают береговой уступ от дальнейшего разрушения и играют роль естественных берегоукрепительных сооружений.

Интенсивность термоабразии определяется тепловым и уровенным режимом у подножия берегового уступа и критической льдистостью. Она определяет два предельных случая развития берегов: ограниченное, когда тепловая осадка льдистых отложений при оттаивании не достигает уровня воды, и неограниченное, когда она равна или ниже уровня воды. Скорость отступания колеблется от долей до нескольких метров в год. Активность термоабразии повышается с ростом льдонасыщенности пород, температуры воды, высоты волн и интенсивности волнений.

Несколько тысяч километров берегов арктических морей разрушаются и отступают со скоростью до 10 м/год. На участках интенсивного разрушения

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

наблюдаются скорости от 2 до 6 м/год. Так несколько десятков квадратных километров арктического побережья ежегодно поглощаются морем.

Половину разрушающихся льдистых берегов морей Восточной Сибири следует относить к термоабразионно-термоденудационному типу. Они отличаются наличием термотеррас и крутых клифов. Роль термоабразии заключается не только в ускоренной переработке берегов, но и в формировании обширной термоабразионной подводной платформы, поверхность которой в условиях активного выноса береговых наносов на взморье преобразуется в термоабразионно-аккумулятивную платформу. Морские берега разрушаются с наибольшей скоростью на участках распространения ледового комплекса.

Скорость разрушения берегов, содержащих ледовый комплекс, в 5-7 раз выше, чем участков с малольдистыми толщами. Масса обломочного материала, поступающего из берегов морей Лаптевых и Восточно-Сибирского, почти в три раза превосходит массу регионального твердого стока рек.

Скорость термоабразии льдистых берегов по «умеренному» сценарию не превысит 5-7 м/год, по сценарию «экстремальному» льдистые берега будут разрушаться катастрофически, средняя скорость термоабразии может достигать 15, максимальная – 30 м/год.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Лекция 23. Криогенные процессы, развивающиеся при снижении температур и формировании многолетнемерзлых толщ

23.1. Промерзание и первичный диагенез

Вода в зависимости от минерализации, переходит в твердую фазу при отрицательных температурах, близких к 0 °С, но может оставаться в жидком состоянии при температурах около -40 °С. При понижении температуры воды до точки кристаллизации жидкость кристаллизуется, т. е. возникает новая, устойчивая в пространстве и во времени сеть водородных связей между молекулами H_2O.

Криогенное строение песчаных отложений сравнительно однообразно. Их криогенные текстуры представлены массивными видами с базальным типом льда-цемента. Суммарная объемная льдистость супесчано-песчаных отложений составляет 45-55 %. Суглинисто-глинистые породы сильно насыщены льдом. Суммарная объемная льдистость их достигает 65-70 %, на долю сегрегационного льда приходится до 30-35 % объема мерзлой породы.

Сингенетическое промерзание современных морских, лагунно-морских и озерных отложений идет близ абразионно перерабатываемых берегов.

Сингенетическое промерзание отложений в субаэральных условиях происходит во многих районах и характерно для прибрежно-морских и лагунно-морских лайдовых, аллювиальных и озерных пойменных, солифлюкционных, болотных, делювиальных и эоловых отложений. В большинстве районов оно идет при наличии в основании формирующихся и промерзающих осадков толщи многолетнемерзлых пород.

Активное развитие синкриолитогенеза в настоящее время и в прошлом, обусловило широкое распространение в северных и центральных районах криолитозоны сингенетически промерзших пород голоценового и плейстоценового возраста. Они представлены сильно льдистыми песчаными, супесчано-суглинистыми, глинистыми и торфяными образованиями позднечетвертичного и голоценового возраста, слагающими верхнюю часть разреза морских, лагунно-морских, озерных и аллювиальных толщ.

Эпигенетическое промерзание отложений в современных условиях идет на большей площади. Вследствие этого в суглинистых и супесчаных толщах в верхней части разреза формируется наиболее высокая льдистость. Здесь образуются слоистые криогенные текстуры, а в песчаных – преимущественно массивные текстуры.

Процессы многолетнего промерзания сопровождаются активным льдовыделением, которое при значительном скоплении льда ведёт к заметному пучению. При площадном пучении вся поверхность грунта повышается, а при локальном пучении образуются весьма специфические формы – бугры пучения сегрегационного типа, называемые ещё *пальза*, и инъекционного типа – *булгунняхи* и *гидролакколиты*, называемые *пинго*.

Сегрегационное льдообразование.

При влажности грунта, равной или меньше максимальной молекулярной влагоёмкости, сегрегационное льдообразование не происходит, т.е., влажность рыхлых пород, равную их максимальной молекулярной влагоемкости, можно рассматривать

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

как нижний влажностной предел сегрегационного льдообразования в любых по составу горных породах.

Единственной модификацией влаги, обусловливающей возможность сегрегационного льдообразования в промерзающих горных породах, является слабосвязанная вода в интервале влажности от максимальной молекулярной влагоемкости до верхнего предела текучести.

Экспериментальными и полевыми исследованиями доказано, что наибольшая насыщенность пород сегрегационным льдом наблюдается в том случае, когда в рыхлых горных породах наряду со слабосвязанной водой содержатся очень слабо связанная (капиллярная) и свободная воды. Чем больше слабосвязанной воды содержит грунт, тем интенсивнее при прочих равных условиях сегрегационное льдообразование.

Льдообразование наиболее интенсивно в тех случаях, когда средняя влажность промерзающих грунтов выше нижнего предела текучести, особенно при неглубоком залегании водоносного горизонта по отношению к промерзающей породе при прочих равных условиях. Слабосвязанную воду способны содержать лишь породы из пылеватых, глинистых и коллоидальных частиц.

Образование трещин в талой зоне происходит в течение всего цикла промораживания. В зависимости от скорости передвижения фронта промерзания и влажности грунта в талой зоне величина этих трещин, их морфология и степень выраженности меняются. При различных скоростях промерзания в процессе сегрегационного льдообразования в разных типах грунтов формируются сетчатые, сетчатые ромбовидные, слоистые, базальные и неполно сетчатые текстуры.

В субаэральных условиях завершается формирование эпигенетических или диагенетических мёрзлых толщ. Все разнообразие локальных и региональных особенностей криогенного строения толщ сводится к трем основным типам:

1. В морских осадках убывает льдистость вниз по разрезу. В криогенном строении преобладают сетчатые, слоисто-сетчатые и неполно-сетчатые текстуры.

2. Если суглинисто-глинистые толщи чередуются с грубозернистыми горизонтами, то высокая льдистость прослеживается не только в верхней части разреза морских осадков, но может сохраняться и до глубин 50-130 м.

3. Для эпикриогенных глинистых толщ характерно увеличение льдистости с глубиной.

Озерные отложения характеризуются большей льдистостью. Озерно-болотные и бол болотные отложения – высокольдистые, имеют тонкошлировую линзовидно-плетенчатую текстуру. Склоновые отложения имеют пестрый гранулометрический состав, характеризуются криогенными текстурами и промерзанием снизу.

Инъекционное льдообразование.

Инъекционным называется льдообразование, связанное с кристаллизацией воды, внедрившейся под напором в промерзающие или мерзлые горные породы. Инъекционное льдообразование и инъекционные льды развиваться на участках циркуляции и концентрации свободных подземных вод. Для развития инъекционного льдообразования необходимо, чтобы подземная свободная вода в процессе

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

промерзания приобретала напор. Инъекция воды горизонтальных ледяных шлиров осуществляются двумя путями:

1) при гидроразрыве;

2) при просачивании воды по слабым зонам.

При этом геометрия ослабленных зон определяет расположение шлиров: где преимущественное направление ослабленных зон вертикальное, формируются вертикальные шлиры льда, при горизонтальном расположении ослабленных зон преобладают мощные горизонтальные шлиры льда.

Размеры и форма возникающих полостей и выполняющих их линз инъекционного льда зависят от количества внедрившейся воды и соотношения силы напора и прочности смерзания кровли и подошвы пластов.

При благоприятных условиях кристаллизации зерна инъекционного льда достигают нескольких десятков сантиметров в поперечнике.

Преобладающие формы залежей инъекционного льда – неправильная и линзовидная.

Морозобойное растрескивание грунтов.

Морозобойное растрескивание и его температурная обусловленность. Растрескивание происходит при резком понижении температуры воздуха, ширина трещин не превышает нескольких сантиметров, а глубина – 3 метров.

Исследования времени и интенсивности морозобойного растрескивания в пределах полигонально-жильного массива, показали, что процесс образования трещин начинается в середине декабря, т. е. примерно через 2-3 недели после полного промерзания сезонно-талого слоя, а заканчивается в период с середины по конец марта, после значительного повышения температуры приповерхностного горизонта полигонального массива.

При этом интенсивность растрескивания (т. е. число трещин, образующихся в единицу времени) зависит от двух показателей – степени понижения температуры и интервала времени, в течение которого температура воздуха находится ниже критического уровня, под которым понимается средняя температура в период растрескивания. Совместное действие этих факторов определяется таким суммарным параметром, как интегральный выброс температур воздуха ниже среднемесячного значения.

Расчет мощности приповерхностного слоя, в котором возникают деформации сжатия и создаются максимальные напряжения, способствующие интенсивному растрескиванию, показал, что ее значения отличаются для грунтов разного состава и в среднем составляют от 0,28 до 0,93 м.

Натурные наблюдения за растрескиванием показали, что:

1) примерно в одинаковых температурных условиях величины температурных деформаций (увеличение ширины трещины) зависят от литологического состава грунтов и составляют от нескольких миллиметров в песках до нескольких сантиметров в глинистых грунтах и торфе;

2) максимальные температурные деформации и напряжения наблюдались вблизи поверхности грунта и совпадали с минимальными температурами поверхности массива, вглубь массива температурные деформации и напряжения убывают;

3) при установившемся снежном покрове в условиях современного климата температурные деформации и напряжения в мерзлых грунтах определяются сочетанием длиннопериодных колебаний температуры (с периодом, равным длине зимы) и короткопериодных колебаний (6-8 суток).

В момент образования трещины до глубины 0,5-0,75 м в породе возникают растягивающие усилия с градиентом температур до 9-10 °С/м, а ниже температуры близки к максимальным годовым значениям и здесь продолжают действовать сжимающие напряжения, определяемые длиннопериодными (годовыми) колебаниями. Трещина образуется в результате концентрации напряжения на некоторой глубине от поверхности.

В большинстве случаев криогенное растрескивание происходит в результате резкого понижения температур воздуха и грунта.

Образование морозобойных трещин контролируется распределением температур сезонно-талого слоя и термоградиентными напряжениями в этом слое, при этом сеть морозобойных трещин одной генерации возникает практически одновременно при короткопериодном колебании температуры.

Новая трещина образуется либо во льду, либо вдоль контакта лед – порода.

Снежный покров высотой от 0,6 до 1,0 м эффективно изолирует грунт от резких температурных перепадов и препятствует растрескиванию.

Морозобойная трещина возникает на поверхности пород, так как здесь наблюдаются наибольшие градиенты температур, но морозные трещины могут возникать и на некоторой глубине от поверхности.

Полигонально-жильное льдообразование

Наиболее ярким результатом повторяющегося морозобойного растрескивания и льдообразования в трещинах являются повторно-жильные льды. Описаны повторно-жильные льды в вулканогенных эффузивах на склонах вулканов Ключевской группы на Камчатке на 55° с. ш.

Особенности развития сингенетических повторно-жильных льдов.

Ярусное (циклическое) строение едомных толщ встречается достаточно часто, и, как правило, ярусность в сложении вмещающих пород корреспондирует с ярусностью в залегании повторно-жильных льдов.

Активный рост сингенетических повторно-жильных льдов происходит субаэрально во время аккумуляции торфа или оторфованных осадков.

Рост ледяных жил происходит преимущественно в субаэральных условиях. При возобновлении субаэрального режима, рост ледяных жил активизируется. Формирование сингенетических многолетнемерзлых осадков имеет циклический характер, Связано с режимом седиментационных изменений. И интенсивный процесс выдавливания, и тонкий перекрывающий слой ведут к формированию больших непрерывных сингенетических ледяных жил. Если мощность субаквального слоя велика, формируется многоярусная система.

Торфяники и оторфованные горизонты в едоме маркируют субаэральную фазу развития полигонального массива, сопровождающуюся не смягчением, а увеличением степени суровости локальной геокриологической обстановки, т. е. снижением температур грунтов и активным ростом повторно-жильных льдов.

Образование пластовых льдов.

Погребённые пластовые льды.

Основные возможные варианты образования погребенных пластовых залежей льда:

1) захоронение глетчерных льдов в изначально мерзлых моренах;

2) захоронение речных и озёрных плавучих льдов в озёрных и аллювиальных отложениях;

3) захоронение морских (лагунно-морских) поверхностных и донных льдов в прибрежно-морских отложениях;

4) захоронение глетчерных льдов в морских отложениях в условиях мелководья.

Погребённый лёд образуется первоначально на земной поверхности (ледники, наледи, морской, озёрный, речной лёд), а захоранивается под осадочными породами. Ледниковые льды имеют область питания, где масса льда пополняется, и область абляции, где ледник тает. При быстрых подвижках ледника и относительно резком сокращении аккумуляции между этими двумя областями может образоваться разрыв, и тогда язык ледника переходит в состояние мёртвого льда. Наиболее крупные массивы погребённых льдов формируются при захоронении мёртвого льда ледников. «Мёртвый лёд» - часть ледника, утратившая связь с областью питания и прекратившая движение; она расположена ниже конца активного ледникового языка. Хорошая сохранность мертвого льда под конечными моренами наблюдается в ледниках, заполняющих достаточно широкие долины с малыми уклонами дна в районе расположения концов ледников.

Мёртвый лёд.

Сохранение мертвого льда – результат благоприятных климатических и геолого-геоморфологических условий. Ледниковые льды переходят в погребенное состояние на конечных стадиях развития ледников, образуя ядра грядо- или холмообразных образований, перекрытых чехлом моренного материала.

Мощность погребенного льда здесь т 150 м и более. Этот процесс отмечается вблизи окончаний горных ледников, на поверхность которых со склонов поступает огромное количество обломочного материала.

Мёртвый лёд под слоем морены мощностью 0,5-1 м сохраняется не менее 6 лет.

Немаловажное значение для погребения ледникового льда имеет состав морены. Чем более грубозернистый состав морены, тем больше ее фильтрационная способность и тем более вероятно скорое протаивание погребенного льда. В горных районах к концам горно-долинных ледников приурочены все достоверные находки погребенного ледникового льда.

В криолитозоне можно встретить льды, погребённые в морских, лагунно-морских, озёрных, аллювиальных, склоновых многолетнемёрзлых отложениях. Льды

водоемов (морских, озерных, речных), образующиеся на их поверхности, переходят в погребенное состояние особенно часто вдоль берегов.

Погребенные льды.

Наиболее благоприятны для погребения поверхностных льдов подножия уступов крутых берегов. Если они сложены скальными грунтами, с них осыпаются и обваливаются крупные обломки, если рыхлыми - с них сползают и оплывают массы разжиженного грунта, погребая под собой прибрежные скопления льда.

Озёрные водоемы небольших размеров при глубине до 2 м промерзают до дна. Если лед прочно смерзся с донным грунтом, он может частично в процессе последующего накопления осадков быть погребенным ими.

В погребенное состояние может переходить и донный лед. Он широко образуется на каменистом дне северных рек и мелководной зоны холодноводных морей. ей.

Погребенные льды водоемов имеют характерные условия залегания, контакты их и вмещающих пород согласные. Лед залежей бывает прозрачный, стекловидный, молочно-белый сахаровидный, грязно-серый, местами ожелезненный, выполняет неровности подстилающих пород, а вышележащие породы согласно его перекрывают, причем слоистость последних имеет облекающий характер.

Инъекционные пластовые льды.

Инъекционный тип залежей образуется в результате замерзания ограниченного замкнутого объема свободной воды, внедрившейся в промерзающую или мерзлую породу сбоку или снизу в процессе эпигенетического формирования многолетнемёрзлых пород. Форма залежи в разрезе преимущественно сложная или пластовая с постепенным расширением пласта в сторону источника инъекции. При прорыве кровли и излиянии излишка свободной воды на поверхность в толще мерзлой породы может сохраниться вертикальное или наклонное ледяное тело в форме штока. Размеры залежей инъекционного льда зависят от запаса воды в промерзающей замкнутой системе, интенсивности промерзания и прочности пород, вмещающих подземные воды.

Благоприятные условия для развития инъекционного льдообразования существуют в районах с низкими температурами на участках, где водоносный горизонт располагается близко к поверхности. Где развиты многолетнемерзлые породы – это сезонно- талый слой.

Пластовые ледяные тела инъекционного типа — это крупные лакколиты, сформировавшиеся при инъекциях воды в ослабленные зоны массивов горных пород. В процессе внедрения происходит смятие вмещающих и перекрывающих пород; структура внедрившейся и замерзшей массы достаточно специфична.

Образование бугров пучения.

Образование миграционных бугров пучения. Миграционные бугры пучения на торфяных массивах – выпуклая мезоформа рельефа, возникающая при восходящем развитии многолетнемёрзлых пород в результате совместного протекания инъекционного, миграционного и сегрегационного процессов.

Многолетнемёрзлые бугры пучения – распространенная форма мерзлотного рельефа, встречаются в районах с высокими среднегодовыми температурами (около

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

нуля), нередки и в зоне сплошных с поверхности многолетнемёрзлых пород с низкими среднегодовыми температурами (вплоть до -15…-16 °С). Высота миграционных бугров составляет обычно от < 1 до 7-8 м. Поверхность бугров бывает пересечена открытыми трещинами, созданными куполовидным поднятием, морозобойным растрескиванием или иссушением. Обязательной составляющей этих бугров является торф, включающий многолетнемерзлое ядро с ледяными шлирами, толщина их не более 2-3 см.

Формирование бугров пучения – это один из самых опасных процессов для длительно существующих линейных сооружений: дорог, взлётных полос аэродромов, нефте- и газопроводов. Наблюдается выпучивание и всплытие трубопроводов.

Формирование инъекционных бугров пучения.

В зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород широко распространены инъекционные бугры пучения, которые подразделяются на гидролакколиты и булгунняхи. Булгунняхи располагаются в котловинах с затрудненным стоком, преимущественно в таких, большая часть которых представляет собой высохшие озера…

Гидролакколит – это выпуклая мезоформа рельефа высотой до 25-30 и диаметром в 250-400 м, сложенная глинистыми грунтами, возникающая при восходящем развитии многолетнемерзлых пород в результате внедрения напорных подземных вод и образования мощного инъекционного ледяного ядра. Булгунняхи располагаются в районах новейших тектонических поднятий, в различных частях зоны сплошного распространения многолетнемерзлых пород. Булгунняхи постепенно вырастают среди низин, а в ядре их обнаруживается ископаемый лед. Это дало основание считать булгунняхи результатом пучения и применять название «булгуннях» для обозначения многолетних бугров пучения. *Булгуннях* – выпуклая мезоформа рельефа высотой до 8-10 м и диаметром в десятки метров, окруженная со всех сторон понижениями и сложенная грунтами супесчано-суглинистого состава с прослоями песков.

Размеры гидролакколитов в плане (250-400 м в диаметре) намного превышают размеры булгунняхов; высота гидролакколитов превышает 25- 30 м, в то время как булгунняхи обычно составляют 15-20 м.

Булгунняхи.

Булгунняхи встречаются на высоких поймах рек и в местах осушения термокарстовых озер на террасах и междуречных равнинах. располагаются в котловинах с затрудненным стоком, преимущественно в таких, большая часть которых представляет собой высохшие озера.

Строение булгунняхов неоднородно, в их разрезе преобладают отложения супесчано-суглинистого состава с прослоями песков. Породы в ядре бугра сильно льдонасыщенные, в ядрах бугров линзы и прослои чистого льда. сейчас происходит не только формирование новых бугров инъекционного и инъекционно-сегрегационного генезиса, но и продолжается рост бугров, сформировавшихся в более ранние этапы голоцена.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Рис. 23.1. Булгунняхи

Образование криопэгов.

Промерзание морских или континентальных засолённых отложений имеет специфическую особенность: оно сопровождается образованием криопэгов отрицательно-температурных высокоминерализованных незамерзающих вод.

Выделяют три основных типа криопэгов:

- надмерзлотные,
- межмерзлотные,
- подмерзлотные криопэги.

Надмерзлотные криопэги развиты в сезонно-талом слое, а также в придонном слое вод морских акваторий. Криопэги, залегающие на небольшой глубине в многолетнемёрзлых породах, наиболее широко распространены в современных отложениях лайды, приливно-отливной зоны и подводного берегового склона северных побережий.

Криопэги, пропитывающие сезонно-талый слой пород приливно-отливной зоны, по составу близки к морской воде, а по своей минерализации существенно превышают ее. Они обогащены хлоридами натрия и сульфатами. Эти воды участвуют не только в формировании шлировых льдов синкриогенных пород, но и в формировании повторно-жильных льдов.

Криопэги в современных морских отложениях развиваются как при сингенетическом, так и при эпигенетическом их промерзании. На большей части территории они образуются при синкриогенезе, в более древних толщах - в процессе эпикриогенеза.

В мелководной части подводного берегового склона молодые, пропитанные морской водой, осадки начинают промерзать сверху. В синхронном процессе накопления и промерзания осадков формируются линзы и прослои высокоминерализованных криопэгов.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

Межмерзлотные криопэги развиты в голоценовых морских отложениях. С горизонтом охлажденных пород, залегающим ниже слоя мерзлых грунтов, связаны напорные отрицательно-температурные минерализованные воды криопэги, которые распространены на высокой и низкой лайдах Печорского моря и приурочены к прослоям песков и контактам последних с водоупорами.

Тип воды криопэгов и поровых растворов преимущественно хлоридно-натриевый, преобладание натрия над кальцием достигало значения 27,6. На восточном побережье Чукотки на контакте с мёрзлыми плейстоценовыми глинами вскрыты линзы криопэгов с минерализацией 38-40 г/л.

Формирование подмерзлотных криопэгов в голоценовых морских отложениях связано с их постепенным промерзанием сверху. В ходе этого процесса идет вымораживание воды из соленых поровых вод, повышение их концентрации и отжатие вниз по мере нарастания мерзлой толщи.

Формирование криопэгов в голоценовых морских отложениях связано с криолитогенезом осадков, пропитанных морской водой.

Подход основан на анализе экспериментальных данных об изменении химического состава морской воды при охлаждении в диапазоне температур 0… -30 "С. При вымораживании морской воды в твердую фазу последовательно выпадают лед, мирабилит, гидрогалит при температурах 1,9, -5,9, -22,9 °С. В лаборатории CRREL приняты следующие температурные интервалы:

1 стадия – охлаждение от 0 до -1,9 °С,

2 стадия – концентрирование от -1,9 до -5,9 °С,

3 стадия – десульфатизация от -5,9 до -22,9 °С.

Если криопэг промерзает до температуры более низкой, чем -5,9 °С, (- 10 °С), то часть мирабилита выпадет в осадок, а в жидкой фазе раствора содержание сульфата натрия уменьшится и будет соответствовать температуре -10 °С.

Выводы:

1) Криопэги распространены в отложениях лайд, островов, пойм в низовьях рек, характеризующихся морским типом засоления.

2) Минерализация от 20 до 150 г/л. Состав: хлоридно-натриевый.

3) Температура: от -1 до -8 "С.

4) Межмерзлотные криопэги в разрезах позднеплейстоценовых и голоценовых морских террас на глубине от 1-2 до 25 м, до 200м.

5) Мощность линз 1,5-2 м; воды напорные – напор достигает 30 м.

6) Жидкая компонента напорных линз может фильтроваться по порам и микротрещинам мерзлых пород, что сокращает объём криопэгов и их исчезновению.

23.2. Влияние мерзлотных процессов на ИГ деятельность

Наиболее опасными из криогенных явлений, влияющих на инженерно-хозяйственную деятельность, являются криопэги. Опасность криопэгов в том, что содержащиеся в них высоко минерализованные воды агрессивны по отношению к металлическим, бетонным и железобетонным конструкциям.

Наличие криопэгов препятствует смерзанию свай с грунтом и снижает их несущую способность. Присутствие линз незамерзшей воды в толще

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

многолетнемерзлых пород оказывает влияние на динамику температурного режима грунтов и их физико- механические свойства. Из-за близкого залегания криопэгов и засолённых грунтов возрастает число деформированных зданий.

Основным мероприятием по защите скважин и несущих свай от проявления криопэгов является перенесение ответственных сооружений. Никакие другие меры, включая замораживание или замену грунтов, не являются эффективными для предотвращения негативного воздействия криопэгов.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Лекция 24. Цунами

24.1. Явление цунами

«Цунами» (в переводе с японского «большая волна в гавани») – это серия распространяющихся в океане волн с очень большой длиной и периодом. Цунами образуются вследствие землетрясений, происходящих в океане или вблизи его побережья. Кроме того, цунами могут образоваться при извержении подводных вулканов, а также при обвалах больших участков суши в океан. Цунами перемещается в глубоководных районах океана со скоростью несколько сотен километров в час, расстояние между последовательными гребнями волн может быть более нескольких сотен километров, поэтому в открытом море они не ощущаются находящимися на борту судов. При выходе цунами на мелководные участки побережья скорость волн резко уменьшается, а высота их значительно увеличивается. На мелководных участках цунами становится опасным для жизни и материальных ценностей, здесь его высота может стать более 30-50 м, а разрушительная сила волн - огромной.

Взаимодействие волны с береговым рельефом характеризуется высотой заплеска и длиной участка затопления. Для катастрофических цунами высота заплеска превышает 30 м, а расстояние от стандартного положения береговой линии до границы зоны затопления может составлять 3-5 км

Рис. 24.1. Цунами

Районы распространения цунами.

Первый цунами в России отмечен 17 октября 1737 г. Высота волны составляла несколько десятков метров. В последующие годы отмечалось около 75 случаев цунами. Вблизи побережья Охотского моря цунами отмечено три раза, у беринговоморского побережья – два раза.

В прошедшем столетии было три случая сильных цунами:

- 14 апреля 1023,
- 5 ноября 1952,
- 23 мая 1960.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ НА VK.COM/TEACHINMSU

Все эти события относятся к цунами на побережье Камчатки.

Тихоокеанское побережье России опасно цунами. Населенные пункты и сооружения в вершинах заливов и бухт, открытых к океану и клинообразно сужающихся в сторону суши, страдают больше всего.

На Тихоокеанском побережье Камчатки и Курильских островов цунами возникают с максимальным подъемом уровня свыше 23 м раз в 100-200 лет, с подъемом от 8 до 23 м – раз в 50-100 лет, с подъемом от 3 до 8 м – раз в 20-30 лет, с подъемом 1-3 м – раз в 10 лет. Катастрофические цунами с высотой больше 20 м у Тихоокеанского побережья Камчатки и Курильских островов за три последних столетия наблюдались: 6.10.1737 г. и 5.11. 1952 г.

Катастрофическое цунами у Северо-Курильска произошло 5 ноября 1952 г. и привело к разрушению нескольких населённых пунктов Сахалинской и Камчатской областей. Цунами было вызвано землетрясением магнитудой 8,5, которое произошло в Тихом океане на час раньше, в 130 км от побережья Камчатки.

Цунами на Тихоокеанском побережье

Три волны высотой до 15-18 м уничтожили г. Северо-Курильск и нанесли ущерб другим населённым пунктов. Погибло 2336 человек. Население города до трагедии было около 6 тысяч человек.

Первая волна высотой около 13-15 м, шедшая со скоростью 300-500 км/ч., пришла через 40 минут после землетрясения.

Вторая волна – самая высокая (15- 20 м) – застигла людей врасплох и уничтожила оставшиеся здания.

Третья (последняя) волна была самой слабой.

Сильные колебания уровня океана отмечались в течение дня 5 ноября в 700-километровой зоне побережья.

Цунами, возникающие у берегов Камчатки, Курильских островов и Сахалина, вызываются землетрясениями, происходящими в северо-западной зоне тихоокеанского сейсмического пояса (Алеутский, Курило-Камчатский и Японский глубоководные желоба). Цунами в этих районах могут быть вызваны и удаленными землетрясениями, например в Чили (23 мая 1960 г.). Цунами прошли за сутки расстояние 15 000-18 000 км от Тихоокеанского побережья Южной Америки до Курильских островов и Камчатки, В Сахалинской области с 1957 по 2007 гг. зарегистрировано 36 цунами. Цунами 1952 г. привело к созданию в 1958 г государственной службы предупреждения о цунами. Теперь в России действуют только три сейсмостанции (было 6).

24.2. Условия развития цунами

Цунами образуются во время резкого вертикального движения горных пород вдоль разлома при сильном землетрясении. Во время подводных землетрясений перемещается океаническая кора и поверхность моря над зоной деформации океанического дна подвержена аналогичной деформации: возникает волна цунами.

При землетрясениях, которые происходят при смещениях вдоль горизонтальных разломов, возникают цунами, имеющие локальный характер и не распространяющиеся на большие расстояния. Крупные землетрясения вдоль горизонтальных разломов у побережья Аляски и Британской Колумбии вызывали цунами, зона действия которых

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

простиралась не более чем 100 км. Цунами происходят после сильных землетрясений с небольшой глубиной залегания очага под океанами.

Несколько цунами под действием землетрясений происходили на суше.

Причиной цунами могут быть изменения морского дна или действие сейсмических поверхностных волн, проходящих через неглубокий континентальный шельф. Длинно-периодные поверхностные волны Рэлея имеют вертикальную составляющую и передают значительную часть энергии землетрясений.

Причины цунами.

Существует шесть основных причин возникновения цунами:

1. *Подводное землетрясение* (около 85 % всех цунами). При землетрясении под водой образуется вертикальная подвижка дна: часть дна опускается, а часть приподнимается. Поверхность воды приходит в колебательное движение по вертикали, и стремясь вернуться к исходному среднему уровню моря, порождает серию волн. *Цунамигенным* обычно является землетрясение с неглубоко расположенным очагом. Наиболее сильные цунами генерируются в зонах субдукции.

2. *Оползни*. Цунами такого типа возникают часто (около 7 % всех цунами). 9 июля 1958 г. в результате землетрясения на Аляске в бухте Литуйя возник оползень. Масса льда и пород обрушилась с высоты 900 м. Образовалась волна, достигшая на противоположном берегу бухты высоты более 500 м. Чаще происходят подводные оползни в дельтах рек, которые не менее опасны. Оползневые цунами опасны, т. к. случаются регулярно, вызывая локальные волны высотой более 20 м.

3. *Вулканические извержения* (около 5 % всех цунами). Крупные подводные извержения обладают таким же эффектом, что и землетрясения. При сильных вулканических взрывах не только образуются волны от взрыва. Вода заполняет полости от извергнутого материала и возникает длинная волна. Классический пример - цунами после извержения Кракатау в 1883 г. Цунами от вулкана Кракатау уничтожили 5000 кораблей, погибло 36 тыс. человек.

4. *Человеческая деятельность*. В 1946 г. США произвели в морской лагуне глубиной 60 м подводный атомный взрыв с тротиловым эквивалент. 20 тыс. т. Возникшая волна на расстоянии 300 м от взрыва поднялась на высоту 28,6 м, а в 6,5 км от эпицентра ещё достигала 1,8 м. Цунами от подводных оползней и взрывов всегда несут локальный характер.

5. *Падение метеорита или астероида* может вызвать огромное цунами, так как, при огромной скорости падения имеют колоссальную кинетическую энергию, которая будет передана воде, следствием чего и будет волна. Падение метеорита 65 млн лет назад вызвало цунами, отложения которого найдены на территории штата Техас.

6. *Ветер* может вызывать большие волны (до 20 м), но они не являются цунами, так как они короткопериодные и не вызывают затопления на берегу. Возможно образование метео-цунами при изменении давления. Такое явление наблюдается на Балеарских островах и называется «риссага».

Скорость распространения волн цунами зависит от глубины воды. Если глубина воды уменьшается, скорость цунами также уменьшается. В средней части Тихого

океана, где глубина воды достигает 4,5 км, волны цунами могут распространяться со скоростью более 800 км/ч.

24.3. Рефракция и дифракция волн

Если длина волны значительно превышает глубину воды в месте, где она проходит, различные части этой волны распространяются с различными скоростями, вызывая искривление волн, что и называется рефракцией.

Дифракция – искривление волн вокруг объектов. Это позволяет волнам проходить через препятствия в гавани, так как энергия переносится поперечно по отношению к гребню волны. Когда цунами распространяются на большие расстояния через океаны, необходимо принимать во внимание сферичность Земли, чтобы определить воздействие цунами на удаленные побережья. Волны, которые расходятся в разные стороны возле источника образования, могут вновь сойтись в точке на противоположном конце океана.

Лучи волн цунами также отклоняются от своего естественного пути вдоль максимальных окружностей из-за рефракции лучей под воздействием разницы в глубине мест, стремясь к более глубоким местам. Влияние такой рефракции на волны цунами удаленного происхождения приводит к тому, что не всегда волны цунами сходятся в одном месте на противоположном конце океана.

Механизм образования цунами.

Движение волны происходит под действием гравитационной силы. Толщина водного слоя (H) в области распространения волны оказывается значительно меньше её длины ($H/L << 1$). В открытом океане волны цунами распространяются со скоростью

$$c = \sqrt{gH},$$

где g – ускорение свободного падения, H – глубина океана (так называемое приближение мелкой воды), когда длина волны существенно больше глубины. При средней глубине Мирового океана 4000 м скорость распространения волны 200 м/с, (720 км/ч.)

В открытом океане высота волны редко превышает один метр, а длина волны достигает 500-1000 км. При выходе волн на мелководье, вблизи береговой черты, их скорость уменьшается, а крутизна переднего фронта увеличивается. Высокие волны (30-50 м) образуются у крутых берегов, в клинообразных бухтах

Взаимодействие волны с береговым рельефом характеризуется высотой заплеска и длиной участка затопления. Для катастрофических цунами высота заплеска или вертикальное превышение подъема воды над обычным уровнем акватории достаточно часто превышает 10-30 м, а расстояние от стандартного положения береговой линии до границы зоны затопления составляет 3-5 км.

24.4. Методы прогнозирования

СПЦ непрерывно следит за сейсмической обстановкой и уровнем поверхности океана в Тихоокеанском побережье.

Система предупреждения о цунами – это международная программа, требующая участия многих служб, занимающихся вопросами сейсмичности, приливных явлений, связи и распространения информации из различных стран Тихоокеанского региона. Административно страны-участницы объединены в рамках Международной

океанографической комиссии как члены Международной координационной группы по Системе предупреждения о цунами в Тихоокеанском регионе (*ICG/ITSU*).

Международный центр информации о цунами был создан с целью уменьшить риск, связанный с цунами в Тихоокеанском регионе. Тихоокеанский центр предупреждения о цунами (ТЦПЦ) является оперативным центром Системы предупреждения о цунами в Тихоокеанском регионе и расположен на Гавайских островах США в г. Гонолулу.

СПЦ Дальнего Востока является межрегиональной и состоит из трех региональных служб: Камчатской, Сахалинской областей и Приморского края. В Камчатской области предупреждение о цунами осуществляют станция цунами Камчатского территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и сейсмическая станция Института физики Земли АН России.

На территории Российской Федерации Сахалинский центр цунами несет круглосуточное оперативное дежурство с целью своевременного предупреждения населения, проживающего у побережья, об угрозе цунами. В зону его ответственности входит о. Сахалин, Курильские о-ва и побережье японского моря Приморского и Хабаровского краев. При объявлении тревоги цунами океанологи выполняют расчет времени подхода волны цунами к защищаемым участкам побережья и к населенным пунктам и оповещают об опасности цунами местные органы управления, прибрежные предприятия и население. При проведении оперативных действий по тревоге цунами в Сахалинский центр цунами поступает информация о текущем состоянии моря.

Служба оперативного предупреждения.

В Сахалинской области службу оперативного предупреждения об опасности проявления цунами вблизи защищаемых участков побережья осуществляют Центр цунами Сахалинского УГМС и сейсмостанция «Южно-Сахалинск» Геофизической службы Российской АН, находящиеся в г. Южно-Сахалинске, сейсмостанция «Северо-Курильск», ответственная за объявление тревоги цунами на Северных Курилах, и Сейсмические станции ответственные за объявление тревоги при близких землетрясениях с эпицентральным расстоянием до 3000 км от г. Южно-Сахалинска.

После получения данных о параметрах случившегося землетрясения Центр цунами рассчитывает время подхода фронта волны цунами к населенным пунктам Сахалина и Курильских островов и осуществляет оперативное наблюдение за изменением состоянием моря, для чего задействуются наблюдатели на всех гидрометеопостах Сахалина, экипажи морских судов и другие береговые службы и системы связи. По мере поступления в Центр цунами данных о реальном проявлении цунами на побережье вырабатывается решение о времени окончания угрожающего периода и подается отбой как собственным тревогам, так и тревогам сейсмостанцией.

Мероприятия по снижению катастрофических последствий цунами.

В режиме повышенной готовности Центр цунами осуществляет взаимодействие с аналогичными зарубежными центрами, включенными в регламент отработки тревожных ситуаций в Тихоокеанском регионе. На местном уровне Сахалинский центр цунами инициирует созыв областной комиссии по чрезвычайным ситуациям и обеспечивает его информацией о фактическом развитии событий после случившегося

подводного землетрясения, и включается в сбор фактической информации об ощутимости и последствиях сильных землетрясений на побережье.

За период 1958-1998 гг. на Сахалине и Курилах было зарегистрировано 42 случая цунами. Из них 34 возникли в ближней зоне (Курило- Камчатский глубоководный желоб, Японское и Охотское моря) и 8 – в отдаленных районах Тихого океана.

Не во всех случаях сильных землетрясений, происходящих вблизи побережья, образуется цунами. Но в связи с тем, что вероятность его возникновения велика, предупреждения о цунами при сильных землетрясениях вблизи побережья выпускаются во всех случаях, когда величина землетрясения превышает пороговое значение.

Оценка риска цунами.

Опасность цунами оценивается совокупностью региональных, субрегиональных и локальных факторов (морфоструктурного типа береговой зоны и др.). Уязвимость береговой зоны характеризуется плотностью населения, застройки и основных производственных фондов, балансовой стоимостью имущества, жилья, дорог, мостов и т. д. Г. Л. Коффом и др. (2007) была выделена система зональных и локальных факторов риска для побережья о. Сахалин и Южных Курильских о-вов. Среди региональных выделены: характер подводного берегового склона (обрывистый, крутой и пологий), наличие подводной аккумулятивной отмели и экспозиция берегового участка по отношению к расположению эпицентра цунамигенного землетрясения.

В числе локальных факторов риска наиболее значимы: наличие или отсутствие пляжа и широкой первой морской террасы, наличие или отсутствие прорезающих бухту речных долин, степень открытости бухты по отношению к свободной акватории.

Оценка риска цунами определятся соотношением

$$R = \sum (k \cdot w),$$

где k – коэффициент значимости зонального или локального фактора при формировании риска, а w – вес вклада разновидности фактора в формировании риска для всех факторов.

При сейсмогенном цунами 4-5 октября 1994 г. была получена линейная зависимость между значениями $\sum(k \cdot w)$ и высотами заплеска, а также горизонтального заплеска волн цунами над урезом.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ
МГУ ИМЕНИ
М.В. ЛОМОНОСОВА

teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ