

## Содержание

Введение.....	3
1. Эрозия почв .....	5
1.1. Классификация эрозионных процессов .....	5
1.2. Факторы, определяющие интенсивность водных эрозионных процессов .....	6
1.2.1. Климатический фактор.....	8
1.2.2. Особенности географического рельефа.....	12
1.2.3. Геологические структуры почвообразующих пород и характеристики грунта .....	17
1.2.4. Растительные покровы.....	21
2. Опасные явления при возникновении водной эрозии почвы.....	22
2.1. Поверхностная эрозия.....	23
2.2. Линейная эрозия .....	25
3. Противоэрозионных сооружений на трассах трубопровода.....	30
3.1. Обследование состояния эрозионно-опасных участков трубо- проводов.....	30
3.1.1. Подготовительные работы .....	30
3.1.2. Техническое обследование.....	31
3.1.3. Инженерно-геодезические изыскания .....	32
3.1.4. Инженерно-геологические изыскания .....	33
3.1.5. Инженерно-гидрометеорологические изыскания.....	33
3.2. Проектирование противоэрозионных сооружений на трассах.....	34
3.2.1. Выбор противоэрозионных мероприятий.....	34
3.2.2. Предотвращение поверхностного смыва и вымывания грунта засыпки на склонах .....	37
3.2.3. Дополнительные мероприятия на склоновых участках трубопроводов.....	42
3.2.4. Борьба с растущими оврагами .....	44

3.2.5. Дополнительные мероприятия по предотвращению роста оврагов .....	46
3.2.6. Защита размывших участков трубопроводов на пересечениях с временными и малыми водотоками .....	47
Заключение .....	50
Список используемых источников.....	52

## Введение

При проектировании инженерной защиты от обвальных и оползневых процессов необходимо рассматривать целесообразность применения мероприятий направленных на предотвращение и стабилизацию водных эрозионных процессов. Эти опасные геологические явления характеризуются относительно высокой интенсивностью. Эрозия непосредственно или потенциально влияет на эксплуатационную надежность сооружений, их основания и фундамент. Самая отрицательная сторона эрозии почвенного покрова заключается в разрушении строения почвенного профиля и потере важных составляющих его частей.

Кроме того, водная эрозия – один из наиболее мощных современных рельефообразующих процессов. В России наибольшее распространение получила водная эрозия. Она проходит широкой полосой через всю территорию страны.

Эрозия усиливается в связи с антропогенной деятельностью, которая связана с отсутствием противоэрозионных мероприятий или их неверным проведением, а также строительством промышленных объектов, добычей полезных ископаемых. Например, интенсивность проявления экзогенных геологических процессов на магистральном газопроводе «Сила Сибири», в числе которых склоновые и эрозионные процессы, составляет 25%. Главной причиной появления эрозии является механическое воздействие атмосферных вод на горные породы и переносимых ею обломков, прежде разрушенных пород. Она формируется на склонах, где стекает талая или дождевая вода. Ущерб от водной эрозии огромен. Вода, стекая, образует промоины и вымывает из земли органические и минеральные вещества. Этот процесс приводит к образованию оврагов. При наличии в воде обломков пород эрозия резко усиливается. Чем больше скорость течения воды, тем более крупные обломки будут переноситься, и тем интенсивнее будут идти

эрозионные процессы. Следовательно, в этих местах должны предусматриваться противоэрозионные сооружения.

Актуальность проблемы обусловлена тем, что при проектировании магистральных нефтепроводов проводят недостаточные противоэрозионные мероприятия и как следствия происходит смыв почвы.

Цель работы заключается в предотвращение водной эрозии грунтов на потенциально-опасных участках при проектировании линейной части магистральных нефтепроводов.

Для достижения поставленной цели необходимо решение совокупности следующих задач:

1. Изучить эрозию почв;
2. Рассмотреть опасные явления при возникновении водной эрозии почвы;
3. Проанализировать противоэрозионные мероприятия, применяемые на потенциально-опасных участках при проектировании линейной части магистральных нефтепроводов.

Объектом исследования является водные эрозионные процессы.

Предметом исследования является, водные эрозионные процессы на потенциально-опасных участках при проектировании линейной части магистральных нефтепроводов.

В ходе работы были применены следующие методы исследования: обобщение научной литературы и теоретический анализ.

## 1. Эрозия почв

### 1.1. Классификация эрозионных процессов

Одновременно с процессом почвообразования в природе под воздействием атмосферных осадков и ветра происходит нарушение естественного растительного покрова и разрушение почвенного горизонта. Такое явление называют эрозией почвы. Эрозию также называют коррозией грунтов или коррозией почвы. Ранее под эрозией понималось всякое физическое разрушение почв независимо от того, какими силами разрушение было вызвано. В настоящее время эрозией почвы является совокупность протекания процессов разрушения и смещения, а также снос верхних, обладающих наибольшим плодородием, слоев почвы сопровождаемый их отложением под воздействием внешних факторов. Этот естественный процесс способствует формированию ландшафтов.

При эрозии почва теряет частицы грунта и как следствие меняет свой химический состав. В эродированных почвах уменьшается в несколько раз количество важнейших химических элементов таких как: гумус, азот, фосфор и др.[1]

Существует два основных вида эрозии почв: водная и ветровая эрозии.

Водной эрозией почвы называют разрушение и смыв незакрепленного растительностью почвенного покрова под действием потоков воды, а иногда и почвообразующих пород. Данный вид эрозии протекает вследствие нарушения устойчивого водного режима от поверхностного стока дождевых или талых вод. [1]

Ветровой эрозией или дефляцией называют выдувание и перенос мельчайших частиц почвы ветром на большие расстояния. Ветровые бури сильно меняют свойства почвы. В местах выдувания гибнет растительность из-за того, что корневая система растений обнажается. В районах отложения

мелкозема растения оказываются погребенными под большим слоем пылевых наносов. [1]

Каждую из видов эрозии по характеру проявления и наносимого ущерба подразделяют на нормальную и ускоренную.

Нормальная эрозия почв протекает в естественных масштабах, когда процессы перемещения материала идут медленнее, чем почвообразование и сохраняется природное равновесие в экосистеме. Тогда эрозия не приводит к заметным изменениям рельефа земной поверхности. Постепенное размывание и выветривание поверхностного слоя, слабо снабженного растительностью, не изменяет свойств почв и постепенно восполняется в процессе естественного формирования почвенного покрова.

Ускоренная эрозия почвы часто вызвана нерациональной деятельностью человека, в результате которой усиливаются естественные эрозии. Анормальная эрозия протекает в районах с расчлененным рельефом. Такая эрозия почв нарушает природный баланс экосистемы, потому что протекает быстрее, чем процесс почвообразования. Последствия ускоренной эрозии приводят к деградации почвы и сопровождаются значительным разрушением материнской породы, а также изменением рельефа земли, в результате чего появляются овраги и всевозможные промоины. [3]

По причинам возникновения эрозию подразделяют на естественную и антропогенную. Однако следует отметить, что эрозия, вызванная антропогенным фактором, не всегда является ускоренной, и наоборот.[2]

## 1.2. Факторы, определяющие интенсивность водных эрозионных процессов

Водная эрозия почв проявляется при определенном сочетании природных условий и изменением их соотношения деятельностью человека. По степени своего проявления, негативного влияния на почвенный покров, соотношению природного и антропогенного процесса и другим

характеристикам эрозия почв имеет отчетливые региональные и даже локальные характер. Два соседних региона могут быть в разной степени подвержены эрозионным процессам, из которых одно расположено на идеальной равнине, а другое – на примыкающих к ней склонах. Однако факторы, вызывающие эрозию и определяющие силу ее проявления, везде одинаковы, но их соотношение, сила влияния могут существенно различаться и изменяться иногда на очень небольших расстояниях. Большое значение также имеют атмосферные осадки, особенно характер их выпадения, так как непосредственной силой, энергетическим двигателем процесса эрозии служит текучая вода. [1]

Важным фактором проявления эрозии является характер почв, степень их сопротивляемости смыву и размывку, способность впитывать в себя воду. В естественных условиях большую роль, при этом положительную, играет природная растительность: лес, луг, степь, пустыня – в нисходящем порядке защищают почву от эрозии при равенстве всех прочих факторов. Известную роль играет и характер материнских горных пород, поскольку их свойства во многом наследуются залегающими на них почвами.

Таким образом, основными природными факторами, которые влияют на развитие эрозионных процессов, являются:

- Климатический фактор;
- Особенности географического рельефа;
- Геологические структуры почвообразующих пород и характеристики грунта;
- Растительные покровы.

Рассмотрим более подробно каждый из факторов возникновения водной эрозии. [1]

### 1.2.1. Климатический фактор

Непосредственное влияние на эрозионные процессы оказывают вид и количество осадков, их распределение по месяцам, суточные максимумы, продолжительность, интенсивность, а также время выпадения. Меньшее влияние на возникновение водных эрозионных процессов влияет температура, влажность воздуха, а также скорость ветра. При выпадении большого количества осадков за короткий промежуток времени, процент возникновения водной эрозии возрастает. Зависимость между средним годовым количеством осадков и эрозией почв показана на рисунке 1.[7]

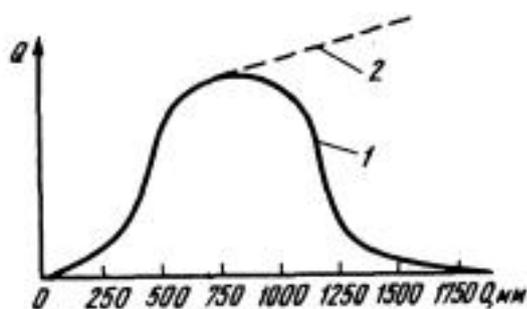


Рисунок 1 – Зависимость между средним годовым количеством осадков  $O$  и почвенной эрозией  $Q$ ; 1– при сохранении естественной растительности; 2 – при удалении естественной растительности.

При выпадении ливней почва не успевает впитать влагу, и избыток воды стекает по склонам. Зависимость между интенсивностью эрозии и продолжительностью дождя показана на рисунке 2 и в таблице 1. [7]

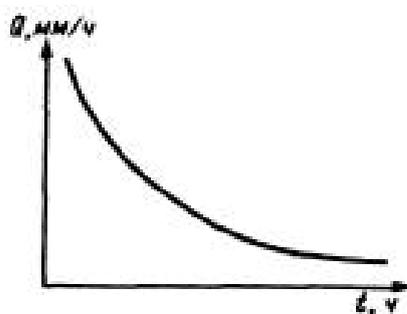


Рисунок 2 – Зависимость между интенсивностью эрозии  $Q$  и продолжительностью дождя  $t$

Таблица 1 – Зависимость стока и смыва почвы от интенсивности дождя на примере серой лесной почвы

Интенсивность дождя, мм/мин	Сток, % количества осадков	Смыв почвы, т/га
0,25	5	0,22
0,5	19	0,75
1	56	6,6
2	61	35

Эрозия почвы во время дождя происходит за счет воздействия потока воды и падающих капель. На рисунке 3 показано распределение капель по диаметру при выпадении дождя разной интенсивности. [6]

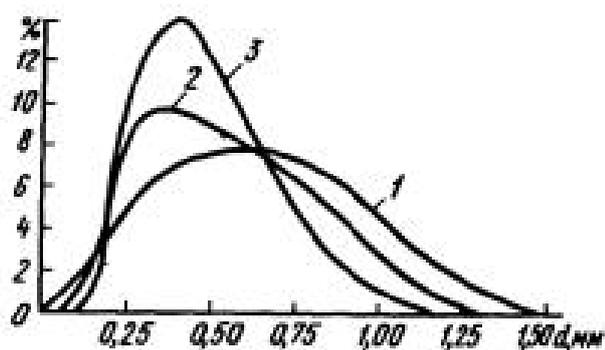


Рисунок 3 – Распределение капель по диаметру при выпадении дождя разной интенсивности, % 1 – 65...115 мм/ч; 2 – 115...165 мм/ч; 3 – свыше 165 мм/ч

Наибольшее значение, среди климатических факторов, имеет кинетическая энергия дождя, которая в свою очередь зависит от размеров капель и скорости их падения. Их разрушительная сила возрастает по мере увеличения диаметра капель. Диаметр капель в затяжных осадках составляет 1-1,5 мм, в ливневых он равен 3-5 мм. Зависимость конечной скорости дождя от диаметра капель показана на рисунке 4. [7]

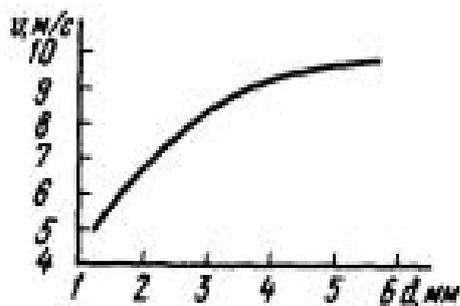


Рисунок 4 – Зависимость конечной скорости дождя от диаметра капель

Капли дождя способствуют разрушению структуры почв, создавая в потоке дополнительную турбулентность. При соприкосновении капель с грунтом в воздух поднимаются десятки тонн почвы на одном гектаре, однако, почва лишь частично выносится потоками воды. Разбрызгивание приводит к перемещению частиц с верхней части склона на нижнюю.[2]

Эрозионно-опасной считается годовая сумма осадков равная 400-650 мм, причем значительная их часть выпадает в виде ливней. В России опасность дождевой эрозии нарастает с востока на запад и с севера на юг. Для определения интенсивности ливней пользуются таблицей 2. [7]

Таблица 2 – Критерии ливней по Э.Ю.Бергу

Продолжительность дождя, мин.	Количество осадков, мм	Интенсивность ливня, мм/мин.
5	2,5	0,50
15	5,0	0,33
30	8,0	0,27
45	10,2	0,23
60	12,0	0,20
120	18,0	0,15
360	33,0	0,09

Оценить опасность ливневой эрозии можно также по величине эрозионного индекса осадков на основании приводимых данных в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристика дождей по степени эрозионной опасности

Эрозионная опасность осадков	Эрозионный индекс осадков
Слабая	0,7-2,5
Средняя	2,6-10
Сильная	11-15
Очень сильная	Более 15

Эрозионные процессы зависят также от характера зим и длительности весеннего снеготаяния. Как следствие, эрозия почв в европейской части России проявляется значительно сильнее, чем в азиатской части. [1]

Особенностью Сибири является то, что из-за сильных морозов почва подвержена сильному морозобойному растрескиванию и при снеготаянии большая часть талых вод стекает в трещины. За счет этого значительная часть талых вод не остается на поверхности, что способствует уменьшению эрозии. [9]

Сток от талых вод возникает при интенсивном снеготаянии и слабой водопоглощающей способности почв. Интенсивность стока можно оценить по шкале, приведённой в таблице 4.[7]

Таблица 4 – Шкала интенсивности стока талых вод

Сток	Величина стока, мм	Коэффициент стока
Нет	0,0	0,0
Очень слабый	До 7	До 0,05
Слабый	От 8 до 20	0,06-0,15
Умеренный	От 21 до 40	0,16-0,35
Сильный	От 41 до 75	0,36-0,65
Очень сильный	От 76 до 115	0,66-0,85
Чрезмерно сильный	Более 115	Более 0,85

### 1.2.2. Особенности географического рельефа

Геоморфологические особенности местности оказывают сильное влияние на эрозионные процессы. Рельеф складывается из положительных и отрицательных форм, которые ограничены склонами. Значение рельефа в развитии водных эрозионных процессов формируется тем, что он влияет на скорость стекающих по склону вод, следовательно, и на их разрушающую силу. Зависимость интенсивности смыва почвы  $Q$  от скорости потока  $V$  показана на рисунке 5.[7]

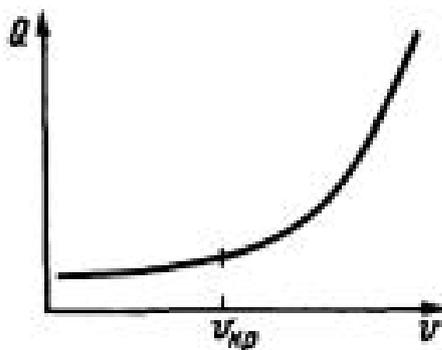


Рисунок 5 – Зависимость интенсивности смыва  $Q$  от скорости потока  $V$ .

На водную эрозию почв оказывают влияние такие показатели, как глубина местных базисов эрозии, расчленённость рельефа долинно-балочной сетью, форма и экспозиция склонов, величина водосборной площади. Однако наибольшее влияние на возникновение водной эрозии оказывает длина и крутизна склона. [3]

Рельеф земной поверхности рассматривают как один из компонентов географической среды с учетом взаимодействия его с геологическим строением, поверхностными и подземными водами, растительностью, почвой и другими элементами природной среды. Влияние рельефа на почвообразование связано с притоком воды, с возрастом и химическим составом материнских и подстилающих пород.

Крутизна склона является главной характеристикой рельефа. С увеличением склона скорость стока поверхностных вод возрастает.

Крутизну склона выражают отношением разности высот двух точек А и В склона  $\Delta h$  к горизонтальной проекции АС расстояния между этими точками  $l$  как показано на рисунке 6.[3]

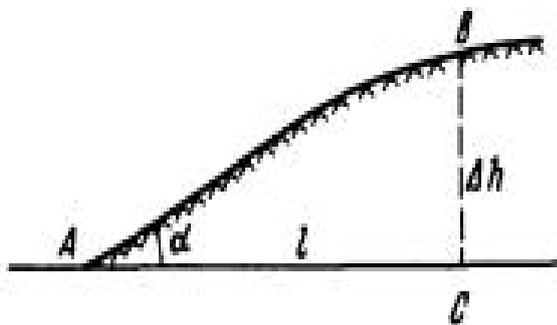


Рисунок 6 – Зависимость крутизны склона  $\alpha$  от превышения местности  $\Delta h$  на единицу длины  $l$

Уклон влияет на смыв сильнее при интенсивных и продолжительных ливнях, чем при слабых и кратковременных. С увеличением крутизны склона интенсивность смыва увеличивается. Зависимость размеров эрозии от крутизны склона представлена на рисунке 7.[7]

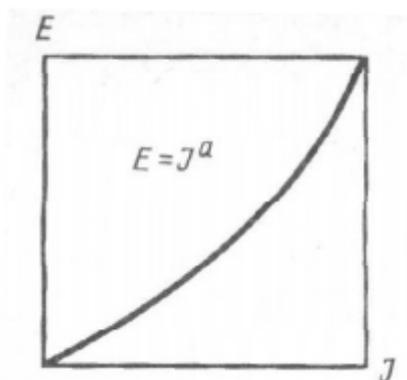


Рисунок 7 – Зависимость эрозии от крутизны склона: E – эрозия на единицу площади, I – крутизна склона

Экспериментальные данные показывают, что увеличение крутизны склона в различных условиях приводит к неодинаковому увеличению смыва почвы от 1,1 до 1,8 раз и зависит от интенсивности и количества осадков региона, характера и состояния растительного покрова и других факторов..

Степень смытости почвы в зависимости от крутизны склона представлена в таблице 5.[6]

Таблица 5 – Степень смытости почв в зависимости от крутизны склона

Характеристика склонов	Крутизна,°	Возможная степень смытости
Ровные участки	Менее 1	Отсутствует
Пологие склоны	1...2	Слабая
Покатые	2...5	Средняя
Крутые	5...10	Сильная

Необходимо также учитывать, что эрозия почв - это сложный и многофакторный процесс и границы интервалов могут изменяться.

Большие площади склоновых земель имеют высокую эрозионную опасность территорий. При несомненной прямой зависимости размеров эрозии от уклона универсальная формула для ее описания вряд ли возможна в силу многофакторности эрозионного процесса.

От длины склонов зависит масса воды, стекающей по склону. При прочих равных условиях смыв почвы усиливается с увеличением длины склона. Зависимость эрозии от длины склона представлен на рисунке 8.[7]

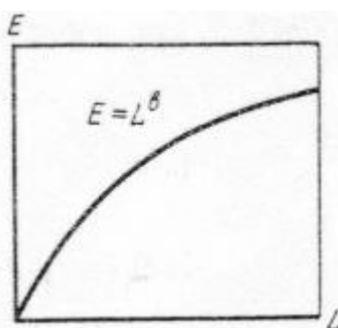


Рисунок 8 – Зависимость эрозии от длины склона: E – эрозия на единицу площади; L – длина склона

С увеличением длины склона возрастает и масса стекающих вод. Поэтому на склонах при возрастании этого показателя увеличивается степень эрозионной опасности участка. [5]

Интенсивность проявления эрозии зависит от формы склона. Сама форма определяется продольным и поперечным профилем. На рисунке 9 и 10 показаны типы склонов по характеру продольного и поперечного профиля.[7]

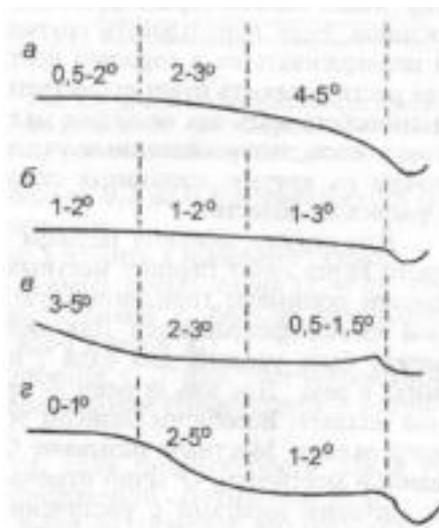


Рисунок 9 – Типы продольных профилей склонов:

а – выпуклый; б – прямой; в – вогнутый; г – ступенчатый

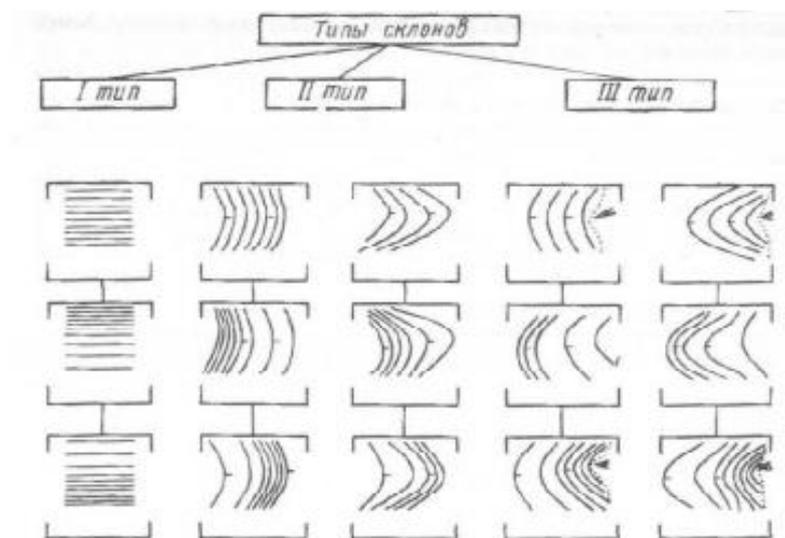


Рисунок 10 – Типы поперечного профиля склонов: I – поперечно прямой; II – поперечно-выпуклый (рассеивающий); III – поперечно-вогнутый (собирающий).

В каждом типе рельефа почвенно-эрозионные процессы протекают своеобразно, что создает пестроту почвенного покрова с различным распределением смытых и намывных почв. Наибольший смыв почв наблюдается на выпуклых склонах в нижних частях, наименьший смыв

проявляется на вогнутых формах склона. Многие склоны имеют сложную форму - частью выпуклую, частью вогнутую, прямую или террасированную. Участки разной интенсивности смыва в этих случаях чередуются в зависимости от крутизны склонов.[2]

Процессы эрозии на продольно прямых склонах усиливаются к их основаниям. Разрушительное влияние воды нарастает постепенно. Наибольший смыв возникает от середины склона. На продольно-выпуклых склонах водная эрозия чаще проявляется в нижней части, так как она имеет наибольшую крутизну. На продольно-вогнутых склонах процессы эрозии сильнее проявляются на верхней части, а к низу уменьшается.[4]

Поперечные профили склонов влияют на противоэрозионную организацию территорий. В зависимости от поперечного профиля склона различают прямые, собирающие и рассеивающие сток воды.

Экспозиция склонов не оказывает прямого влияния на эрозию почвы, в отличие от крутизны, длины и формы профиля склонов, это обусловлено различиями микроклимата, породообразующими породами и растительностью на склонах разных экспозиций. Влияние экспозиции склона на некоторые относительные показатели приведены в таблице 6. [7]

Таблица 6 – Влияние на эрозионные процессы экспозиции склонов

Фактор эрозии	Экспозиция			
	северная	южная	восточная	западная
Мощность снежного покрова	1,06	0,84	0,95	1,04
Запас воды в снеге перед снеготаянием	1,08	0,92	0,90	1,10
Сток воды в период снеготаяния	1,12	0,87	0,87	1,12
Интенсивность весеннего смыва	0,81	1,19	0,97	1,05

Наибольшее различие показателей наблюдается именно между склонами северных и южных экспозиций, а различия приведенных в таблице показателей между склонами восточных и западных экспозиций выражены слабее.[9]

К количественным показателям, характеризующим рельеф территории, также относятся коэффициент горизонтальной расчлененности, положение базиса эрозии и превышение над ним отдельных участков территории.[4]

Протяженность долинно-балочной сети, выраженная в км/км<sup>2</sup>, называется горизонтальным расчленением рельефа.

Коэффициент обычно рассчитывается для всей территории, но если рельеф отдельных составляющих территории значительно различается, то выделяются водосборы с разной степенью выраженности овражно-балочной сети и коэффициент расчлененности необходимо вычислять и для каждого выделенного водосбора.[8]

Горизонтальную поверхность, на уровне которой стекающие водные потоки теряют размывающую силу, называют базисом эрозии. Местный базис эрозии – это превышение максимальной абсолютной отметки рельефа над минимальной отметкой в пределах элементарного бассейна. [3]

Глубину местных базисов эрозии используют при оценке влияния рельефа на развитие линейной эрозии. При поражённости территории оврагами увеличение глубины базиса эрозии увеличивается до 40 - 60 м.[7]

### 1.2.3. Геологические структуры почвообразующих пород и характеристики грунта

Почвообразующей или материнской породой называется горная порода, из которой образовалась почва, её генетические горизонты. Материнская порода рассматривается как начальное состояние почвенной системы, как почва в нулевой момент времени. Почвообразующие породы и почвенный покров играют большую роль в развитии эрозионных процессов и формировании эродированных почв. Интенсивность эрозии почв тесно

связана с особенностями почвообразующих пород. Состав грунта во многом определяет водный, воздушный и питательный режим почв, условия произрастания растений.[1]

Если проследить за наиболее уязвимыми зонами, то окажется, что водная эрозия чаще всего проявляет свое воздействие в районах с дерново-подзолистыми, серыми лесными, каштановыми и черноземными почвами, а также в горных регионах.[2] Наиболее подвержены водной эрозии лессы и лессовидные суглинки. Для них характерна микро пористость малое содержание глинистых частиц, способность образовывать в оврагах и обнажениях вертикальные оттенки. На мореных суглинках и глинах, обладающих низкой водопроницаемостью, также создаются благоприятные условия для поверхностного стока, однако здесь преобладает плоскостная эрозия. При формировании почв на породах более легкого механического состава, например супесях и песках, обладающих более высокой водопроницаемостью, поверхностный сток слабый или вовсе отсутствует, что резко снижает интенсивность водной эрозии. На мелкозернистых рыхлых песках, характеризующихся малой влагоемкостью наблюдается развитие ветровой эрозии. Примеры показаны в таблицах 7, 8, 9.[7]

Таблица 7 – Коэффициент влияния гранулометрического состава почвы на её относительную податливость эрозии

Почва	$R_{гр.}$
Глина	0,90
Тяжелый суглинок	0,95
Средний суглинок	1,00
Лёгкий суглинок	1,07
Супесь на склонах круче 2°	1,05
Супесь на склонах крутизной 1 - 2°	1,00
Супесь на склонах крутизной до 1°	0,90
Песок на склонах круче 2°	1,20
Песок на склонах крутизной 1 - 2°	1,00
Песок на склонах крутизной до 1°	0,90

Таблица 8 – Коэффициент влияния смывости почвы на её относительную податливость эрозии

Почва	$R_{э.см.}$
Несмытая	1,00
Слабосмытая	1,03
Среднесмытая	1,08
Сильносмытая	1,14
Очень сильно смытая	1,20

Таблица 9 – Шкала оценки противоэрозионной устойчивости почв

Оценка, балл	Показатели противоэрозионной устойчивости					Интегральная оценка противоэрозионной устойчивости почв
	гумусное состояние, по Орлову и Гришиной		структурное состояние по Долгову и Бахтину		водопроницаемость по Качинскому, скорость, мм/час.	
	содержание гумуса	степень гумификации	сухое просеивание	мокрое просеивание		
	%					
5	$\frac{> 10,0}{\text{очень высокое}}$	$\frac{> 40}{\text{очень высокая}}$	$\frac{> 80}{\text{отличное}}$	$\frac{> 70}{\text{отличное}}$	$\frac{> 500}{\text{излишне высокая}}$	отличная
4	$\frac{6,0 - 10,0}{\text{высокое}}$	$\frac{30 - 40}{\text{высокая}}$	$\frac{60 - 80}{\text{хорошее}}$	$\frac{55 - 70}{\text{хорошее}}$	$\frac{100 - 500}{\text{наилучшая}}$	хорошая
3	$\frac{4,0 - 6,0}{\text{среднее}}$	$\frac{20 - 30}{\text{средняя}}$	$\frac{40 - 60}{\text{удовлетв.}}$	$\frac{40 - 55}{\text{удовлетв.}}$	$\frac{70 - 100}{\text{хорошая}}$	удовлетв.
2	$\frac{2,0 - 4,0}{\text{низкое}}$	$\frac{10 - 20}{\text{слабая}}$	$\frac{20 - 40}{\text{неудовл.}}$	$\frac{20 - 40}{\text{неудовл.}}$	$\frac{30 - 70}{\text{удовлетв.}}$	неудовл.
1	$\frac{< 2,0}{\text{очень низкое}}$	$\frac{< 10}{\text{очень слабая}}$	$\frac{< 20}{\text{плохое}}$	$\frac{< 20}{\text{плохое}}$	$\frac{< 30}{\text{неудовл.}}$	плохая

Заслуживает внимания группировка почв по степени противоэрозионной стойкости, разработанная З. П. Кирюхиной и З. В. Пацукевич.[2] Она основана на учете свойств почв – их генезиса, гранулометрического состава, содержания гумуса, литологии почвообразующих пород, которые влияют на противоэрозионную стойкость

почв. Оценка противозэрозионной стойкости через коэффициент эродированности приведена в таблице 10.[7]

Таблица 10 – Группировка почв по противозэрозионной стойкости

Степень эродированности почв	Коэффициент эродированности, т/га	Почвы	Почвообразующие породы
Минимально эродированные	Меньше 1	Черноземы выщелоченные, обыкновенные, типичные	Лессовидные суглинки
Слабо эродированные	1,1-2,0	Черноземы всех подтипов, темно-серые лесные	Лессовидные суглинки
		Подзолы, дерново-подзолистые	пески
Средне эродированные	2,1-2,5	Темно-серые лесные, каштановые	Лессовидные суглинки
Сильно эродированные	2,6-4,0	Светло-серые лесные	Покровные суглинки
		Дерново-подзолистые	Моренные суглинки
		Светло-каштановые	Лессовидные суглинки
Чрезвычайно эродированные	Больше 4,0	Светло-серые лесные	Покровные суглинки
		Дерново-подзолистые	

#### 1.2.4. Растительные покровы

Влияние растительности на противоэрозионную стойкость грунтов изучал Ц.Е. Мирцхулава. Он выяснил, что растения, способствует повышению показателя противоэрозионной стойкости, размывающей скорости потока до 1,4-2,0 раза.[1]

Деревья и кустарники увеличивают водопроницаемость и влагоудерживающую способность почв, задерживают определенное количество осадков на кронах, ослабляют разрушающее действие на почву дождевых капель, способствуют снегозадержанию и постепенному снеготаянию, укрепляют почвенный покров корневой системой и лесной подстилкой и делают его более устойчивым к размыванию.[3]

По данным Ю.Г. Жарковой (1975) на лугах при проективном покрытии более 70% эрозия практически отсутствует, при 50-70% эрозия слабая, при 30-50% средняя, менее 30% сильная.

В таблице 11 приведен показатель облесённости, который коррелирует с проявлением эрозии.[7]

Таблица 11 – Сток и смыв почвы на водосборах разной облесённости

Облесённость водосборов, %	Коэффициент стока	Смыв почвы, т/га
84,5	0,01 - 0,03	0,01 - 0,05
24,2	0,12 - 0,14	0,10 - 0,12
19,0	0,21 - 0,27	0,08 - 0,10
9,3	0,35 - 0,51	0,19 - 0,40
0	0,53 - 0,57	0,70 - 1,55

## 2. Опасные явления при возникновении водной эрозии почвы

Наиболее полную классификацию для процессов водной эрозии почв предложил М.Н.Заславский. По его классификации водную эрозию грунтов различают в зависимости от того, потоком каких вод эрозия почвы была вызвана: талых, дождевых или орошения. Кроме того, М.Н.Заславский отмечал, что эрозия часто проявляется в результате сезонных выходов грунтовых вод на поверхность и в результате сброса на покров почвы сточных вод при неправильной эксплуатации технических сооружений. Классификация водной эрозии представлена на рисунке 11. [6]

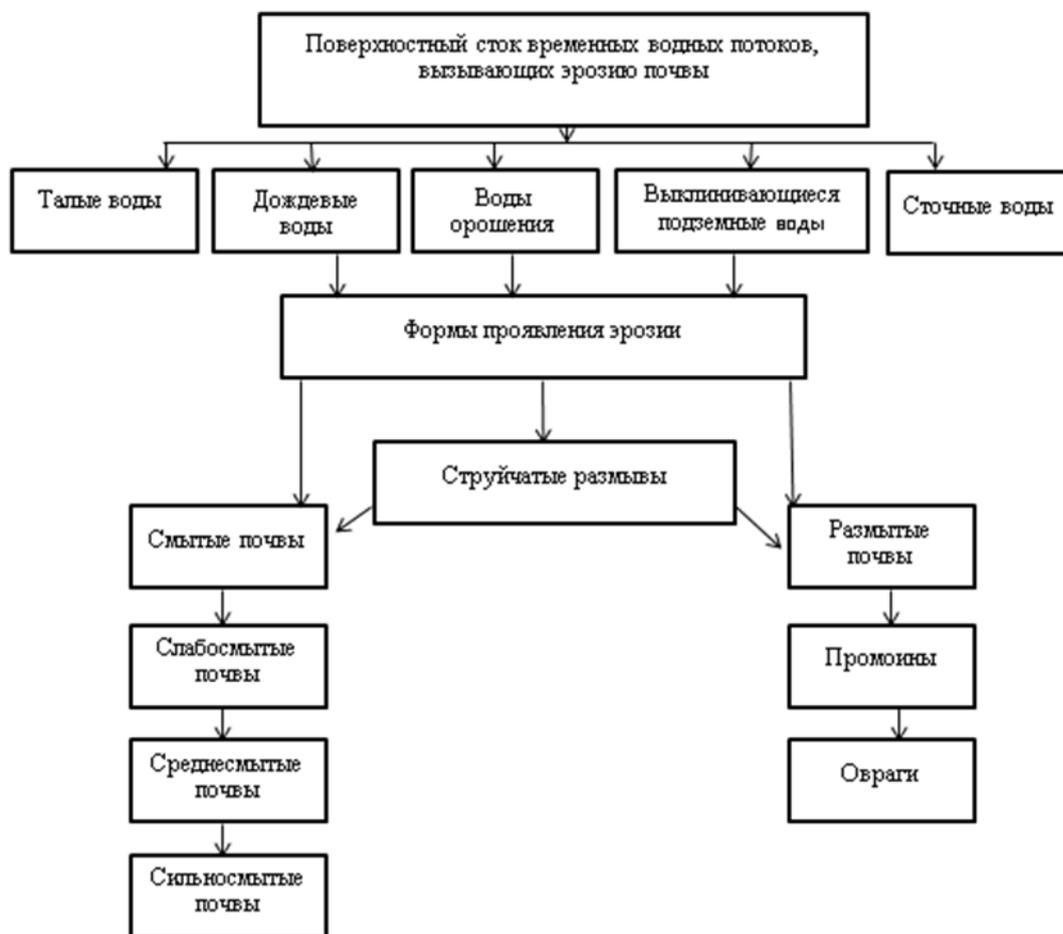


Рисунок 11 – Классификация эрозии почв

Продолжительность процесса дождевой эрозии почвы измеряется минутами или часами, количество же смытой почвы может достигнуть десятков тонн на гектар. Количество почвы, которое будет смыто во время

дождя, зависит от параметров водного потока и размеров капель дождя. С увеличением массы и скорости капель дождя, увеличивается и кинетическая энергия, тем самым разрушение почвы она причиняет большее. [2]

Эрозия, возникающая при снеготаянии менее выраженная, чем дождевая, но протекает значительно продолжительнее. Потери почвы при интенсивном снеготаянии составляют несколько тонн с гектара.

Ирригационная эрозия обычно возникает по причине человеческой деятельности при орошении и делится на подвиды в соответствии со способом орошения: эрозия при поливе напуском по бороздам, по чекам, при дождевании, по полосам.

По характеру нарушения поверхности почвы эрозионными процессами выделяются два подтипа: смыв почвы – поверхностная эрозия, разрыв почвы и подстилающих пород – линейная эрозия.

## 2.1. Поверхностная эрозия

Поверхностной эрозией называют равномерный смыв грунта со склонов. Этот процесс осуществляется сетью мелких временных водных потоков. Она определяется периодом выпадения ливня, слоем осадков и интенсивностью. А от стока талых вод – запасом воды в снеге, интенсивностью снеготаяния, а также сезонным состоянием водопроницаемости и противозерозионной устойчивости почв.

Визуальный эффект последствий этого типа эрозии не очень заметен, но вследствие широкого распространения плоскостная эрозия причиняет значительный ущерб почве.

По темпу протекания поверхностную эрозию почв подразделяют на нормальную и ускоренную. К нормальным процессам эрозии относят разрушение поверхности земли под воздействием движущихся ледников, текучих вод, резких колебаний температуры производило перемещение

рыхлых пород, формирование долин рек, склонов и междуречий. Интенсивность нормальной или геологической эрозии определяют ритмы экзогенных процессов.

В отличие от геологической ускоренная эрозия связана с деятельностью человека.

Результатом поверхностной эрозии является образование смытых и намытых почв, а в более крупных масштабах возникновение делювиальных отложений.[4]

Поверхностная эрозия делится на плоскостную и струйчатую. Различие это достаточно условное. Считается, что плоскостная эрозия вызывается движением сплошного потока воды. Практически условия для ее образования создаются редко, и смыв почвы осуществляется преимущественно струйчатыми потоками.

В большинстве случаев вода со склонов стекает струями, а не сплошным слоем. [21] Эти струйки, выработывая русло, смывают поверхностный слой почвы. В результате на склонах после ливней и стока талых вод, часто видны струйчатые размывы разных размеров: глубиной и шириной от нескольких мм до десятков см. Иногда глубокие струйчатые размывы достигают ширины 2-3 м.[7] При очередном снеготаянии или выпадении ливня вновь появляются струйчатые размывы, которые снова заравниваются при очередной обработке почвы. В результате многократного образования струйчатых размывов и их систематического заравнивания постепенно уменьшается мощность перегнойно-аккумулятивного горизонта, обнажается подзолистый горизонт или гор на склонах и приводораздельных территориях. Так образуются смытые почвы с укороченным профилем. В зависимости от величины смытого слоя почвы выделяют: слабосмытые, среднесмытые, сильносмытые почвы и очень сильно смытые почвы. Смытые частицы образуют темные полосы, бордюры намытых почв в низинах.

Струйчатые размывы одновременно могут быть и начальной стадией зарождения линейной эрозии почв. [4]

## 2.2. Линейная эрозия

Линейной эрозией называют воздействие водных масс на грунт, в результате которого в нем образуются значительные углубления, с дальнейшей трансформацией этих углублений в овраги. [1] Интенсивность эрозии оценивают по таблице 12:

Таблица 12 – Объем вынесенной почвы в зависимости от интенсивности эрозии

<b>Интенсивность эрозии</b>	<b>Объем вынесенной почвы</b>
<b>Незначительный смыв</b>	До 0,5 т/га
<b>Слабый смыв</b>	0,5-1 т/га
<b>Средний смыв</b>	1-5 т/га
<b>Сильный смыв</b>	5-10 т/га
<b>Очень сильный смыв</b>	10 т/га

Овражная эрозия проявляется в тех местах, где рельеф способствует скоплению поверхностно-стекающей воды, особенно там, где резкое увеличение крутизны склона вызывает образование быстрин. Большое значение имеет гранулометрический состав размываемой поверхности.

Развитие глубинной эрозии лимитируется положением базисов эрозии, причем кроме нижнего устьевого базиса эрозии решающую роль в росте оврагов играют местные базисы эрозии. Образованию оврагов часто способствует деятельность подземных вод.

В отличие от поверхностной, линейная эрозия протекает на небольших территориях и приводит к расчленению земной поверхности, образуя различные эрозионные формы рельефа, такие как промоины и овраги.

Все формы линейной эрозии относятся к размывам. Они включают в себя ложбины, лощины, балки, рытвины, промоин и овраги. Первой формой линейной эрозии считается промоина. Промоина не имеет собственного продольного профиля и повторяет профиль поверхностного склона, на котором образуется. К промоинам относят размывы глубиной от 0,3 до 1,5 м и шириной от 0,5 до 5 м. Промоины группируют по глубине до 0,7 м – мелкие; более 0,7 м – глубокие.[15]

Ложбины представляют собой линейно-вытянутые понижения с пологими задернованными склонами без перегибов, плавно смыкающимися на дне. Глубина ложбин обычно несколько метров, а ширина достигает десятки и сотни метров. Имеют симметричный поперечный профиль.

Лощины имеют глубину до 10–15 м и более крутые склоны, имеющие плавные перегибы в верхней части и постепенный переход в слабовогнутое днище. Поперечный профиль у лощин симметричный или слабо асимметричный.[15]

Балки – морфологически четко выраженные формы симметричной или слабо асимметричной формы. Бровки и тыловые швы плавные, закругленные, профили склонов имеют выпукло-вогнутую форму. Балки, в отличие от лощин и ложбин, имеют четко оформленные водосборы. Глубина балок от 10-15 м на низменных участках и до 100-200 м крутым склонам долин крупных рек, длина изменяется до 10-15 км.[13]

К промоинам относят последующую стадию развития эрозионного процесса. Глубина промоин не превышает 1,5-2,0 м, а ширина 1,0-3,0 м, имея вертикальные или крутосклонные, незадернованные борта.[16] Продольный профиль данного эрозионного процесса повторяет форму склона. Поперечный профиль симметричный или слабо асимметричный формы.[15]

Рытвины или размоины называют ежегодно образующиеся линейные эрозионные формы, глубиной до 0,5 м, шириной 0,5-1,0 м.

Овраг – самая опасная форма проявления водной эрозии грунта. Возникает обычно на месте образования промоин при продолжающемся

процессе усиления эрозии. Он имеет свой собственный продольный профиль, который отличается от профиля поверхности, в которой он образовался. На рисунке 12 показана схема оврага. [6]

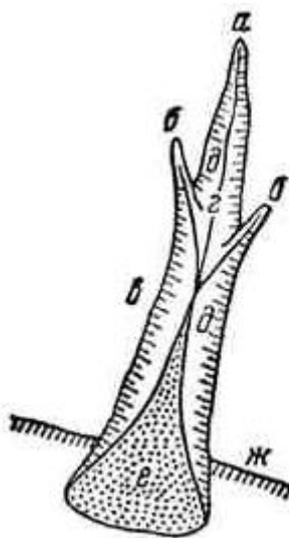


Рисунок 12 – Схема оврага: а – вершина; б – откосы; в – бровка; г – тальвег; д – откосы; е – конус выноса; ж – бровка балки.

В одном овраге можно наблюдать разные стадии его развития, и каждой стадии развития продольного профиля будет соответствовать определенная форма продольного профиля оврага, как показано на рисунке 13.[13]

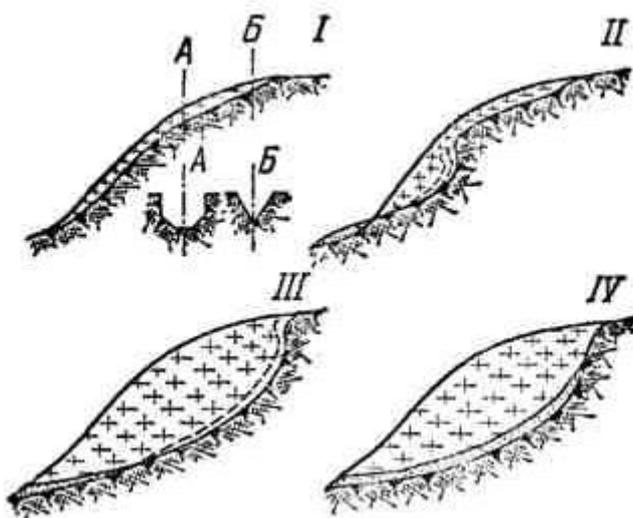


Рисунок 13 – Стадии развития продольного профиля первичного оврага (по С.С.Соболеву): I – промоина; II – врезание оврага вершиной (висячее устье); III – выработка профиля равновесия; IV – затухание.

Овраги классифицируют по их расположению относительно рельефа на береговые – распространены в зоне сопряжения водной поверхности водоема или водотока с прилегающими склонами и донные – овраги, расположенные по дну балок.

Также овраги классифицируют на первичные, которые впервые прорезают поверхность склонов, и вторичные, прорезающие и углубляющиеся днищем балок.[10]

Если в овраг донного типа впадают устья склоновых оврагов, такие размывы называют овражными системами.

Степень пораженности территории оврагами характеризует:

- процент площади, непосредственно занимаемой оврагами;
- суммарная протяженность оврагов, измеряемая протяженностью овражной сети на  $1 \text{ км}^2$ ;
- плотность оврагов, измеряемая количеством оврагов, приходящихся на  $1 \text{ км}^2$ ;
- расчлененность уклонов оврагами, определяемая средним расстоянием между двумя оврагами;
- объемом оврагов –  $\text{м}^3/\text{км}^2$ . [12]

При характеристике степени расчлененности оврагами склоновых земель используют таблицу 13:

Таблица 13 – Степень расчлененности склоновых земель в зависимости от расстояния между оврагами

Степень расчлененности склоновых земель оврагами	Расстояние между оврагами
Слабая	Более 1000 м
Средняя	500-1000 м
Сильная	250-500 м
Очень сильная	Менее 250 м

Причинами оврагообразования без участия человека могут служить глубокие изменения природных комплексов на отдельных участках и обширных пространствах, вызываемые естественными изменениями

метеорологии и рельефа. Овражная эрозия представляет собой активный рельефообразующий процесс. [11]

В таблице 14 показана характеристика негативных сторон проявления овражной эрозии грунта.[16]

Таблица 14 – Опасность овражной эрозии

Степень опасности	Плотность оврагов (ед/км <sup>2</sup> )		Густота овражной сети (км/км <sup>2</sup> )	
	Современная	Прогнозная	Современная	Прогнозная
Опасная	2,1–5,0	0,51–3,0	0,51–1,3	0,11–1,0
	2,1–5,0	3,1–5,0	0,51–1,3	1,1–1,5
	2,1–5,0	5,1–10,0	0,51–1,3	1,51–3,0
Умеренно опасная	2,1–5,0	0,5	0,51–1,3	0,1
	0,51–2,0	0,51–3,0	0,11–0,5	0,11–1,0
	0,51–2,0	3,1–5,0	0,11–0,5	1,1–1,5
	0,5	5,1–10,0	0,1	1,51–3,0
Мало опасная	0,51–2,0	0,5	0,1–0,5	0,1
	0,5	0,51–3,0	0,1	0,11–1,0
	0,5	3,1–5,0	0,1	1,1–1,5
Незначительная о опасная	0,1	0,51–3,0	0,1	0,1
	0,5	0,5	0,5	0,11–1,0

### 3. Противоэрозионные сооружения на трассах трубопровода

#### 3.1.Обследование состояния эрозионно-опасных участков трубопроводов

Масштабы и состав работ по обследованию состояния эрозионно-опасных участков трубопровода зависит от целевых назначений и стадии данной работы, а также особенностей природных условий объекта.

В общем случае, обследование включает в себя следующие виды работ:

- подготовительные работы;
- техническое обследование объекта;
- инженерно-геодезические изыскания;
- инженерно-геологические изыскания;
- инженерно-гидрометеорологические изыскания.[19]

При планировании нового трубопровода или сопутствующих сооружений, "техническое обследование" из состава предварительных работ сводится к установлению и привязке других сооружений в полосе изысканий или исключается вовсе на этапе выполнения инженерно-геодезических изысканий. [17]

Сложность, трудоемкость и состав работ при проектировании могут уточняться или полностью изменяться в техническом задании в зависимости от характеристики участка и совокупности других факторов.

##### 3.1.1. Подготовительные работы

Главная цель подготовительных работ - установить характеристики природного объекта и исследуемого участка трубопровода, а также динамику состояния системы "трубопровод - окружающая среда" на основании ранее проведенных исследований. Задача подготовительных работ заключается в предварительном ознакомлении с уже имеющейся технической документацией для данного объекта или участка трубопровода и сбор всех имеющихся справочных материалов по инженерно-геологическим,

климатическим и гидрологическим условиям прохождения трассы.[18] На данном этапе анализируются данные предшествующих периодических и специальных исследований, собираются сведения о выполненных ранее капитальных, средних и профилактических ремонтах. Утверждается и уточняется программа, сроки и цели обследования, масштабы, состав работ и количество участников.

Обязательными результирующими техническими документами периода подготовки являются:

- схема трассы трубопровода с указанием всех обследуемых участков;
- технологическая и конструктивная характеристики участков трубопровода;
- данные об отказах на исследуемых участках;
- сведения по предшествующим обследованиям линейной части;
- сведения о капитальных, средних и профилактических ремонтах линейной части;
- сведения об организации и генеральном проектировщике, которые проводили изыскания трассы при проектировании, производили строительство и ремонт участка.[19]

### 3.1.2. Техническое обследование

Техническое обследование включает в себя следующие основные виды работ:

- нахождение высотного и планового положения оси трубопровода с закреплением на местности
- оформлением планов, профилей и журналов съемок;
- осмотр состояния изоляционного покрытия и, в случае неудовлетворительного технического состояния, произвести анализ коррозионной защиты трубопровода в соответствии с ГОСТ 25812-83 и действующими на настоящий момент нормативными документами;

- При заметном изменении положения трубопровода под действием неучтенных эксплуатационных нагрузок и внешних неблагоприятных факторов, а также при наличии любых значительных механических и коррозионных повреждений необходимо выполнить дополнительную диагностику участков техническими устройствами контроля. [19]

При недостаточной защищенности трубопровода от коррозии делают мониторинг периода службы для изоляционного покрытия и перспективы работоспособности средств его активной защиты, как оснований для выбора методов выполнения ремонтных работ без повреждения изоляции и, не нарушая стабилизацию положения трубопровода. [20]

### 3.1.3. Инженерно-геодезические изыскания

План и качество выполнения геодезических работ должны выполняться соответственно положениям п.2 СНиП 1.02.07.87 [17] для рабочего проекта и технической документации.

Инженерно-геодезические изыскания проводят для того чтобы привязать положение трубопровода к устойчивым формам рельефа и следить за изменениями высотных отметок положения нестабильных и неустойчивых форм рельефа местности (ложбины, склоны, овраги и т.д.), в соответствии с [17].

Для привязки возможных изменений рельефа местности и положения оси трубопровода в плане и по высоте, необходимо проверить наличие и сохранность километровых знаков, реперов и элементов опорной геодезической сети. В случае отсутствия, при необходимости, восстановить.

Привязку, по возможности, проводить к пунктам плановой и высотной сети геодезических изысканий прошлых лет, чтобы обеспечить максимальную сравнимость результатов изысканий по плановой привязке и высотным отметкам.[19]

В результате изысканий необходимо построить план исследуемого участка в масштабе 1:500 и профиль прохождения трассы трубопровода с указанием положения оси.

#### 3.1.4. Инженерно-геологические изыскания

Инженерно-геологические изыскания выполняются в составе и объеме, предусмотренных программой работ для конкретных участков трубопровода. Их цель выявить инженерно-геологические процессы, которые протекающие в настоящий момент и влияют на строительства и эксплуатации трубопровода, а также сельскохозяйственных работы на близлежащих территориях. [22] На данном этапе также изучаются состав и свойства почвы, горных пород и грунта, подвергающихся инженерному воздействию в процессе строительства и эксплуатации объекта.

План и объем полевых работ и лабораторных исследований грунта зависит от состава грунтов и целей и устанавливаются в соответствии с п. 3 [17].

#### 3.1.5. Инженерно-гидрометеорологические изыскания

Инженерно-гидрометеорологические изыскания проводят в соответствии с требованиями, установленными в п.1 и п.3 СНиП 1.02.07-87, СНиП 2.01.14-83 и рекомендациями Гидрометслужбы. План работ обусловлен степенью гидрологической исследованности местности и типом природного объекта, на котором расположен участок исследуемого трубопровода.[19]

Целью проведения работ является сбор и использование гидрологических характеристик как исходных данных для расчетов при проектировании трубопровода. Так как гидрологические характеристики могут значительно изменяться в зависимости от сезона года, то по конкретному участку необходимо проводить длительные наблюдения.

Минимальный срок проведения изысканий - период одного весеннего паводка.[24]

В случае отсутствия данных по многолетней редукции требуется корректировка в следующий весенний паводок. Как следствие сроки выполнения гидрометеорологических изысканий проводят значительно дольше других видов изысканий.[19]

### 3.2. Проектирование противоэрозионных сооружений на трассах трубопроводов

#### 3.2.1. Выбор противоэрозионных мероприятий

В зависимости от вида эрозионного нарушения выбирается противоэрозионные мероприятия, необходимые для защиты трубопровода от размыва. Кроме того, необходимо учитывать такие факторы, как наличие строительных материалов, техники, транспортную схему, рельеф местности, грунтовые и климатические условия и т.п.[23]

Противоэрозионные мероприятия и сооружения подразделяются по следующим признакам:

по месту расположения различают:

- на территории водосбора;
- расположенные на поверхности склона;
- расположенные в траншее;
- вершинные;
- расположенные в ложе временных и малых водотоков;
- берегоукрепительные;
- подводные.

по выполняемой функции противоэрозионные мероприятия различают:

- водопропускные (лотки, быстотоки);
- водоотводные и дренажные;

- водозадерживающие;
- экранирующие;
- многофункциональные.

по материалу изготовления:

- грунтовые;
- каменные;
- из закрепленного грунта;
- с использованием растений;
- из искусственных материалов (металлические, бетонные,
- резиноканевые, полимерные, нетканые синтетические и др.);
- комбинированные (габионные и др.).

Выбор противоэрозионного мероприятия следует делать в зависимости от вида эрозионного нарушения, в соответствии с классификацией, представленной на рисунке 14 и согласно таблице 15.



Рисунок 14 – Классификация видов эрозии грунта на трассах подземных трубопроводов

Таблица 15 – Схема выбора противоэрозионных мероприятий

Вид эрозионного нарушения	Основные мероприятия	Дополнительные мероприятия
Смыв и вымывание грунта засыпки на склонах	1.устройство водоотводных и дренажных сооружений; 2.поверхностное закрепление грунта; биологическая рекультивация	1.устройство перемычек в траншее; 2.задержание и уменьшение стока с водосборной территории
Растущие овраги с вершинами в пределах трубопровода	1.устройство вершинных водосборных сооружений	1.отвод стока от вершины или его задержание; 2.устройство донных запруд и прудов "на заиление"; 3.выполаживание и засыпка оврага;
Размывы на пересечениях трубопровода с временными и малыми водотоками	1.механическая защита с пропуском воды по верху или под трубой; 2.устройство запруд "на заиление"; 3.сбор, отвод и пропуск воды над полосой трубопровода по водоотводным токам	1.дозаглубление участка; 2.перевод участка в категорию надземного перехода; 3.перевод участка в категорию наземного, водопропуска под ним и обвалование трубопровода

В таблице 15 выделены три основных вида эрозионных разрушений почвы, характерных для линейной части трубопроводов, проложенных в обычных условиях. [19]

### 3.2.2. Предотвращение поверхностного смыва и вымывания грунта засыпки на склонах

Основными мероприятиями, предотвращающими возникновение поверхностного смыва и вымывание грунта засыпки на склоновых участках линейной части трубопровода, являются устройства открытого или закрытого дренажа и поверхностное или объемное закрепление грунта. Примеры противоэрозионных конструкций, с открытым дренажом стока, показаны на рис. 15, 16. [25]

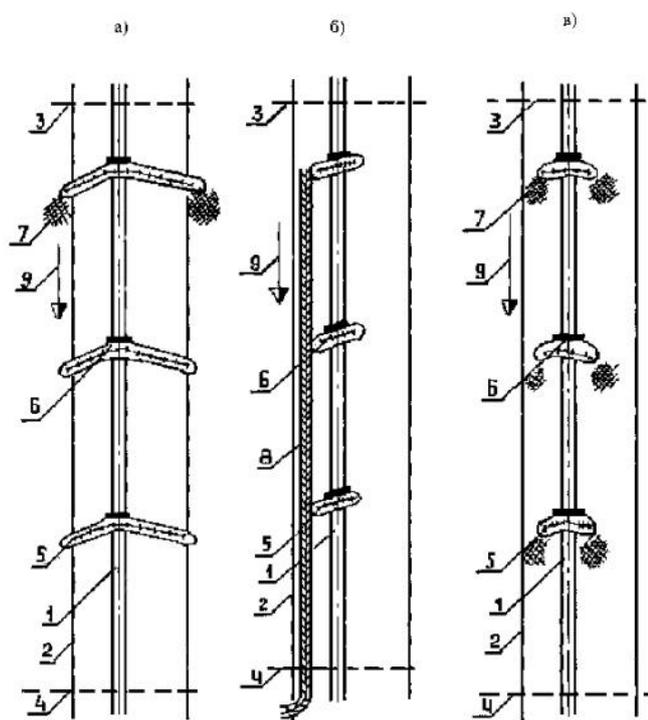


Рисунок 15 – Варианты расположения открытого дренажа на продольном склоне (план). а) с отводом стока за пределы полосы трубопровода; б) с отводом стока в водосбросный лоток; в) с отводом стока на участки поверхностного закрепления грунта. 1 - валик засыпки трубопровода; 2 - граница строительной полосы трубопровода; 3 - верх склона; 4 - низ склона; 5 - водоотводящие валики; 6 – траншейные перемычки; 7 – участки поверхностного закрепления грунта; 8 - водосбросный лоток; 9 - направление уклона местности

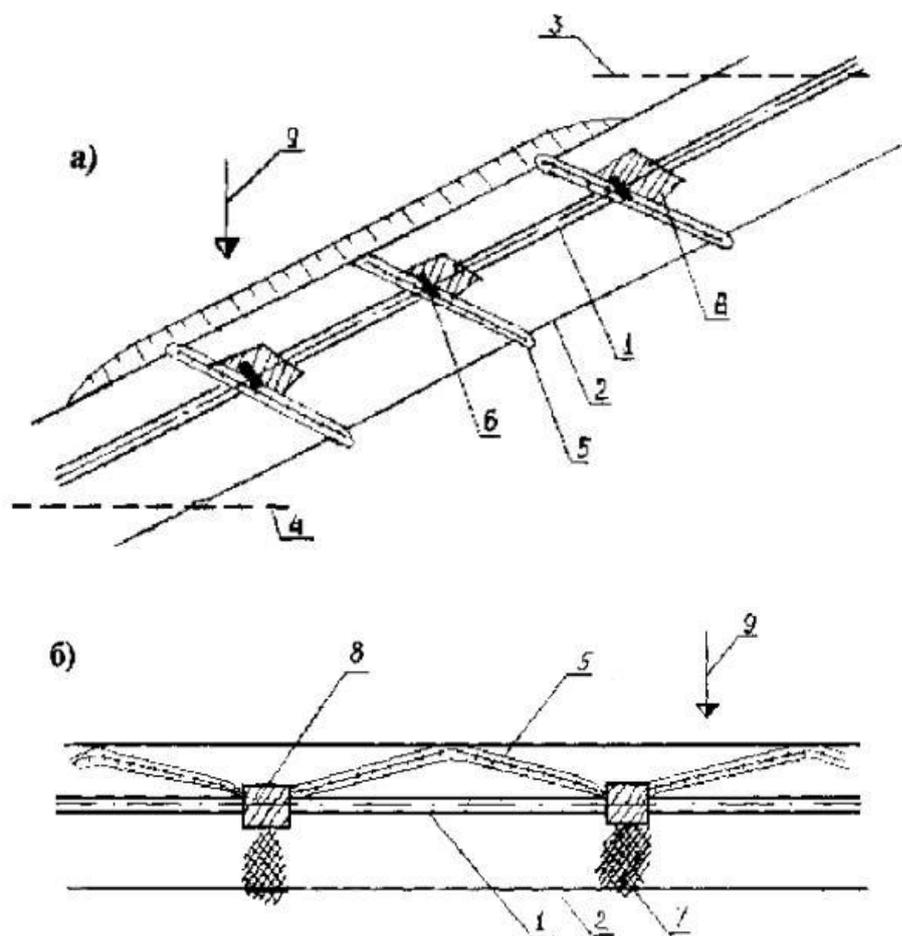


Рисунок 16 – Расположение открытого дренажа на косогоре и на поперечном склоне (план): а) на косогоре; б) на поперечном склоне; 1 - валик засыпки трубопровода; 2 - границы строительной полосы газопровода; 3 – верх склона; 4 - низ склона; 5 - водоотводящие валики; 6 – траншейны перемычки; 7 - участки поверхностного закрепления грунта; 8 – надтраншейные водопропуски; 9 - направление уклона местности

Траншейные перемычки предпочтительно изготавливать из гидрофобизированного грунта или другого водонепроницаемого материала, заглубляя перемычки в дно траншеи и стенки на 0,3-0,5 м для того чтобы образовывались "замки", препятствующие стоку воды по траншее.

Водоотводящие валики изготавливают из местного грунта с укреплением верхнего откоса, из гидрофобизированного грунта и любого другого водонепроницаемого материала, либо из мешков с грунтом. Валики

имеют форму трапецеидального или треугольного сечения с откосами не круче 1:1,5 и высотой не менее 0,7 м. Уклон для валиков определяется расчетом их размываемости, при отсутствии расчетных данных допускается уклон не круче 0,005.[23]

Отвод стока осуществляется за пределы полосы трубопровода в водосбросный лоток или на участок с поверхностным закреплением грунта.

Параметры водосбросного лотка, такие как поперечное сечение и материал покрытия, назначают из расчета условий размываемости. В таблице 16 приведены значения размывающей скорости для материалов, применяемых для покрытия водосборного лотка.

Таблица 16 – Допускаемая размывающая скорость для покрытий водосбросных лотков и каналов

Вид покрытия	Скорость, м/с
Одерновка плашмя	1-1,5
Хворостяное или фашинное крепление	1,5-2,0
Каменное мощение одиночное	2,5-4,0
двойное	3,5-5,0
Габионы	4,0-6,0
Бетонная одежда	6,0-10,0

Вода, собранная в лоток, должна быть отведена в пониженные формы рельефа. При этом при отводе воды необходимо предотвратить возможность возникновения опасности размывов. [19]

Водоотводящие русла, лотки и валы также при необходимости укрепляют синтетическими и другими искусственными рулонными материалами.

На рисунке 17 показан пример конструкции, обеспечивающей полузакрытый дренаж стока.

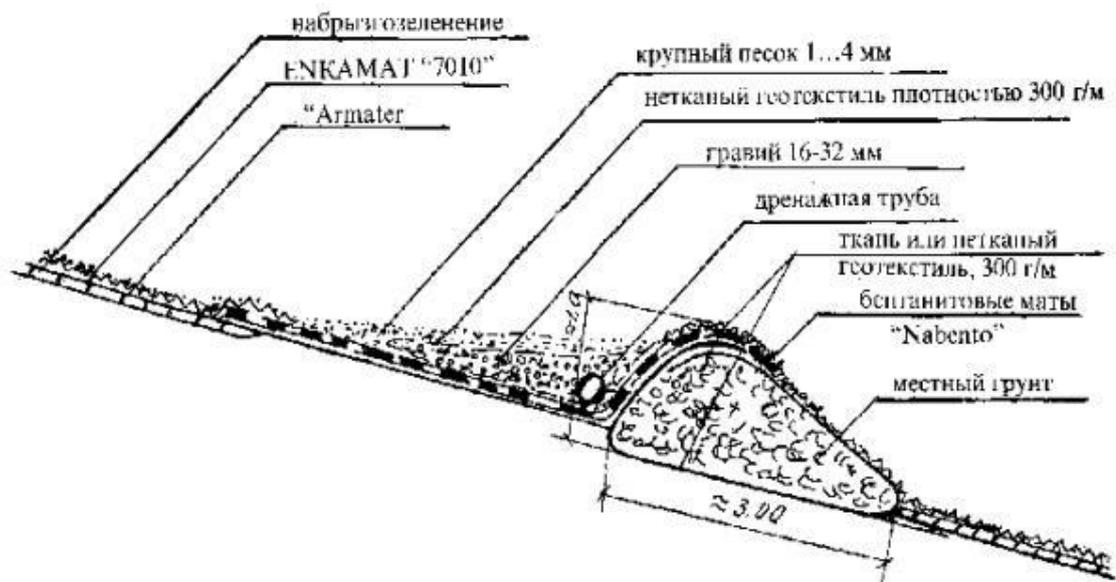


Рисунок 17 – Противозерозионное покрытие склона с водоотводящими валами

Такая конструкция имеет засыпку траншеи, состоящую из двух слоев. Первый слой расположен под трубопроводом. Изготавливают его из гидрофобизированного грунта и тем самым первый слой защищает трубопровод от проникновения к нему влаги, а также предотвращает сток воды вдоль траншеи и выполняет роль балласта, закрепляющего трубопровод на проектной отметке. Верхний слой состоит из крупнообломочного материала с дренирующими свойствами и служит каналом для течения воды. В качестве дренирующего материала наиболее часто используют щебень, шлаковые отходы различных производств или другие материалы, обладающие коэффициентом фильтрации 2-10 см/с.[19]

На рисунке 17 показан траншейный дренаж на продольном склоне.

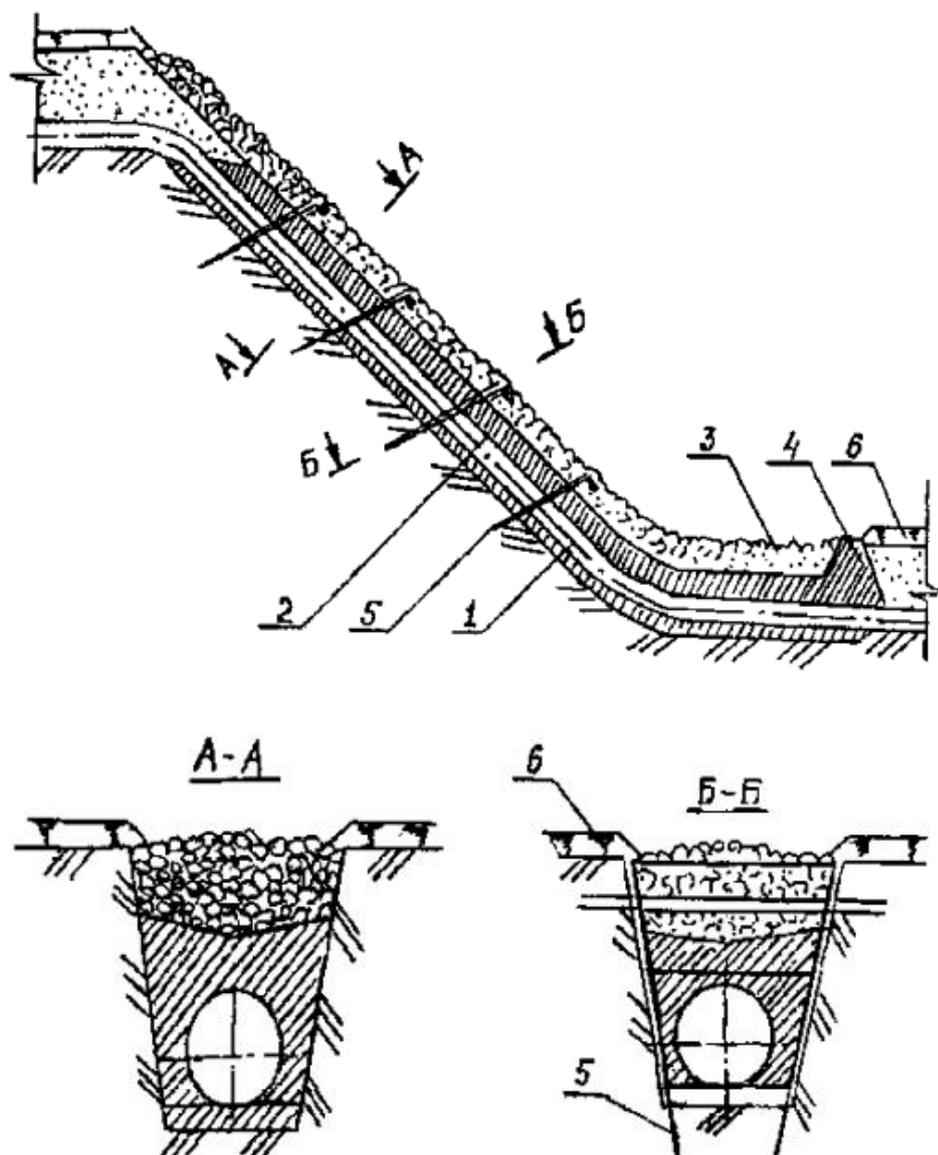


Рисунок 17 – Траншейный дренаж на продольном склоне: 1 - трубопровод; 2- обсыпка из гидрофобизированного грунта; 3 - дренажная каменная наброска; 4 - перемычка из гидрофобизированного грунта; 5 – опорные водопроницаемые щиты; 6 - слой плодородного грунта с семенами трав

У подножья склона в траншее располагается перемычка из водонепроницаемого грунта, которая предотвращает дальнейший сток потоков воды по траншее. Перед водонепроницаемой перемычкой необходимо располагать водоотводный лоток. Также, противоэрозийная конструкция включает ряд водопроницаемых щитов, препятствующих возникновению оползания дренажных материалов. Щиты представляют

собой раму, которая имеет форму поперечного сечения слоя дренирующего вещества. На раму укрепляется нерастяжимая сетка или специальная решетка. Опорой для щита служат вертикальные стойки, их устанавливают на дно траншеи или заглубляют в дно, и на поперечный брус, закрепленный концами в стенках траншей. Поперечный брус обычно изготавливают из древесных порубочных остатков, некондиционных труб малого диаметра или других подручных материалов. Щиты располагают с наклоном, противоположным уклону местности.[23]

Поверхностное закрепление грунта выполняют органическими материалами вяжущего типа ВМТ-Л, поставляемыми по ТУ 38.101960-83 или другими, близкими по свойствам к вяжущим, либо вяжущими на основе карбамидных смол.

### 3.2.3. Дополнительные мероприятия на склоновых участках трубопроводов

К дополнительным мероприятиям на склоновых участках трубопровода относится биологическая рекультивация. Ее проводят по всей ширине линейной части трубопровода независимо от вида основного противоэрозионного мероприятия. План работ по биологической рекультивации почвы включают в себя восстановление плодородного слоя, удобрения, посев многолетних трав имеющих мощную корневую систему, а также посадку защитных полос кустарника и необходимый уход за растениями. К рекомендуемым видам трав относятся: овсяница луговая, тимофеевка луговая, клевер белый, ежа сборная. Рекомендуемые виды кустарника: малина, ежевика обыкновенная, шиповник, боярышник.[19]

Также в качестве дополнительных мероприятий по защите склоновых потенциально эрозионно-опасных участков от размыва следует организовать задержание стока на водосборной территории и отвод его в безопасное место. К частным случаям таких мероприятий относится устройство водоотводных нагорных канав, валов-канав и валов. Наиболее эффективным из них

считается применение нагорных валов-каналов на участках прокладки трубопровода по косогорам и поперечным склоновым территориям. Поперечный профиль такого вала выполняют трапецевидной или треугольной формы с выемкой имеющей треугольное сечение. Заложение откосов назначают следующим образом:

- сухого откоса вала - 1:1,5;
- мокрого откоса вала и нижнего откоса канавы - 1,5:2,0;
- верхнего откоса канавы - 2:5, ширину вала по гребню - 2,5 м.

На рисунке 18 показано покрытие-лоток с перемычками на продольном склоне.

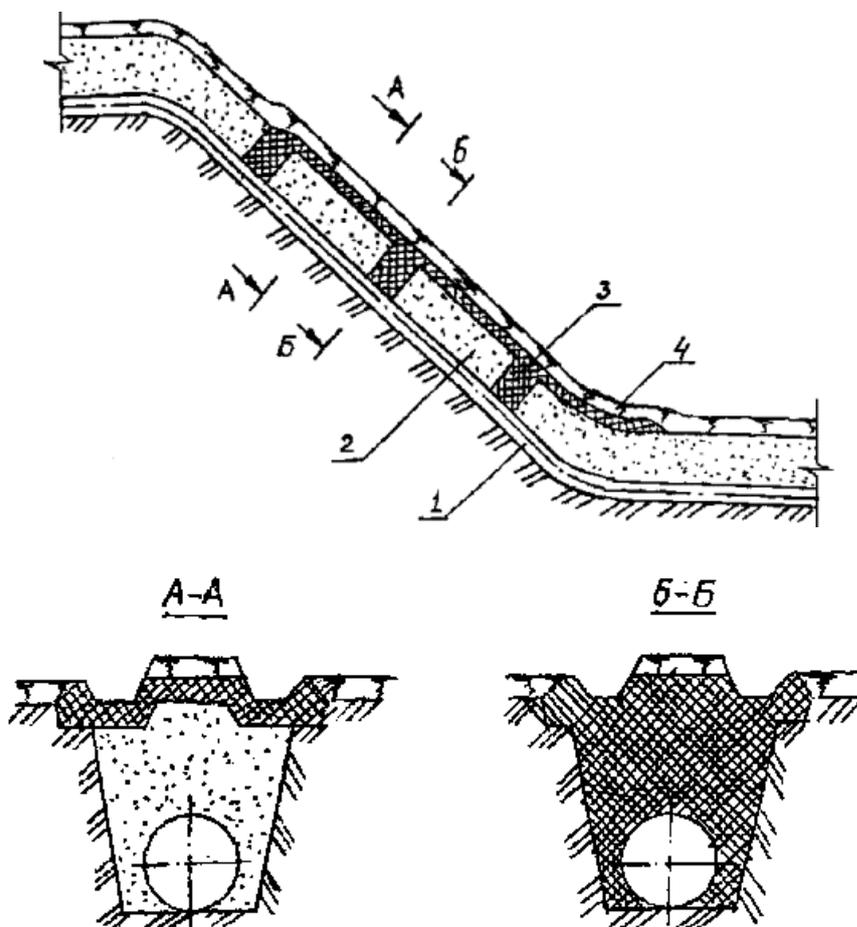


Рисунок 18 – Покрытие-лоток с перемычками на продольном склоне: 1 - трубопровод; 2 - грунт обратной засыпки; 3 - гидрофобизированный грунт; 4 - плодородный слой с семенами трав

Отметки для гребня вала проектируют не менее чем на 0,2 м выше расчетного уровня воды при расходах воды до 1 м/с и не менее 0,4-0,5 м при расходах 1-10 м/с. Водоотводящие валы-канавы необходимо рассчитывать на пропуск максимальных расходов 10 % обеспеченности. Уклон канав принимают таким, чтобы скорость стекания потоков воды вдоль вала была не выше допустимой размывающей и не ниже допустимой незаиляющей для наносов мелкозема. При отсутствии расчетного обоснования, уклон канавы принимают 0,005-0,003. Нижние концы водоотводных канав необходимо привязать к водоприемнику - специальному сооружению или задернованной ложбине. Если вал пересекает глубокие ложбины, то в вале создаются специальные дренажные устройства, которые обеспечивают безопасный сброс воды из образовавшихся в ложбинах прудков.

#### 3.2.4. Борьба с растущими оврагами

При закреплении вершин оврага гидротехническое сооружение выбирается в зависимости от рельефа территории, глубины и протяженности оврага, площади водосбора, наличия техники и строительных материалов, долговечности сооружения и других факторов.

Основными вершинными гидротехническими сооружениями являются сопрягающие сооружения такие как: быстротоки, перепады, консольные сбросы, трубчатые закрытые сооружения и т.д. В нижнем бьефе их следует дополнять отбрасывающими устройствами типа: устройствами или уступом для гашения энергии потока, трамплинами.

Быстротоком называют вершинное сопрягающее устройство в виде лотка, который обеспечивает безопасный сброс потока воды на дно оврага. Параметры и уклон быстротока выбирают в зависимости от допустимой размывающей скоростью для материала, покрывающего быстроток. Фашинные или деревянные лотки, устанавливаемые в вершинах оврагов, являются упрощенной конструкцией быстротока.

Максимальная надежность сооружений наблюдается у бетонных и железобетонных быстротоков. По всей длине быстротока лоток разрезают поперечными температурными швами. Толщина флютбета заранее рассчитывается. Боковые бетонные стенки принято принимать толщиной 0,3 м и высотой на 0,2 м выше, чем глубина потока.

Первопричиной аварий на быстротоках является вымывание грунта из-под лотков, особенно, если сооружение было врезано в грунт и размещалось в вершине оврага. Кроме того, часто причиной возникновения аварий является перепад давлений на быстроток грунта при его замораживании .[17]

Закрепление органическим вяжущим или вяжущим грунтом на основе карбамидных смол позволяет лишить быстротоки отмеченных недостатков. К преимуществам быстротоков из закрепленного грунта относится возможность последующего задернения. Главным требованием является достаточная сопротивляемость материала размыву. Пример такой конструкции показан на рисунок 18.

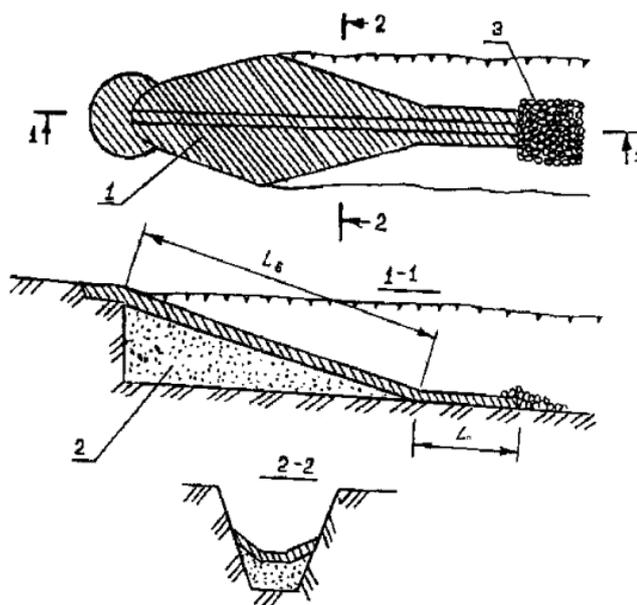


Рисунок 19. Конструкция быстротока из закрепленного грунта в вершине оврага: 1 - закрепленный грунт; 2 - насыпной незакрепленный грунт; 3 – каменная наброска

3.2.5. Дополнительные мероприятия по предотвращению роста оврагов  
Дополнительными и альтернативными мероприятиями по предотвращению роста оврагов являются:

- отвод стока от вершины или его задержание;
- уменьшение стока на водосборной территории;
- выполаживание и засыпка оврага, биоинженерные мероприятия.

Системы водозадерживающих и водоотводящих земляных валов, канавы или валы-канавы позволяют отводить поток воды от вершины и задерживать его.

Такие конструкции широко распространены, однако при их проектировании следует учитывать ряд особенностей. Во-первых, производство требует больших капитальных затрат, валы занимают площади, которые можно было бы использованы в сельском хозяйстве. Во-вторых, надежность таких валов мала и, в результате их размыва, эрозия будет резко усиливаться. В-третьих, эрозия в некоторых случаях начинается в местах сброса стока. При проектировании конструкций такого типа целесообразнее всего устанавливать валы небольших размеров для защиты вершин оврагов только склонового типа. Тогда грунт, из которого будет сооружаться вал, необходимо укреплять вяжущими добавками. К мероприятиям, обеспечивающим отвод и задержание стока, относится, также, создание лесополос. Это мероприятие весьма эффективно, однако требует больших вложений и применима лишь для защиты от оврагов, вершины которых расположены на достаточном расстоянии от линейной части трубопровода.

Стока на водосборной территории можно уменьшить увеличением инфильтрации воды в почву. Для этого необходима специальная техника и агротехнические приемы на пашне. Противозерозионные мероприятия на водосборной территории взаимосвязаны с землепользованием и подразумевают его активное участие, поэтому применять такие мероприятия для защиты трубопроводов следует лишь в особых случаях. Необходимо проводить диагностирование состояния водосборных территорий вдоль

линейной части трубопроводов и своевременно предотвращать причины возникновения эрозии грунта.

При выполаживании и засыпку оврага выполняют следующим образом. Вершину оврага планируют в наклонную площадку крутизной до 5°. Крутизну и ширину водосброса определяют расчетом по методике, аналогичной расчету быстротока из закрепленного грунта. Глубину водосброса обычно принимают равной 0,2-0,3 м с заложением откосов 1:2-1:3, ширина - 5-12 м. Дно водосброса разрыхляют и разрыхленный слой смешивают с компостом из расчета 10-15 кг на 1 м<sup>2</sup> или вносят минеральные удобрения. После чего дно засевают смесью многолетних трав. Максимальная скорость в задернованном водотоке допустима не более 1 м/с.[19]

### 3.2.6. Защита размывших участков трубопроводов на пересечениях с временными и малыми водотоками

Применять конструкции, обеспечивающие механическую защиту размывшего участка трубопровода от внешних воздействий, следует принимать в случае, если нет возможности перевести участок в категорию воздушного перехода.[19]

К конструкциям, обеспечивающим механическую защиту размывших участков газопроводов, предъявляются следующие требования:

- защита участка газопровода от механических воздействий (повреждений при наезде техники и др.), гидродинамических воздействий и от солнечной радиации;
- обеспечение фиксированного положения участка газопровода и целостности грунтового основания;
- работоспособность конструкции при частичных повреждениях или непредвиденных изменениях стокового режима;

- минимальное вмешательство в природную среду (сохранение естественного режима стока и исключение ущерба водной фауне);
- обеспечение возможности демонтажа конструкции и участка газопровода.[23]

В зависимости от положения размываемого участка относительно дна водотока и величины стока следует проектировать защитную конструкцию одного из трех типов представленных на рисунках 20, 21, 22.

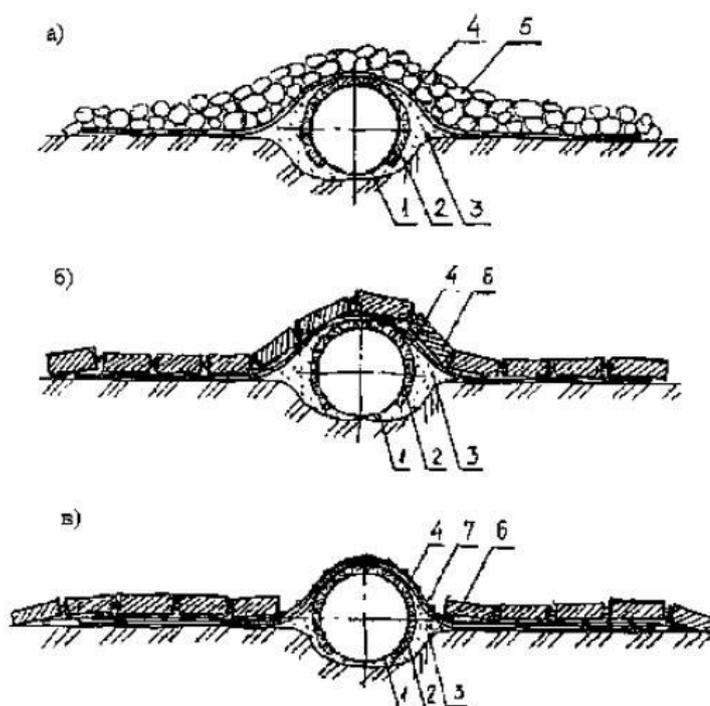


Рисунок 20 – Варианты конструкций для защиты размываемых участков трубопроводов на пересечениях с временными и малыми водотоками: 1 - трубопровод; 2 - футеровка; 3 - грунтовая засыпка; 4 - геотекстиль; 5 - камень; 6 - ж/б блоки; 7 – сетка.

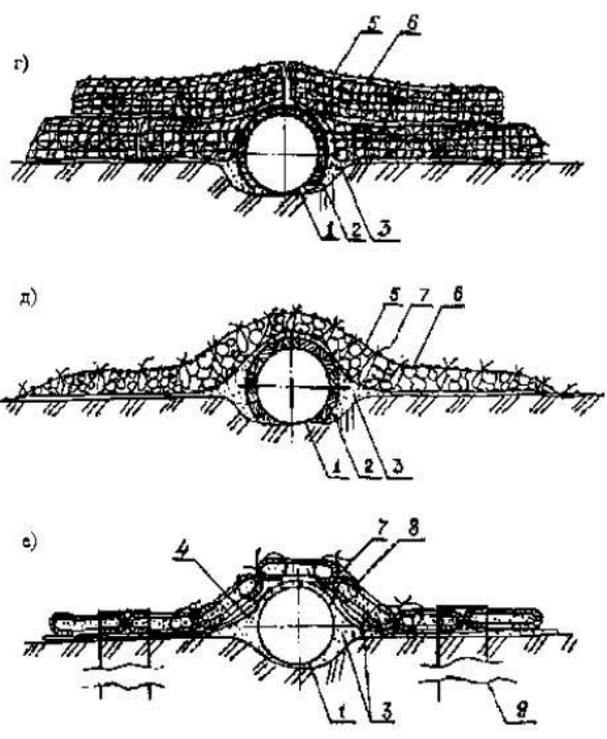


Рисунок 21 – Конструкций для защиты размывших участков трубопроводов:  
 1 - трубопровод; 2 - футеровка; 3 - грунтовая засыпка; 4 - геотекстиль; 5 - сетка; 6 - камень; 7 - проволочные стяжки; 8 - автопокрышки; 9 – анкеры

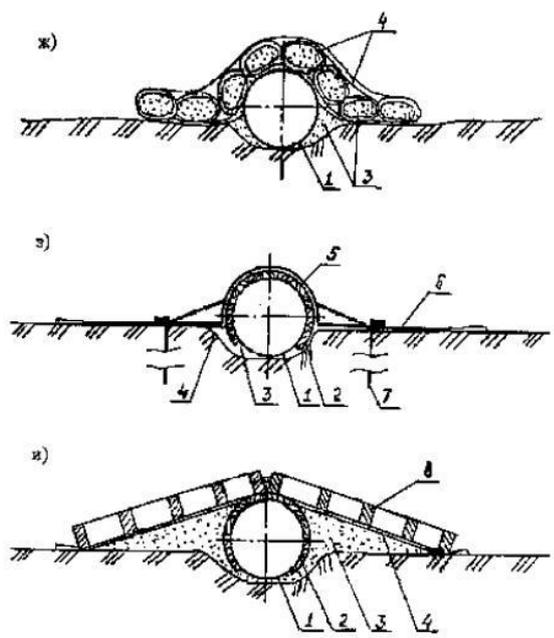


Рисунок 22 – Конструкций для защиты размывших участков трубопроводов на пересечениях с временными и малыми водотоками: 1 - трубопровод; 2 - футеровка; 3 - грунтовая засыпка; 4 - геотекстиль; 5 - полуфутляр; 6 - консоли; 7 - анкеры; 8 - решетчатые ж/б плиты

Последние следует применять в том случае, когда газопровод оголен более, чем на половину диаметра, подмыв под трубой небольшой или отсутствует. Так как, если в этом случае не организовать дренаж под трубой, в межень вода будет накапливаться перед трубопроводом, образуя пруд, что в свою очередь приводит к значительному нарушению рельефа. [19]

## Заключение

В рамках выпускной квалификационной работы были изучены методы предотвращения водной эрозии грунтов на потенциально-опасных участках при проектировании линейной части магистральных нефтепроводов. Были рассмотрены опасные явления, возникающих под действием водной эрозии почвы. Также в работе были проанализированы противоэрозионные мероприятия, применяемые на потенциально-опасных участках при проектировании линейной части магистральных нефтепроводов.

В выпускной квалификационной работе был проведен прогнозный расчет размыва грунта засыпки на склоне на примере магистрального газопровода «Сила Сибири» в соответствии с инструкцией РД 51-2.4-007-97 «Борьба с водной эрозией грунтов на линейной части трубопроводов» значения входят в допустимые пределы.

Геотехнический мониторинг на этапе строительства выполняет важную задачу определения соответствия состояния оснований и опорных конструкций проекта до момента сдачи в эксплуатацию и, при необходимости, разработку дополнительных эксплуатационных решений. В соответствии с этими условиями и определяется комплекс работ, направленных на предотвращение в ходе строительства опасных инженерно-геологических и техногенных явлений, иных опасных природных процессов.

## Список используемых источников

1. Заславский, М.Н. Эрозиоведение. Основы противоэрозионного земледелия. - М., 1987. - 376 с.
2. Каштанов, А.Н. Ландшафтное земледелие. Ч. 1. Концепция формирования высокопродуктивных экологически устойчивых агроландшафтов и совершенствования систем земледелия на ландшафтной основе / Щербаков А.П., Швебс Г.И. и др. – Курск, 1993. - 54 с.
3. Кузнецов, М.С., Глазунов Г.П. Эрозия и охрана почв: Учебник. – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Изд-во МГУ, Изд-во «КолосС», 2004. - 352 с. – ISBN 5-211-04901-2.
4. Лабанов, Г.А. Эрозия и дефляция почв. - М.: 1993. 200 с.
5. Виды эрозии. Большой информационный архив. URL: <http://big-archive.ru/geography/pedology/89.php> Дата обращения: 10.02.2016
6. «Эрозия и охрана почв Учебно-методическое пособие для вузов Составители: Д.И. Щеглов, Н.С. Горбунова Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета» URL:<http://www.metodichka.x-pdf.ru/15raznoe/326387-1-eroziya-ohrana-pochv-uchebno-metodicheskoe-posobie-dlya-vuzov-sostaviteli-scheglov-gorbunova-izdatelsko-poligraficheskij.php> Дата обращения: 12.02.2016
7. «Эрозия и охрана почв»: Методические указания / О.А. Скрыбина, Н.В. Флягина. Пермь: Изд-во ПГСХА, 2013. – 43 с.  
URL:[http://pgsha.ru/export/sites/default/faculties/agrohim/cathedras/soil/soil\\_files/flyagina\\_n.v.\\_kurs.\\_proekt\\_po\\_erozii\\_i\\_ohrane\\_pochv.pdf](http://pgsha.ru/export/sites/default/faculties/agrohim/cathedras/soil/soil_files/flyagina_n.v._kurs._proekt_po_erozii_i_ohrane_pochv.pdf) Дата обращения: 20.04.2016
8. Эрозия почв. URL: <http://racechrono.ru/pochvovedenie/3081-eroziya-pochv-chast-2.html> Дата обращения: 4.03.2016

9. Климат как фактор эрозии почв. URL: <http://polyera.ru/eroziya-i-deflyaciya-pochv/1576-klimat-kak-faktor-erozii-pochv-chast-2.html> Дата обращения: 5.03.2016
10. Брауде И.Д. Облесение оврагов и балок / И.Д. Брауде, Н.Ф. Васьковский. – М.Л. Гослесбумиздат, 1950. – 72 с.: ил
11. Зорина Е.Ф. География овражной эрозии / Е.Ф. Зорина – монография МГУ. М.В. Ломоносова. – М.: Изд-во МГУ, 2006. – 324 с.: ил.
12. Зорина Е.Ф. Овражная эрозия: закономерности и потенциал развития: научное издание / Е.Ф. Зорина – МГУ им. М.В. Ломоносова. – М.: Изд-во Геос, 2003.
13. Потапов В.А. Борьба с эрозией почв / Потапов В.А.– 2-е изд., перераб. и доп. Ред. А.Г. Рожков. – М: Агропромиздат, 1989. – 224 с.
14. Преображенский В.С. Основы ландшафтного анализа / Преображенский В.С.:– М. Наука, 1988. – 192 с.
15. Скрыбина О.А. Водная эрозия почв и борьба с ней / О.А. Скрыбина: – Пермь: Кн. изд-во, 1990. – 246 с
16. Соболев С.С. Опыт почвенно-эрозионного районирования Европейской равнины СССР // Проблемы советского почвоведения./ С.С. Соболев 1940. №11.
17. СНиП 1.02.07.87. Инженерные изыскания для строительства/Госстрой СССР. - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988.- 104 с.
18. Справочник по климату СССР. Часть 1У. Влажность воздуха, атмосферные осадки, снежный покров. - Л.: Гидрометеиздат, 1968.
19. Борьба с водной эрозией грунтов на линейной части трубопроводов инструкция РД 51-2.4-007-97, Москва, 1998. – 10–25 с.

20. СНиП 2.06.15-85. Строительные нормы и правила инженерная защита территории от затопления и подтопления, 1986. –14–18 с.
21. Развитие склонов и склоновые отложения.  
URL:[http://www.bsu.ru/content/page/1415/hecadem/turunhaev\\_av/cl\\_353/files/mzip\\_249\\_5698/index.htm](http://www.bsu.ru/content/page/1415/hecadem/turunhaev_av/cl_353/files/mzip_249_5698/index.htm) Дата обращения: 24.02.2016
22. СП 11-105-97.Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов/Госстрой России. - М.: ПНИИИС Госстроя России, 2000;
23. СНиП 2.05.06-85\* «Магистральные трубопроводы»;
24. СНиП 22-01-95 «Геофизика опасных природных воздействий»;
25. РД-23.040.00-КТН-110-07 «Магистральные нефтепроводы. Нормы проектирования»;