



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Основы коррозии и защиты металлов

Лихачев Владислав Александрович, к.х.н.,
доцент



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Виды коррозии

- I. По характеру коррозионной среды или условий коррозии
- II. По характеру поражения



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Виды коррозии первой группы

- 1) Газовая;
- 2) В неэлектролитах;
- 3) Атмосферная;
- 4) Подводная;
- 5) Подземная;
- 6) Биокоррозия;
- 7) Электрокоррозия (коррозия под действием блуждающего тока)
- 8) Контактная коррозия
- 9) Щелевая и т.д.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Виды коррозии по характеру разрушения

- 1) Общая;
- 2) Равномерная;
- 3) Неравномерная;
- 4) Язвенная;
- 5) Межкристаллитная;
- 6) Питтинговая (в виде точек);
- 7) Коррозионная усталость;
- 8) Коррозионное растрескивание;
- 9) Коррозия пятнами и т.д.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Атмосферная коррозия металлов

Атмосферная коррозия-это коррозия под действием окружающего нас воздуха.

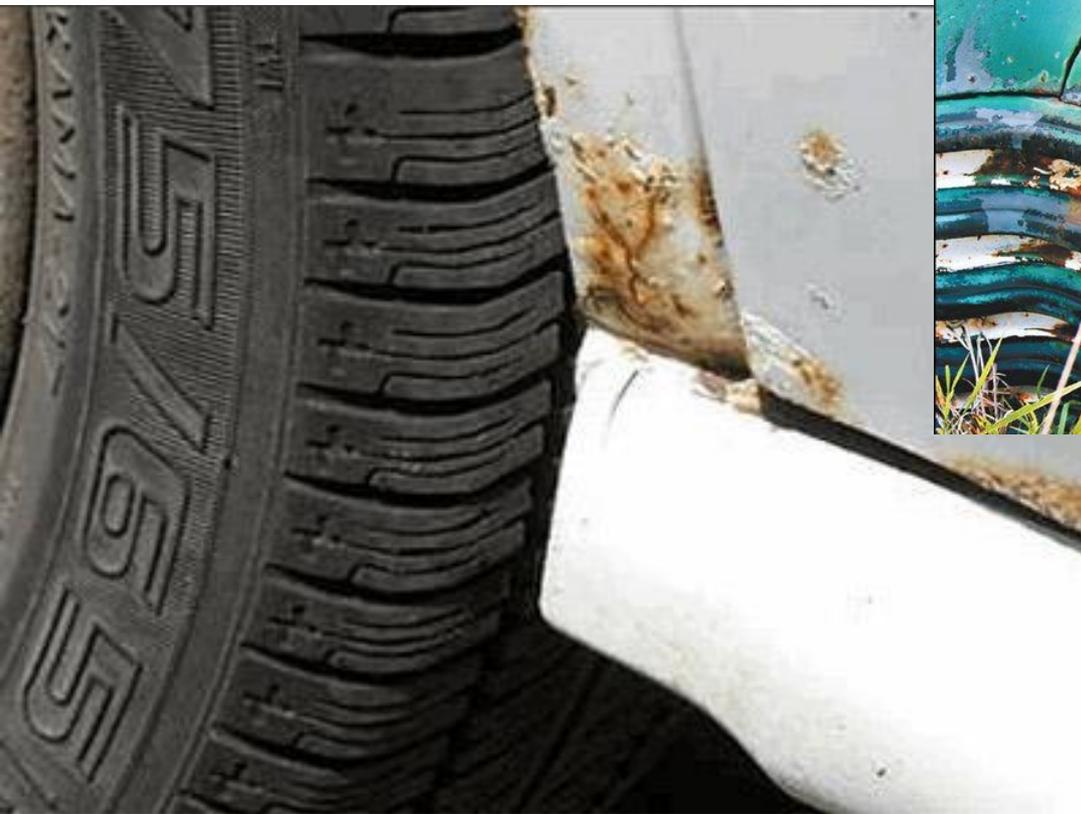
80% всего металла корродирует в условиях атмосферной коррозии.

1. Закрытая атмосфера (внутри помещений)
2. Открытая атмосфера (вне помещений)



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

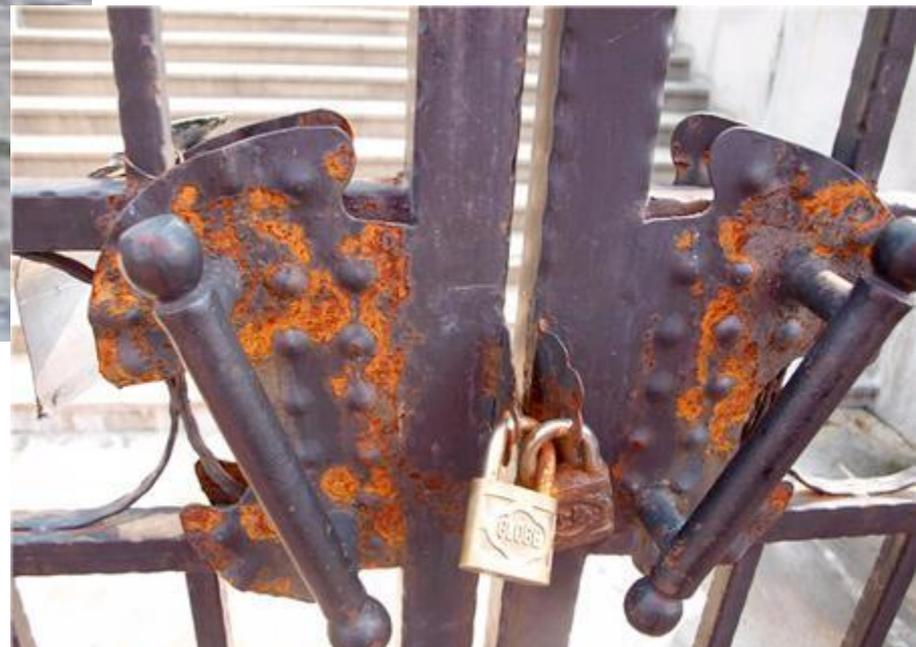
Атмосферная коррозия автомобилей





ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Атмосферная коррозия





ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ



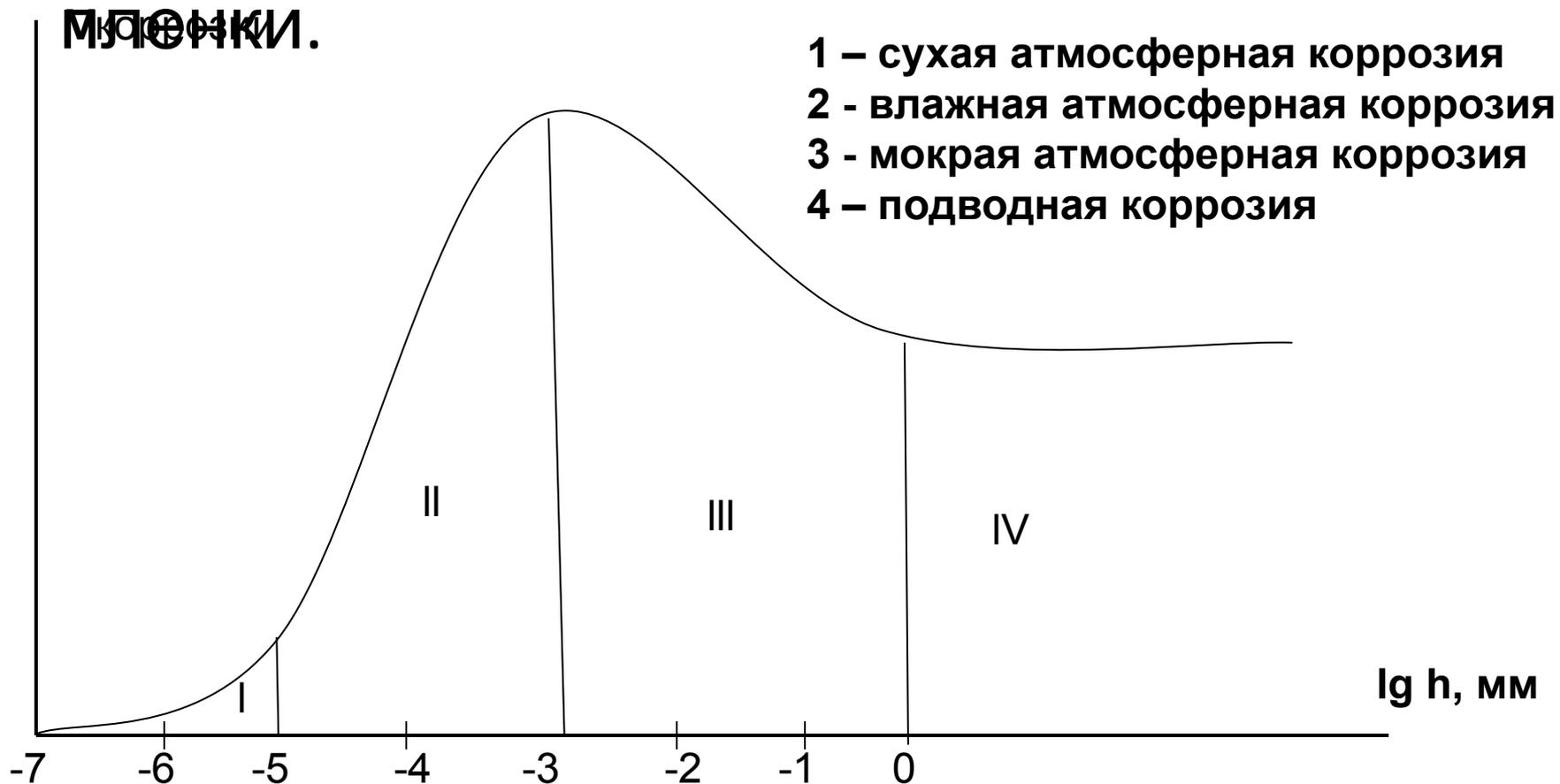




ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Зависимость скорости атмосферной коррозии от толщины пленки влаги

Скорость коррозии зависит от толщины пленки.





ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Сухая атмосферная коррозия

1) Зона **сухой коррозии**, толщина $h < 10^{-5}$ мм. Вода на металле не обнаруживается даже высокоточными приборами.

Металл сухой, сухая атмосферная коррозия по типу **газовая химическая коррозия**.

При обычных температурах не опасна.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Атмосферная коррозия

2) Влажная атмосферная коррозия.

Толщина пленки влаги $10^{-5} < h < 10^{-3}$ мм.

Такая пленка влаги фиксируется приборными методами и называется адсорбционная пленка влаги.

Коррозия по типу – электрохимическая и опасна, скорость коррозии резко возрастает.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Атмосферная коррозия

3) **Мокрая** атмосферная коррозия.

Толщина пленки влаги $10^{-3} < h < 1$ мм.

Такую пленку влаги можно увидеть невооруженным глазом, и она называется **фазовая** пленка влаги.

Коррозия по типу: электрохимическая, опасна и, в основном, встречается в условиях открытой атмосферы.

4) $h > 1$ мм. **Подводная** коррозия.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Коррозионная агрессивность атмосферы ГОСТ 9.039 - 74

Коррозионная агрессивность атмосферы
оценивается с помощью параметров:

$t_{\text{адс}}$ – время увлажнения адсорбционной
пленкой влаги.

$t_{\text{фаз}}$ – время увлажнения фазовой пленкой
влаги.

$t_{\text{общ}} = t_{\text{адс}} + t_{\text{фаз}}$ – общее время увлажнения

C_i – концентрация коррозионноактивных
компонентов.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Атмосферная коррозия

Для оценки величины $t_{адс}$ проведены специальные опыты по определению условий появления адсорбционной пленки влаги. Менялось состояние поверхности металла и чистота воздуха

Состояние поверхности Me,	Состав атмосферы	R% влажность воздуха
1. Чистая сталь, Fe	Чистый воздух	~100%
2. Чистое сталь, Fe	+0,01% SO ₂	≥70%
3. Сталь слегка прокорродировавшая в H ₂ O	Чистый воздух	≥65%
4. Сталь слегка прокорродировавшая в NaCl	Чистый воздух	≥55%



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Время увлажнения адсорбционной пленкой влаги

- Таким образом $t_{\text{адс}}$ определяется средним количеством часов в году, когда относительная влажность воздуха $\geq 70\%$,
- $t_{\text{адс}}$ характерно как для **открытой**, так и **закрытой** атмосферы.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Время увлажнения фазовой пленкой влаги

$T_{\text{фаз}}$ определяется суммой пяти времен и характерно для **открытой** атмосферы.

$$T_{\text{фаз}} = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5$$

T_1 - среднее время дождя в течение года

T_2 - роса

T_3 - туман

T_4 - оттепель

T_5 – время высыхания после каждого увлажнения.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Шкала коррозионной агрессивности атмосферы ГОСТ 9.039-74

По значению общего времени увлажнения $T_{\text{общ}} = T_{\text{фаз}} + T_{\text{адс}}$ определяется коррозионная агрессивность атмосферы в баллах

$T_{\text{общ}}$, час	БАЛЛ
500-1000	1
1000-1500	2
.....
.....
2000-2500	4
2500-3000	5
.....
.....
>4500	9



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Виды атмосфер по ГОСТ 9.039-74

По виду коррозионных агрессивных компонентов все атмосферы делятся:

- **сельская.** (Наименее опасная)
- **городская;** (SO_2 , SO_3)
- **промышленная;** (самые
разнообразные компоненты)
- **морская;** (Cl^-)
- **тропическая;** (H_2S , NH_3)



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ГОСТ 9.040-74

- Потери от атмосферной коррозии можно рассчитать по ГОСТ 9.040-74 «Расчетно-экспериментальный метод определения коррозионных потерь от атмосферной коррозии»
- $M = (K_{адс}^0 + \alpha C) t_{адс} + (K_{фаз}^0 + \beta C) t_{фаз}$; г/м²
за 1 год коррозии;



ГОСТ 9.040-74

где, $K^0_{\text{адс}}$; $K^0_{\text{фаз}}$ – скорость коррозии под адсорбционной и фазовой пленками соответственно;

α , β – коэффициенты, учитывающие увеличения скорости коррозии под адсорбционной и фазовой пленками влаги за счет коррозионного активного компонента с концентрацией C ;

$T_{\text{адс}}$, $T_{\text{фаз}}$ – время увлажнения адсорбционной и фазовой пленкой влаги, соответственно.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ГОСТ 9.040-74

Величины $K^0_{\text{адс}}$; $K^0_{\text{фаз}}$; α , β определяются экспериментально по ГОСТ 9.040-74

При необходимости определения потерь от атмосферной коррозии за несколько лет, они определяются по формуле:

$$M_T = M_T^n$$

где, n – коэффициент, учитывающий влияние продуктов коррозии на скорость коррозии, также определяется экспериментально.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Методы защиты от атмосферной коррозии

Так как атмосферная коррозия не относится к очень опасным видам коррозии, поэтому применяются самые распространенные и **дешевые** методы защиты :

- 1) **осушка атмосферы.** Назначение: перевод опасной электрохимической коррозии в неопасную химическую (вентиляция, навесы, применение силикагеля в замкнутом объеме).
- 2) **Защитные консервационные масла;**
- 3) **Лакокрасочные покрытия (ЛКП).**
- 4) **Ингибиторы атмосферной коррозии**



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Атмосферная коррозия





ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ПОДВОДНАЯ КОРРОЗИЯ



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Распространенность подводной коррозии

Самый главный объект подводной коррозии в практике - это **сантехническое оборудование, и системы теплоснабжения.**

Коррозионной средой является **сточная вода, природная вода, оборотная вода.**

По типу коррозии – подводная коррозия всегда **электрохимическая.**

4% всего эксплуатируемого металла корродирует в условиях подводной



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Коррозионная диаграмма подводной коррозии



Обычно коррозия с кислородной деполяризацией, но в сточных кислых водах коррозия под действием двух окислителей



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Подводная коррозия элементов сантехнического оборудования





ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Факторы, влияющие на подводную коррозию

Решающий фактор pH воды.

1. pH **сточных** вод может быть любой и при $\text{pH} \leq 3$ коррозионная активность резко повышается за счет действия второго окислителя H^+ , наряду с растворенным O_2
2. pH **природных** вод обычно близко к нейтральному 5,5-8,5.
3. pH **канализационных хозфекальных** вод всегда больше 9 за счет моющих средств.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Факторы, влияющие на подводную коррозию

Коммунальные службы постоянно сталкиваются с коррозией сантехнического оборудования в **природных водах** (речная вода, из скважин, из озер, колодцев и т.д.)

В природных водах всегда присутствует целый ряд компонентов:

Растворенные газы и соли: O_2 , CO_2 , Cl^- , SO_4^{2-} .

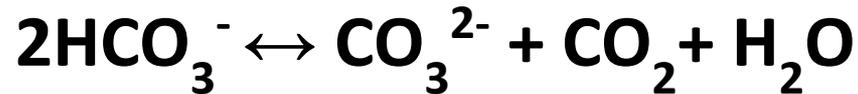
Взвеси: продукты коррозии Fe_2O_3 , $Fe(OH)_3$, песок, глина.

Все они влияют на скорость подводной коррозии.



Влияние CO_2

При растворении CO_2 в H_2O возникает равновесие.



Если равновесие сдвинуто влево, в воде больше ионов HCO_3^- , тогда одним из продуктов коррозии является **растворимая соль $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$** . Коррозионная активность воды **высокая**.

Если равновесие сдвинуто вправо, больше ионов CO_3^{2-} , тогда один из продуктов **нерастворимая соль FeCO_3** , которая уплотняет ржавчину и поэтому коррозионная



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Индекс Ланжелье

Куда сдвинуто равновесие позволяет определить индекс Ланжелье.

$$I = \text{pH}_0 - \text{pH}_s$$

где, pH_0 – pH природной воды;

pH_s – равновесное pH , при котором концентрация ионов HCO_3^- и CO_3^{2-} одинакова.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Индекс Ланжелье

pH_s определяется по номограмме, которая представлена в **СНиП 2.04.02-84** («Водоснабжение наружные сети и сооружения»). Для определения pH_s нужны характеристики воды: **P** – общее солесодержание, **Щ**- щелочность, **[Ca⁺²]** жесткость воды, - все 3 параметра + pH_0 - это параметры которые определяются службами санэпиднадзора для любого эксплуатирующегося источника.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Индекс Ланжелье

Если индекс Ланжелье < 0 , то равновесие сдвинуто **влево**, коррозионная агрессивность среды **высокая**. Если ≥ 0 , то равновесие сдвинуто **вправо** – коррозионная активность в норме.

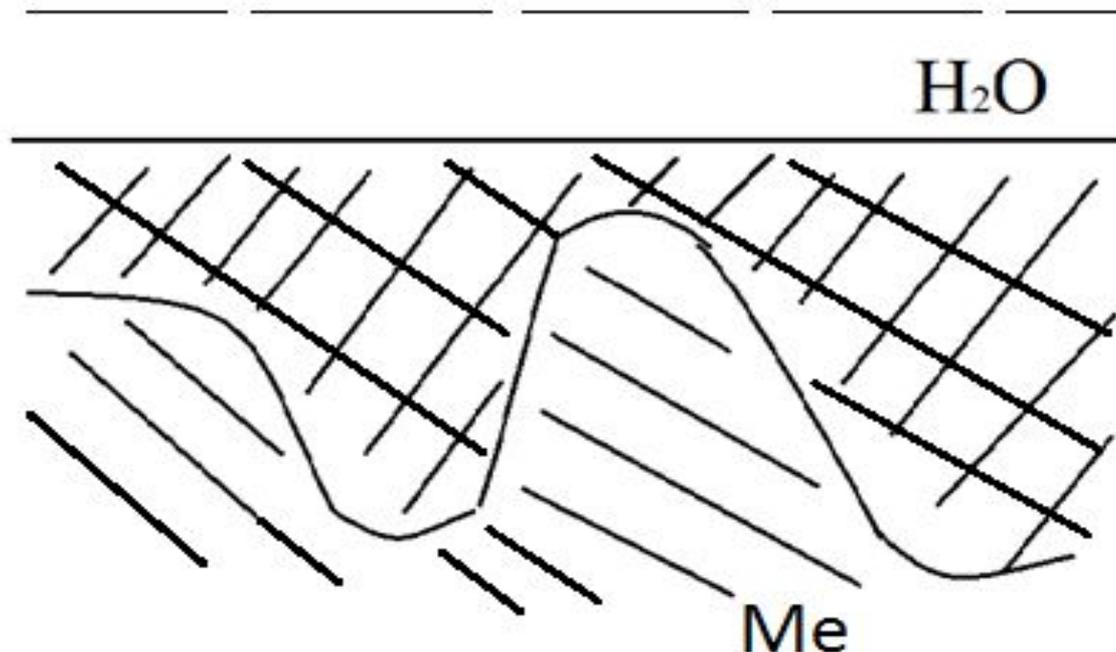
Для повышения индекса Ланжелье нужно повышать pH_0 . Это производится фильтрацией воды через известковый фильтр, чем всегда пользуются на станциях водоподготовки.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Локальный характер подводной коррозии

Подводная коррозия всегда протекает очень **не равномерно**. На фоне сравнительно небольшой общей коррозии всегда наблюдается **интенсивная локальная** в виде язв и раковин. Именно она приводит к выходу из строя сантехнического оборудования.





ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Язвенная коррозия



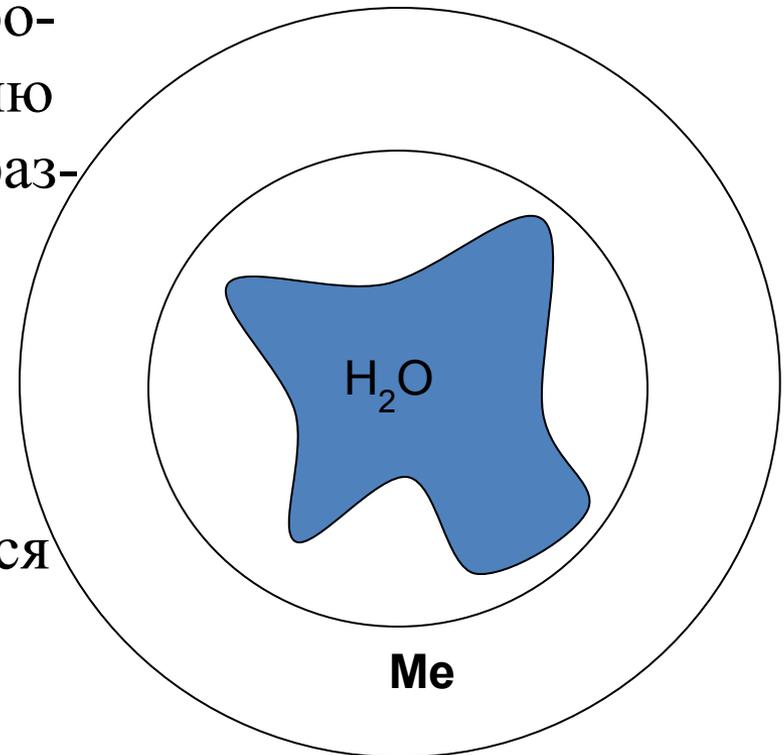


ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Возникновение аэрационных пар внутри трубопровода

Продукты коррозии имеют свойство откладываться на стенках трубопровода, неравномерно. Не одинаковые по толщине **отложения** внутри трубопровода приводят к возникновению **аэрационных пар**, (участков с разной диффузией O_2), аэрационные пары приводят к усилению локальной коррозии.

Для снижения отрицательного действия отложений рекомендуется периодически очищать от них трубопроводы.





ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Влияние на подводную коррозию Cl^- и SO_4^{2-} ионов

По ГОСТу в питьевой воде допускается определенное количество ионов Cl^- , SO_4^{2-} . Наличие в воде этих ионов существенно повышает ее коррозионную активность.

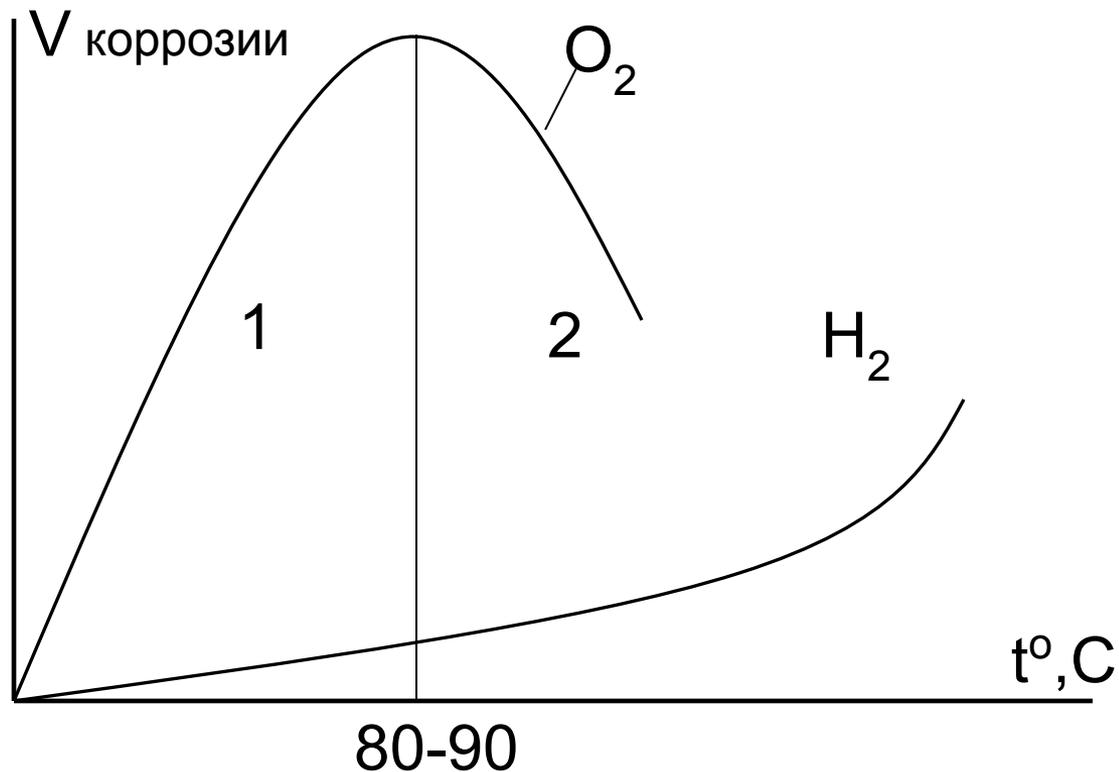
Изменение концентрации Cl^- от 0 до 150 мг/л повышает скорость локальной коррозии в 2-4 раза. При такой же концентрации SO_4^{2-} увеличивает общую и локальную коррозию в 2-4 раза. Если



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Влияние температуры на скорость подводной коррозии

Повышение скорости коррозии с ростом $t^{\circ}\text{C}$ связано с повышением диффузии O_2 , далее снижается растворимость O_2

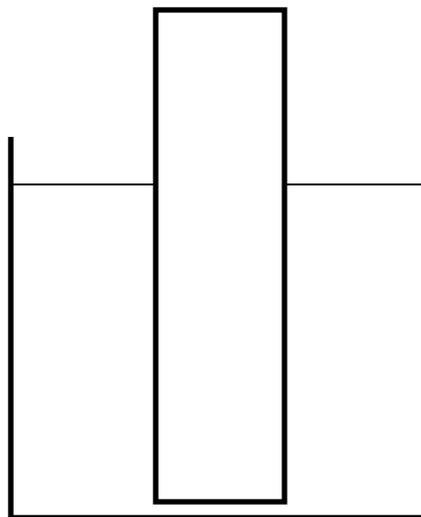
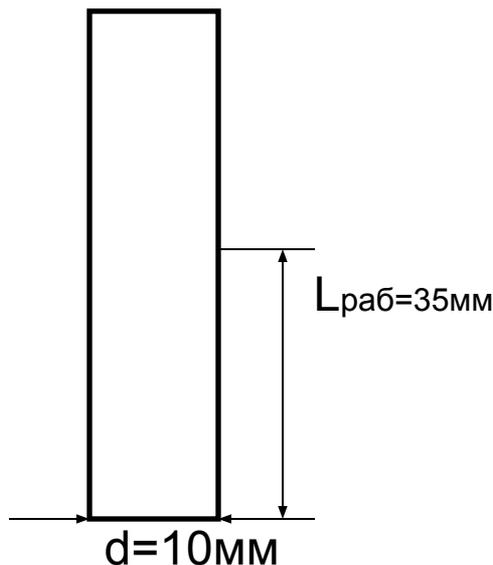




ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Экспериментальная оценка коррозионной агрессивности природной воды

Существует экспериментальный способ оценки коррозионной агрессивности природной воды. Цилиндрический образец из стали Ст3пс диаметром 10 мм и длиной рабочей части 35 мм (конструкционная обычного качества №3 полуспокойная) вращается со скоростью 1500 об/мин в испытуемой воде в течение 3 часов.





ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Экспериментальная оценка коррозионной агрессивности природной воды

- Далее определяется количество продуктов коррозии образовавшихся и на электроде и в коррозионной среде.
- $m < 0,1 \text{ мг/см}^2$ - низкая коррозионная АКТИВНОСТЬ
- $m = 0,1-0,2 \text{ мг/см}^2$ - средняя;
- $m > 0,2 \text{ мг/см}^2$ - высокая



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Защита от подводной коррозии

- Выбор конструкционного материала;
- Удаление кислорода;
- Ингибирование;
- Применение защитных покрытий;
- Очистка трубопроводов от отложений.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Морская коррозия

- Разновидность подводной. Ей подвергаются стали, легкие сплавы, сплавы Cu.
- Электролит высокоаэрированный (до 80 мг/л O_2), раствор солей в воде, количество солей от 1-4%. 78% солей- это NaCl, 11% - $MgCl_2$ остальное сульфаты.
- Высокая электропроводность, pH=7,2-8,6.
- Коррозия электрохимическая с кислородной деполяризацией.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Морская коррозия

- Высокая интенсивность коррозии за счет интенсивного перемешивания;
- Часто возникает контактная коррозия;
- Высокое содержание Cl^- приводит к депассивации сталей и локальной коррозии. (до 1мм/год в язве)
- Сильное влияние биологической коррозии;
- Увеличение скорости коррозии за счет прокатной окалины.
- Повышенная коррозия по ватерлинии.
- Возможность электрокоррозии при сварке



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Защита от морской коррозии

- Лакокрасочные покрытия (иногда комбинация покрытий: фосфат + ЛКП; Zn + ЛКП), необрастающие краски.
- Цинковые покрытия;
- Алюминий защищается анодированием;
- Электрохимическая защита;
- Дренаж при электрокоррозии.
- Удаление прокатной окалины.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ПОДЗЕМНАЯ КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛА



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Подземная коррозия

Основные объекты: сантехническое оборудование, емкости для хранения горючесмазочных веществ, опоры.

200 млн. тон стали корродирует в условиях подземной коррозии.

Коррозионной средой является грунт (земля).

Грунт бывает трёх видов: сухой, нормальный и влажный.

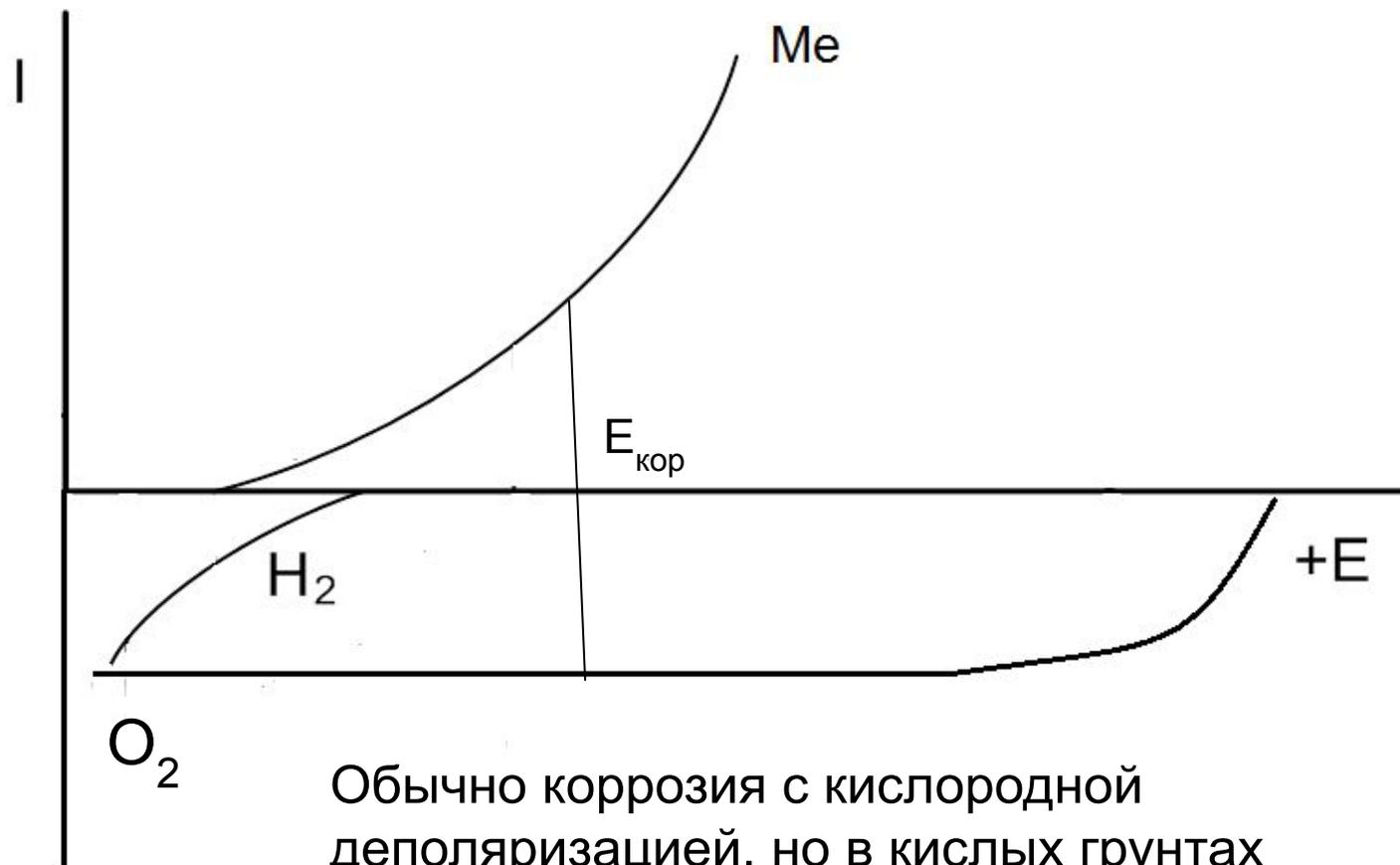
При нормальном и влажном грунте коррозия электрохимическая, рН колеблется от **3 до 10**.

При $\text{pH} \leq 3-4$ кислый грунт, высокая опасность.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Коррозионная диаграмма подземной коррозии



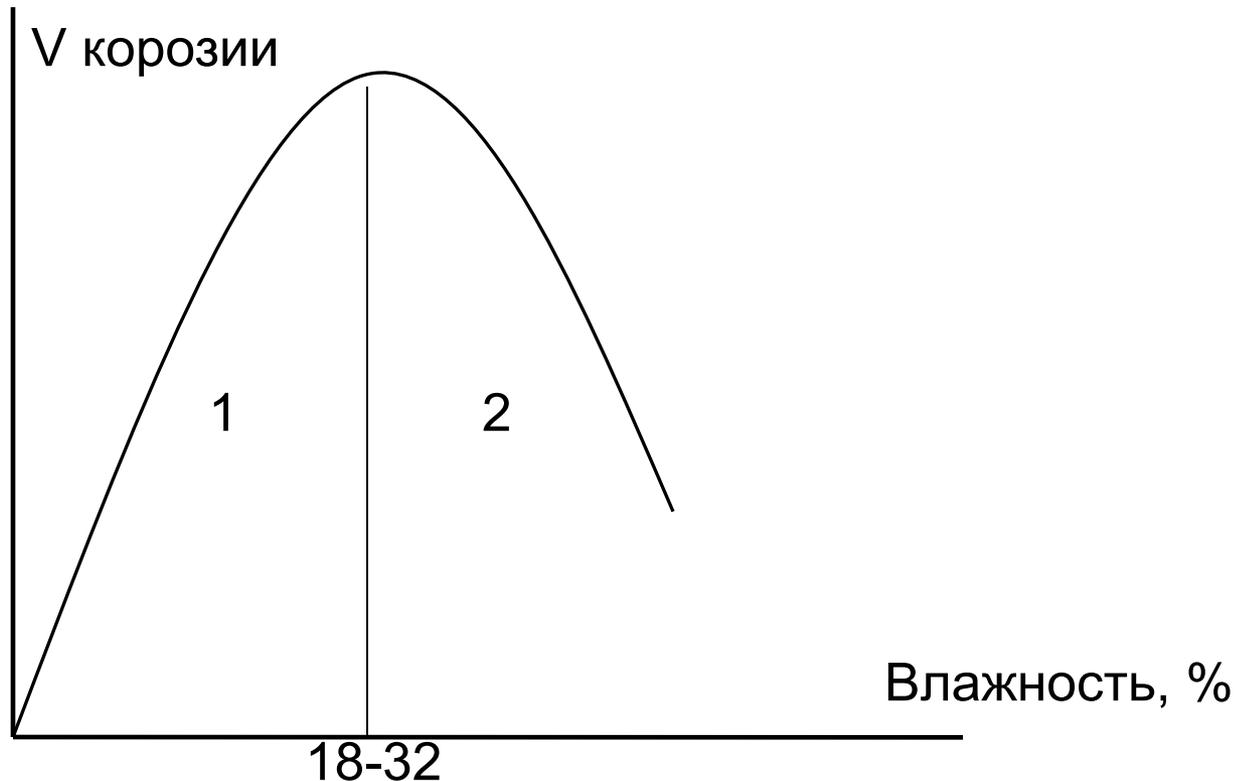
Обычно коррозия с кислородной деполяризацией, но в кислых грунтах коррозия под действием двух окислителей



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Влияние влажности грунта на скорость подземной коррозии

1. Увеличивается электропроводность
2. Затрудняется диффузия кислорода

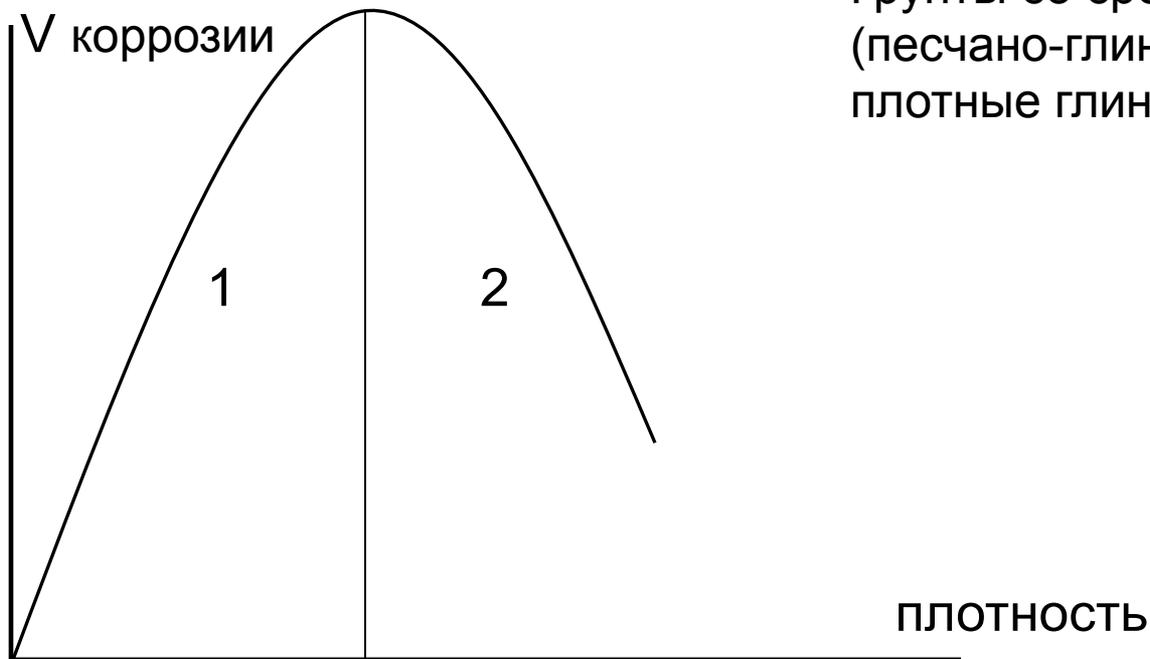




ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Влияние плотности грунта на скорость поземной коррозии

1. Повышается электропроводность
2. Затрудняется диффузия кислорода



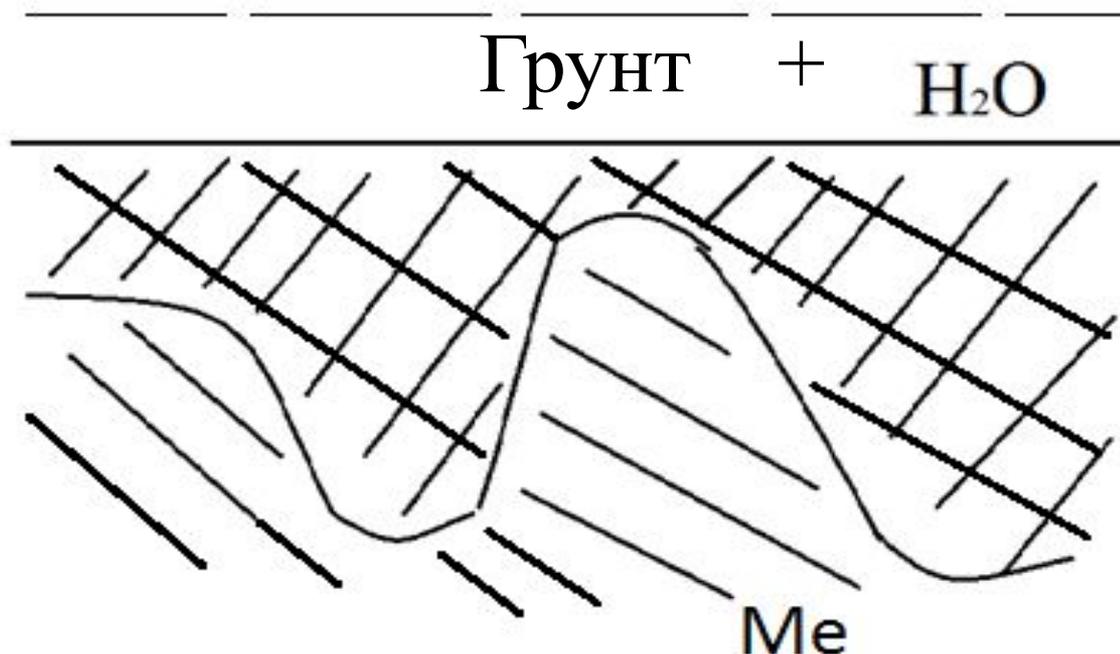
Грунты со средней плотностью
(песчано-глинистые) опаснее, чем
плотные глинистые.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Локальный характер подземной коррозии

- Характер подземной коррозии сходен с характером подводной коррозии: на фоне небольшой общей коррозии, наблюдается интенсивная локальная в виде язв и раковин.





Влияние ионного состава грунта

- Солевой состав грунта в условиях подземной коррозии влияет точно также, как при подводной:
- Cl^- ион увеличивает скорость локальной коррозии;
- SO_4^{2-} ион увеличивает скорость и общей и локальной коррозии.
- Солончаковые грунты в связи с высоким солесодержанием коррозионно активны.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Гост 9.602-2005

ГОСТ 9.602-2005 «Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии».

Коррозионная агрессивность грунта по отношению к углеродистым и низколегированным сталям определяется по величине удельного сопротивления.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Коррозионная агрессивность грунта ГОСТ

Коррозионная агрессивность	Удельное сопротивление грунта Ом·м
Низкая	>50
Средняя	20-50
Высокая	<20

ГОСТ даёт методику определения электропроводности грунта.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Особенности подземной коррозии

Подземная коррозия имеет некоторые особенности:

- 1) Часто усугубляется возникновением аэрационных пар.
- 2) Часто сопровождается биокоррозией.
- 3) Осложняется электрокоррозией (коррозией под действием блуждающих токов)



Биокоррозия

Под землей (в грунте) могут присутствовать 2 вида бактерий:

- ❖ **Анаэробные:** в процессе своей жизнедеятельности выделяют кислород и сероводород (H_2S), которые являются дополнительными окислителями и увеличивают скорость коррозии.
- ❖ **Аэробные:** выделяют серную кислоту, подкисляя грунт (дополнительный окислитель H^+).
- ❖ В плане биологической коррозии опасны **болотные, торфяные, черноземные** грунты.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Электрокоррозия

Коррозия под действием блуждающих
ТОКОВ

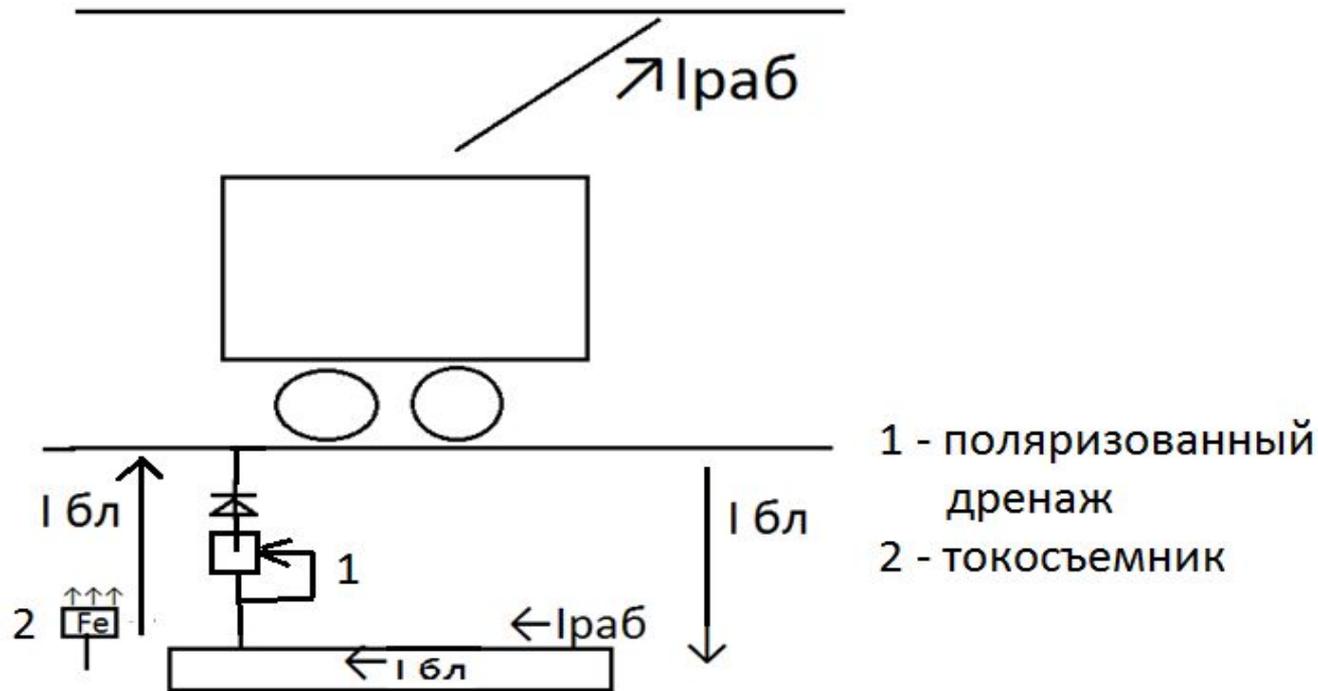
Причины появления блуждающих токов:
утечки с линий электрофицированного
транспорта, сварочные работы, утечки с
цехов потребителей постоянного тока.

Ток может быть постоянного и
переменного направления. Ток
постоянного направления более опасен.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Электрокоррозия и защита от нее



Методы защиты от электрокоррозии:
повышение сопротивления цепи блуждающего тока (изоляционные покрытия, секционирование трубопровода).
Специальные приемы: дренаж, токосъемник



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Защита от подземной коррозии

- ❖ Выбор рациональной трассы прокладки трубопровода;
- ❖ Уменьшение агрессивности грунта (кислые грунты – известкование, кислые грунты и грунты с высоким содержанием солей -замена грунта);
- ❖ Защитные покрытия: мастичные (битумные), полимерные, комбинированные, прокладка в железобетонных коробах;
- ❖ Электрохимическая защита: катодная и протекторная.