ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

# Выбор методов антикоррозионной защиты трубопроводов в условиях одновременного присутствия $CO_2$ и $H_2S$ в транспортируемой среде

Пирожков Павел Александрович, ООО «ИТ-Сервис»

# Модификация химического состава

**Цель**: сформировать предложения по выбору методов антикоррозионной защиты трубопроводов в зависимости от парциальных давлений $CO_2$ и $H_2S$.

**Объекты:**
32Г2У, К52 исп. 2, 22ГЮ, 05ХГБ, 30ХМА, 20Х1Г

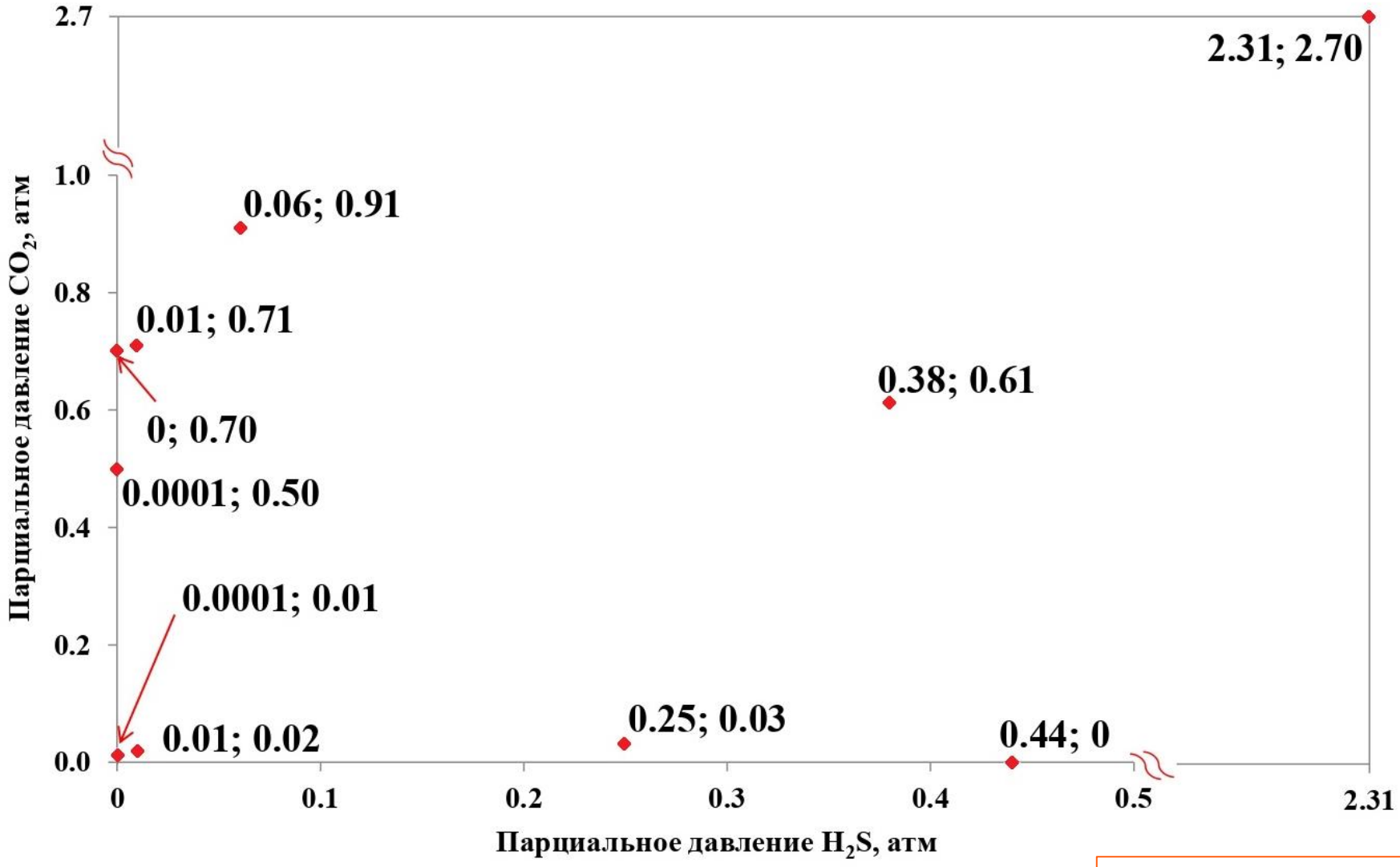
**Задачи:**
1. Провести коррозионные испытания нескольких марок сталей при различных парциальных давлениях $CO_2$ и $H_2S$.
2. Выделить признаки протекания углекислотной и сероводородной типов коррозии.
3. Выявить ведущий механизм коррозии (углекислотный, сероводородный, смешанный) в зависимости от парциальных давлений $CO_2$ и $H_2S$.
4. Выбрать метод защиты оборудования в зависимости от ведущего механизма коррозии.

# Условия проведения испытаний

- T = 50°C
- $P_{общ}$ = 60 атм ($CO_2$ и/или $H_2S$, $N_2$)
- ω = 5% NaCl (общая минерализация 50000 мг/л)
- Перемешивание
- τ = 100 ч
- $V_{р\text{-}ра}$ = 2 л
- $V_{газ}$ = 13 л

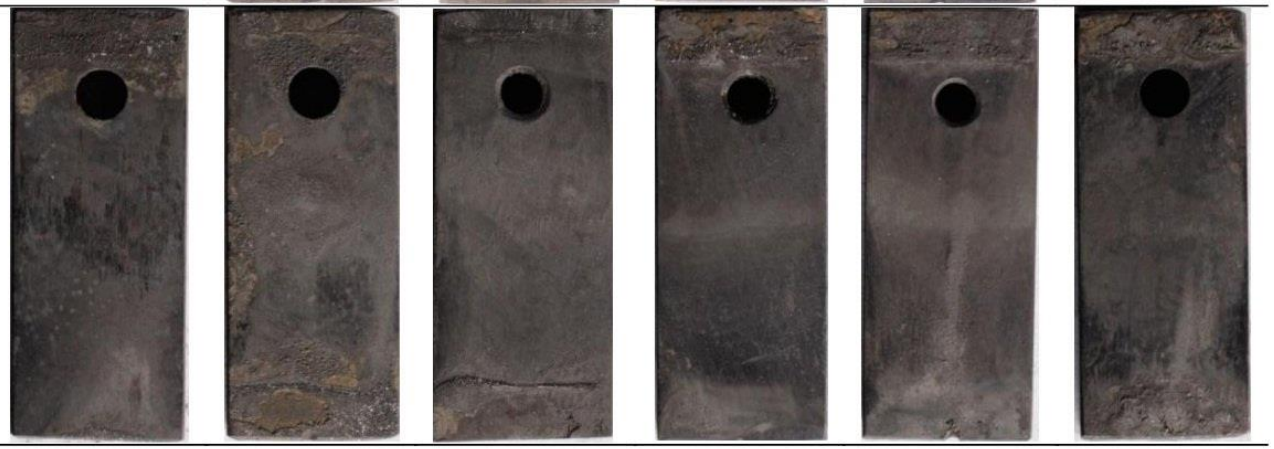


# Условия проведения испытаний




$p_{парц.}$ $H_2S$; $p_{парц.}$ $CO_2$

# Результаты испытаний.
# Внешний вид образцов после испытаний

| $p_{парц.}$ $H_2S$, атм | $p_{парц.}$ $CO_2$, атм | 32Г2У | К52 исп. 2 | 22ГЮ | 05ХГБ | 30ХМА | 20Х1Г |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.01 | 0.02 |  | | | | | |
| 0.44 | 0 |  | | | | | |

# Результаты испытаний. Рентгенофазовый анализ отложений

Повышение парциального давления $H_2S$

| № исп. | Обозначение | Механизм | Фаза | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 32Г2У | К52 исп.2 | 22ГЮ | 05ХГБ | 30ХМА | 20Х1Г |
| 1 | 0/0.70 | $CO_2$ | $Fe_3C$ | - | $Fe_3C$ | - | $Fe_3C$ | $Fe_3C$ |
| 10 | 0.0001/0.01 | $CO_2$ | $Fe_3C$ | - | - | - | - | - |
| 2 | 0.0001/0.50 | $CO_2$ | $Fe_3C$ | $FeCO_3$ | $Fe_3C$ | - | - | $Fe_3C$ |
| 9 | 0.01/0.02 | смеш. | FeS $FeCO_3$ $Fe_3C$ | FeS $FeCO_3$ | FeS, $FeCO_3$ $Fe_3C$ | FeS | FeS | FeS $FeCO_3$ |
| 8 | 0.01/0.71 | смеш. | $Fe_3C$ | - | - | - | - | - |
| 7 | 0.06/0.91 | смеш. | FeS $Fe_3C$ | FeS | FeS | FeS | FeS | FeS |
| 4 | 0.25/0.03 | $H_2S$ | FeS | FeS | FeS | FeS | FeS | FeS |
| 6 | 0.38/0.61 | смеш. | FeS | FeS | FeS | FeS | FeS | FeS |
| 3 | 0.44/0 | $H_2S$ | FeS | FeS FeS | FeS FeS | FeS | FeS | FeS |
| 5 | 2.31/2.70 | $H_2S$ | FeS FeS | FeS FeS | FeS FeS | FeS FeS | FeS FeS | FeS FeS |

$Fe_3C$ – цементит

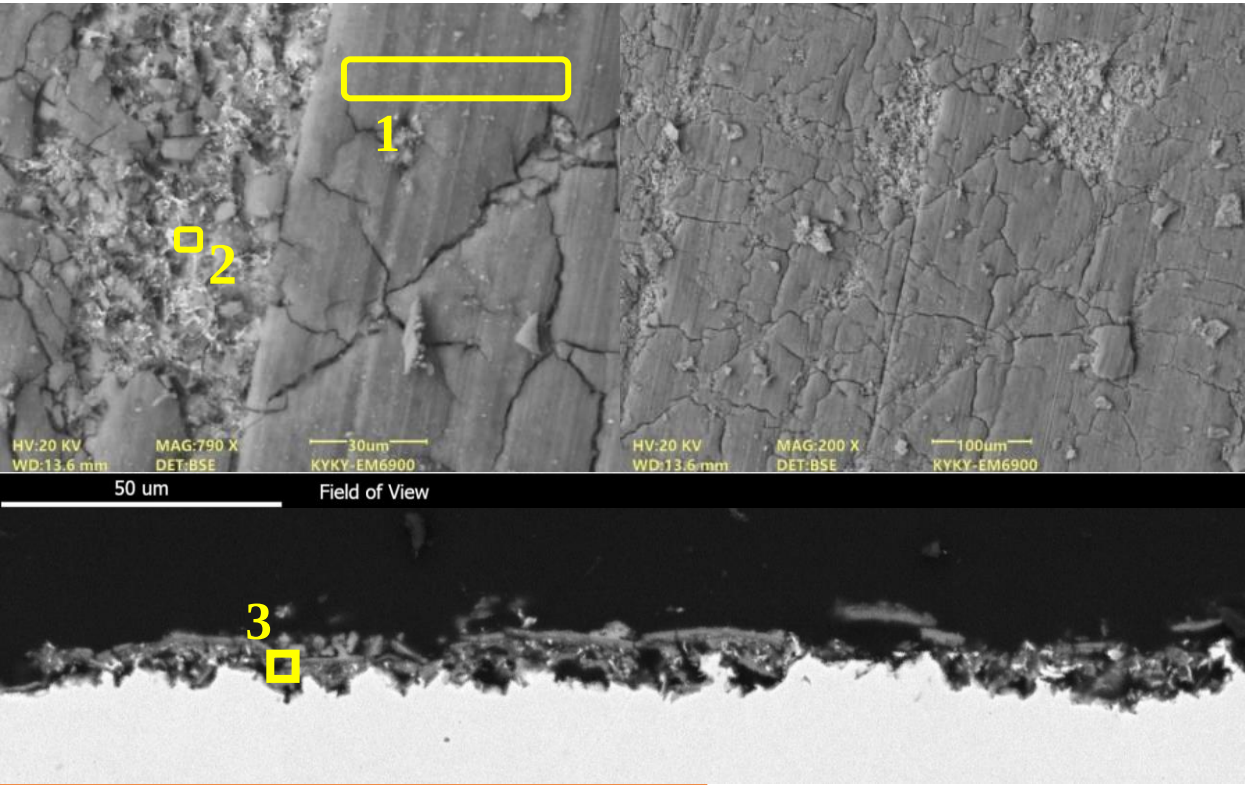
$FeCO_3$ – сидерит

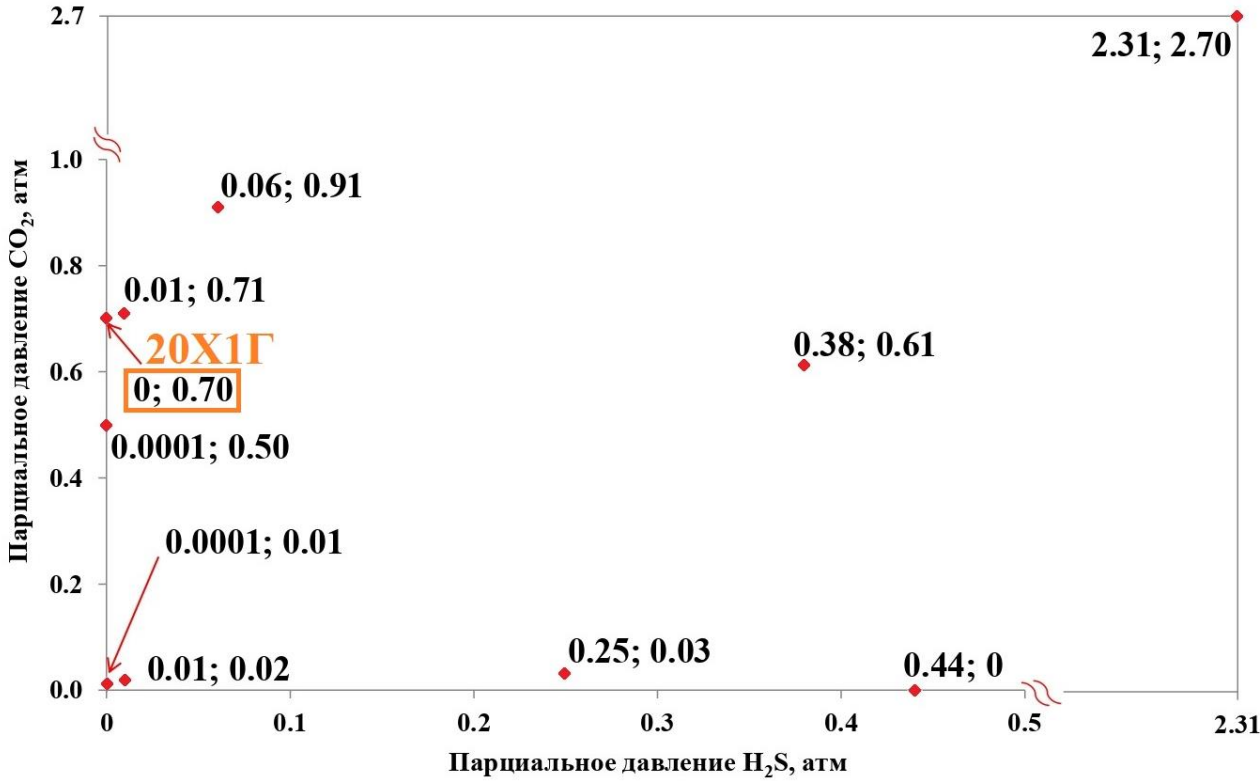
FeS – макинавит

FeS – сульфид железа

$p_{парц.}\ H_2S\ /\ p_{парц.}\ CO_2$

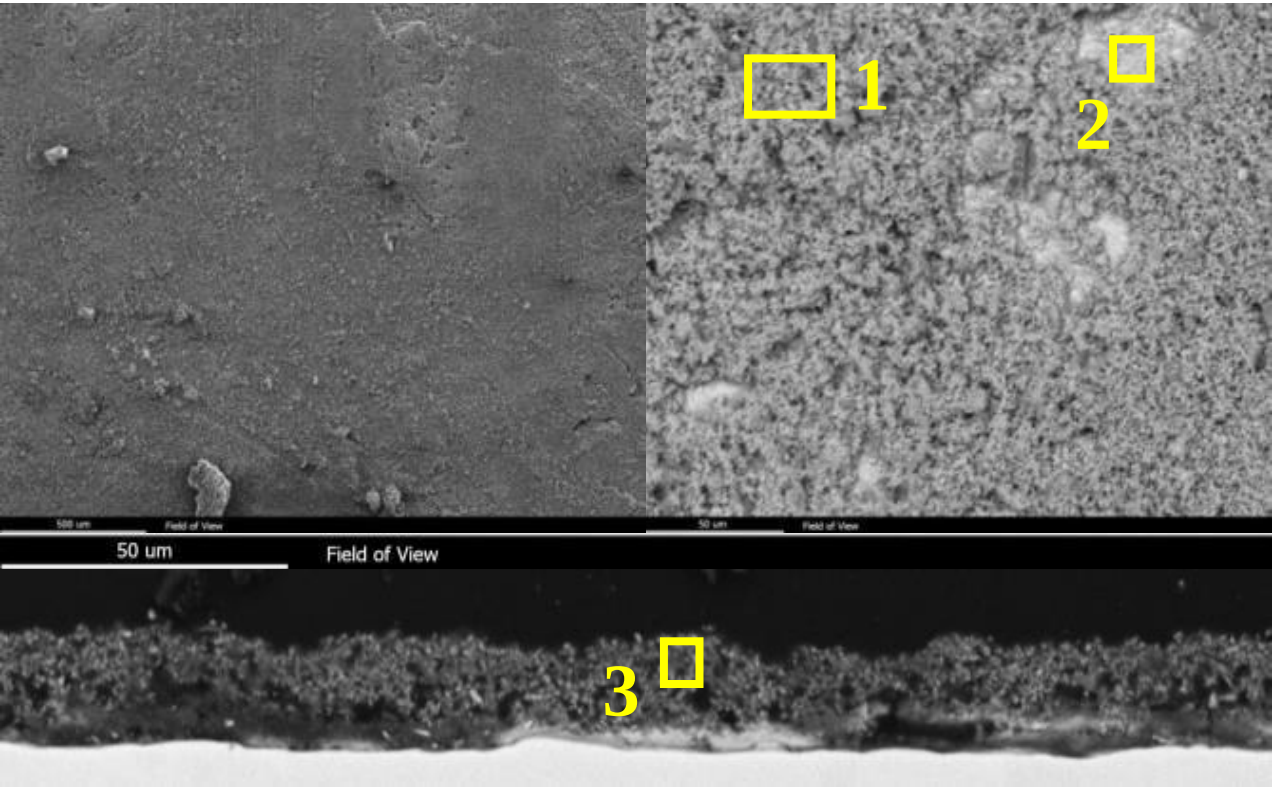
# Результаты испытаний. Химический анализ продуктов коррозии

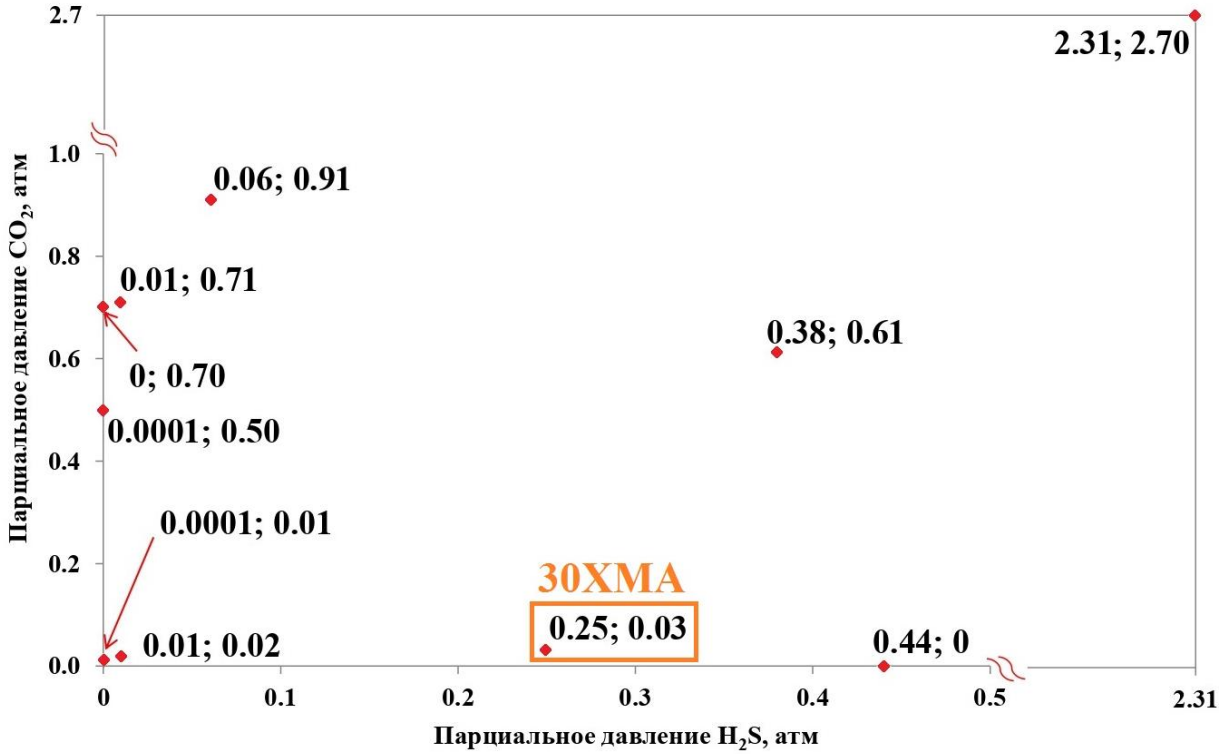



| № | Содержание, % масс. | | | |
|---|---|---|---|---|
| | O | Cr | Mn | Fe |
| 1 | 32 | 9 | 1 | 47 |
| 2 | 6 | 4 | 1 | 77 |
| 3 | 17 | 4 | 1 | 42 |

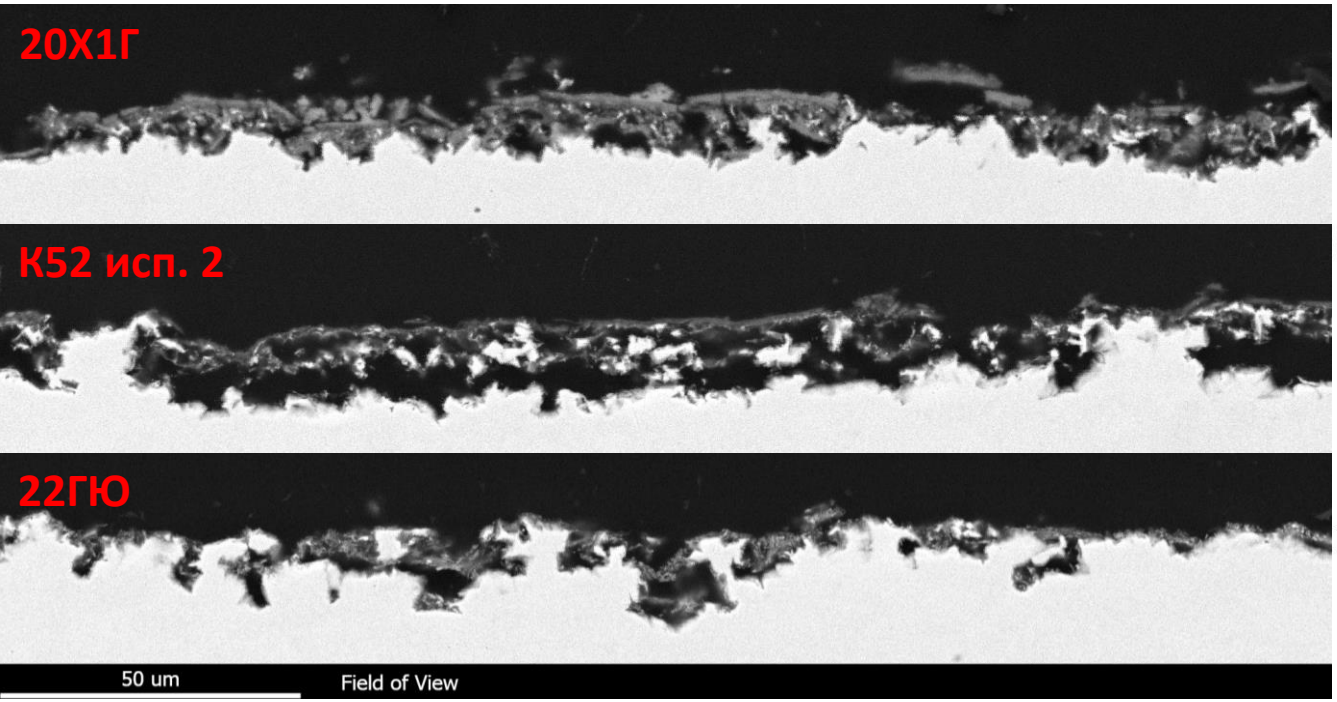
# Результаты испытаний. Химический анализ продуктов коррозии

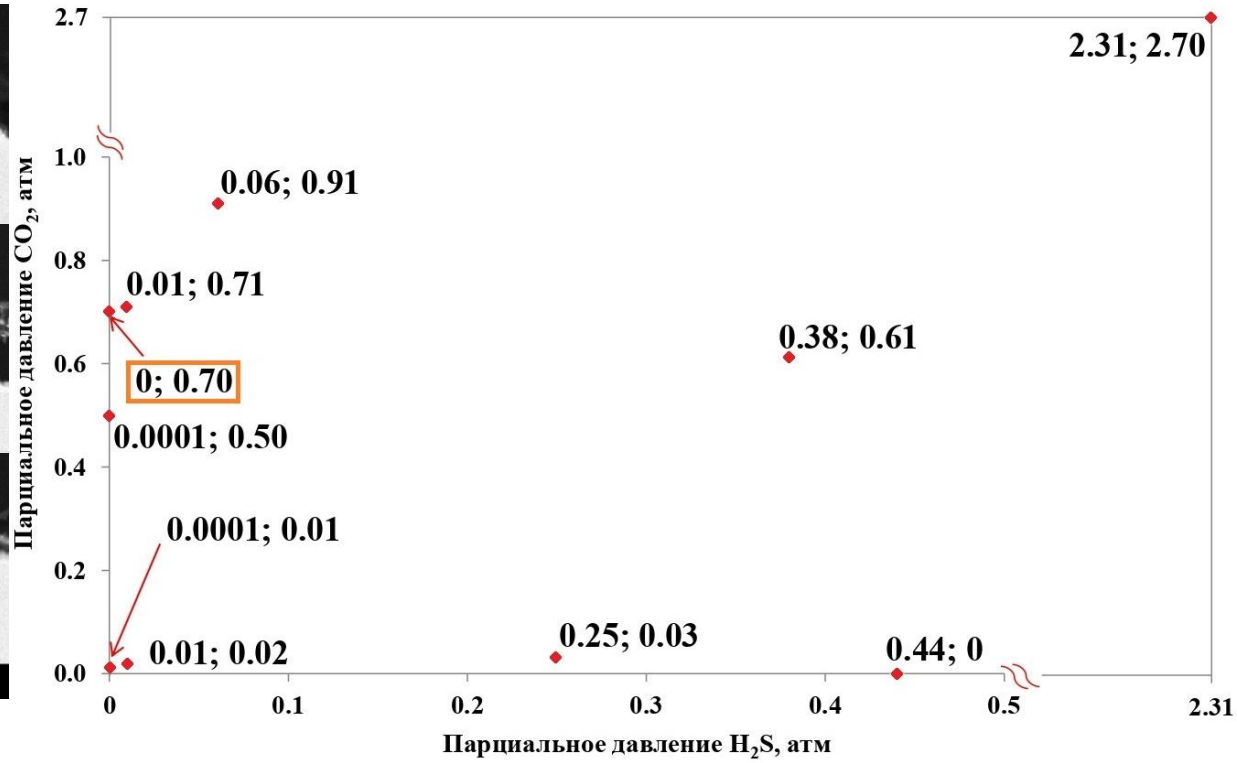


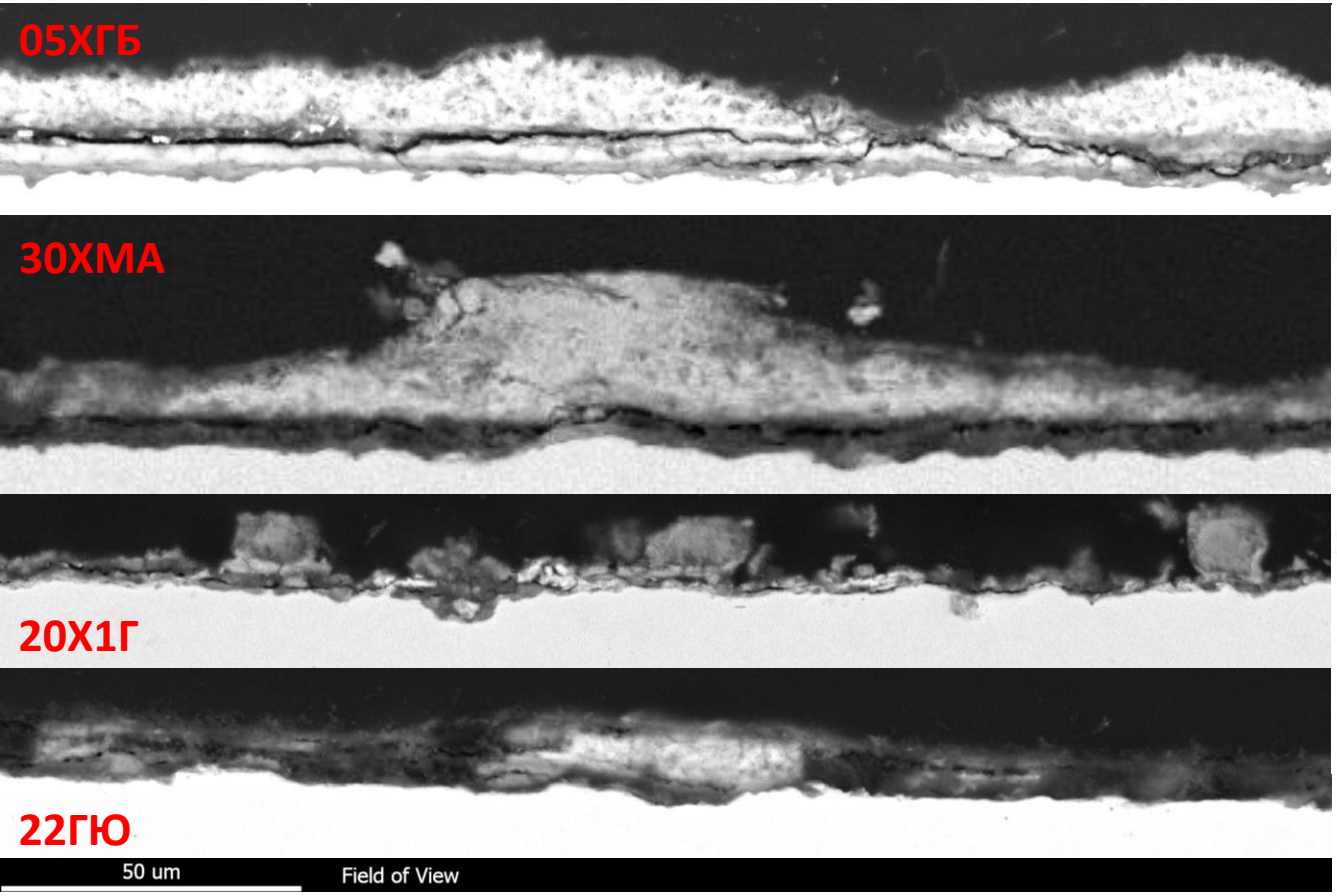

| № | Содержание, % масс. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | C | S | Cr | Mn | Fe |
| **1** | 2 | 27 | 2 | 1 | 68 |
| **2** | 2 | 8 | 2 | 1 | 88 |
| **3** | 41 | 17 | 1 | 0.2 | 37 |

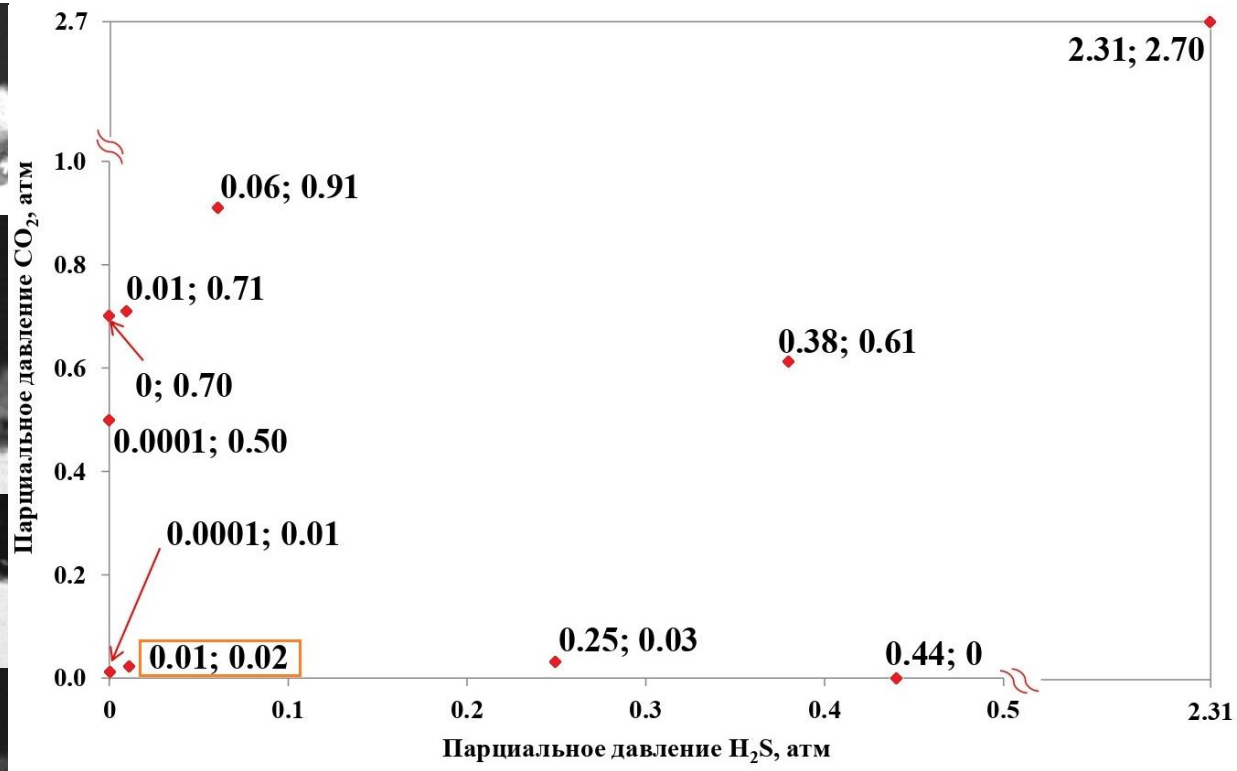
# Результаты испытаний. Общая и локальная коррозия



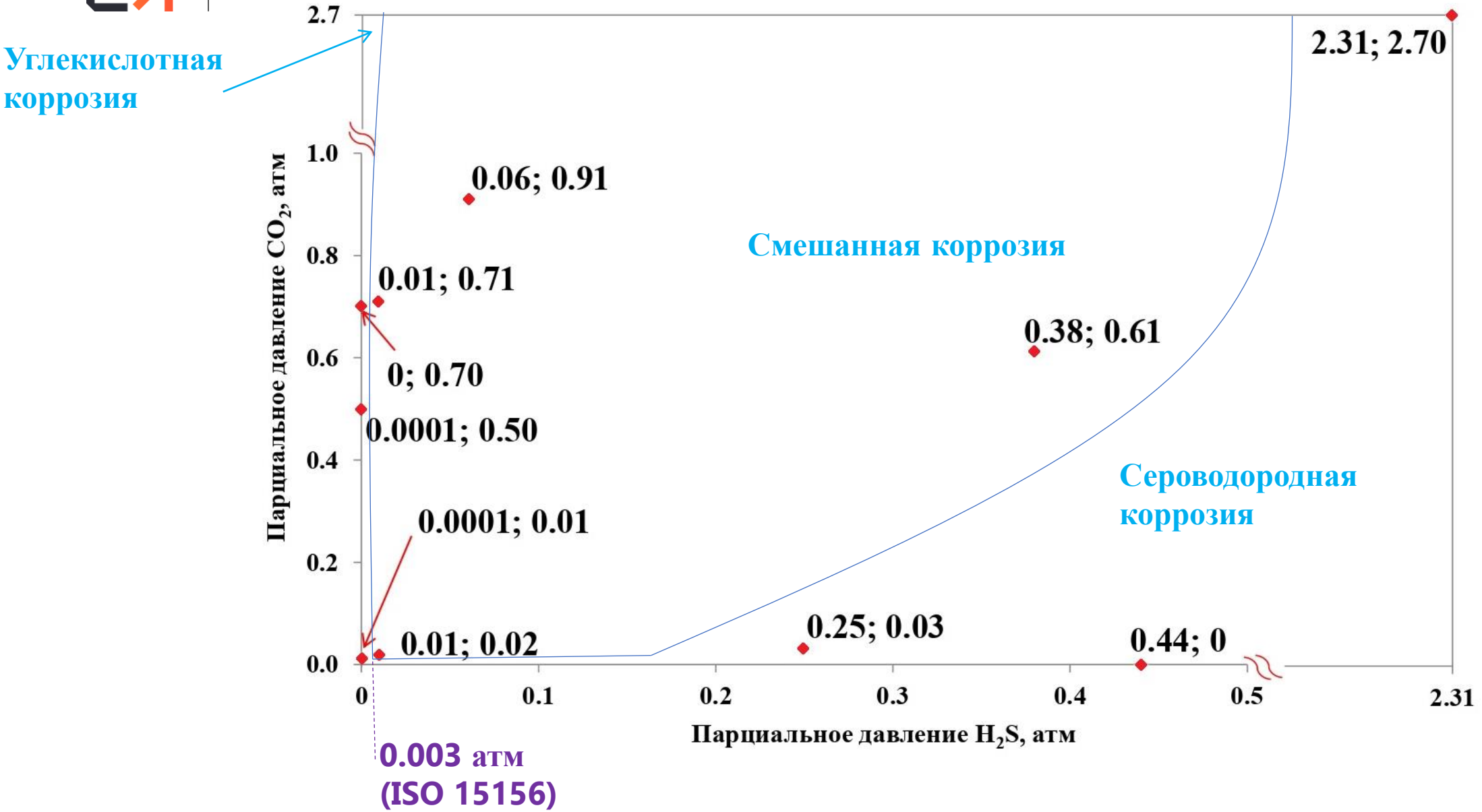



# Результаты испытаний. Общая и локальная коррозия



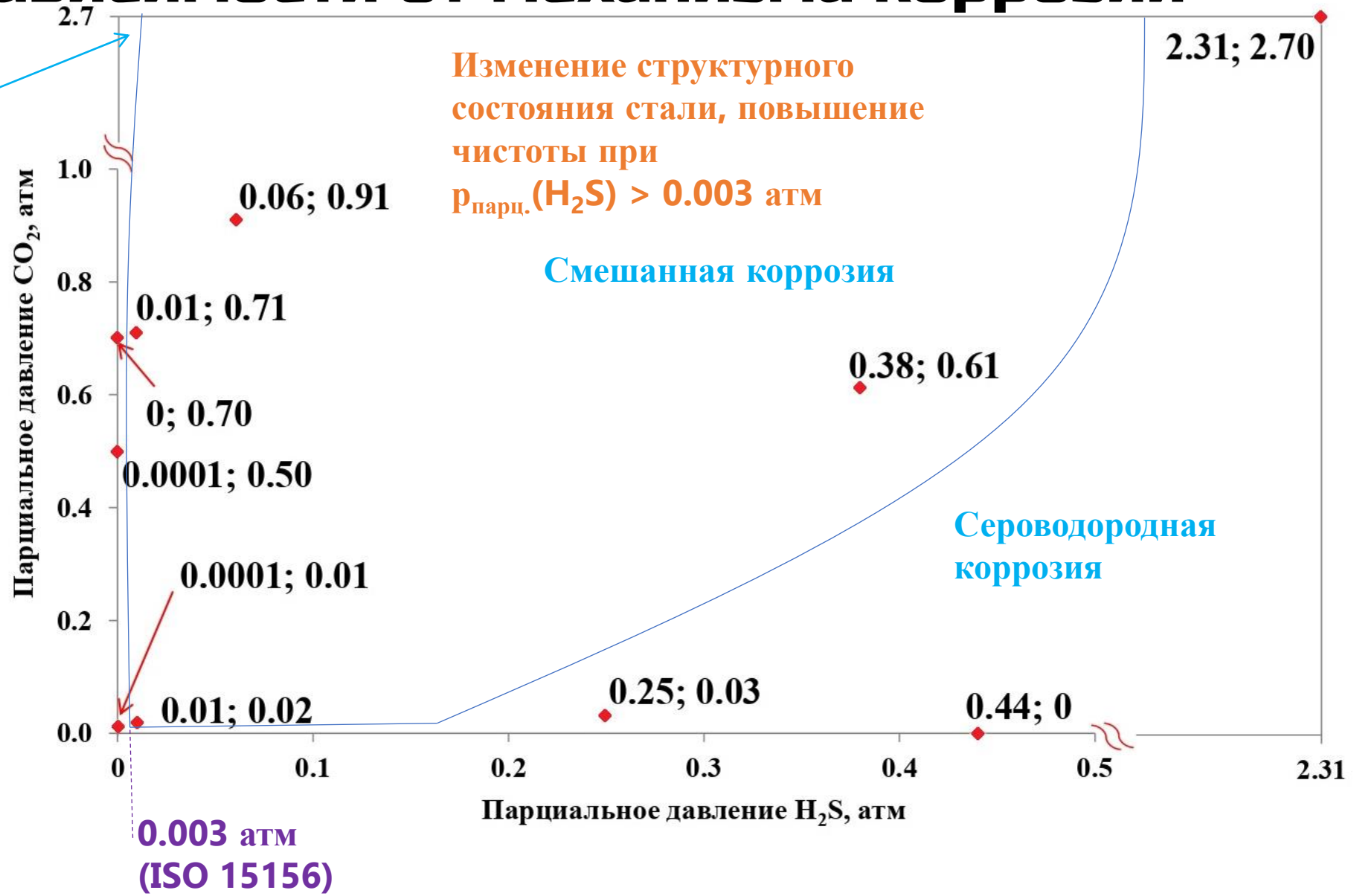
# Механизм коррозии в зависимости от $p_{парц.}$



# Выбор метода защиты оборудования в зависимости от механизма коррозии

**Углекислотная коррозия**

**Модификация химического состава, нанесение покрытий при $p_{парц.}(H_2S)$ < 0.003 атм**

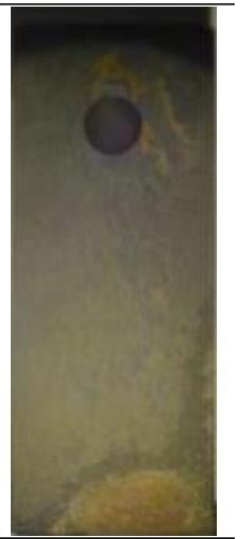


# Выводы

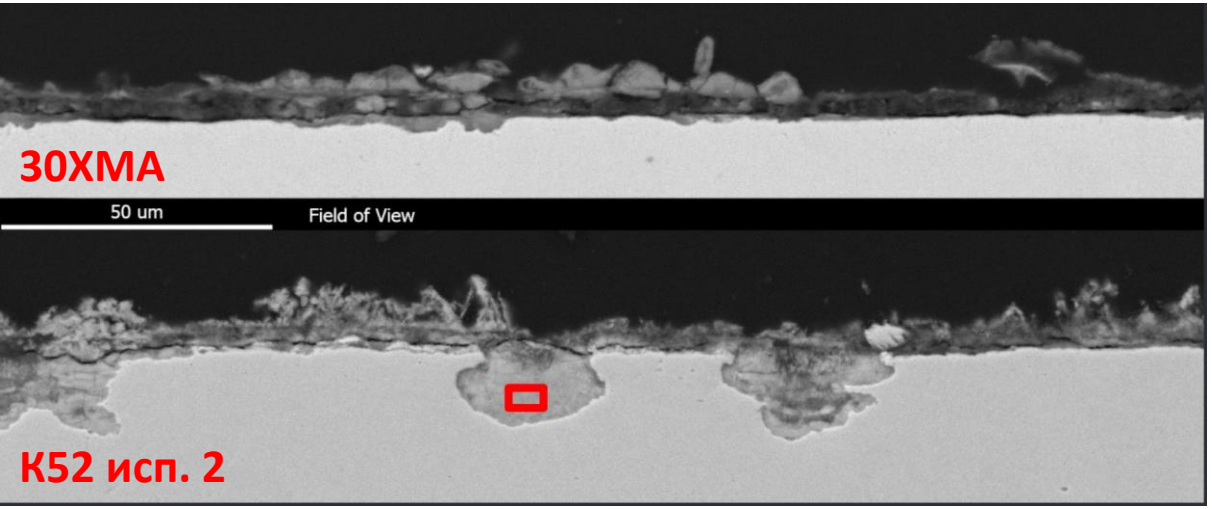
1. В ходе работы были проведены коррозионные испытания сталей 32Г2У, К52 исп. 2, 22ГЮ, 05ХГБ, 30ХМА, 20Х1Г в растворе 5% NaCl при 50°С, общем давлении 60 атм и различных парциальных давлениях $CO_2$ и $H_2S$.
2. На основании анализа внешнего вида образцов после испытаний, рентгенофазового и металлографического анализов были выявлены признаки, характерные для углекислотной, смешанной и сероводородной типов коррозии.
3. На основании найденных признаков выявили ведущий механизм коррозии в каждом из испытаний в зависимости от парциальных давлений $CO_2$ и $H_2S$.
4. Предложен принцип выбора методов защиты оборудования с опорой на знание ведущего механизма коррозии.

**Пирожков Павел Александрович**
+ 7 902 237 78 60
pirozhkov@its-samara.com

# Результаты испытаний. Внешний вид

| $p_{парц.}$ $H_2S$, атм | $p_{парц.}$ $CO_2$, атм | 32Г2У | К52 исп. 2 | 22ГЮ | 05ХГБ | 30ХМА | 20Х1Г |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.0001 | 0.01 |  |  |  |  |  |  |

# Результаты испытаний. Общая и локальная коррозия

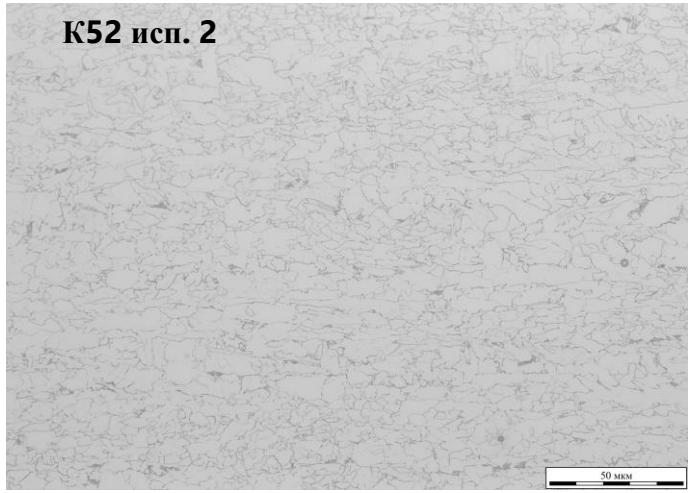



$p_{парц.}$ $(H_2S)$ = 0.44 атм
$p_{парц.}$ $(CO_2)$ = 0

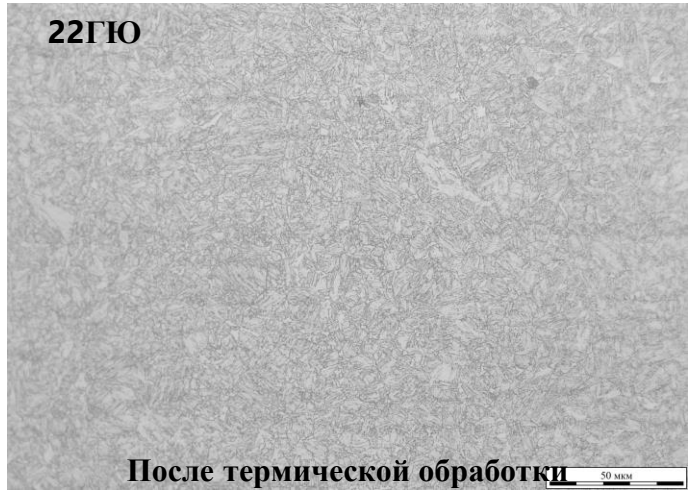
$p_{парц.}$ $(H_2S)$ = 2.31 атм
$p_{парц.}$ $(CO_2)$ = 2.70 атм

| Элемент | C | O | S | Cr | Fe |
|---|---|---|---|---|---|
| Содержание, % масс. | 14 | 7 | 27 | 5 | 46 |

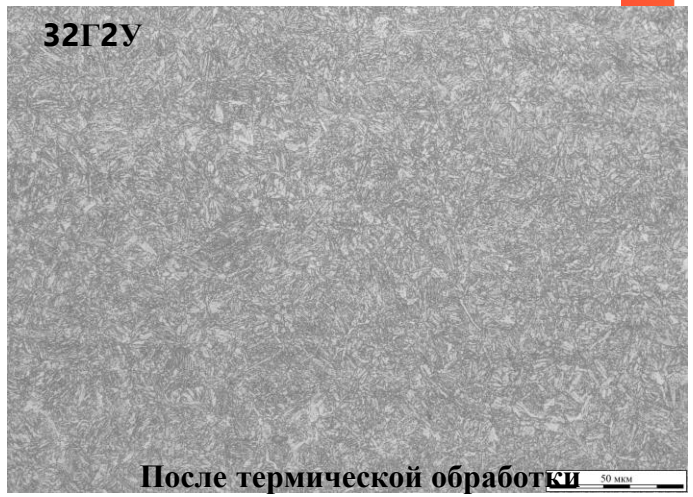
# Микроструктура исследуемых сталей



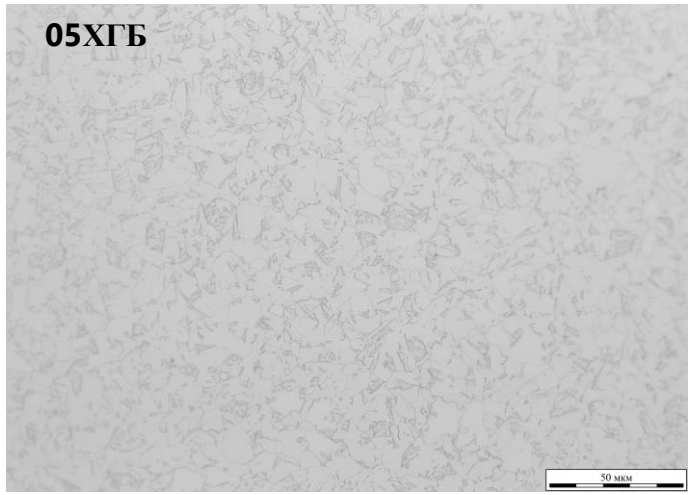

После контролируемой прокатки; мелкозернистая феррито-перлитная



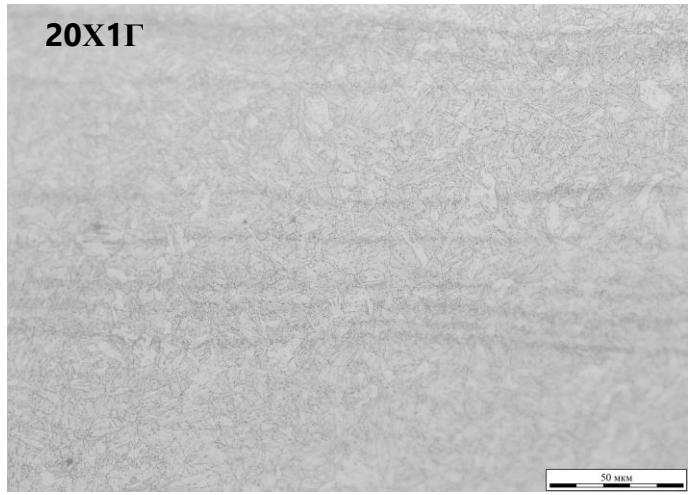

После термической обработки «закалка+отпуск», мелкозернистая; феррито-карбидная



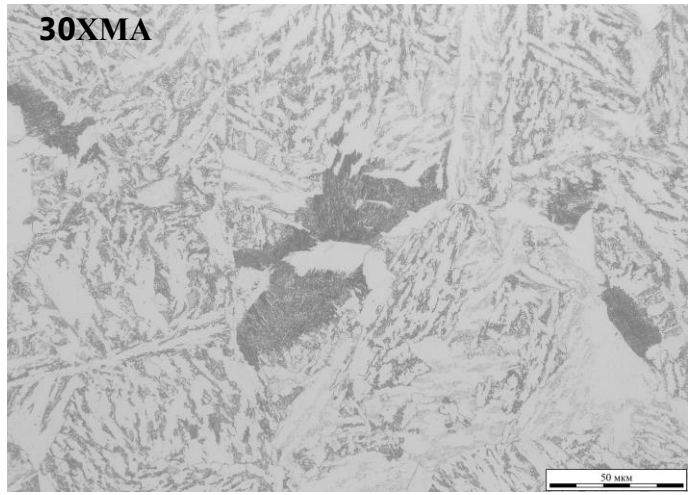

После термической обработки «закалка+отпуск», мелкозернистая; феррито-карбидная




После термической обработки «закалка+отпуск», мелкозернистая; смесь зерен феррита и отпущенного бейнита




Структура после термической обработки: закалка+отпуск, мелкозернистая феррито-




Горяче-деформированное состояние. Смесь зерен бейнита, пластинчатого перлита и избыточного феррита