ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

Особенности возникновения интенсивного коррозионного износа на элементах подземного оборудования в условия Оренбургского НГКМ

Докладчик: Чистопольцева Елена Александровна

Проблематика

•Одной из основных задач при освоении и эксплуатации скважины является четкое выполнение технологического регламента проведения работ, сохранение работоспособности и целостности дорогостоящего оборудования, безопасное выполнение работ.

•Погружное скважинное оборудование работает в жестких условиях, подвергаясь различным знакопеременным нагрузками и многофакторному коррозионному воздействию добываемой среды. Кроме того, при эксплуатации возможно применение дополнительных химических реагентов, которые вносят свой вклад в процесс развития повреждений и выхода из строя оборудования в случае отклонения от порядка проведения операций. Возможно присутствие синергетического эффекта от нескольких агрессивных факторов.

•Проблема данного инцидента связана с тем, что интенсивный коррозионный износ на элементах подземного оборудования на одной из скважин произошел после 9 месяцев с освоения скважины. После монтажа и спуска подземного оборудования, в процессе освоения скважины образовалась глухая пробка в стволе скважины, которая препятствовала извлечению газа из пласта, на уровне 1600 м. Глухую пробку извлечь не удалось. Для повышения отдачи пласта проводилась кислотная обработка (СКО) пласта ингибированной кислотой.

Объекты исследования

Цель: Исследование причин возникновения интенсивного коррозионного износа на элементах подземного оборудования после выполнения работ на скважине.

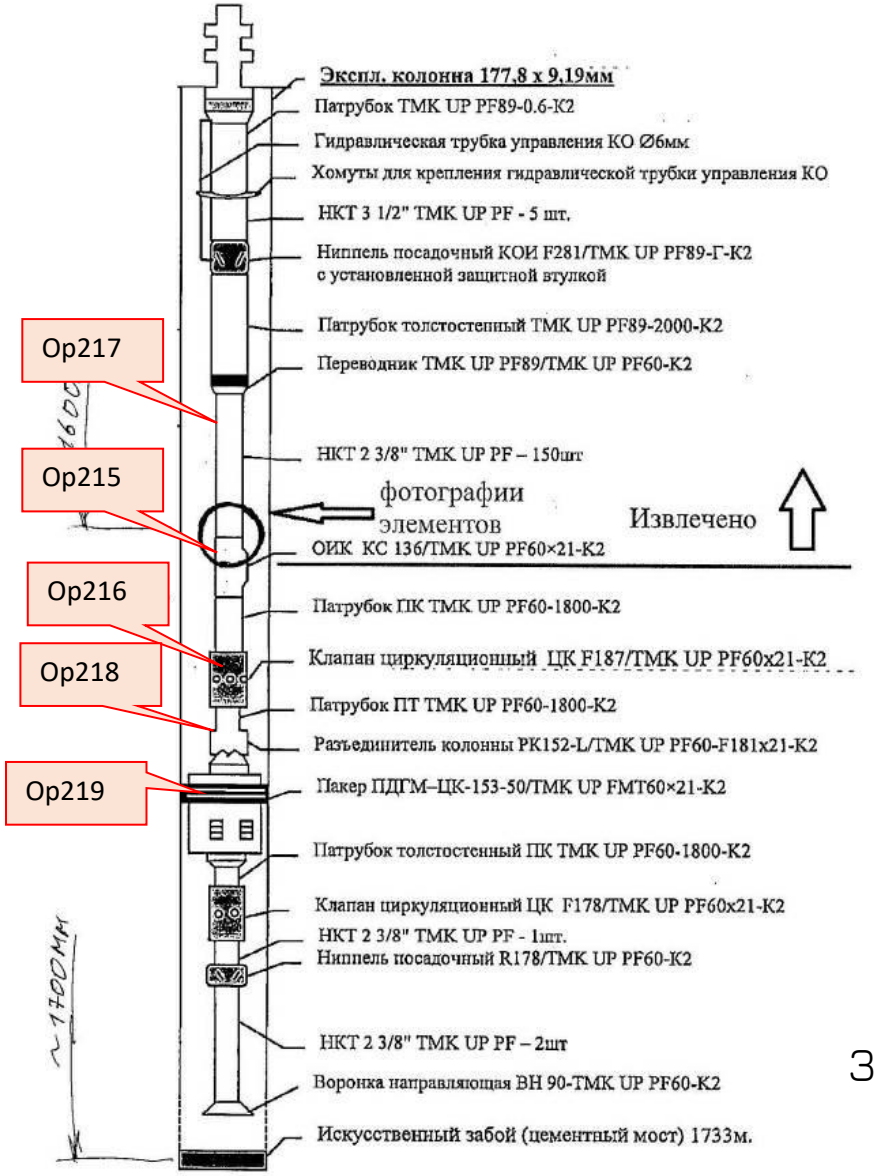
Условия эксплуатации:

-среда с содержанием сероводорода (P_{H2S} около 0,25 МПа), углекислый газ, продукту глушения на основе NaCl;
-температура эксплуатации 29°С;
-давление 12 МПа;
-солянокислотная обработка с последующей обработкой продуктов реакции;
Продолжительность эксплуатации 9 мес.

Объекты исследования:

-камера скважинная КС 136/ТМК UP PF 60х21-К2, сталь 08Х17Н5М3;
-клапан циркуляционный ЦК F187/ТМК UP PF 60х21-К2, сталь 08Х17Н5М3;
-НКТ 60 мм;
-разъединитель колонны РК 152-L/ТМК UP PF60-F181х21-К2, сталь 08Х17Н5М3;
-муфта пакерная ПДГМ-ЦК-153-50/ТМК UP PF60х21-К2, сталь 08Х17Н5М3.

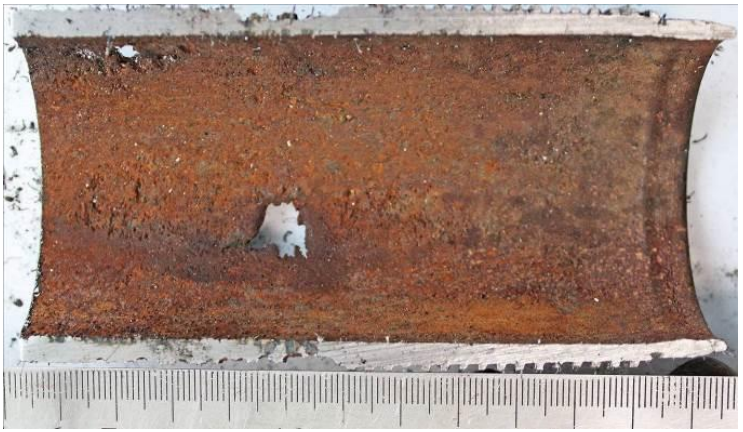
Схема компоновки подземного оборудования скважины



Вид переданного на исследование оборудования





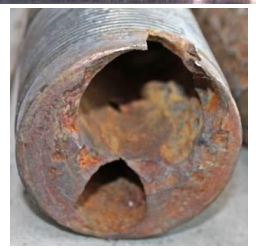


Вид НКТ 60 мм
С90S 25ХГМА











Вид камеры скважинной КС 136/ТМК UP PF 60х21-К2 08Х17Н5М3







Вид клапана циркуляционного ЦК F187/ТМК UP PF 60х21-К2 08Х17Н5М3

Вид переданного на исследование оборудования









Вид разъединителя колонны РК 152-L/TMK UP PF60-F181x21-K2
08Х17Н5М3





Вид муфты пакерной ПДГМ-ЦК-153-50/TMK UP PF60x21-K2
08Х17Н5М3

Химический состав и механические свойства материала

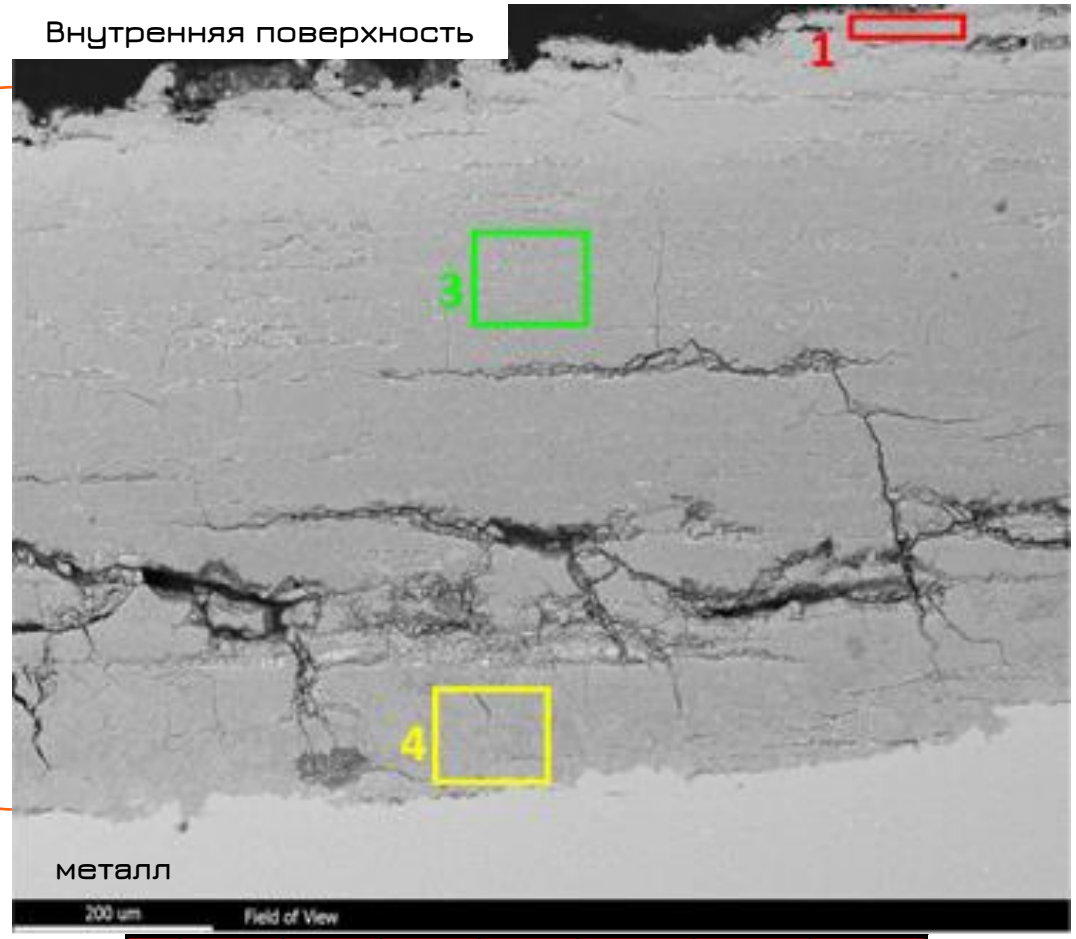
Химический состав

Маркировка / наименование оборудования	Содержание химических элементов %													
	Fe	C	Mn	Si	Cu	Cr	Al	Ni	Mo	Co	Ti	V	S	P
Камера скважинная КС 136/ТМК UP PF 60x21-K2	Осн.	0,09	0,36	0,29	0,20	16,5	0,060	5,24	3,03	0,05	0,01	0,033	0,017	0,018
Клапан циркуляционный ЦК F187/ТМК UP PF 60x21-K2	Осн.	0,09	0,38	0,30	0,22	16,7	0,069	5,29	3,06	0,05	0,01	0,034	0,017	0,022
Разъединитель колонны РК 152-L/ТМК UP PF60-F181x21-K2	Осн.	0,09	0,39	0,29	0,21	16,7	0,058	5,19	3,02	0,05	0,01	0,034	0,016	0,019
Муфта пакерная ПДГМ-ЦК-153-50/ТМК UP PF60x21-K2	Осн.	0,09	0,42	0,44	0,22	16,7	0,076	5,19	3,05	0,05	0,01	0,033	0,003	0,016
Требования ГОСТ 5632 к стали марки 08Х17Н5М3	Осн.	0,06-0,10	≤0,80	≤0,80	-	16,00-17,50	-	4,50-5,50	3,00-3,50	-			≤0,020	≤0,035
НКТ 60мм	Осн.	0,26	0,62	0,22	0,18	0,80	0,015	0,12	0,48	0,017	0,004	0,047	0,006	0,004
Требования ТУ 14-161-237-2018 к трубам группы прочности С90S	Осн.	≤0,35	≤1,20	≤0,40	≤0,30	0,40-1,20	-	≤0,25	0,25-0,85	-			≤0,007	≤0,010

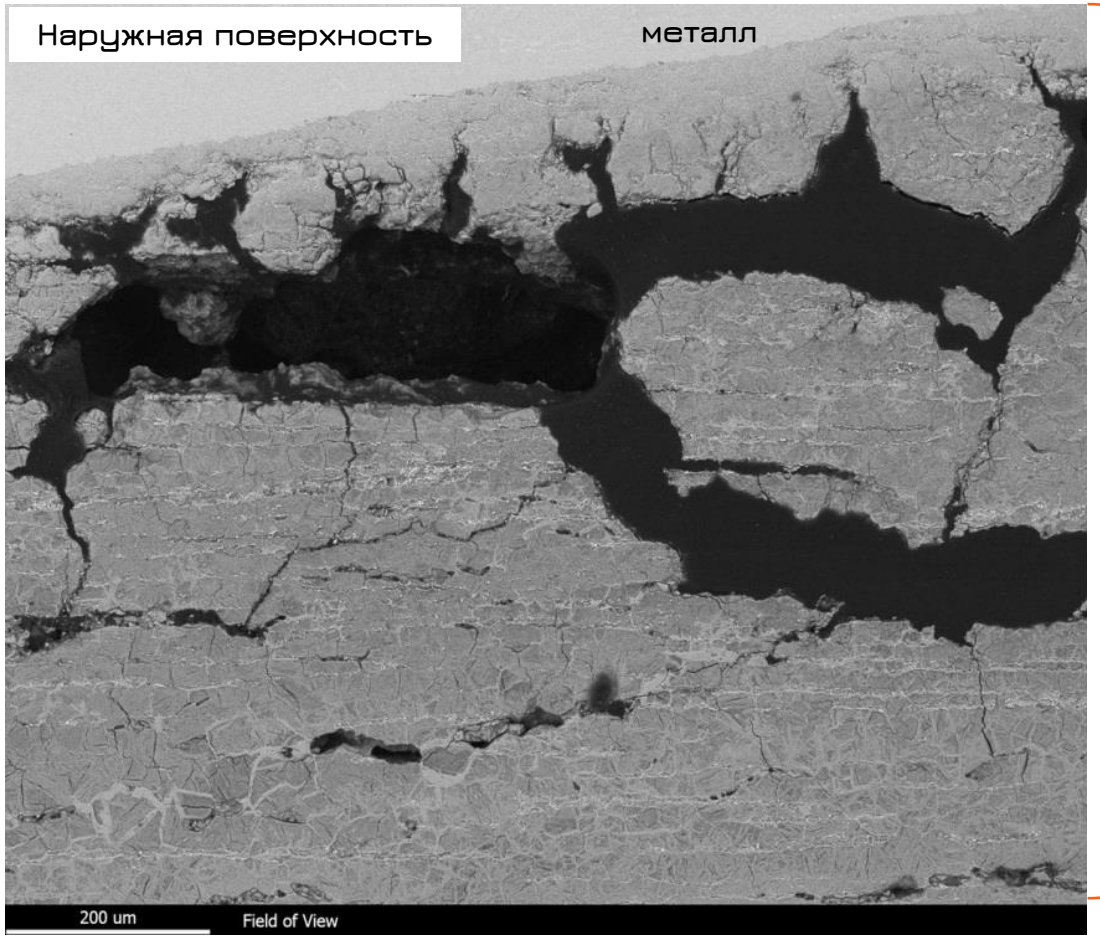
Механические свойства

Маркировка / наименование оборудования	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ_5, %	ψ, %	Твердость HRC	Данные паспортов
Камера скважинная КС 136/ТМК UP PF 60x21-K2	930	620	21,0	51	28,0 – 29,0	255 – 286 HB (25 – 30 HRC*)
	940	630	19,0	49		
Клапан циркуляционный ЦК F187/ТМК UP PF 60x21-K2	960	670	22,0	53	28,0 – 28,5	
	960	670	24,0	52		
Разъединитель колонны РК 152-L/ТМК UP PF60-F181x21-K2	960	680	19,5	50	28,5 – 29,5	
	950	660	21,0	51		
Муфта пакерная ПДГМ-ЦК-153-50/ТМК UP PF60x21-K2	950	690	21,0	52	29,0 – 30,0	26 – 31 HRC
	960	690	20,0	52		
НКТ 60мм					25,0 – 26,5	24 HRC макс
* перевод согласно таблице ASTM A370						

Типичный вид микроструктуры и химического состава отложений на элементах камеры скважинной (КС), сталь 08Х17Н5М3



Продукты коррозии

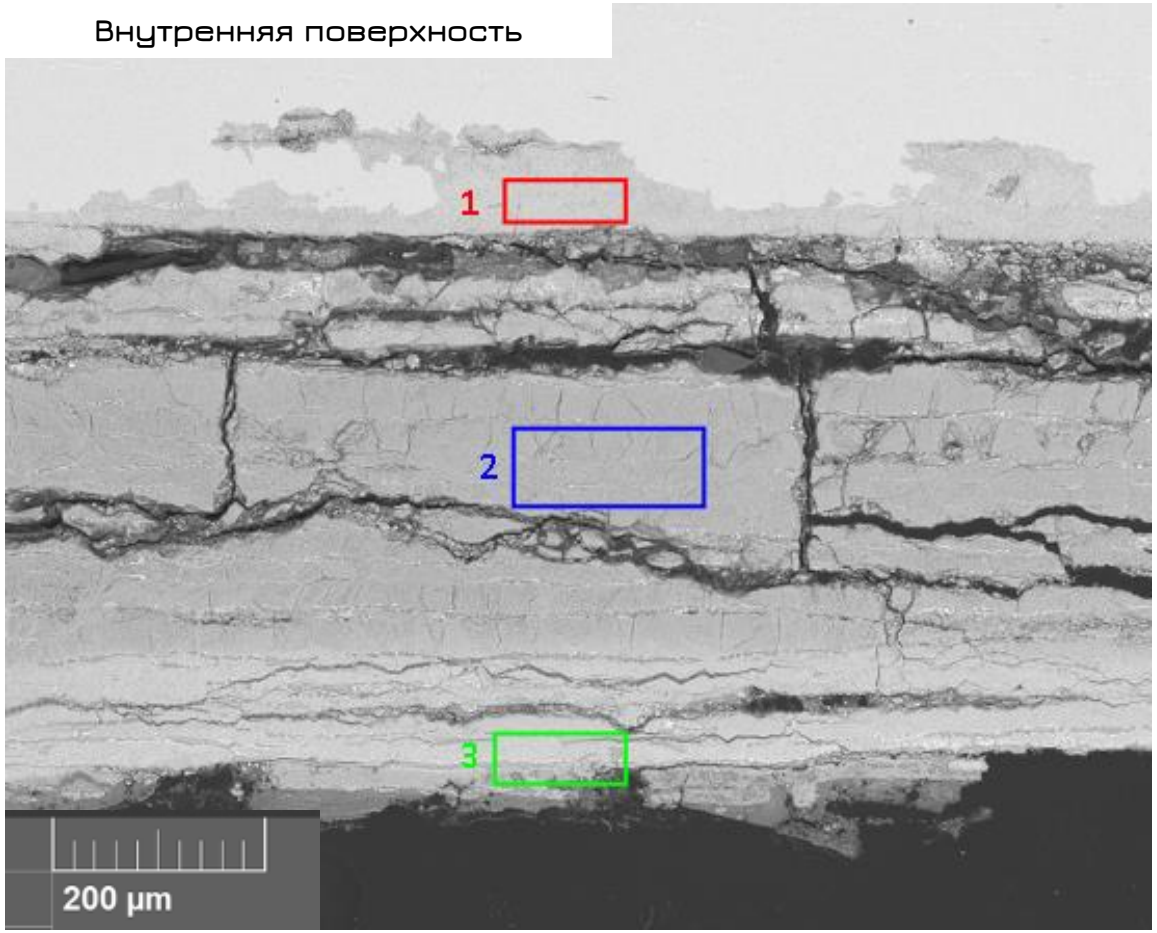


Продукты коррозии

	Fe	C	O	Si	S	Cr	Ni
1	Осн.	-	-	-	35,34	4,13	19,82
3	Осн.	5,85	6,82	-	31,39	7,54	16,94
4	Осн.	4,22	7,90	0,58	10,17	18,45	10,32

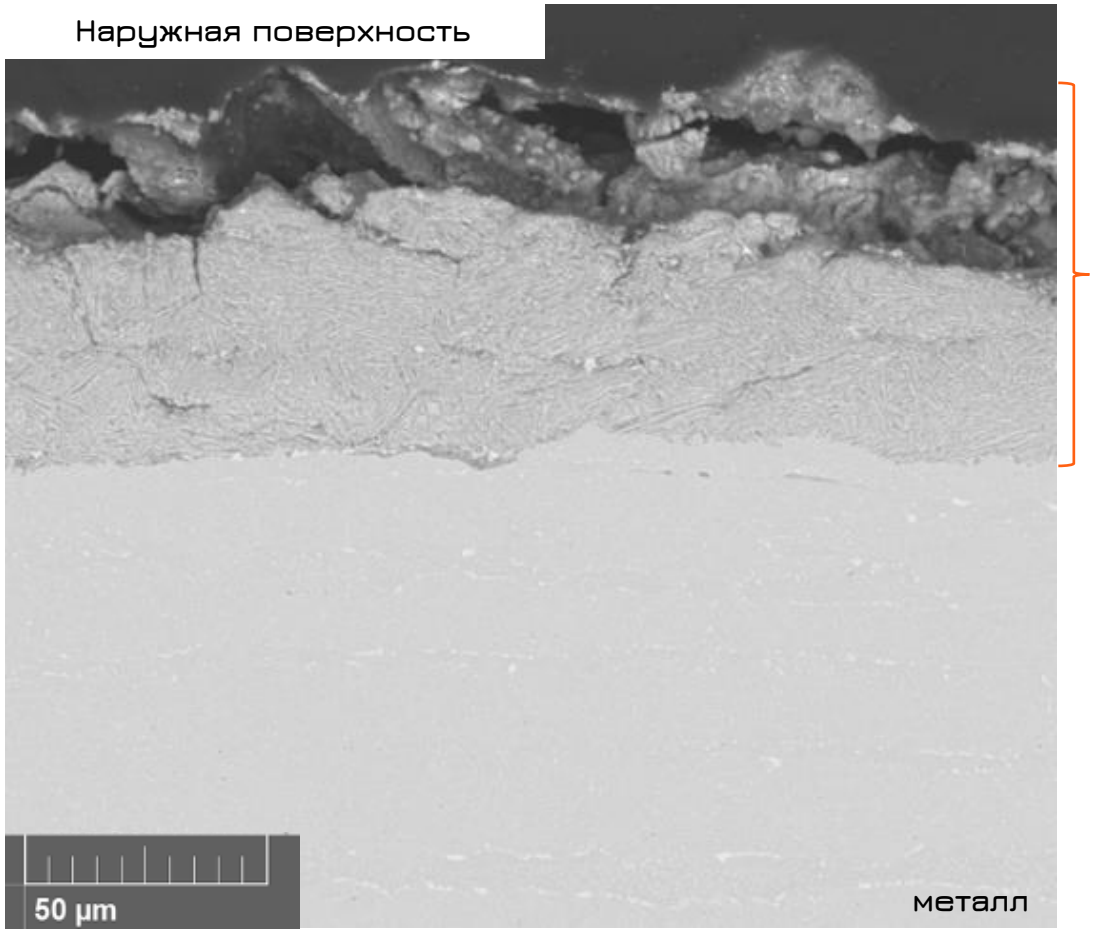
Типичный вид микроструктуры и химического состава отложений на элементах циркуляционного клапана (ЦК), сталь 08Х17Н5М3

Внутренняя поверхность



Продукты коррозии

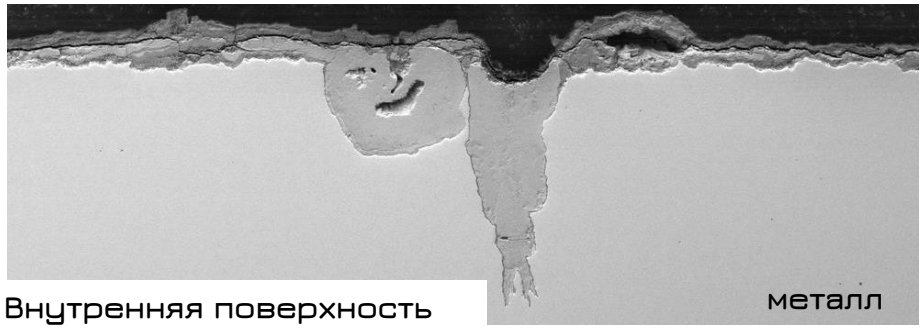
Наружная поверхность

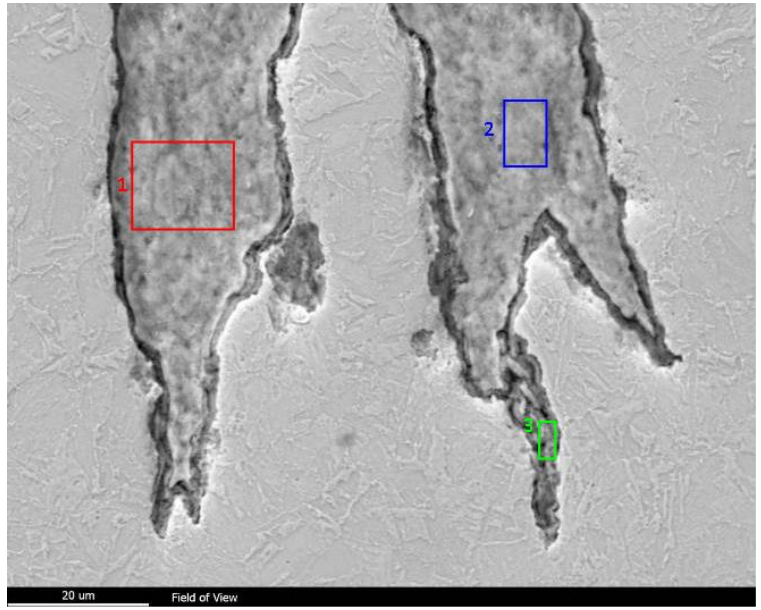


Продукты коррозии

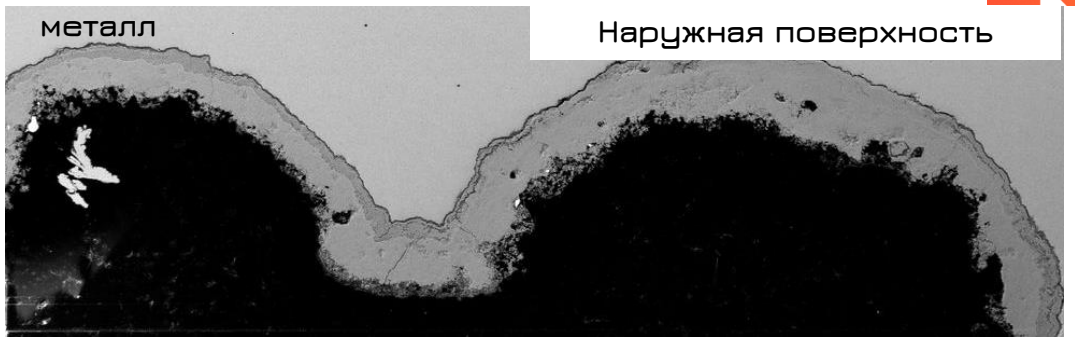
	Fe	C	O	Si	S	Cr	Ni	Mo	Cl	Mn
1	Осн.	9,01	8,82	0,43	3,61	16,39	8,41	3,69	0,25	0,45
2	Осн.	14,32	15,31	0,29	20,77	10,28	12,33	6,13	-	0,10
3	Осн.	13,16	5,15	-	16,88	7,70	14,93	5,12	0,54	0,28

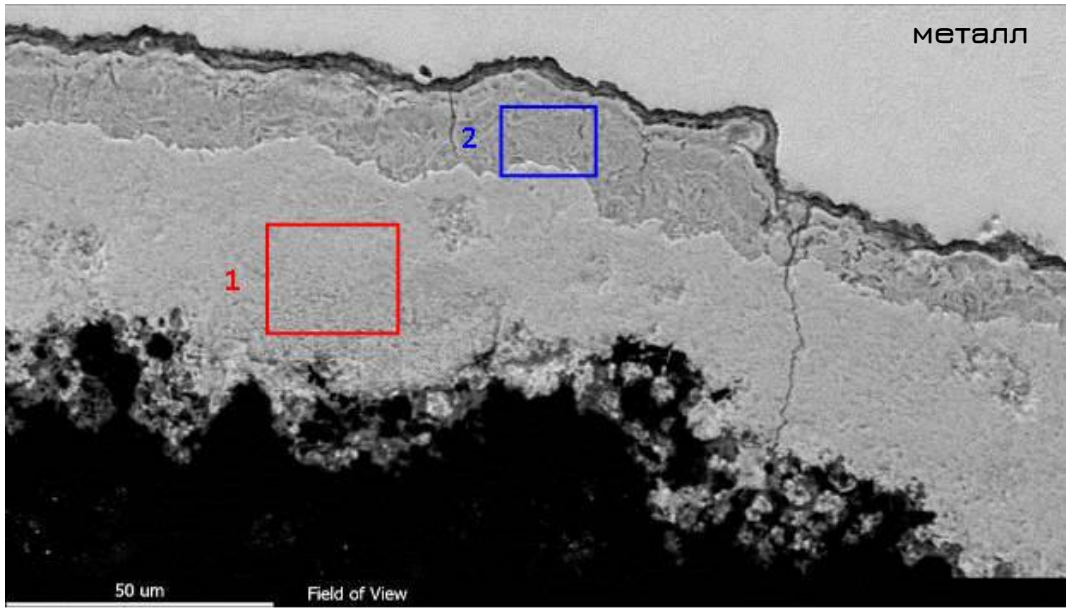
Типичный вид микроструктуры и химического состава отложений на элементах НКТ, сталь 25ХГМА





	Fe	C	O	S	Cr	Mn
1	Осн.	5,42	4,16	27,27	1,71	0,46
2	Осн.	4,88	-	31,43	1,84	-
3	Осн.	5,22	4,10	26,98	1,67	0,45





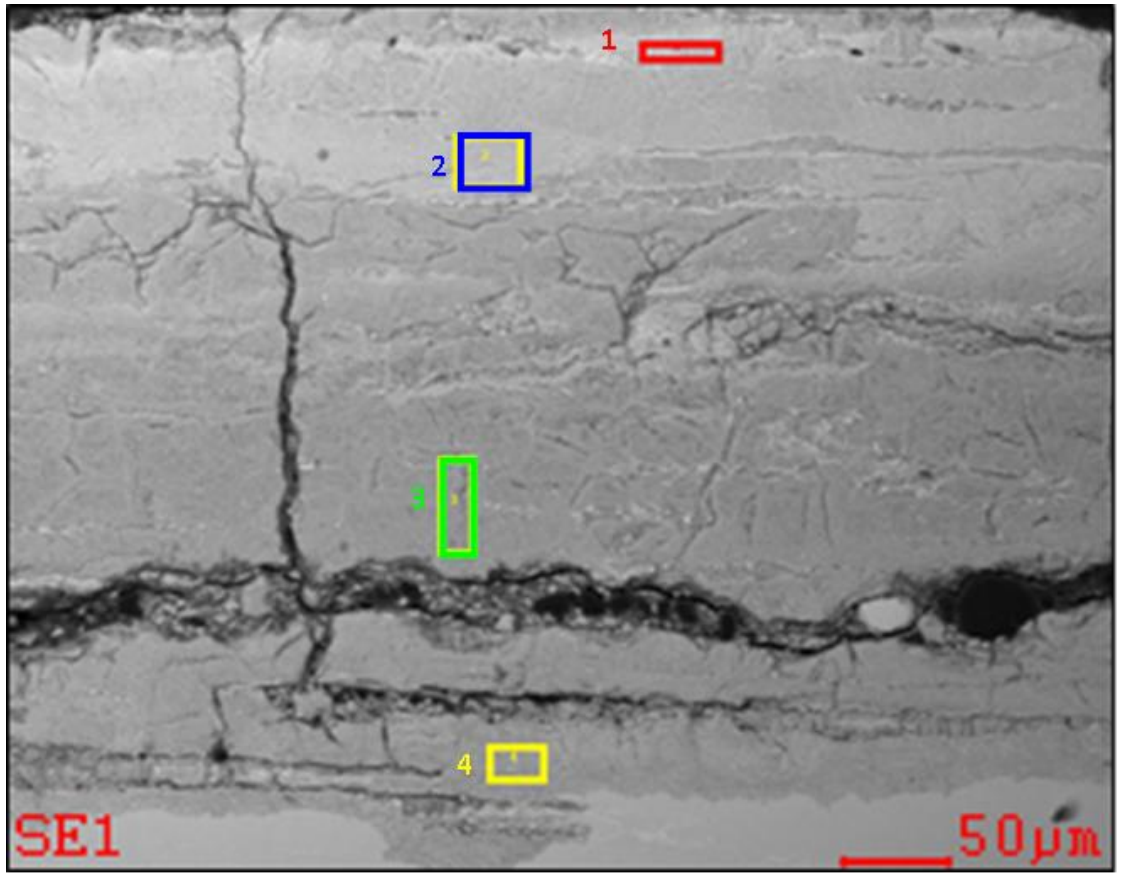
Продукты коррозии

	Fe	C	O	S	Cr	Mn
1	Осн.	-	-	35,21	1,50	-
2	Осн.	3,50	4,93	29,78	2,24	0,45

Типичный вид микроструктуры и химического состава отложений на элементах оборудования, сталь 08Х17Н5М3

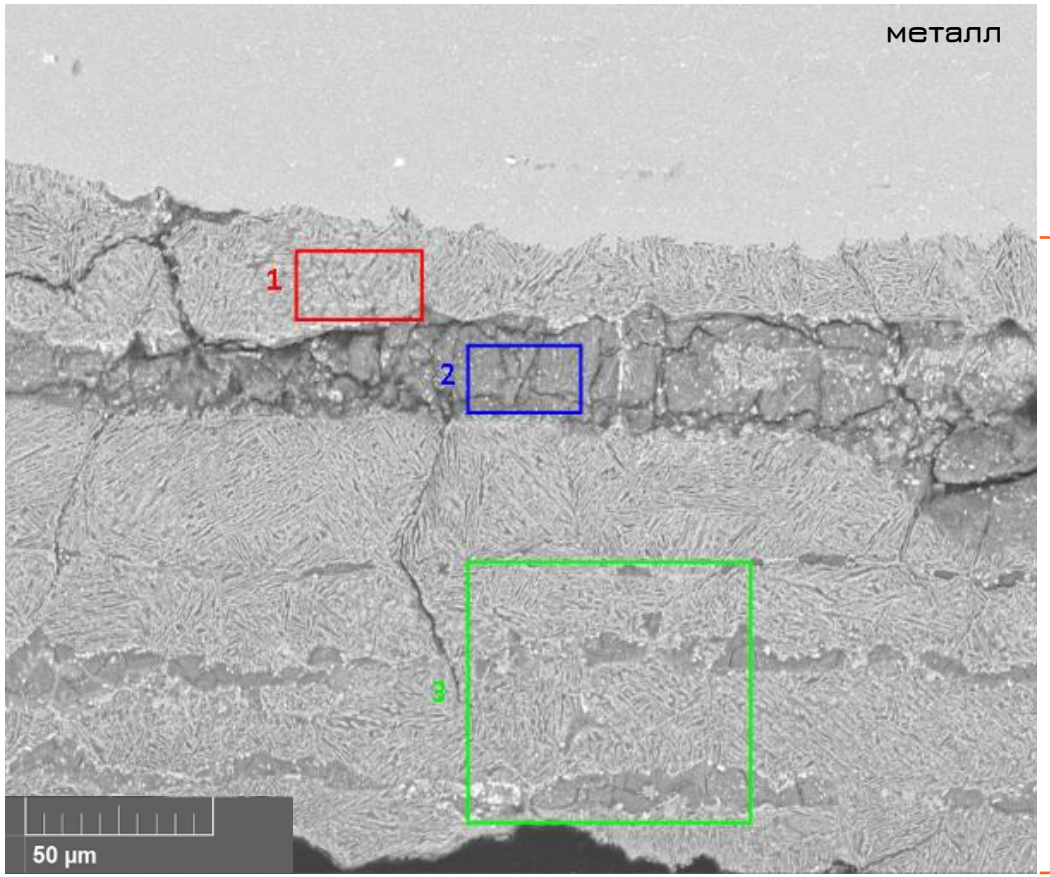
Разъединитель колонны (внутренняя поверхность)

Продукты коррозии



	Fe	C	O	Si	S	Cl	Cr	Ni
1	Осн.	10,70	-	-	30,09	-	2,43	45,79
2	Осн.	8,33	-	-	18,92	-	9,24	13,02
3	Осн.	10,55	8,61	-	26,61	-	11,65	14,79
4	Осн.	6,48	6,94	0,45	9,69	0,33	18,65	8,38

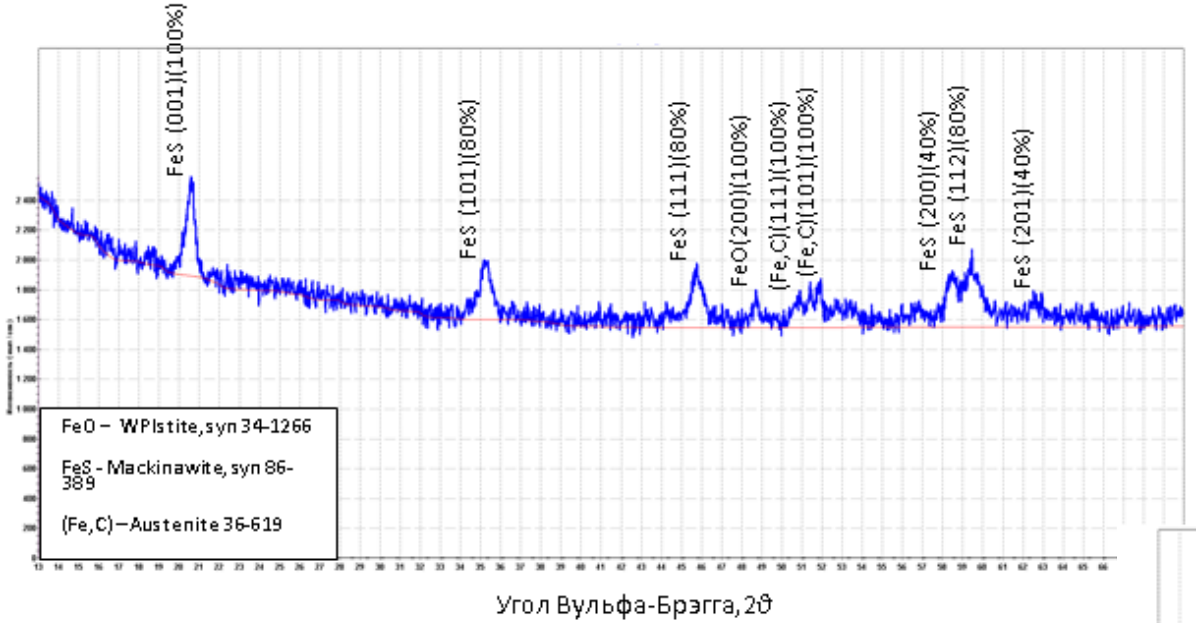
Пакерная муфта (внутренняя поверхность)



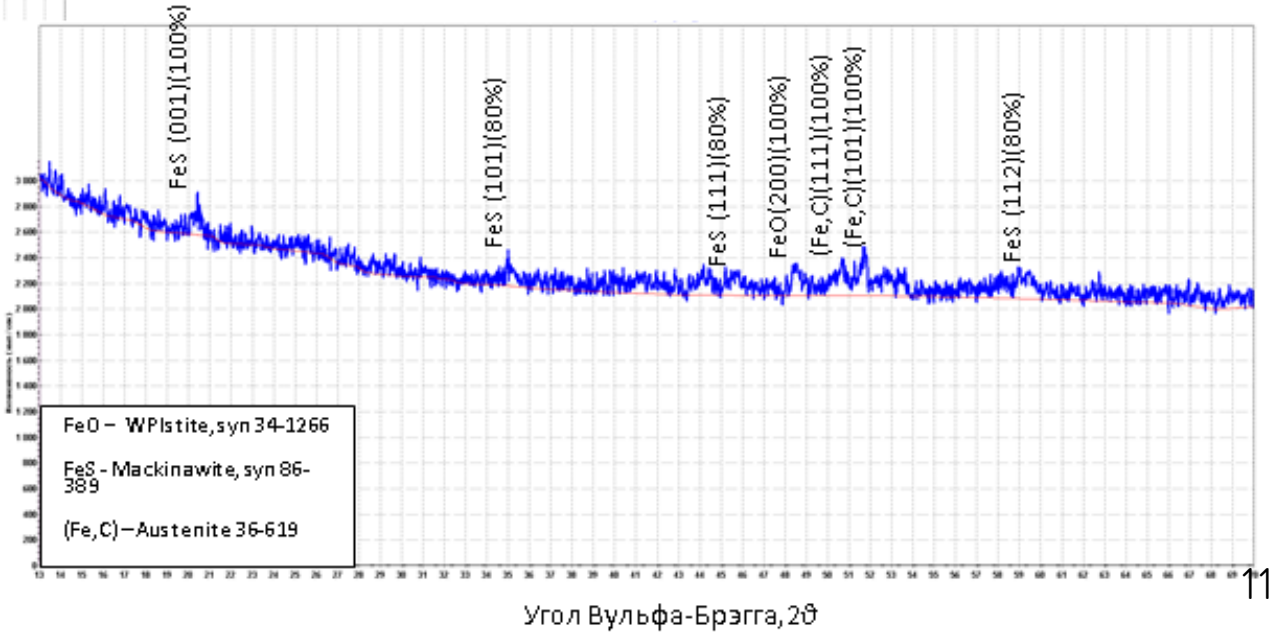
Продукты коррозии

	Fe	C	O	Si	S	Cr	Ni	Mo	Cl	Na	K	Ca	Mn
1	Осн.	4,52	11,78	0,74	3,08	17,61	9,20	3,77	-	-	-	-	0,47
2	Осн.	6,21	29,84	0,94	10,12	18,69	7,51	10,77	0,49	1,36	0,53	0,27	0,23
3	Осн.	7,08	14,90	0,63	7,68	17,35	8,45	5,06	0,36	0,42	-	-	0,46

Результаты рентгенофазового анализа отложений продуктов коррозии

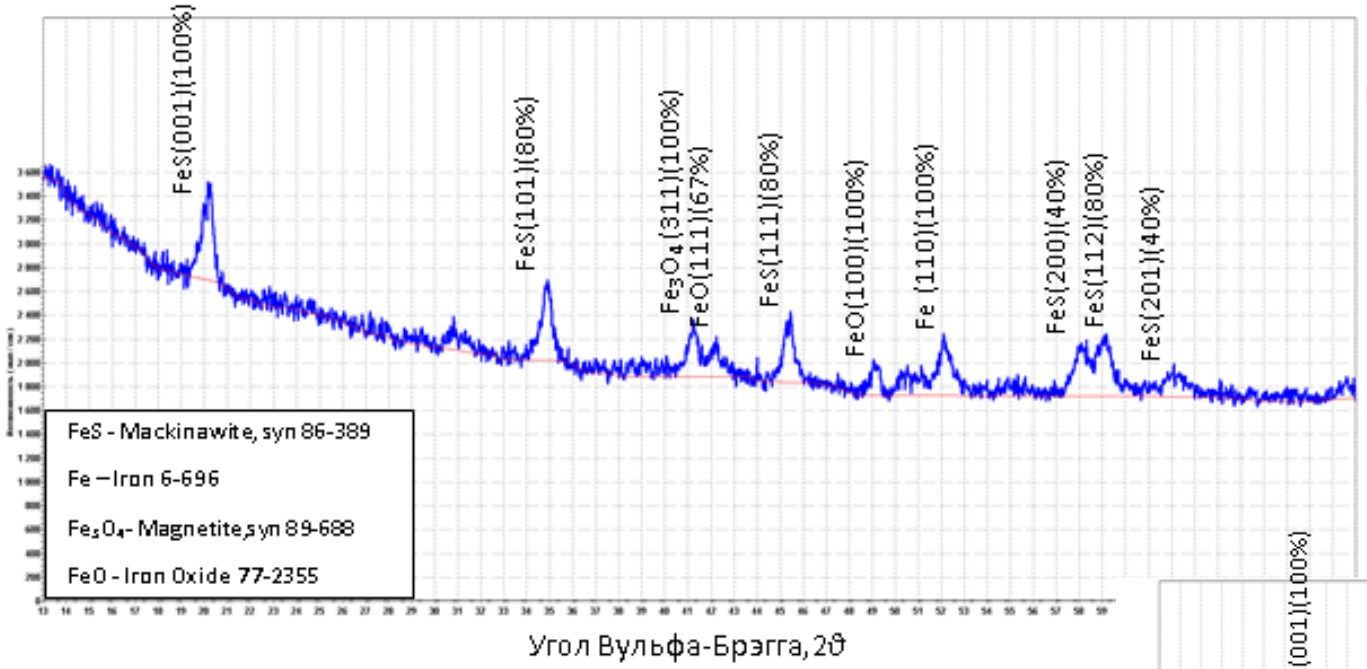


Результаты рентгенофазового анализа отложений продуктов коррозии с внутренней поверхности скважинной камеры

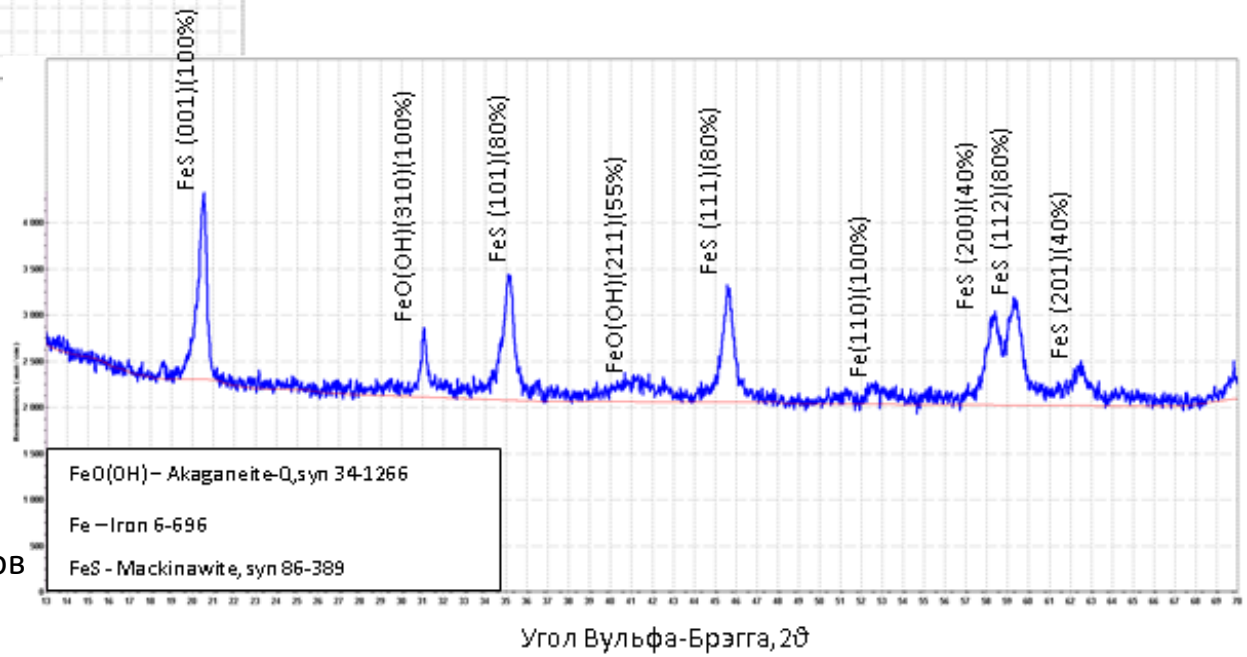


Результаты рентгенофазового анализа отложений продуктов коррозии с наружной поверхности циркуляционного клапана

Результаты рентгенофазового анализа отложений продуктов коррозии



Результаты рентгенофазового анализа отложений продуктов коррозии с внутренней поверхности НКТ



Результаты рентгенофазового анализа отложений продуктов коррозии с наружной поверхности НКТ

Лабораторные испытания в средах, содержащих H_2S и HCl

Объекты: образцы из стали 08Х17Н5М3, размер образцов 40х10х4 мм.

- **Модельные растворы:**

1. Среда NACE TM0177, тип А (5% NaCl+ 0,5 масс. % CH3COOH)
2. Среда NACE TM0177, тип А + 5% HCl
3. Среда NACE TM0177, тип А + 15% HCl
4. Водный раствор HCl (концентрация 24%);
5. Среда NACE TM0177, тип А + 5% HCl (ингибированный раствор, паспорт №04/91-2023)
6. Среда NACE TM0177, тип А + 15% HCl (ингибированный раствор, паспорт №04/91-2023)
7. Раствор ингибированной HCl (концентрация 24%) по паспорту №04/91-2023;

Продолжительность выдержки в модельных растворах за исключение № 4,7- 96 часов.

Продолжительность выдержки образцов в растворах №4,7 составляла 12 часов.

Лабораторные испытания в средах, содержащих H_2S и HCl

среда, содержащая HCl (не ингибированный)



Среда NACE TM0177, тип А



Среда NACE TM0177, тип А+ 5%HCl

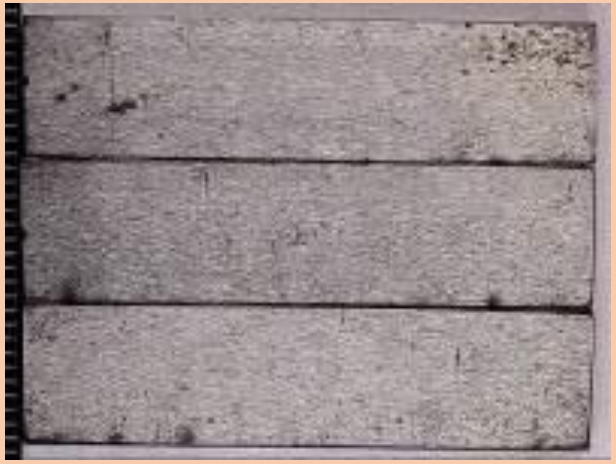


Среда NACE TM0177, тип А+15%HCl



Водный раствор HCl (концентрация 24%), 12часов

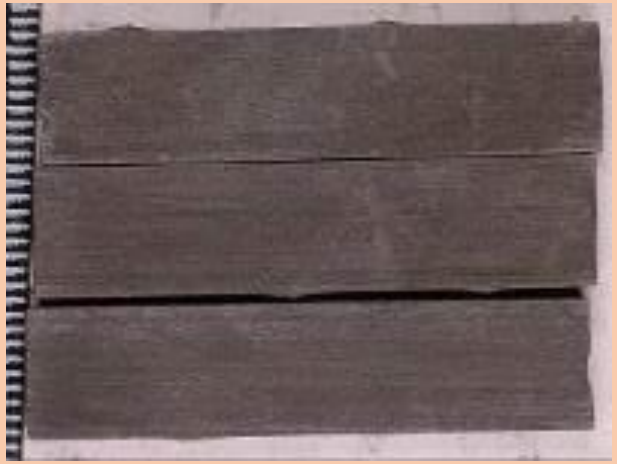
среда, содержащая HCl (ингибированный)



Среда NACE TM0177, тип А



Среда NACE TM0177, тип А+ 5%HCl



Среда NACE TM0177, тип А+15%HCl

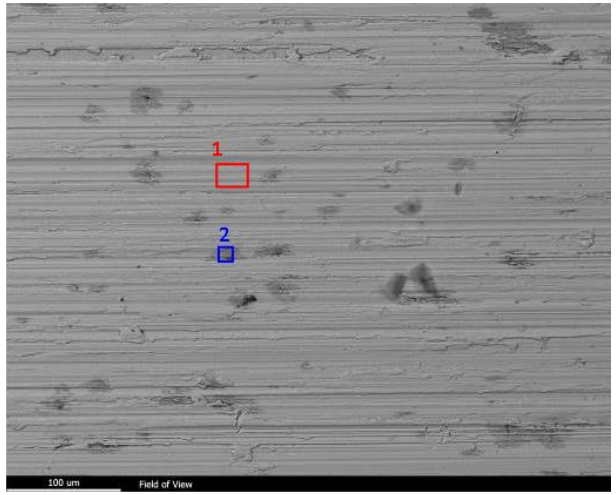


Водный раствор HCl (концентрация 24%), 12часов

Лабораторные испытания в средах, содержащих H_2S и HCl

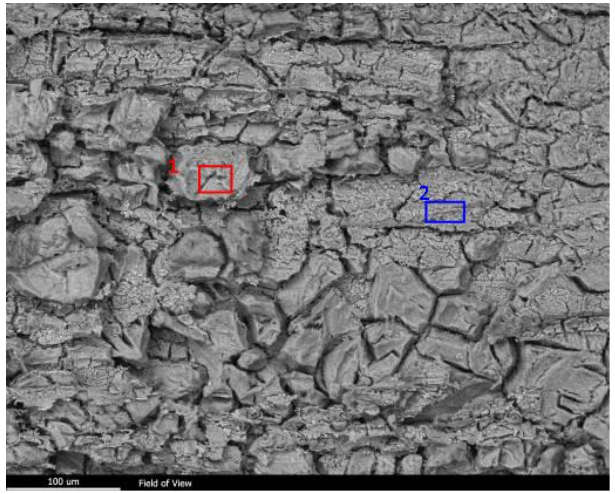
Результаты оценки скорости общей коррозии стали 08Х17Н5М3

Скорость общей коррозии , мм/год				
	NACE TM0177, тип А (96 часов)	NACE TM0177, тип А + 5%HCl (96 часов)	NACE TM0177, тип А + 15%HCl (96 часов)	Раствор HCl (концентрация 24%), 12часов
	Скорость коррозии, мм/год			
HCl без ингибитором	0,26	41,2	44,1	36,0
HCl с ингибитором	0,26	47,4	48,9	0,04



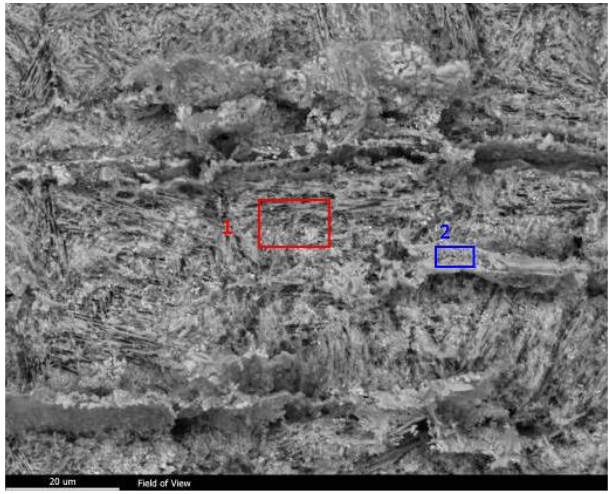
	Fe	O	Si	S	Mo	Cr	Ni
1	73,83	-	00,47	-	03,38	17,82	04,50
2	41,16	05,77	00,41	18,69	-	15,88	18,09

Среда **без ингибитора** NACE TM0177, тип А, 96часов



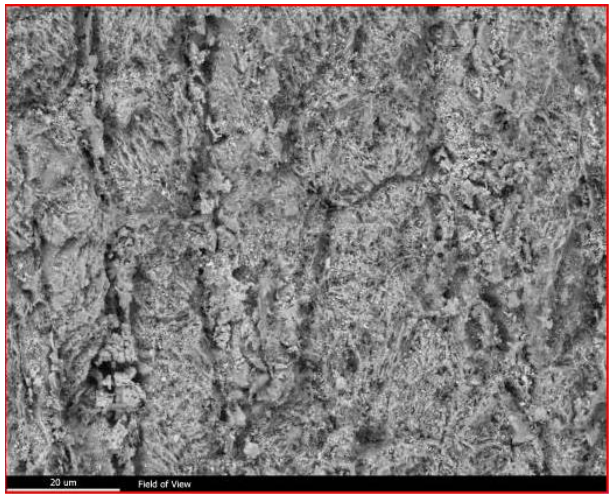
	Fe	O	Si	Mo	S	Cr	Ni
1	17,30	08,11	01,37	50,18	-	13,03	10,02
2	31,90	06,16	01,11	15,25	17,62	20,77	07,19

Среда **без ингибитора** NACE TM0177, тип А +5%HCl, 96часов



	Fe	C	Si	Mo	S	Cr	Ni
1	61,04	01,15	01,00	11,43	-	18,63	06,74
2	03,26	02,99	01,31	12,00	10,22	32,70	03,26

Среда **без ингибитора** NACE TM0177, тип А+15%HCl, 96часов



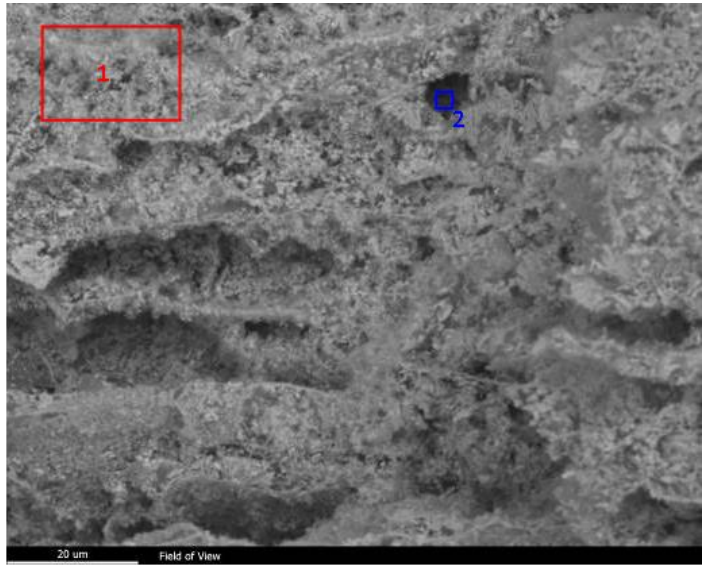
	Fe	O	Si	Mo	Cr	Ni
1	70.67	02.50	00.74	03.96	17.88	04.24

без ингибитора. Водный раствор HCl (концентрация 24%), 12часов

Лабораторные испытания в средах, содержащих H_2S и HCl

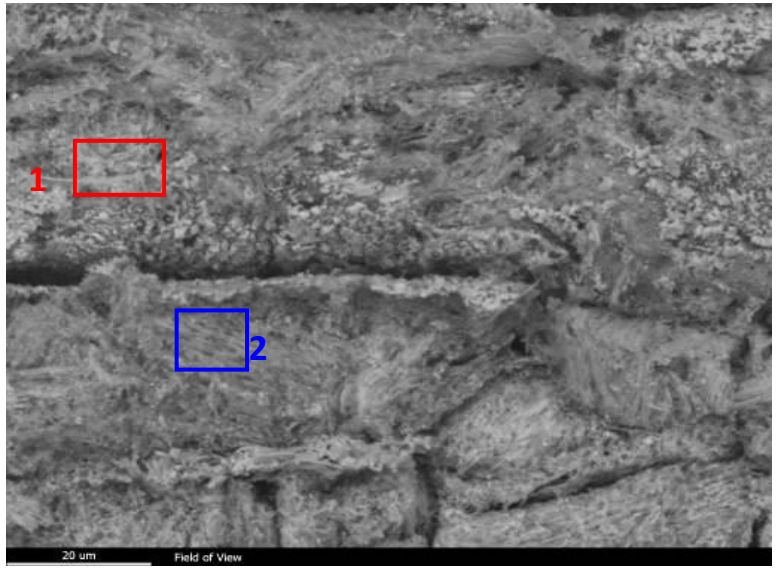
Результаты оценки скорости общей коррозии стали 08Х17Н5М3

Скорость общей коррозии , мм/год				
	NACE TM0177, тип А (96 часов)	NACE TM0177, тип А + 5%HCl (96 часов)	NACE TM0177, тип А + 15%HCl (96 часов)	Раствор HCl (концентрация 24%), 12часов
	Скорость коррозии, мм/год			
HCl без ингибитором	0,26	41,2	44,1	36,0
HCl с ингибитором	0,26	47,4	48,9	0,04



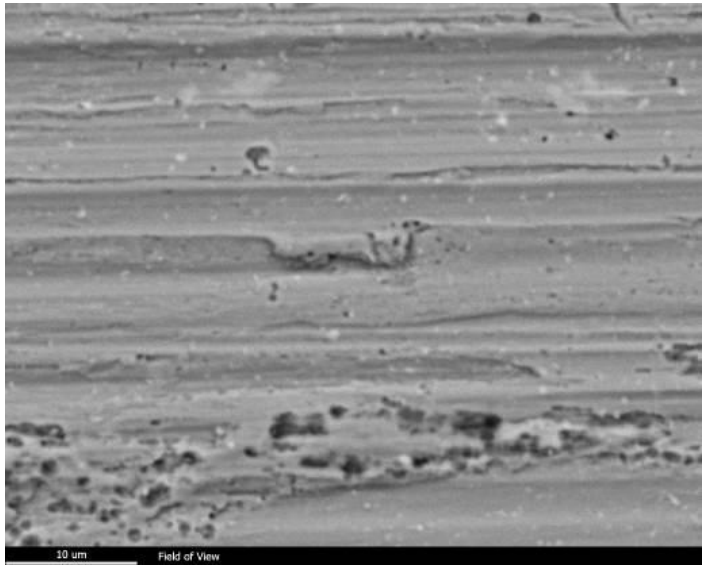
	Fe	Si	Mo	S	Cr	Ni	Mn
1	40,28	01,13	13,90	-	37,54	03,62	01.65
2	60.34	-	01.64	00.80	32.30	04.27	01.65

Среда NACE TM0177, тип А +5%HCl **с ингибитором**, 96часов



	Fe	C	O	Si	Mo	Cl	S	Cr	Ni
1	56.18	00.92	02.04	00.88	06.20	00.47	06.00	21.26	06.06
2	56.83	01.32	03.08	01.05	05.20	00.45	05.76	18.97	07.32

Среда NACE TM0177, тип А+15%HCl **с ингибитором** , 96часов



	Fe	C	O	Si	Mo	Cl	Cr	Ni
1	60,86	01,04	02,18	00,81	09,77	00,19	21,16	03,99

Водный раствор HCl (концентрация 24% **с ингибитором**), 12часов

ВЫВОДЫ:

1. Характер коррозионных поражений на всех элементах колонны различается. НКТ из стали С90S подверглась интенсивной равномерной коррозии изнутри и снаружи. Сильнее всего прокорродировал металл камеры скважинной. Внутренняя поверхность элементов скважинной камеры подверглась локальной язвенной коррозии, местами со сквозными повреждениями. Наружная поверхность скважинной камеры прокорродировала по механизму интенсивной сплошной коррозии.
2. Развитие интенсивной наружной коррозии произошло в результате проникновения в затрубное пространство раствора, содержащего HCl и H_2S. Интенсивная общая и язвенная коррозия, развилась под воздействием на металл агрессивной среды, содержащей одновременно растворенный сероводород и технический раствор (HCl).
3. Высокая агрессивность среды, содержащей сразу растворенный сероводород и технический раствор (HCl) подтверждается результатами моделирующих лабораторных испытаний: при воздействии на металл только сероводорода или ингибированной кислоты наблюдается равномерная общая коррозия со скоростью не более 0,26 мм/год. При одновременном воздействии H_2S (2500 мг/л) и HCl (5-24%) скорость коррозии возрастает более чем в 50 раз и составляет 40-50 мм/год.