

*Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2023. Вып. 5 (145). С. 40-48.
ISSN 1998-8443 (print)*
*Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products. 2023. Issue 5 (145). P. 40-48.
ISSN 1998-8443 (print)*

Научная статья

УДК 622.276.43-027.236

doi: 10.17122/ntj-oil-2023-5-40-48

EDN: TLVVPS

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА КОРРОЗИЮ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ 20 В МИНЕРАЛИЗОВАННОЙ СРЕДЕ В ПРИСУТСТВИИ СЕРОВОДОРОДА И ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

Софья Робертовна Алимбекова¹, Фарид Гумерович Ишмуратов²,
Александр Иосифович Волошин³, Роберт Ибрагимович Алимбеков⁴,
Владимир Анатольевич Докичев⁵

¹Группа компаний «Пилот», Уфа, Россия

^{2, 4}Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

³ООО «РН-БашНИПИнефть» (ОГ ПАО «НК «Роснефть»), Уфа, Россия

⁵Уфимский Институт химии Уфимского федерального исследовательского центра
Российской Академии наук, Уфа, Россия

¹ms.sofia.al@gmail.com

²farid_ishmuratov@mail.ru

³voloshinai3@mail.ru

⁴robert.alimbekov@gmail.com

⁵dokichev@anrb.ru

Автор, ответственный за переписку: Софья Робертовна Алимбекова,
ms.sofia.al@gmail.com

Аннотация. Изучено влияние электромагнитного поля (ЭМП) на коррозию низкоуглеродистой стали 20 в минерализованной водной среде в присутствии сероводорода и диоксида углерода. Показано, что ЭМП ускоряет общую коррозию в 1,27 раза, в то же время локальная коррозия замедляется и снижается удельное количество очагов

локальной коррозии. Методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) определены основные продукты коррозии. При помощи метода РФЭС установлено, что кроме слоя продуктов коррозии, образующихся на месте растворенного металла, формируется слой осадочных отложений из кристаллов FeCO_3 и CaCO_3 .

Ключевые слова: электромагнитное поле, коррозия, сталь 20, сероводород, диоксид углерода

Для цитирования: Алимбекова С. Р., Ишмуратов Ф. Г., Волошин А. И., Алимбеков Р. И., Докичев В. А. Влияние электромагнитного поля на коррозию конструкционной стали 20 в минерализованной среде в присутствии сероводорода и диоксида углерода // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2023. Вып. 5 (145). С. 40-48. <http://doi.10.17122/ntj-oil-2023-5-40-48>.

Original article

ELECTROMAGNETIC FIELD INFLUENCE ON CORROSION OF STRUCTURAL STEEL 20 IN A MINERALIZED WATER ENVIRONMENT IN THE PRESENCE OF HYDROGEN SULFIDE AND CARBON DIOXIDE

Sofya R. Alimbekova¹, Farid G. Ishmuratov², Aleksandr I. Voloshin³, Robert I. Alimbekov⁴, Vladimir A. Dokichev⁵

¹Group of Companies «Pilot», Ufa, Russia

^{2, 4}Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

³RN-BashNIPIneft LLC (Company of Rosneft Group), Ufa, Russia

⁵Ufa Institute of Chemistry, Ufa Federal Research Center, Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

¹ms.sofia.al@gmail.com

²farid_ishmuratov@mail.ru

³voloshinai3@mail.ru

⁴robert.alimbekov@gmail.com

⁵dokichev@anrb.ru

Corresponding author: **Sofya R. Alimbekova**, ms.sofia.al@gmail.com

Abstract. The influence of electromagnetic field (EMF) on the corrosion of low-carbon steel 20 in mineralized water environment in the presence of hydrogen sulfide and carbon dioxide has been studied. It is shown that EMF accelerates high corrosion by 1.27 times, while local corrosion slows down and the specific number of local corrosion sites decreases. By

the method of X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), the main corrosion products are obtained. Using the XPS method, it has been established that in addition to the layer of corrosion products formed in place of the dissolved metal, a layer of sedimentary deposits from FeCO_3 and CaCO_3 crystals is formed.

Keywords: electromagnetic field, corrosion, steel 20, hydrogen sulfide, oxygen dioxide

For citation: Alimbekova S. R., Ishmuratov F. G., Voloshin A. I., Alimbekov R. I., Dokichev V. A. Vliyanie elektromagnitnogo polya na korroziiu konstruktivnoi stali 20 v mineralizovannoi srede v prisutstvii serovodoroda i dioksida ugleroda [Electromagnetic Field Influence on Corrosion of Structural Steel 20 in a Mineralized Water Environment in the Presence of Hydrogen Sulfide and Carbon Dioxide]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2023, Issue 5 (145), pp.40-48. [in Russian]. <http://doi.10.17122/ntj-oil-2023-5-40-48>.

Введение

Образование промысловых отложений в нефтегазовых скважинах и в эксплуатационном оборудовании в нефтегазовой промышленности приводит к снижению проницаемости нефтеносного пласта, дебита скважин, увеличению эксплуатационных расходов и отказу по причине отложений насосного оборудования в скважинах [1-3].

Основными компонентами большинства отложений являются карбонат кальция, сульфаты кальция и бария, продукты коррозии, механические примеси и асфальтосмолопарафиновые вещества. Известны различные физические и химические способы воздействия на скважинное пространство и продуктивный пласт для повышения эффективности добычи углеводородного сырья и борьбы с отложениями [4]. Основным методом борьбы с отложениями является применение химических реагентов, которые, несмотря на определенные их преимущества, являются экологически опасными для окружающей среды [1, 4-8]. Осложнения, связанные с коррозионной активностью среды и солеотложением, входят в число преобладающих на объектах нефтегазодобычи. Отказы внутрискважинного оборудования по причине коррозии составляют 20 % от общего количества фик-

сированных отказов за 2020 год. По типу воздействия коррозионной среды на месторождениях, эксплуатируемых в АО «Оренбургнефть» ПАО «НК «Роснефть», преобладающими видами коррозии являются сероводородная и смешанная, вызываемые одновременно действием CO_2 и H_2S [9].

Группой компаний «Пилот» разработан Резонансно-волновой комплекс (РВК) для предупреждения солеотложения, действие которого основано на использовании электромагнитного поля (ЭМП).

Данные опытно-промышленных испытаний и результаты промышленного применения электромагнитной установки РВК показали эффективность её применения при борьбе с солеотложениями в нефтяных скважинах, оборудованных электроцентробежными насосами [10]. Применение Резонансно-волнового комплекса в скважинах, осложненных солеотложениями, позволило увеличить средний межремонтный период более чем в 6 раз. Ранее нами было показано, что электромагнитное излучение может обеспечить защиту стали 20 от коррозии в минерализованной карбонатной воде [11]. Необходимо отметить, в 3 %-ом водном растворе NaCl в присутствии CO_2 использование ЭМП приводит к увеличению скорости коррозии в 1,13 раза. В то же время в 3 %-ом водном растворе NaCl,

содержащем 0,19 % CaCl_2 , напротив, скорость коррозии стали 20 уменьшается под действием электромагнитного поля.

Однако до последнего времени отсутствовали какие-либо данные о влиянии РВК на смешанную коррозию углеродистой стали, вызываемую одновременным воздействием CO_2 и H_2S .

В настоящей работе представлены результаты исследования воздействия электромагнитного поля на коррозию в минерализованной водной среде в присутствии H_2S и CO_2 конструкционной углеродистой стали 20, применяемой при изготовлении нефтепромыслового оборудования.

Экспериментальная часть

Лабораторные исследования по влиянию электромагнитного поля на процесс коррозии изучали на лабораторном стенде (НИИТС «Пилот»), в состав которого входит Резонансно-волновой комплекс, генерирующий ЭМП в диапазоне частот от 100 до 200 кГц.

Воздействие ЭМП на коррозию стали 20 оценивали гравиметрическим методом по ГОСТ Р 9.905-2007.

Для приготовления растворов использовались реактивы марок «х.ч.».

Для измерения скорости коррозии гравиметрическим методом использовали прямоугольные образцы стали размером 30 x 30 x 3 мм следующего состава (% масс.): Fe - 99,31; C - 0,08; Si - 0,03; Mn - 0,40; Cr - 0,04; Ni - 0,03; Cu - 0,06; Al - 0,05.

Поверхность образцов шлифовали на шлифовальных кругах, промывали водой, обезжиривали ацетоном, высушивали и взвешивали на аналитических весах с точностью до $5 \cdot 10^{-5}$ г.

Испытания образцов проводили при температуре 20 °С в течение 30 ч в 200 мл минеральной воды следующего ионного состава: Ca^{2+} - 8550, Mg^{2+} - 2250, Na^+ - 40100, Cl^- - 83135, HCO_3^- - 260, SO_4^{2-} - 480 мг/л, в который предварительно вносили 0,137 г Na_2S и для насыщения коррозионной среды на про-

тяжении всего опыта равномерно подавали углекислый газ.

Концентрация H_2S в растворе составляла 0,3 г/л (определялась по методу ПНДФ 14.124.178-02). Минерализация раствора - 134,8 г/л при пересыщении по CaSO_4 SI равном 0,2. После экспозиции поверхность образцов освобождали от продуктов коррозии, обезжиривали и взвешивали.

Скорость коррозии рассчитывали по формуле:

$$K_m = \frac{(m_1 - m_2)}{S \cdot t}, \quad (1)$$

где K_m - скорость коррозии, г/(м²ч);

m_1 - масса образца до испытания, г;

m_2 - масса образца после испытания, г;

S - площадь поверхности стального образца, м²;

t - продолжительность исследования, ч.

Степень локальной коррозии определяли с помощью оптического микроскопа Axio Observer A1m.

Исследование качественного элементного состава продуктов коррозии на поверхности образцов проводили с помощью рентгеновского фотоэлектронного спектрометра JPS-9010MX (Jeol Ltd., Japan), оснащенного монохроматическим источником рентгеновского излучения Mg K α ($h\nu = 1253,6$ эВ) с ускоряющим напряжением до 10 кВ и током до 10 мА.

Для более точного определения элементного состава поверхности образцов после коррозии исследуемые образцы подверглись травлению. Для травления использовалась ионная пушка типа Кауфмана, установленная в шлюзовой камере прибора так, что образцы между этапами травления и съёмки не находились на воздухе. Травление осуществлялось ионами аргона при ускоряющем напряжении 600 В и токе эмиссии 12,3 мА. Время травления для каждого образца составляло 20 с. Скорость травления на данном режиме составляла 40 нм/мин. Суммарная толщина стравленного таким образом материала оценивается в 10 нм.

Обсуждение результатов

Сложные электрохимические процессы в средах, содержащих CO_2 и H_2S , приводят к образованию ряда различных соединений, в том числе продуктов коррозии - сульфида железа, оксидов и карбонатов железа, которые оказывают существенное влияние на коррозионные процессы стали и железа [11, 12]. Ранее нами было показано, что электромагнитное поле может не только обеспечивать защиту от коррозии, но и напротив, ускорить коррозионный процесс. Скорость коррозии стали в средах, в которых не наблюдается формирование барьерных осадков на поверхности стали, больше, чем в среде, где возможно образование CaCO_3 и FeCO_3 [12].

Исследование коррозионной стойкости стали 20 в присутствии сероводорода и диоксида углерода проводили в модельной среде, имитирующей пластовые воды. Полученные микрофотографии коррозионных образцов стали 20 после воздействия ЭМП и без него показали, что на поверхности стали под воздействием ЭМП сформировались достаточно плотные отложения из продуктов коррозии без очевидных очагов локальной коррозии; напротив, без ЭМП на поверхности стали наблюдаются очаги локальной коррозии (рисунок 1).

Результаты гравиметрического изучения коррозии показали, что электромагнитное поле, генерируемое РВК, приводит к увеличению скорости коррозии стали 20 в 1,27 раза при смешанной коррозии, вызываемой одновременным воздействием CO_2 и H_2S (таблица 1).

Таблица 1. Скорости коррозии образцов стали под воздействием ЭМП и без него (время экспозиции 30 ч)

Table 1. Corrosion rates of steel samples under the influence of EMF and without it (exposure time 30 h)

Образец	$S_{\text{пов}}, \text{ м}^2$	$m_1, \text{ г}$	$m_2, \text{ г}$	$K_m, \text{ г}/(\text{м}^2\text{ч})$
Образец 1 (с ЭМП)	0,0013	7,7162	7,7131	0,079
Образец 2 (без ЭМП)	0,0013	10,5768	10,5744	0,062

Изучение состава тонких поверхностных слоев стали 20 после коррозии было проведено с использованием рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (рисунок 2).

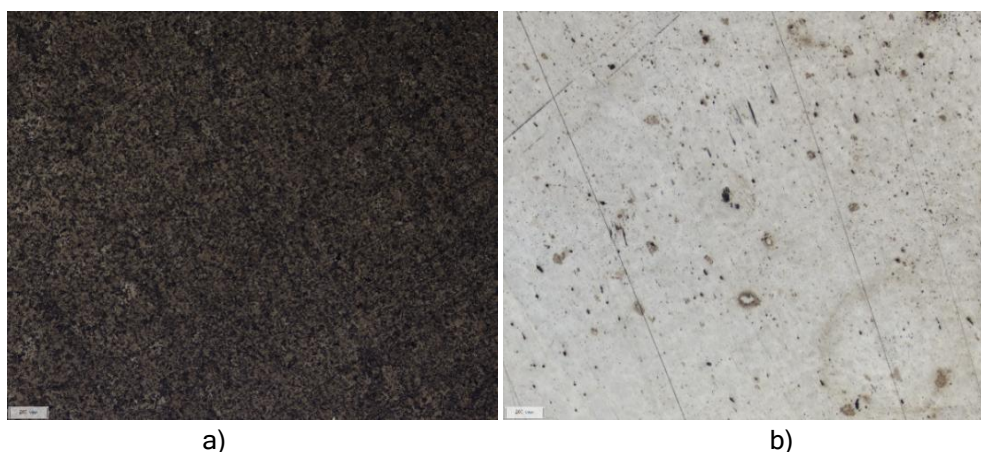
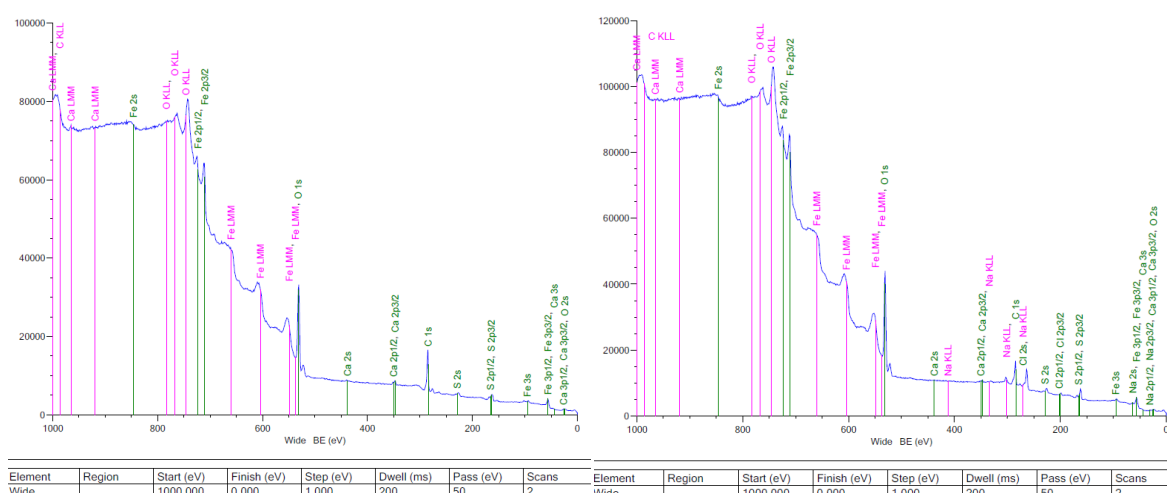


Рисунок 1. Микрофотографии образца 1 - с ЭМП (а) и образца 2 - без ЭМП (b) после 30 ч экспозиции

Figure 1. Microphotographs of Sample 1 - with EMF (a) and Sample 2 - without EMF (b) after 30 h exposure



a)

b)

Рисунок 2. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия Образца 1 - с ЭМП (a) и Образца 2 - без ЭМП (b) после 30 ч экспозиции

Figure 2. X-ray photoelectron spectroscopy of Sample 1 - with EMF (a) and Sample 2 - without EMF (b) after 30 h exposure

С помощью метода РФЭС установлено, что в результате коррозии происходит образование карбоната и сульфида железа в поверхностных слоях Образцов 1 и 2 стали 20, о чем свидетельствует появление в РФЭС спектрах линии ионов кальция, железа, карбоксилат аниона и серы (рисунки 2, 3).

Наблюдается увеличение относительной концентрации серы в поверхностном слое Образца 1, подвергшегося одновременно коррозии и действию ЭМП, по сравнению с Образцом 2. Это связано с образованием сульфида железа в процессе локальной коррозии.

Данные РФЭС подтверждают, что кроме слоя продуктов коррозии, образующихся на месте растворенного металла, формируется слой осадочных отложений из кристаллов FeCO_3 и CaCO_3 [12], что связано с осо-

бенностью протекания коррозионных процессов в статичной среде. Образование слоя осадочных отложений из кристаллов FeCO_3 обусловлено интенсивным растворением приповерхностного слоя металла. В фотоэлектронном спектре на поверхности Образца 2 (рисунок 2) наблюдаются полосы таких элементов, как хлор, кальций, кислород, углерод, железо и сера. Линия спектра при 531,2 эВ относится к кислороду, связанному с Fe^{+2} (рисунок 3, e, f), а дублет в области 347 и 350 эВ - к кальцию кристаллического CaCO_3 (рисунок 3, c, d). Сигналы, принадлежащие атомам серы (рисунок 3, a, b) на поверхности образца, отнесены к сульфиду железа.

Физико-химические анализы выполнены на оборудовании Центра коллективного пользования «Нанотех» Уфимского университета науки и технологий.

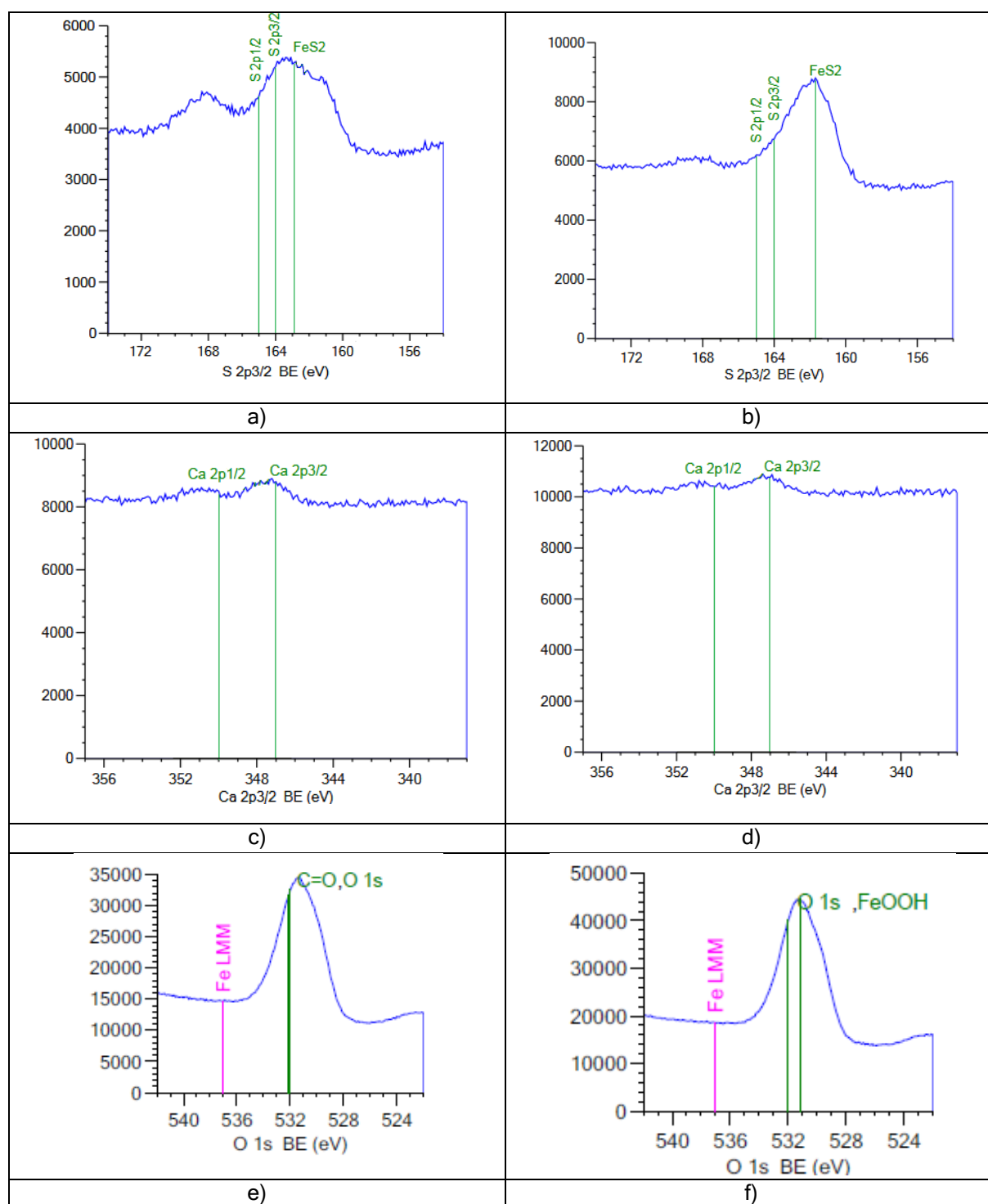


Рисунок 3. Фрагменты спектров РФЭС Образца 1 - с ЭМП (а, с, е) и Образца 2 - без ЭМП (b, d, f) после 30 ч экспозиции

Figure 3. XPS Fragments of Sample 1 - with EMF (a, c, e) and Sample 2 - without EMF (b, d, f) after 30 hours exposure

Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что скорость коррозии углеродистой стали в минерализованной водной среде в присутствии H_2S и CO_2 под воздействием электромагнитного поля выше, чем без

электромагнитного поля. Методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии установлено, что кроме слоя продуктов коррозии, образующихся на месте растворенного металла, формируется слой осадочных отложений из кристаллов $FeCO_3$ и $CaCO_3$.

Список источников

1. Crabtree M., Eslinger D., Fletcher P., Miller M., Johnson A., King G. Fighting Scale: Removal and Prevention // *Oilfield Review*. 1999. Vol. 11, No. 3. P. 30-45.
2. Кашавцев В.Е., Мищенко И.Т. Солеобразование при добыче нефти. М.: Орбита-М, 2004. 432 с.
3. Раевский А.И. Опыт борьбы с влиянием осложняющих добычу факторов на фонде скважин ТПП «Лангепаснефтегаз» // *Инженерная практика*. 2018. № 5. С. 70-75.
4. Алимбекова С.Р., Ишмуратов Ф.Г., Докичев В.А., Алимбеков Р.И. Химические и физические методы ингибирования кристаллизации карбоната кальция. Уфа: ГАУН РБ БЭ, 2021. 64 с. EDN: ASWWNV.
5. Aslam J., Aslam R., Zehra S., Rizvi M. 8 - Corrosion Inhibitors for Sweet (CO_2 Corrosion) and Sour (H_2S Corrosion) Oilfield Environments // *Environmentally Sustainable Corrosion Inhibitors*. In Book. Elsevier, 2022. P. 165-181. DOI: 10.1016/B978-0-323-85405-4.00021-5.
6. Papavinasam S. Corrosion Control in the Oil and Gas Industry. London: Elsevier, 2014. 1020 p. DOI: 10.1016/C2011-0-04629-X.
7. Corrosion Inhibitors in the Oil and Gas Industry. Weinheim: Wiley-VCH, 2020. 464 p.
8. Маркин А.Н., Низамов Р.Э., Суховерхов С.В. Нефтепромысловая химия: практическое руководство. Владивосток: Дальнаука, 2011. 288 с. EDN: SCNKGZ.
9. Ткачева В.Э., Маркин А.Н., Кшнякин Д.В., Мальцев Д.И., Носов В.В. Коррозия внутрискважинного оборудования в сероводородсодержащих средах // *Практика противокоррозионной защиты*. 2021. Т. 26, № 2. С. 7-26. DOI: 10.31615/j.corros.prot.2021.100.2-1. EDN: YFHMQW.
10. Alimbekova S.R., Bakhtizin R.N., Dokichev V.A. Electromagnetic Prevention of Scaling in Oil Production // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 459. Article No. 052054. DOI: 10.1088/1755-1315/459/5/052054.
11. Wen X., Bai P., Luo B., Zheng S., Chen C., Review of Recent Progress in the Study of Corrosion Products of Steels in a Hydrogen Sulphide Environment // *Corrosion Science*. 2018. Vol. 139. P. 124-140. DOI: 10.1016/j.corsci.2018.05.002.
12. Маркин А.Н., Легезин Н.Е. Исследование углекислотной коррозии стали в условиях осаждения солей // *Защита металлов*. 1993. Т. 29, № 3. С. 452-459.

References

1. Crabtree M., Eslinger D., Fletcher P., Miller M., Johnson A., King G. Fighting Scale: Removal and Prevention. *Oilfield Review*, 1999, Vol. 11, No. 3, pp. 30-45.
2. Kashchavtsev V.E., Mishchenko I.T. *Soleobrazovanie pri dobyche nefi* [Salt-Formation during Oil Production]. Moscow, Orbita-M Publ., 2004. 432 p. [in Russian].
3. Raevskii A.I. Opyt bor'by s vliyaniem oslozhnyayushchikh dobychu faktorov na fonde skvazhin TPP «Langepasneftegaz» [Experience in Combating the Influence of Factors Complicating Production at the Well Stock of TPP «Langepasneftegaz»]. *Inzhenernaya praktika - Engineering Practice*, 2018, No. 5, pp. 70-75. [in Russian].
4. Alimbekova S.R., Ishmuratov F.G., Dokichev V.A., Alimbekov R.I. *Khimicheskie i fizicheskie metody ingibirovaniya kristallizatsii karbonata kal'tsiya* [Chemical and Physical Methods for Inhibiting Calcium Carbonate Crystallization]. Ufa, GAUN RB BE Publ., 2021. 64 p. EDN: ASWWNV. [in Russian].
5. Aslam J., Aslam R., Zehra S., Rizvi M. 8 - Corrosion Inhibitors for Sweet (CO_2 Corrosion) and Sour (H_2S Corrosion) Oilfield Environments. In Book «*Environmentally Sustainable Corrosion Inhibitors*». Elsevier, 2022, pp. 165-181. DOI: 10.1016/B978-0-323-85405-4.00021-5.
6. Papavinasam S. *Corrosion Control in the Oil and Gas Industry*. London, Elsevier, 2014. 1020 p. DOI: 10.1016/C2011-0-04629-X.
7. *Corrosion Inhibitors in the Oil and Gas Industry*. Weinheim, Wiley-VCH, 2020. 464 p.
8. Markin A.N., Nizamov R.E., Sukhoverkhov S.V. *Neftpromyslovaya khimiya: prakticheskoe rukovodstvo* [Production Chemistry: Guidance Manual]. Vladivostok, Dal'nauka Publ., 2011. 288 p. EDN: SCNKGZ. [in Russian].
9. Tkacheva V.E., Markin A.N., Kshnyakin D.V., Maltsev D.I., Nosov V.V. Korroziya vnutrискважинного oborudovaniya v serovodordsoderzhashchikh sredakh [Corrosion of Downhole Equipment in Hydrogen Sulfur-Containing Environments]. *Praktika protivokorroziionnoi zashchity - Practice Corrosion Protection*, 2021, Vol. 26, No. 2, pp. 7-26. DOI: 10.31615/j.corros.prot.2021.100.2-1. EDN: YFHMQW. [in Russian].
10. Alimbekova S.R., Bakhtizin R.N., Dokichev V.A. Electromagnetic Prevention of Scaling in Oil Production. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, Vol. 459, Article No.

052054. DOI: 10.1088/1755-1315/459/5/052054.

11. Wen X., Bai P., Luo B., Zheng S., Chen C., Review of Recent Progress in the Study of Corrosion Products of Steels in a Hydrogen Sulphide Environment. *Corrosion Science*, 2018, Vol. 139, pp. 124-140. DOI: 10.1016/j.corsci.2018.05.002.

12. Markin A.H., Legezin H.E. Issledovanie uglekislotoi korrozii stali v usloviyakh osazhdeniya solei [Study of Carbon Dioxide Corrosion of Steel Under Salt Deposition Conditions]. *Zashchita metallov - Protection of Metals*, 1993, Vol. 29, No. 3, pp. 452-459. [in Russian].

Информация об авторах

• Алимбекова Софья Робертовна, кандидат технических наук
Группа компаний «Пилот»
Заместитель директора
Россия, 450000, Уфа, К. Маркса 12
e-mail: ms.sofia.al@gmail.com

• Ишмуратов Фарид Гумерович, кандидат технических наук
Уфимский университет науки и технологий
Заведующий лабораторией «Междисциплинарная научно-исследовательская лаборатория нефтепромысловой химии»
Россия, 450008, Уфа, ул. З. Валиди, 32
e-mail: farid_ishmuratov@mail.ru

• Волошин Александр Иосифович, доктор химических наук
ООО «РН-БашНИПИнефть»
Старший эксперт
Россия, 450103, Уфа, ул. Сочинская, 12
e-mail: voloshinai3@mail.ru

• Алимбеков Роберт Ибрагимович, кандидат технических наук
Уфимский университет науки и технологий
Начальник инженерного центра «Пилот»
Россия, 450008, Уфа, ул. З. Валиди, 32
e-mail: robert.alimbekov@gmail.com

• Докичев Владимир Анатольевич, доктор химических наук, профессор
Уфимский Институт химии
Уфимского федерального исследовательского центра Российской Академии наук
Заведующий лабораторией биоорганической химии и катализа
Россия, 450054, Уфа, пр. Октября, 69
e-mail: dokichev@anrb.ru

Information about the authors

• Alimbekova Sofya R., Candidate of Engineering Sciences
Group of Companies «Pilot»
Deputy Director
12, K. Marx str., Ufa, 450000, Russia
e-mail: ms.sofia.al@gmail.com

• Ishmuratov Farid G., Candidate of Engineering Sciences
Ufa University of Science and Technology
Head of the Laboratory «Interdisciplinary Research Laboratory of Oilfield Chemistry»
32, Z. Validi str., Ufa, 450008, Russia
e-mail: farid_ishmuratov@mail.ru

• Voloshin Aleksandr I., Doctor of Chemical Sciences
RN-BashNIPIneft LLC
Senior Expert
12, Sochinskaya str., Ufa, 450103, Russia
e-mail: voloshinai3@mail.ru

• Alimbekov Robert I., Candidate of Engineering Sciences
Ufa University of Science and Technology
Chief of Engineering Center «Pilot»
32, Z. Validi str., Ufa, 450008, Russia
e-mail: robert.alimbekov@gmail.com

• Dokichev Vladimir A., Doctor of Chemical Sciences, Professor
Ufa Institute of Chemistry, Ufa Federal Research Center, Russian Academy of Sciences
Head of Laboratory of Bioorganic Chemistry and Catalysis
69, pr Oktyabrya str., Ufa, 450054, Russia
e-mail: dokichev@anrb.ru

Статья поступила в редакцию 22.08.2023; одобрена после рецензирования 01.09.2023; принята к публикации 04.09.2023.

The article was submitted 22.08.2023; approved after reviewing 01.09.2023; accepted for publication 04.09.2023.