

DOI: 10.17122/ntj-oil-2019-3-89-94

УДК 620.193.81:622.276

Н.Р. Яркеева, Э.А. Насыров, Э.Р. Газизова (Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация)

К ВОПРОСУ О МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ КОРРОЗИИ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Natalya R. Yarkeeva, Emil A. Nasyrov, Elvina R. Gazizova (Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation)

ABOUT MICROBIOLOGICAL CORROSION AT OIL FIELDS IN WESTERN SIBERIA

Введение

Эксплуатация большинства нефтяных месторождений на поздней стадии разработки приводит к увеличению числа осложнений, связанных с коррозией нефтепромышленного оборудования. Одной из причин, приводящих к распространению коррозии, является наличие в продукции скважин сульфатвосстанавливающих бактерий (СВБ).

Большое число лабораторных исследований показало, что скорость коррозии в пластовой воде, содержащей даже небольшую концентрацию СВБ, выше в 10-12 раз, чем в пластовой воде, не содержащей СВБ.

Цели и задачи:

- анализ процессов коррозии нефтепромышленного наземного и глубинно-насосного оборудования;
- на основе промысловых данных Повховского и Ватьеганского месторождений, эксплуатируемых компанией ООО «Лукойл-Западная Сибирь», обосновать оптимальный метод предупреждения коррозионных процессов нефтепромышленного оборудования.

Background

Operation of the most oil fields late stage of development leads to an increase in the number of complications associated with the oil-field equipment corrosion. One of the reasons for the spread of corrosion is the presence of sulfate reducing bacteria in the production of wells.

A laboratory studies have shown that the corrosion rate in reservoir water containing even a small concentration of sulfate reducing bacteria is 10-12 times higher than in formation water that does not contain sulfate reducing bacteria.

Aims and Objectives

- analysis of corrosion processes of oil field and downhole pumping equipment;
- on the basis of field data from the Pokhovsky and Vatyegansky fields, operating by ООО Lukoil-Western Siberia, to prove the optimal method for preventing corrosion processes in oilfield equipment.

Результаты

На основании данных по скважинам месторождений ООО «Лукойл - Западная Сибирь» установлено, что сульфатвосстанавливающие бактерии присутствуют примерно в 40 % проб попутно-добываемой воды.

Оптимальным методом предупреждения солеотложения и коррозии является закачка многокомпонентных синергетических и многофункциональных композиций в призабойную зону пласта и затрубное пространство скважин, которые подбираются на основе своевременного анализа отказов глубинно-насосного оборудования и лабораторных испытаний.

Results

On the basis of wells data of the Lukoil-Western Siberia LLC, it has been established that sulfate-reducing bacteria presents in about 40 % of the produced water samples.

The best method of preventing salt formation and corrosion is the injection of multi-component synergistic and multifunctional compositions into the bottomhole formation zone and the annular space of wells, which are selected on the basis of timely analysis of failures of downhole pumping equipment and laboratory tests.

Ключевые слова: коррозия; сероводород; скважина; сульфатвосстанавливающие бактерии; концентрация; нефтепромысловое оборудование; ингибитор

Key words: corrosion; hydrogen sulfide; well; sulfate reducing bacteria; concentration; oil field equipment; inhibitor

Эксплуатация старых и вновь осваиваемых месторождений показала, что рост числа осложнений, связанных с коррозией, напрямую связан с увеличением обводненности продукции скважин [1]. Процессы коррозии протекают не только в наземных объектах, но и в глубинно-насосном оборудовании, насосно-компрессорных трубах, а также в системах транспорта и сбора нефти и нефтепродуктов.

Существует множество источников, вызывающих коррозию [2, 3]. Рассмотрим один из наиболее распространенных - сульфатредукция разрабатываемых пластов. Причиной сульфатредукции является наличие в заводняемых пластах сульфатвосстанавливающих бактерий (СВБ).

Большинство месторождений, разрабатываемых с использованием методов заводнения, характеризуются интенсивным ростом микробиологических процессов в системах нефтедобычи [4]. СВБ содержатся в разных количествах в пластовых водах, однако уже

концентрация 1 кл./см³ жидкости может нанести огромный ущерб. Попадание даже небольшого количества клеток бактерий в объекты сбора и хранения продукции вследствие наличия достаточного количества питательной среды способствует дальнейшему размножению СВБ и росту риска возникновения микробиологической коррозии.

Коррозионные процессы наиболее интенсивно протекают в условиях отсутствия кислорода, так как СВБ по своей природе являются анаэробными [5]. Более благоприятными условиями для размножения этих бактерий будут: невысокая минерализация закачиваемых вод (до 10 г/дм³), показатель pH среды (в пределах 6,0-7,5), также необходимыми условиями жизнеспособности бактерий являются наличие органического вещества и благоприятная температура в пределах 20-40 °С. Однако разрабатываемые пласты в большинстве своем имеют температуру более 40 °С, поэтому наиболее благоприятным местом размножения сульфатредуцирующих

бактерий является призабойная зона нагнетательных скважин, охлаждаемая нагнетаемой водой. Конечным продуктом жизнедеятельности СВБ является сероводород, он редуцируется в процессе анаэробного дыхания бактерий [6].

Рассмотрим механизм коррозионного процесса, а также способы защиты и предотвращения микробиологической коррозии вследствие высокой биозараженности месторождения на примере нескольких пластов Повховского и Ватьеганского месторождений, эксплуатируемых ООО «Лукойл-Западная Сибирь». В таблице 1 приведены некоторые промышленные параметры по данным месторождениям.

Содержание сероводорода в свободном и растворенном видах в нефти и нефтепродуктах различно для проб нефти, отобранных на различных месторождениях. В среднем норма содержания сероводорода для нефтепродуктов составляет 0,02 мг/дм³.

На рассматриваемых месторождениях отобрано 13 проб, из которых в 8 пробах (62 %) содержание сероводорода в продукции превышает норму (таблица 1).

Скорость сероводородной коррозии зависит от множества факторов - температуры, давления, показателя pH коррозионной среды, скорости движения жидкости и др. [7, 8]. С увеличением температуры скорость коррозии возрастает до появления оксидной пленки.

Следует отметить, что с увеличением давления скорость коррозии увеличивается. Так, при наличии в составе продукции небольшого количества сероводорода, при давлении в трубопроводе до 2,0-2,5 МПа оборудование трубопровода может выйти из строя за 4-5 лет. Сульфид водорода является слабой кислотой, это означает, что в его присутствии pH среды уменьшается. Это существенно увеличивает скорость коррозионных процессов.

Таблица 1. Физико-химическая характеристика водной фазы продукции добывающих скважин Повховского и Ватьеганского месторождений

Куст	Скважина	pH	H ₂ S, мг/дм ³	O ₂ , мг/дм ³	Мехпримеси, мг/дм ³	Fe ²⁺ , мг/дм ³	СВБ, кл./см ³
2	71	6,64	0,040	0,11	105,38	48,34	ед. кл.
49	30	6,77	0,030	0,11	388,27	145,74	отсут.
26	31	2,27	0,040	< 0,1	43,38	3,64	ед. кл.
56	19Л	7,38	0,030	< 0,1	40,61	4,76	отсут.
36	58	7,09	0,020	< 0,1	31,44	30,74	отсут.
7	24	6,74	0,060	0,23	18,49	44,36	ед. кл.
8	46	6,81	0,020	0,33	8,87	3,58	отсут.
17	61	7,31	0,020	0,17	22,77	9,66	отсут.
56	27	6,95	0,050	< 0,1	58,67	169,40	ед. кл.
73	58	7,10	0,020	< 0,1	34,34	26,54	отсут.
44	72	6,87	0,020	0,11	116,32	5,54	отсут.
46	90Г	6,58	0,030	0,11	8,74	2,78	отсут.
48	17	7,06	0,040	0,16	71,92	41,72	ед. кл.

Анализ данных таблицы 1 показывает, что все пробы, содержащие единичные активные клетки сульфатвосстанавливающих бактерий, имеют повышенное содержание сероводорода. Например, в скважине № 71 куста 2 обнаружены СВБ, а содержание сероводорода составило 0,040 мг/дм³, что в 2 раза выше нормы. Сульфатвосстанавливающие бактерии были обнаружены в 5 пробах из 13, что составляет почти 40 % от всех проб - это скважины № 71 куста 2, № 31 куста 26, № 24 куста 7, № 27 куста 56 и № 17 куста 48.

Доказательством протекания коррозионных процессов в данных скважинах служит наличие в продукциях скважин ионов железа Fe^{2+} . Присутствие двухвалентного железа является одним из факторов, стимулирующих коррозионное разрушение металлов [9]. Коррозионные процессы в скважинном и наземном оборудовании могут привести к большим потерям продукции и авариям на производстве. В свою очередь, в пробах продукций добывающих скважин № 71 куста 2, № 30 куста 49, № 72 куста 44 и № 17 куста 48 было обнаружено большое количество механических примесей. Повышенное содержание механических примесей может быть обусловлено сменой насоса, проведением работ по повышению нефтеотдачи пластов, вводом в эксплуатацию новой скважины, а также коррозией нефтепромыслового оборудования. Частицы разрушенного металла, выделяющегося в процессе коррозии, могут уменьшать проницаемость продуктивных пластов.

В процессе глушения скважин при проведении различных технологических операций закачиваются различные растворы и жидкости, содержащие эти механические частицы, при проникновении коллоидных частиц, находящихся в технологических жидкостях, происходит облитерация фильтрационных каналов. Эрозионно-абразивный фактор играет также большую роль, поскольку при интенсификации добычи нефти с увеличением скорости потока газожидкостной смеси удаляется защитная пленка с поверхности металла, что приводит к возникновению участков точечной коррозии.

Установлено, что образцы, погруженные в среду, в которой присутствовали суль-

фатвосстанавливающие бактерии, корродируют в 10-12 раз быстрее, чем в пластовой воде, из которой были удалены бактерии. Помимо этого, СВБ влияют на сероводородную декрепитацию металла под давлением. Для того, чтобы уничтожить бактерии, необходимо перекрыть им доступ к жизненно важным ферментам, сбить процесс их дыхания, ингибировать продуцирование белка или нарушить целостность клеточной мембраны, при помощи воздействия на них бактерицидными препаратами.

При бактерицидной обработке повышается концентрация сульфат-ионов, что свидетельствует о подавлении жизнедеятельности сульфатвосстанавливающих бактерий, т.е. для предотвращения коррозии необходимо проводить бактерицидные обработки скважин, иногда является эффективным применение ингибирующих композиций в составе азотсодержащих пен [10, 11]. Среди множества разновидностей ингибиторов эффективными являются многокомпонентные синергетические и многофункциональные композиции, которые совмещают в себе множество функций, включая бактерицидное воздействие. Необходимо правильно подобрать ингибитор и произвести расчет количества закачиваемого реагента для обработки скважин осложненного фонда.

Выводы

Рассмотрена одна из наиболее распространенных причин коррозии нефтепромыслового оборудования - присутствие сульфатвосстанавливающих бактерий в пластовой воде. На основании данных по скважинам месторождений ООО «Лукойл - Западная Сибирь» установлено, что сульфатвосстанавливающие бактерии присутствуют примерно в 40 % проб попутно добываемой воды.

Оптимальным методом предупреждения солеотложения и коррозии является закачка многокомпонентных синергетических и многофункциональных композиций в призабойную зону пласта и затрубное пространство скважин, которые подбираются на основе своевременного анализа отказов глубинно-насосного оборудования и лабораторных испытаний.

Список литературы

1. Каменщиков Ф.А., Черных Н.Л. Борьба с сульфатвосстанавливающими бактериями на нефтяных месторождениях. Ижевск: ИКИ, 2007. 412 с.
2. Шакрисламов А.Г., Антипин Ю.В., Гильмутдинов Б.Р., Гарифуллин Ф.С. Повышение надежности эксплуатационной колонны в условиях солеотложения и коррозии // Нефтяное хозяйство. 2007. № 8. С. 128-131.
3. Глущенко В.Н., Зеленая С.А., Зеленый М.Ц. Биозараженность нефтяных месторождений. Уфа: Белая река, 2012. 688 с.
4. Антипин Ю.В., Гильмутдинов Б.Р., Мусин Р.Р. Повышение эффективности эксплуатации скважин при добыче сероводородсодержащей продукции // Нефтяное хозяйство. 2006. № 12. С. 118-120.
5. Lin Yu, Jizhou Duan, Xiangqian Du, Yanliang Huang, Baorong Hou. Accelerated Anaerobic Corrosion of Electroactive Sulfate-Reducing Bacteria by Electrochemical Impedance Spectroscopy and Chronoamperometry // *Electrochemistry Communications*. 2013. № 26. P. 101-104.
6. Ефремов А.П., Ким С.К. Ингибиторная защита нефтепромыслового оборудования от коррозии в средах, содержащих сероводород и сульфатвосстанавливающие бактерии // Коррозия: материалы, защита. 2005. № 10. С. 14-18.
7. Маркин А.Н., Низамов Р.Э., Суховерхов С.В. Нефтепромысловая химия: практическое руководство. Владивосток: Дальнаука, 2011. 288 с.
8. Hendrik Venzlaff, Dennis Enning, Jayendran Srinivasan, Karl J.J. Mayrhofer, Achim Walter Hassel, Friedrich Widdel, Martin Stratmann. Accelerated Cathodic Reaction in Microbial Corrosion of Iron due to Direct Electron Uptake by Sulfate-Reducing Bacteria // *Corrosion Science*. 2013. № 66. P. 88-96.
9. Булчаев Н.Д. Методы борьбы с коррозией металлов в условиях нефтедобычи // *The Second European Conference on Earth Sciences*. 2015. № 5. С. 56-65.
10. Габдуллин Р.Ф., Мусин Р.Р., Антипин Ю.В., Яркиева Н.Р., Гильмутдинов Б.Р., Дорофеев С.В. Защита обсадной колонны и оборудования скважины от коррозии и отложения солей ингибирующими композициями в составе азотосодержащих пен // Нефтяное хозяйство. 2005. № 7. С. 20-26.
11. Пат. 2174590 РФ, МПК Е 21 В. Способ защиты от коррозии и солеотложений внутрискважинного оборудования / Ю.В. Антипин, Р.Ф. Габдуллин, Н.Р. Яркиева, М.И. Саматов, С.В. Дорофеев, И.Ф. Алетдинов. 2000130180/03, Заявлено 04.12.2000; Опубликовано. 04.12.2000.

References

1. Kamenshchikov F.A., Chernykh N.L. *Bor'ba s sul'fatvosstanavlivayushchimi bakteriyami na neftyanyh mestorozhdeniyah* [Fight Against Sulfate-Reducing Bacteria in Oil Fields]. Izhevsk, Institute of Computer Science, 2007. 412 p. [in Russian].
2. Shakrislamov A.G., Antipin Yu.V., Gilmutdinov B.R., Garifullin F.S. *Povyshenie nadezhnosti ehkspluatacionnoj kolonny v usloviyah soletozheniya i korrozii* [Improving the Reliability of the Production String under the Conditions of Scaling and Corrosion]. *Neftyanoe hozyajstvo - Oil Industry*, 2007, No. 8, pp. 128-131. [in Russian].
3. Glushchenko V.N., Zelenaya S.A., Zelenyy M.Ts. *Biozarazhennost' neftyanyh mestorozhdenii* [Biological Contamination of Oil Fields]. Ufa, White River Publ., 2012. 688 p. [in Russian].
4. Antipin Yu.V., Gilmutdinov B.R., Musin R.R. *Povyshenie ehffektivnosti ehkspluatatsii skvazhin pri dobyche serovodorodsoderzhashchei produktsii* [Improving the Efficiency of Operation of Wells in the Production of Hydrogen Sulfide-Containing Products]. *Neftyanoe hozyajstvo - Oil Industry*, 2006, No. 12, pp.118-120. [in Russian].
5. Lin Yu, Jizhou Duan, Xiangqian Du, Yanliang Huang, Baorong Hou Accelerated Anaerobic Corrosion of Electroactive Sulfate-Reducing Bacteria by Spectroscopy and Chronoamperometry. *Electrochemistry Communications*, 2013, No. 26, pp. 101-104.
6. Efremov A.P., Kim S.K. *Ingibitornaya zashchita neftepromyslovogo oborudovaniya ot korrozii v sredah, soderzhashchih serovodorod i sul'fatvosstanavlivayushchie bakterii* [Inhibitor Protection of Oil Field Equipment Against Corrosion in Environments Containing Hydrogen Sulfide and Sulfate Reducing Bacteria]. *Korroziya: materialy, zashchita - Corrosion: Materials, Protection*, 2005, No. 10, pp. 14-18. [in Russian].
7. Markin A.N., Nizamov R.E., Sukhoverkhov S.V. *Neftepromyslovaya himiya: prakticheskoe rukovodstvo* [Oilfield Chemistry: A Practical Guide]. Vladivostok, Dal'nauka Publ., 2011, 288 p. [in Russian].
8. Hendrik Venzlaff, Dennis Enning, Jayendran Srinivasan, Karl J.J. Mayrhofer, Achim Walter Hassel, Friedrich Widdel, Martin Stratmann. Accelerated Cathodic Reaction in Microbially, by Sulfate-Reducing Bacteria. *Corrosion Science*, 2013, No. 66, pp. 88-96.
9. Bulchayev N.D. *Metody bor'by s korroziej metallov v usloviyakh nefte dobychi* [Methods of Dealing with Corrosion of Metals in the Conditions of Oil Production]. *The Second European Conference on Earth Sciences*, 2015, No. 5, pp. 56-65. [in Russian].
10. Gabdullin R.F., Musin R.R., Antipin Yu.V., Yarkееva N.R., Gilmutdinov B.R., Dorofeev S.A.T. *Zashchita obsadnoj kolonny i oborudovaniya skvazhiny ot korrozii i otlozheniya solej ingibiruyushchimi kompoziciyami v sostave azotosoderzhashchikh pen* [Protection of the Casing and Equipment of the Well Against Corrosion and Salt Deposits with Inhibiting Compositions Compris-

ing Nitrogen-Containing Foams]. *Neftyanoe hozyajstvo - Oil Industry*, 2005, No. 7, pp. 20-26. [in Russian].

11. Antipin Yu.V., Gabdullin R.F., Yarkееva N.R., Samatov M.I., Dorofeev S.V., Aletdinov I.F. *Sposob zashchity ot korrozii i soleotlozhenij vnutriskvazhinnogo oborudovaniya* [Method of Protection Against Corrosion and Scaling of Downhole Equipment]. Patent RF, No. 2174590, 2000. [in Russian].

Авторы

• Яркеева Наталья Расатовна, канд. техн. наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры «Разведка и разработка
нефтяных и и газонефтяных месторождений»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: yarkeevan@yandex.ru

• Насыров Эмиль Айратович
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Студент кафедры «Разведка и разработка
нефтяных и и газонефтяных месторождений»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: nasyrov77_e@icloud.com

• Газизова Эльвина Рустамовна
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Студент кафедры «Разведка и разработка
нефтяных и и газонефтяных месторождений»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: gazizowa.elwina@yandex.ru

The Authors

• Natalya R. Yarkееva, Candidate of Engineering
Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Development and Exploitation
of Oil and Gas Fields Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: yarkeevan@yandex.ru

• Emil A. Nasyrov
Ufa State Petroleum Technological University
Student of Development and Exploitation
of Oil and Gas Fields Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: nasyrov77_e@icloud.com

• Elvina R. Gazizova
Ufa State Petroleum Technological University
Student of Development and Exploitation
of Oil and Gas Fields Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: gazizowa.elwina@yandex.ru