

КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ БАКТЕРИАЛЬНОГО ЗАРАЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ДОБЫЧИ НЕФТИ И ГАЗА

УДК 620.193.81

Н.Д. Булчаев, к.т.н, Сибирский федеральный университет (Красноярск, РФ), nbulchaev@yandex.ru

Н.Н. Позднякова, Сибирский федеральный университет, NP-16081978@yandex.ru

А.В. Стрелковская, Сибирский федеральный университет, strelkovskaya@bk.ru

При разработке нефтяных и газовых месторождений часто приходится учитывать наличие осложняющих факторов. Появление в продукции скважин твердых взвешенных частиц, асфальтосмолопарафиновых отложений, выпадение солей и появление коррозии резко снижает темп добычи нефти и газа, значительно уменьшает наработку на отказ и межремонтный период скважинного и наземного оборудования.

На многих месторождениях по числу остановок добывающих скважин коррозия занимает главенствующее положение. Не является исключением в этом отношении и Ванкорская группа месторождений. Здесь преобладает биологический тип коррозионного разрушения металлов. Статья посвящена количественному определению бактериального заражения оборудования, прогнозированию роста сульфатвосстанавливающих бактерий (СВБ).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: КОРРОЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ, АГРЕССИВНЫЕ МЕТАБОЛИТЫ, ГЕТЕРОТРОФНЫЕ БАКТЕРИИ, АНАЛИЗ БИОЗАРАЖЕННОСТИ, ИНДЕКС АКТИВНЫХ СУЛЬФАТВОССТАНАВЛИВАЮЩИХ БАКТЕРИЙ.

Одним из возможных факторов ускоренного коррозионного разрушения может являться микробиологическая коррозия. По данным различных источников [1, 2], на долю биокоррозии приходится 50–80 % коррозионных повреждений трубопроводов. Основная опасность микробных сообществ (биоценозов), развивающихся в нефтепромысловом оборудовании, заключается в локализации коррозионных процессов [3–5]. Сероводород, выделяемый СВБ, реагирует с ионами железа с образованием сульфидов. Контакт сульфида железа со сталью образует гальванопару, в которой анодом является металл поверхности корродирующего оборудования, а катодом – сульфид железа. Электродвижущая сила (ЭДС) макрогальванопар может достигать 0,2–0,4 В, а скорость локальной коррозии металла – 5–10 мм/год.

СВБ усиливают работу макрогальванопар, возникающих

при локализации коррозионных процессов в результате выпадения осадков мехпримесей. В реальных промысловых условиях практически невозможно вычленить микробиологическую составляющую локальной коррозии. В ходе экспериментов обнаружено, что наличие СВБ ускоряет коррозионные процессы под осадками в 2–3 раза, в то время как скорость коррозии металла над осадком увеличивается лишь в 1,2–1,5 раза [6]. Результаты последних исследований показывают, что нефтепромысловое оборудование подвергается влиянию комплекса коррозионных факторов, биологическую составляющую которого нельзя свести лишь к действию биогенного сероводорода и сульфида железа. Невысокая доля СВБ в биоценозах нефтепромысловых вод ряда месторождений при тотальной зараженности их микрофлорой вызывает сомнение в ведущей

«коррозионной роли» микроорганизмов этой физиологической группы.

Коррозионная активность микроорганизмов в реальных нефтепромысловых условиях связана с образованием на поверхности металла закрепленных адгезированных форм типа биопленок, которые характеризуются определенным составом микробных клеток, в целом отражающим распределение их в соответствии с численностью основных физиологических групп свободноплавающих представителей нефтепромысловой микрофлоры. Согласно имеющимся данным, гетеротрофные микроорганизмы действуют как коррозионные агенты в основном за счет продуцирования агрессивных метаболитов и создания коррозионно-активных сред. Это прежде всего органические кислоты, уголекислота, сероводород, перекиси, аммиак. Среди гетеротрофных бактерий

Bulchaev N.D., Ph.D. in Engineering, Siberian Federal University (Krasnoyarsk, RF), nbulchaev@yandex.ru
Pozdnyakova N.N., Siberian Federal University, NP-16081978@yandex.ru
Strelkovskaya A.V., Siberian Federal University, strelkovskaya@bk.ru

Quantitative measurement of the bacterial contamination of oil and gas recovery facilities

In the development of oil and gas fields often have to take into account the presence of complicating factors. The appearance in the production wells suspended solids (HDTV), asphaltene-resin-paraffin deposits (ARPD), salt precipitation and corrosion dramatically reduces the rate of oil and gas production, greatly reduce the MTBF and turnaround time downhole and surface equipment.

Many fields on the number of stops producing wells corrosion occupies a dominant position. Is no exception in this regard and the Vankorskaya group of fields. Here is dominated by biological corrosion destruction of metals.

The article is devoted to the quantitative determination of bacterial contamination of the equipment forecasting growth of sulfide-reducing bacteria (SRB). All of this, in our view, to ensure the effective fights against this complication.

KEYWORDS: CORROSION, AGGRESSIVE METABOLITES, HETEROTROPHIC BACTERIA, ANALYSIS OF BIOINFESTATION, INDEX SULPHATEPOLYACRYLAMIDE ACTIVE BACTERIA (SRB).

выделяют группу углеводород-окисляющих, к которым относятся представители родов *Nocardia*, *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Micrococcus* и некоторых других, использующих углеводороды нефти в качестве источника углерода. Следует отметить, что, несмотря на большое разнообразие физиологии коррозионно-агрессивной бактериальной микрофлоры, некоторые группы микроорганизмов не только не являются антагонистами по отношению друг к другу, а даже, наоборот, создают биоценоз, поддерживающий их жизнедеятельность (рис.). Наиболее ярким примером такого биоценоза является взаимное существование углеродо-окисляющих бактерий (УОБ), СВБ и тионовых бактерий. Роль УОБ в данном сообществе сводится к потреблению в процессе жизнедеятельности кислорода и формировании анаэробной среды, окислению углеводородов нефти с образованием промежуточных продуктов неполного окисления – спиртов, альдегидов, которые в создавшихся анаэробных условиях потребляются СВБ в процессе питания.

Анализ биозараженности нефтепромысловых сред Ванкорского нефтегазового месторождения производили в соответствии с существующими нормами [7].

Таблица 1. Количественный состав Постгейта «В»

Состав	Количество, г
Калий фосфорнокислый двузамещенный	0,5
Натрий хлористый	1,0
Кальций сернокислый	1,0
Магний сернокислый	2,0
Натрий молочнокислый	3,5
Дрожжевой экстракт	1,0
Аскорбиновая кислота	1,0
Тиогликолевая кислота	1,0
Железо сернокислое закисное	0,5
Натрий сернистый	0,2
Водопроводная вода	До 1,0

Для обнаружения и культивирования СВБ использовалась среда Постгейта «В»-состава, представленного в табл. 1.

Для обнаружения и количественного подсчета бактерий пробы вод были рассеяны в склянки с питательными средами методом предельных разведений. Сущность метода заключается в определении минимального количества посевного материала, содержащего одну бактериальную клетку. Для этого готовят последовательно разведения из 1 мл исходной пробы в питательной среде. Далее посевные склянки инкубируют при температуре

32–36 °С и наблюдают в течение 15–20 дней. О наличии СВБ судили по появлению черного осадка сульфида железа, образующегося при взаимодействии сероводорода (продукта жизнедеятельности бактерий) с ионами железа, содержащимися в питательной среде. Считается, что в выросшем посеве, где использовано максимальное разведение, присутствует одна клетка. Расчет клеток бактерий проводят по формуле (1):

$$M = 10^{n-1}/V, \quad (1)$$

где M – число бактериальных клеток в исходной воде;

Таблица 2. Количество и индекс активности СБВ в отобранных пробах

Скважина	Куст	Свита	Место отбора	СБВ, кл/мл	Индекс активности
319	7	Яковлевская свита 3-7	Устье	10 ⁷	50
332	14		Устье	10 ²	50
300	10		Устье	10 ⁵	50
301	8		Устье	10 ⁶	50
315	105		Устье	10 ⁶	50
322	1		Устье	10 ⁶	50
458	101		Устье	10 ⁴	50
467	10		Устье	10 ⁶	50
346	2		Устье		
351	2		Устье	1-10	33
335	2		Устье	10 ⁴	50
377	3		Устье	10 ⁵	50
447	3		Устье	10 ⁶	50
449	3		Устье		
453	4		Устье	10 ⁶	50
361	6	Яковлевская свита 3-7	Устье	10 ⁷	50
376	15		Устье		
386	17		Устье		
381	17		Устье		25
536	21		Устье	10 ⁶	50
542	109		Устье	10 ⁶	50
552	109		Устье	10 ⁶	50
564	109		Устье	10 ⁵	50
577	108		Устье	10 ⁶	50
101	101	Нижнехетская свита 3-4	Устье	10 ⁷	50
100	101		Устье	10 ⁶	50
112	100		Устье		
134	3		Устье	10 ³	33
128	4		Устье		
117	5		Устье	10 ⁴	50
118	5		Устье	10 ³	33
144	17		Устье	10 ⁶	50
151	17		Устье	10 ⁴	33
184	111		Устье	10 ⁷	50
188	110		Устье		
190	110		Устье	10 ⁷	50
729	14	Нижнехетская свита 1	Устье	10 ⁴	50
723	7		Устье	10 ⁴	50
701	102		Устье	10	33
703	102		Устье	10 ³	33

Таблица 2. Количество и индекс активности СВБ в отобранных пробах

Скважина	Куст	Свита	Место отбора	СВБ, кл/мл	Индекс активности
58	ВДК-5	Долганская 1-Нс	Устье		
54	ВДК-5		Устье		
36	ВДК-3		Устье		
33	ВДК-3		Устье	1-10	33
32	ВДК-3		Устье		
7	ВДК-1		Устье		
4	ВДК-1		Устье		
2	ВДК-1		Устье		
60	ВДК-5	Долганская 1-3	Устье		
57	ВДК-5		Устье		
49	ВДК-5		Устье	10 ⁴	33
31	ВДК-3		Устье	1-10	33
30	ВДК-3		Устье	1-10	33
28	ВДК-3		Устье		
17	ВДК-2		Устье	10 ²	33
15	ВДК-2		Устье		
13	ВДК-2	Устье			
11	ВДК-1	Долганская 1-3	Устье		
9	ВДК-1		Устье		
6	ВДК-1		Устье		
3	ВДК-1		Устье	10 ⁴	50
После РВС	БКНС-2			10 ⁴	50
После БКНС	БКНС-2			10 ⁶	50
После РВС	БКНС-4			10 ⁴	50
После БКНС	БКНС-4				
			107	50	
536	21	Отложения с внутренней поверхности НКТ		Адгезир. СВБ отс.	
322	1	Отложения с внутренней поверхности НКТ		Адгезир. СВБ отс.	
724	7	Отложения с внутренней поверхности НКТ		Адгезир. СВБ отс.	

10 – коэффициент разбавления; n – порядковый номер разведения, из которого сделан посев в последнюю склянку, где отмечен рост бактерий; V – объем исходной воды, взятой для посева, мл.

Индекс активности для СВБ определялся по скорости образования сульфида железа в посевной склянке. Индекс активности принимают равным 100 ед.

при образовании черного осадка сульфида железа за 1 сут, 50 – при образовании осадка за 2 сут, 33 – за 3 сут и т. д.

Индекс активности рассчитывали по формуле (2):

$$J = 100/a, \quad (2)$$

где a – сульфидный осадок (может быть равным 50, 33 и т. д. по убывающей).

Результаты определения количества и индекса активности СВБ в отобранных пробах представлены в табл. 2, из которой следует, что содержание СВБ в пробах добываемой продукции варьирует в широких пределах – от единиц до 10⁷ кл/см³. Продукция практически всех пластов, включая водоносные, заражена СВБ. Средняя зараженность СВБ проб из Яковлевской

свиты и Нижнехетской свиты 3–4 составляет 10^5 кл/см³, из Нижнехетской свиты – $1 \cdot 10^3$ кл/см³, из водоносных пластов – 10 кл/см³. Биозараженность подтоварной воды, используемой для поддержания пластового давления (ППД), составляет 10^4 – 10^7 кл/см³. Индекс активности СВБ очень высокий – в большинстве проб почернение в склянках появляется уже к концу вторых суток термостатирования.

Анализ адгезированных СВБ на внутренней поверхности фрагментов НКТ производили в соответствии с РД 39-0147103-350-89 «Оценка бактерицидной эффективности реагентов относительно адгезированных клеток СВБ при лабораторных испытаниях» [8]. В проанализированных фрагментах НКТ со скв. 536, 322 и 724 живых форм адгезированных СВБ не обнаружено. Это, скорее всего, связано с тем, что с момента подъема НКТ до исследования соскобов прошло много времени, что и привело к гибели адгезированного биоценоза. В устьевых пробах со скв. 536 и 322 содержится

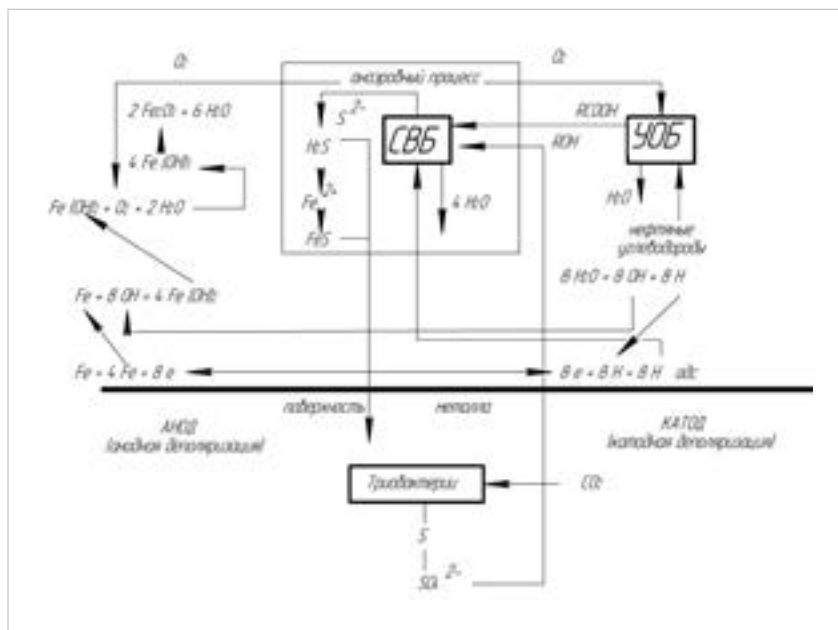


Схема биоценоза коррозионно-агрессивной бактериальной микрофлоры нефтяных пластов и нефтепромысловых объектов

большое количество – 10^6 кл/см³ – планктонных СВБ.

Результаты анализа позволили отследить динамику образования и установить количественные характеристики бактериальной коррозии. На основе полученных

результатов можно прогнозировать биологическую коррозию и разработать программу по профилактике и борьбе с коррозионным разрушением скважинного и другого оборудования месторождений нефти и газа. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Глущенко В.Н., Силин М.А., Герин Ю.Г. Нефтепромысловая химия. М.: Интерконтакт Наука, 2009. Т. 5. Предупреждение и устранение асфальтосмолапарафиновых отложений. 475 с.
2. Биккулов А.З., Нигматуллин Р.Г., Камалов А.К., Шолом В.Ю. Органические нефтяные отложения и их утилизация. Уфа: Уфимский ГАТУ, 1997. 180 с.
3. Сьюмен Д., Эллис Р., Снайдер Р. Справочник по контролю и борьбе с пескопроявлениями в скважинах. М.: Недра, 1986. 176 с.
4. Подсчет запасов Ванкорского месторождения: Отчет ЗАО «Красноярскгеофизика». Кн. 2. Красноярск, 2007. 159 с.
5. ГОСТ 9.908–85. Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости. М., 1985. С. 8–15.
6. Стандарт ОАО «НК «Роснефть» № П1-01 ЦЦ-080. Порядок проведения лабораторных и опытно-промысловых испытаний химических реагентов: дезэмульгаторов, ингибиторов коррозии, ингибиторов-бактерицидов, ингибиторов солеотложений на объектах добычи углеводородного сырья компании. М., 2009. С. 5–8.
7. ГОСТ 9.602–2005. Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии. М.: Стандартиформ, 2006.
8. Закиров В.Р., Даминов А.А., Михайлов А.Г. и др. Об электрохимическом разрушении погружного оборудования на скважинах с частотно-регулируемыми станциями управления // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2008. № 9. С. 12–18.

REFERENCES

1. Glushchenko V.N., Silin M.A., Gerin Yu.G. Oil-Field Chemistry. Moscow, Intercontact Science, 2009, Vol. 5. Prevention and Elimination of Asphaltene-Resin-Paraffin Deposits, 475 pp. (In Russian)
2. Bikkulov A.Z., Nigmatullin R.G., Kamalov A.K., Sholom V.Yu. Organic Oil Deposits and their Utilization. Ufa, Ufa State Aviation Technical University, 1997, 180 pp. (In Russian)
3. Suman D., Ellis R., Snyder R. Reference Book on Control and Protection from Sand Ingresses in Wells. Moscow, Nedra, 1986, 176 pp. (In Russian)
4. Reserve Calculation of the Vankor Field: Report of Krasnoyarskgeofizika CJSC. Book 2. Krasnoyarsk, 2007, 159 pp. (In Russian)
5. GOST 9.908–85. Uniform Anti-Corrosion and Anti-Aging System. Metals and Alloys. Methods of Establishing Corrosion and Corrosion Resistance Indicators. Moscow, 1985, P. 8–15. (In Russian)
6. Standard of Oil Company «Rosneft» OJSC No. P1-01 ЦЦ-080. Procedure for Laboratory and Field Tests of Chemical Reagents: Demulsification Agents, Corrosion Inhibitors, Inhibitors-Bactericides, Salt Inhibitors at Hydrocarbon Raw Materials Recovery Facilities of the Company. Moscow, 2009, P. 5–8. (In Russian)
7. GOST 9.602–2005. Uniform Anti-Corrosion and Anti-Aging System. Undergrounds Structures. General Anti-Corrosion Requirements. Moscow, Standartinform, 2006. (In Russian)
8. Zakirov V.R., Daminov A.A., Mikhaylov A.G., et al. On the Electrochemical Destruction of Downhole Equipment at Wells with Frequency-Controlled Management Stations. Avtomatizatsiya, telemekhanizatsiya i svyaz' v nefyanoi promyshlennosti = Automation, Telemechanization and Communication in the Oil Industry, 2008, No. 9, P. 12–18. (In Russian)