

# Предотвращение образования сложных железосодержащих осадков в процессе добычи обводненной нефти

**В.К. Миллер**

инженер 1 кат. ОМТП  
VKMiller@udmurtneft.ru

**Н.С. Булдакова**

к.х.н., инженер 2 кат. ОМТП  
NSBuldakova@udmurtneft.ru

**О.А. Овечкина**

заместитель директора по ИД  
OAOvechkina@udmurtneft.ru

**Е.Ю. Коробейникова**

к.х.н., инженер 2 кат. КЛ  
EYKorobejnikova@udmurtneft.ru

ЗАО «Ижевский нефтяной научный центр»,  
Ижевск, Россия

**Эксплуатация месторождений ОАО «Удмуртнефть» сопровождается совокупностью осложняющих добычу факторов, одним из которых являются солеотложения в глубинно-насосном оборудовании. Образующиеся осадки характеризуются сложным компонентным составом, с преобладанием солей железа в виде сульфида. Для снижения негативного влияния солеотложений известно множество методов борьбы, но наиболее широко применяются химические реагенты, направленные на предотвращение или удаление уже образовавшихся осадков.**

Современный этап эксплуатации большинства нефтяных месторождений России, находящихся на поздней стадии разработки, характеризуется наличием комплекса осложняющих добычу факторов: высокая вязкость добываемой продукции, коррозия нефтепромыслового оборудования (НПО), образование устойчивых водонефтяных эмульсий, механические примеси в виде частиц минеральной породы и продуктов коррозии, формирование соле- и асфальтосмолопарафиновых отложений [1]. Перечисленная совокупность осложнений присутствует на большинстве месторождений, разрабатываемых компанией ОАО «Удмуртнефть». В частности для Лиственского и Мишкинского месторождений компании, характеризующихся высокой обводненностью добываемой продукции и наличием системы поддержания пластового давления (ППД) пресным заводнением, наиболее выражено негативное влияние таких факторов как коррозия и солеотложения, что видно из распределения осложненного фонда скважин (рис. 1а). При этом в последнее время отмечается негативная динамика роста отказов скважин по причине коррозионного разрушения и засорения осадками глубинно-насосного оборудования (ГНО), что коррелируется с ростом количества механических примесей, выносимых с добываемой жидкостью (рис. 1б).

Исходя из полученных усредненных данных (таб. 1) по количественному и качественному составу отложений, отобранных с рабочих органов ГНО, и выносимых механических примесей, отмечается идентичность их состава. Вместе с тем отложения имеют сложный комплексный характер и существенно отличаются от состава солеотложений, наиболее распространенных при добыче обводненной нефти [2]. В составе отложений, характерных для Лиственского и Мишкинского месторождений, преобладают соединения железа в виде сульфида,

следующим преобладающим компонентом являются карбонатные отложения кальция и магния, однако, на их долю приходится в среднем не более 30%.

Причинами, обуславливающими подобный компонентный состав осадков, является сочетание ряда факторов, особенных для условий добычи данных месторождений:

- обводненность добываемой продукции более 80%;
- длительное применение пресной воды в качестве агента заводнения;
- сильная коррозионная агрессивность попутно-добываемой воды, связанная с наличием сероводорода, углекислого газа и высокой биозараженностью сульфатвосстанавливающими бактериями (СВБ) [3].

Перечисленные параметры определяют присутствие в добываемой жидкости соединений железа (III), которые в пересчете на  $Fe^{3+}$  составляют в среднем порядка 5 и 30 мг/дм<sup>3</sup> для Лиственского и Мишкинского месторождений соответственно.

Изначально в исходной, закачиваемой в систему ППД, пресной воде содержание железа не превышает 0,1 мг/дм<sup>3</sup>, однако присутствие в ней растворенного кислорода в количестве 5–7 мг/дм<sup>3</sup> обуславливает насыщение закачиваемой воды ионами железа в результате протекающих интенсивных процессов кислородной коррозии стальных труб системы ППД. Помимо этого источником железа служат соляно-кислотные обработки призабойной зоны добывающих скважин, применяемые для интенсификации добычи.

Отложения осадков сложного состава происходят на стенках нижних участков эксплуатационных колонн, в приемных и рабочих органах электроцентробежных насосов, что приводит к возникновению вибраций, разрушению узлов, и как результат, является причиной снижения или полной потери производительности скважинных насосных установок и отказов ГНО [2].

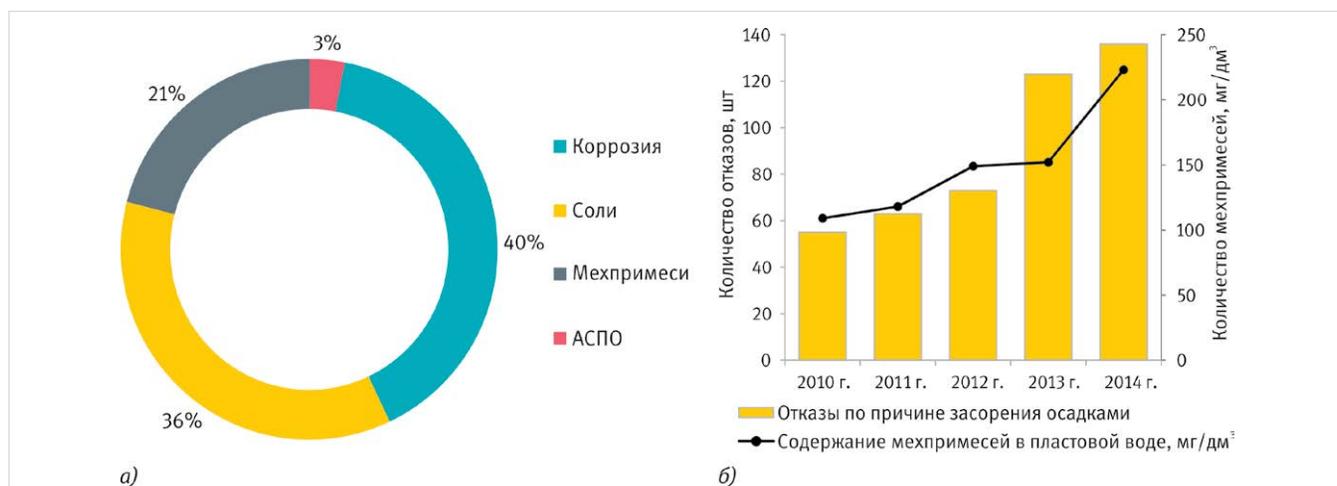


Рис. 1 – Распределение осложненного фонда скважин по типам осложнений (а), динамика отказов скважин по причине засорения осадками и выносу механических примесей (б) для Лиственского и Мишкинского месторождений

**В работе проведено тестирование ингибиторов солеотложений марок СНПХ-5313 Н и Сонсол-2003 для определения влияния присутствия в пластовой воде ионов железа на эффективность ингибиторной защиты от карбоната и сульфата кальция, и установления оптимальных дозировок для предотвращения образования солей железа.**

**Материалы и методы**

Согласно РД 39-0147586-041 ВНИИ-86, установлен компонентный состав отложений и механических примесей с применением гравиметрического, спектрофотометрического и титриметрического методов исследования.

Титриметрическим и спектрофотометрическими методами определена эффективность действия ингибиторов солеотложений.

**Ключевые слова**

осложненный фонд скважин, солеотложения, сульфид железа, ингибиторы солеотложений, коррозия

Для снижения негативного влияния солеотложений известно множество методов борьбы, но наиболее широко применяются химические реагенты, действие которых направлено на снижение или удаление отрицательного влияния данного осложняющего фактора. В частности, для предупреждения образования осадков неорганических солей используются ингибиторы солеотложений (ИСО), введение которых в добываемую жидкость в оптимальной концентрации оказывает влияние на процесс кристаллообразования. Однако большинство известных промышленно выпускаемых марок реагентов направлены на ингибирование солей карбоната и сульфата кальция, и только ограниченное количество реагентов заявлено производителем для борьбы со сложными отложениями, одновременно содержащими гипс, кальцит и нерастворимые соединения железа (сульфиды и оксиды). В частности, к таким реагентам относятся ингибиторы солеотложений Сонсол-2003 и СНПХ-5313Н.

В данной работе проведено тестирование выше указанных ИСО с целью определения влияния ионов железа (III) в пластовых водах на эффективность ингибирования карбоната и сульфата кальция, а также установления оптимальных дозировок реагентов для предотвращения образования солей железа применительно к месторождениям ОАО «Удмуртнефть».

Первым этапом тестирования ИСО является проверка их эффективности в диапазоне концентраций на имитатах пластовых вод, позволяющих смоделировать осаждение солей карбоната и сульфата кальция [4]. Установлено, что требуемый уровень эффективности ингибирования, равный 90% на имитатах карбонатных и сульфатных пластовых вод, обоими реагентами достигается при дозировке 20 мг/дм<sup>3</sup> (таб. 2).

Реагенты демонстрируют высокую эффективность по ингибированию образования кальцита и гипса при низких дозировках, однако, используемые для тестирования модельные воды [4] не содержат ионов железа, что не соответствует составу реальных пластовых сред, добываемых на месторождениях ОАО «Удмуртнефть». Для оценки возможного влияния присутствия железа на эффективность рассматриваемых ИСО были приготовлены имитаты пластовых вод с различным содержанием ионов железа (III), и определена эффективность ИСО при 20 мг/дм<sup>3</sup> в данных условиях (рис. 2).

Появление в системе ионов железа (III) существенно сказывается на процессе ингибирования осадкообразования, причем наибольшее влияние отмечается при осаждении сульфата кальция. Для обоих реагентов наблюдается схожая динамика ингибирования образования гипса — резкое снижение эффективности при содержании Fe<sup>3+</sup> 10 мг/дм<sup>3</sup>. Последующий рост концентрации ионов железа в системе не оказывает выраженного влияния, при этом эффективность реагентов не превышает 17%. Присутствие ионов железа (III) в модельной воде в количестве 20 и 40 мг/дм<sup>3</sup> снижает эффективность ингибирования отложений карбоната кальция практически в 2 раза. При сравнении ингибиторов между собой можно отметить, что реагент СНПХ-5313 Н в присутствии Fe<sup>3+</sup> в концентрации 10 мг/дм<sup>3</sup> демонстрирует лучшие результаты по предотвращению образования как CaCO<sub>3</sub>, так и CaSO<sub>4</sub>. При содержании Fe<sup>3+</sup> 20 и 40 мг/дм<sup>3</sup> оба ИСО показывают близкие значения эффективности относительно солей кальция. Таким образом, наличие в пластовой воде ионов трехвалентного железа оказывает значительное влияние на эффективность ингибиторов солеотложений, и соответственно их тестирование на модельных водах в

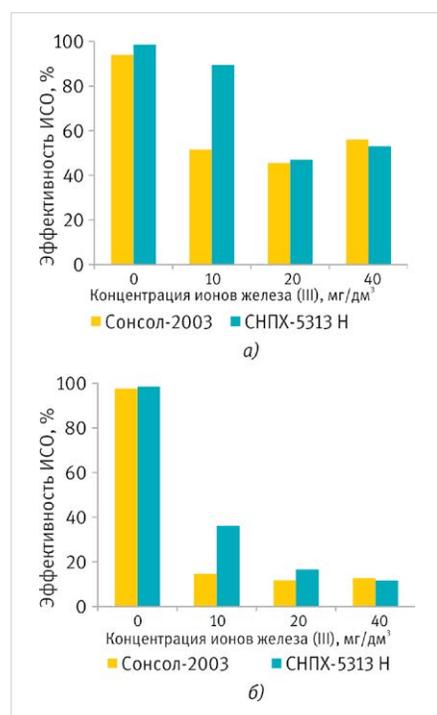


Рис. 2 — Оценка влияния присутствия ионов железа (III) на эффективность ИСО для предотвращения солей карбоната (а) и сульфата (б) кальция

Содержание, % масс.	Объект	
	Механические примеси	Отложения с ГНО
FeS	65,3	63,4
Гипс CaSO <sub>4</sub> •2H <sub>2</sub> O	1,6	4,3
MgCO <sub>3</sub>	7,7	8,8
Кальцит CaCO <sub>3</sub>	23,4	20,2
MgSO <sub>4</sub> •7H <sub>2</sub> O	-	2,4
Остаток нерастворимый в HCl (SiO <sub>2</sub> )	2,0	0,9

Таб. 1 — Компонентный состав отложений и механических примесей

Концентрация, мг/дм <sup>3</sup>	Эффективность ИСО по карбонату кальция, %		Эффективность ИСО по сульфату кальция, %	
	СНПХ-5313Н	Сонсол-2003	СНПХ-5313Н	Сонсол-2003
5	59	97	52	74
10	85	97	75	88
<b>20</b>	<b>90</b>	<b>98</b>	<b>90</b>	<b>90</b>
30	87	98	80	92
40	88	99	70	92
50	77	99	68	92

Таб. 2 — Эффективность ингибиторов солеотложений Сонсол-2003 и СНПХ-5313Н по предотвращению образования карбоната и сульфата кальция

«ИННОВАЦИОННЫЕ  
РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ  
КРС, ПНП, ГНКТ,  
ВНУТРИСКВАЖИННЫЕ  
РАБОТЫ И  
СУПЕРВАЙЗИНГ  
В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ  
И РАЗВЕТВЛЕННЫХ  
СКВАЖИНАХ»

6-10 июня 2016



Инновационные  
Технологии

+7 (3452) 534 009  
togcf@bk.ru, in\_tech@bk.ru  
WWW.TOGC.INFO

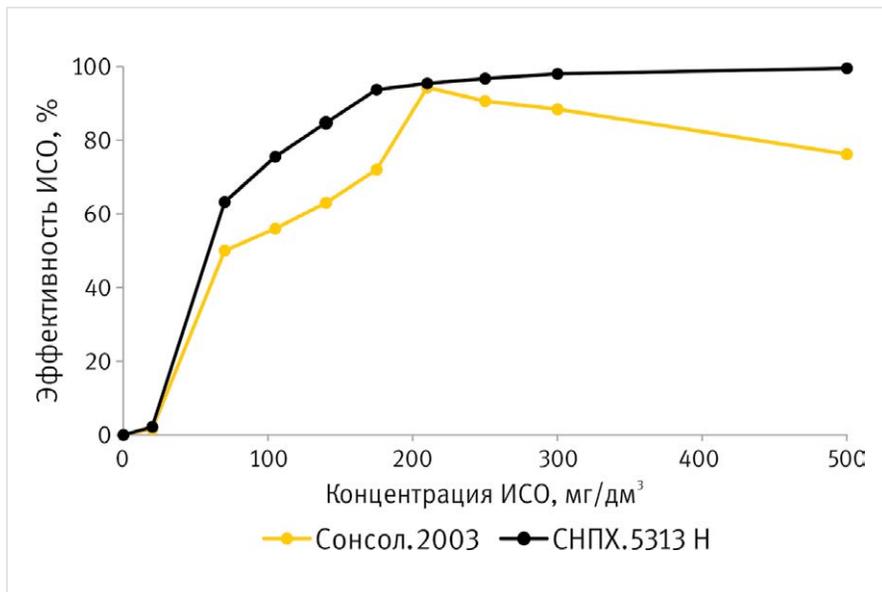


Рис. 3 – Зависимость эффективности ИСО от его концентрации на модельной воде, содержащей ионы железа(III)

отсутствии  $Fe^{3+}$  не позволяет корректно оценить предотвращение осадкообразования в реальных системах содержащих железо (III).

Оценка эффективности и установление оптимальных дозировок ингибиторов солеотложений для предотвращения образования солей железа проводилась согласно методике, указанной в ТУ 2458-025-00151816-2003 на ИСО Сонсол-2003, в условиях моделирования осаждения карбоната железа из иммитата пластовой воды с содержанием  $Fe^{3+}$  20 мг/дм³.

При дозировке 20 мг/дм³, обеспечивающей высокую эффективность реагентов по предотвращению кальцита и гипса в условиях отсутствия  $Fe^{3+}$ , оба реагента не проявляют ингибирующей способности к соединениям железа на модельной железосодержащей воде. С увеличением дозировки ИСО их эффективность возрастает и достигает значения на уровне 90% при концентрациях 175 и 210 мг/дм³ для СНПХ-5313Н и Сонсола-2003 соответственно (рис. 3). При этом, в случае ИСО Сонсола-2003, полученная зависимость проходит через максимум с последующим снижением ингибирующей способности реагента при росте дозировки.

Однако, если ориентироваться на визуализацию процесса ингибирования осадкообразования из железосодержащей модельной воды, необходимо отметить, что отсутствие структурированного осадка при введении данных реагентов наблюдается при более низких концентрациях: 105 мг/дм³ для СНПХ-5313Н и 140 мг/дм³ для Сонсола-2003. В этих случаях образуется устойчивый коллоидный раствор, соответственно, указанные дозировки для рассматриваемых ИСО можно считать оптимальными для предупреждения отложений соединений железа.

Следовательно, учитывая специфику отложений, образуемых при добыче обводненной нефти на Лиственском и Мишкинском месторождениях ОАО «Удмуртнефть», а также с целью повышения эффективности борьбы со сложными железосодержащими осадками и сокращения отказов по причине засорения, необходимо подбирать оптимальную дозировку реагента, эффективную

по всем солям, образующим комплексные осадки. При этом, учитывая тот факт, что все пластовые воды месторождений компании ОАО «Удмуртнефть» содержат ионы железа в той или иной концентрации, необходимо в будущем все ингибиторы солеотложений, подбираемые для промысла, тестировать в условиях присутствия ионов железа, что позволит более корректно подойти к вопросу подбора оптимальной дозировки и высокоэффективного реагента для данных условий добычи.

#### Итоги

Рассмотрена возможность применения ингибиторов солеотложений СНПХ-5313 Н и Сонсол-2003 с целью предотвращения образования железосодержащих осадков при добыче обводненной нефти.

#### Выводы

1. Наличие ионов железа (III) в попутно-добываемой воде оказывает существенное влияние на эффективность ингибиторов солеотложений по предотвращению образования солей карбоната и сульфата кальция.
2. При образовании сложных осадков при тестировании ингибиторов необходимо подбирать оптимальную концентрацию реагента, эффективную по всем солям, образующим комплексные осадки.

#### Список литературы

1. Ибрагимов Н.Г., Хафизов В.В. Осложнения в нефтедобыче. Уфа: Монография, 2003. 302 с.
2. Гарифуллин Ф.С. Предупреждение образования комплексных сульфидсодержащих осадков в добыче обводненной нефти. Уфа: УГНТУ, 2002. 267 с.
3. Тоцевиков Л.Г., Миллер В.К., Садиков Э.Е., Назаров Д.А. Решение проблемы коррозии ГНО малодобитного фонда скважин // Экспозиция Нефть Газ. 2015. №5 (44). С. 39–42.
4. Единые технические требования по основным классам химических реагентов. М.: Роснефть, 2016. 183 с.

## Preventing the formation of complex iron-containing sediments in the water-cut oil production

### Authors:

**Veronika K. Miller** — 1 category engineer; [VKMiller@udmurtneft.ru](mailto:VKMiller@udmurtneft.ru)

**Nadezhda S. Buldakova** — Ph.D., 2 category engineer; [NSBuldakova@udmurtneft.ru](mailto:NSBuldakova@udmurtneft.ru)

**Olga A. Ovechkina** — deputy director for production engineering; [OAOvechkina@udmurtneft.ru](mailto:OAOvechkina@udmurtneft.ru)

**Elena Yu. Korobeynikova** — Ph.D., 2 category engineer; [EYKorobeynikova@udmurtneft.ru](mailto:EYKorobeynikova@udmurtneft.ru)

JSC «Izhevsk Oil Research Center», Izhevsk, Russian Federation

### Abstract

Operation oilfields "Udmurtneft" is accompanied by a set of complications the production factors, one of which is the scaling of downhole pumping equipment. A formed sediment characterized by precipitation component composition, with a predominance of iron salts in the form of sulfide. The most widely known method to combat scaling are chemicals used for the prevention or removal of already formed deposits. In the work was carried out testing of inhibitors scale marks SNPH-5313 N and Sonsol-2003 to determine the effect of the presence of formation water of iron ions on the efficiency of inhibitory anti-carbonate and calcium sulfate, and the

establishment of the optimal dose for the prevention of iron salts.

### Materials and methods

According to the Institute of RD-86 39-0147586-041 was defined component composition of sediments and solids using gravimetric, spectrophotometric and titrimetric methods. Titrimetric and spectrophotometric methods were used for determining the effectiveness of the scale inhibitors.

### Results

The possibility of using scale inhibitors SNPH 5313 N and Sonsol-2003 to prevent the formation of iron deposits in the extraction of water-cut oil.

### Conclusions

1. The presence of iron (III) ions in of produced water has a significant impact on the efficiency scale inhibitor to prevent the formation of carbonate and calcium sulfate salts.
2. The formation of complex precipitation when testing inhibitors is necessary to select the optimal reagent concentrations, effectively all the salts forming the complex precipitates.

### Keywords

complicated wells, scaling, iron sulfide, scale inhibitors, corrosion

### References

1. Ibragimov N.G., Khafizov V.V. *Oslozhneniya v neftedobyche* [Complications in the oil industry]. Ufa: *Monografiya*, 2003, 302 p.
2. Garifullin F.S. *Preduprezhdenie obrazovaniya kompleksnykh sul'fidoderzhashchikh osadkov v dobyche obvodennnoy nefti*

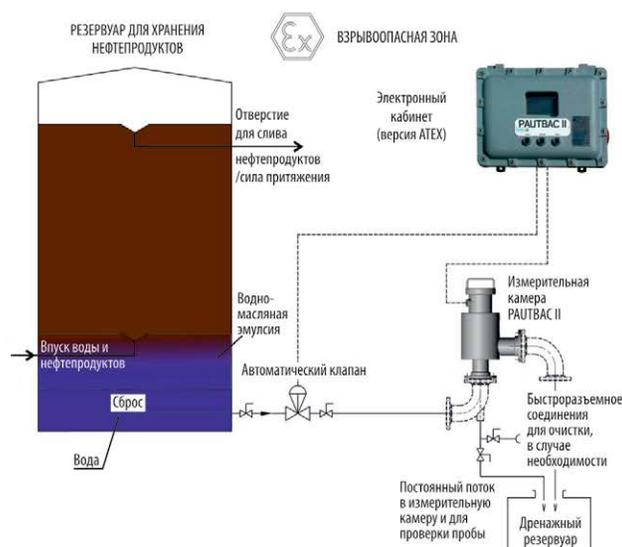
[Preventing the formation of complex sulfide precipitation in the extraction of cut oil] Ufa: *UGNTU*, 2002, 267 p.

3. Toshchevikov L.G., Miller V.K., Sadiokov E.E., Nazarov D.A. *Reshenie problemy korrozii GNO malodebitnogo fonda skvazhin* [The solution on corrosion problem of downhole

pumping equipment marginal wells]. Exposition Oil Gas, 2015, issue 5(44), pp. 39–42.

4. *Edinye tekhnicheskie trebovaniya po osnovnym klassam khimicheskikh reagentov* [Common specifications for basic classes of chemicals]. Moscow: *Rosneft'*, 2016, 183 p.

## РАУТВАС II СЛИВ ПОДТОВАРНОЙ ВОДЫ ИЗ РЕЗЕРВУАРОВ



SERES  
environnement



Система автоматического слива подтоварной воды Pautbac II.

Взрывозащищенное исполнение.

Установка на действующий резервуар без остановки технологического процесса.

Работает с любым типом нефтепродукта.

Система позволяет:

- сократить потери нефтепродуктов;
- полностью исключить влияние человеческого фактора;
- защитить резервуар от бактерий и коррозии;
- значительно снизить нагрузку на очистные системы;
- оптимизировать вместимость резервуара;
- повысить уровень безопасности.



ООО «АРД Групп»

г. Рязань, 390022,  
196 км. (Окружная дорога),  
д.12, оф.23

Тел. +7 (4912) 30-05-29  
Моб: +7 (964) 158-31-21  
+7 (906) 64-88-999

E-mail: [info@ardgrupp.ru](mailto:info@ardgrupp.ru)  
[a.levchenkov@ardgrupp.ru](mailto:a.levchenkov@ardgrupp.ru)