

## ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ ВОДЫ НА СОЛЕОТЛОЖЕНИЕ

### THE INFLUENCE OF WATER ELECTROCHEMICAL ACTIVATION ON SALT DEPOSITION

**С.С. Костылева**  
**Sofiya S. Kostyleva**

Уфимский государственный  
нефтяной технический  
университет,  
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Petroleum  
Technological University,  
Ufa, Russian Federation

**Х.К. Джумабаев**  
**Hurshedzhon K. Dzhumabaev**

Уфимский государственный  
нефтяной технический  
университет,  
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Petroleum  
Technological University,  
Ufa, Russian Federation

**А.С. Тюсенков**  
**Anton S. Tyusenkov**

Уфимский государственный  
нефтяной технический  
университет,  
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Petroleum  
Technological University,  
Ufa, Russian Federation

В настоящее время проблема солеотложения на поверхности оборудования характерна для многих отраслей промышленности. Наибольшее распространение она получила на предприятиях водоснабжения и нефтедобывающей промышленности.

Отложения солей в нефтегазопромысловом оборудовании часто приводят к развитию локальных коррозионных процессов и могут создавать взрывопожароопасные ситуации при наличии в перекачиваемом продукте попутного нефтяного газа.

В работе рассмотрено влияние активации водной фазы на отложение солей в теплофикационном и нефтедобывающем оборудовании. Проведены гравиметрические испытания, которые показали, что в среде анолита не происходит отложение солей на поверхности металла. Комплексонометрическим методом было определено количество ионов кальция после термостатирования в пробах, содержащих имитат пластовой воды, анолит, ингибиторы солеотложения, и в средах с различными комбинациями указанных веществ. Установлено, что анолит можно использовать в качестве агента, предотвращающего солеотложение на поверхности металла. Однако введение ингибитора солеотложения не всегда приводит к увеличению эффективности защиты.

Currently, the problem of salt deposition on the surface of equipment is typical for many industries. It is widely spread at the enterprises of water supply and the oil-extracting industry.

Salt deposits in oil and gas equipment often lead to the development of local corrosion processes and can cause explosive and fire hazardous situations if associated gas is present in the pumped product.

The influence of the aqueous phase activation on the salt deposition in the heating and oil-extracting equipment is considered in this work. Gravimetric tests have been carried out, which showed that in the anolyte medium, salts deposition do not occur on the surface of the metal. The amount of calcium ions after thermostating in samples containing formation water imitates, anolyte, salt deposition inhibitors, and in media with a different combination of these substances was determined by the method of complexometry. It has been established that the anolyte can be used as an agent preventing salt deposition on the metal surface. However, the introduction of a salt deposition inhibitor does not always lead to an increase in protection efficiency.

#### Ключевые слова

солеотложение, анолит, католит,  
ингибитор солеотложения,  
активация, водная фаза

#### Key words

salt deposition, anolyte,  
catholyte, salt deposition inhibitor,  
activation, water phase

В настоящее время проблема солеотложения на поверхности оборудования характерна для многих отраслей промышленности. Наибольшее распространение она получила на предприятиях водоснабжения и нефтедобывающей промышленности.

Отложения солей в нефтегазопромысловом оборудовании часто приводят к развитию локальных коррозионных процессов и составляют около 40% от общего числа отказов их работы, а также могут создавать взрывопожароопасные ситуации при наличии в перекачиваемом продукте попутного нефтяного газа [1, 2].

В качестве теплоносителя в системах теплопередачи чаще всего используется вода. Образование отложений солей приводит к значительному снижению коэффициента полезного действия (КПД) теплопередающего оборудования, который снижается на 8–15% с каждым миллиметром новых отложений. В энергетических установках это приводит к пережогу топлива и повышенным выбросам в атмосферу «парниковых газов». Снижение КПД систем охлаждения приводит к перегреву технологического оборудования и увеличенным затратам энергии на подачу охлаждающей воды [3, 4].

Наиболее распространенным примером теплопередающего оборудования являются котлы всех видов (паровые и водогрейные котлы, входящие в состав котлоагрегатов, а также котлы-утилизаторы) и теплообменники, применяющиеся в энергетическом хозяйстве каждого предприятия. Другим важнейшим и повсеместно используемым видом теплообменного оборудования являются водооборотные системы охлаждения, в цикл которых включаются системы теплосъема самых различных агрегатов — конденсаторов паровых турбин, литейных машин, оборудования переработки пластическим масс и прочее.

При добыче нефти наибольший вред солеотложения наносят штанговым глубинным насосам (ШГН) и электропогружным центробежным насосам (ЭЦН). Выпадающие кристаллы солей приводят к повышенному эрозионному износу органов насосов, заклиниванию плунжера ШГН, стопорению рабочего колеса ЭЦН и т.д. Отложение солей также наблюдается внутри насосно-компрессорных труб, происходит на внутренней поверхности наземного нефтепромыслового оборудования, в групповых замерных установках, нефтесборных коллекторах и системах поддержания

пластового давления и подготовки нефти [5, 6].

Для предотвращения отложения солей на внутренней поверхности нефтепромыслового оборудования и трубопроводов применяют методы, которые можно классифицировать на реагентные и безреагентные.

К реагентным повсеместно относится использование ингибиторов солеотложений. К безреагентным методам предотвращения солеотложения можно отнести воздействие на растворы силовыми магнитными и акустическими полями [7–12], применение защитных покрытий оборудования, изменение технологического режима эксплуатации скважин (изоляция оборудования, поддержание нужного уровня давлений на забое скважины, использование хвостовиков, диспергаторов и других элементов в глубинных установках). Предполагается, что выпадение солей на поверхности оборудования можно предотвратить с помощью активации водной фазы.

В 60-х годах прошлого века сначала в Советском Союзе, а через некоторое время и в других странах появились первые электролизеры для активации растворов. Их свойства были изучены учеными Узбекского научно-исследовательского и проектного института нефтяной и газовой промышленности и были применены в подготовке буровых растворов.

В дальнейшем исследования электрохимической активации воды в основном были направлены в область сельского хозяйства, медицины и ветеринарии. Первые установки для активации воды в 1978 году производил Кокандский завод «Большевик» Мингазпрома СССР (Узбекистан). В настоящее время существуют такие электрохимические установки, как «Изумруд», «Аквахлор», «Гипохлор», «Аквадез», «Электроаквасофт» и другие.

Целью настоящей работы является определение влияния на солеобразование активированных водных растворов (анолита и католита), полученных в результате электролиза.

Анолит — бесцветная прозрачная жидкость, образуется в процессе электролиза у положительного электрода (анода) электролизёра. Анолит можно получать трех разновидностей: кислый анолит ( $\text{pH} = 1 \pm 5$ ), нейтральный анолит ( $\text{pH} = 7,0 \pm 1,5$ ) и щелочной анолит ( $\text{pH} = 9$  и более).

Католит — прозрачная жидкость, подразделяется на: католит нейтральный «КН»,  $\text{pH}$  которого составляет от 7,5 до 9,0, щелочной католит

«катодит К», имеющий рН выше 9,0. Также катодит можно подразделить на активированный (в период релаксации) и неактивированный (по окончании процесса релаксации) [13, 14].

Окислительно-восстановительный потенциал (Eh) является мерой химической активности элементов или их соединений в обратимых химических процессах, связанных с изменением заряда ионов в растворах. Eh характеризует степень активности электронов в окислительно-восстановительных реакциях, т.е. реакциях, связанных с присоединением или передачей электронов, а также является важным критерием оценки воды в процессе её электризации.

Другим важнейшим показателем является рН среды — мера активности (в очень разбавленных растворах она эквивалентна концентрации) ионов водорода в растворе, количественно выражающая его кислотность.

Введение катодита способствует смещению Eh в отрицательную сторону, а анолита — к смещению Eh в положительную сторону. Добавление в среду того или иного потока способствует протеканию электрохимических реакций, в результате которых активные ионы соли, способствующие отложению солей, образуют труднорастворимые соединения. Полученные кристаллы солей не способны осаждаться на стенках оборудования в связи с малой энергией активации и выносятся вместе с потоком среды.

Для определения влияния модифицированной жидкости на солеотложение были прове-

дены гравиметрические испытания. В ходе экспериментов определялось изменение массы металлических образцов ( $m_1 - m_0$ ) за время их пребывания при высокой температуре в среде проточной воды, анолита и катодита с последующей оценкой скорости солеотложения ( $K_m$ , г/м<sup>2</sup>ч) на поверхности образцов в зависимости от состава среды. Результаты испытаний приведены в таблице 1.

Результаты испытаний показали, что в анолите масса образцов не увеличилась. Это говорит о том, что на поверхности металла не образовались соли, из чего можно сделать вывод, что подкисление среды положительно влияет на предотвращение образования солей.

В дальнейшем испытания проводились комплексонометрическим методом на моделях пластовых вод с применением ингибитора солеотложения, анолита, а также при их совместном использовании.

К модели пластовой воды добавляли ингибиторы (Активфос и АддиТОП), анолит, либо смесь анолита с ингибитором, после чего колбы закрывали крышками и термостатировали при температуре 75 °С в течение 5 ч. Затем колбы охлаждали, отбирали пробы и титровали трилоном Б в присутствии мурексида для определения количества ионов кальция в растворе. Результаты эксперимента приведены в таблице 2. По результатам испытаний были построены графики зависимостей эффективности ингибитора от его концентрации и сочетания с анолитом (рисунки 1, 2).

**Таблица 1.** Исходные данные, результаты испытаний и расчетов

№ образца	m <sub>0</sub> , г	m <sub>1</sub> , г	S, см <sup>2</sup>	t, ч	K <sub>m</sub> , г/м <sup>2</sup> ч	рН	Eh, мВ	рН	Eh, мВ
						исходной среды		после испытаний	
Опыт № 1 (проточная вода)									
1	3,6157	3,6193	0,4846	2,5	0,0186	7,551	-41,3	9,43	-104,1
2	3,5462	3,5478	0,4804	2,5	0,0083				
3	3,6619	3,6658	0,4903	2,5	0,0199				
4	3,5695	3,5727	0,4810	2,5	0,0166				
5	3,7708	3,7738	0,4936	2,5	0,0152				
Опыт № 2 (катодит)									
1	3,6123	3,617	0,4846	2,5	0,0242	9,071	-98,3	9,622	-168,1
2	3,5427	3,5468	0,4804	2,5	0,0213				
3	3,6598	3,6641	0,4903	2,5	0,0219				
4	3,5667	3,5709	0,4810	2,5	0,0218				
5	3,7688	3,7734	0,4936	2,5	0,0233				
Опыт № 3 (анодит)									
1	3,6091	3,607	0,4846	2,5	-0,0108	5,027	48,1	8,573	-107,2
2	3,5419	3,5395	0,4804	2,5	-0,0125				
3	3,6573	3,6555	0,4903	2,5	-0,0092				
4	3,5657	3,5639	0,4810	2,5	-0,0094				
5	3,7674	3,7631	0,4936	2,5	-0,0218				

Таблица 2. Результаты экспериментов

Марка ингибитора	Содержание ионов кальция в исходном растворе, мг/дм <sup>3</sup>	Концентрация ингибитора, г/т	Объем трилона Б, пошедшего на тирование, мл	Содержание ионов кальция в пробе, после термостатирования, мг/дм <sup>3</sup>	Эффективность, %
Контрольный образец без ингибитора	396,79	0	2,5	130,26	—
Актифос	396,79	1	4,72	245,93	43,40
Актифос	396,79	5	4,88	254,27	46,53
Актифос	396,79	1 + 10 мл анолита	4,18	216,98	32,54
Актифос	396,79	5 + 10 мл анолита	4,26	221,15	34,10
Актифос	396,79	1 + 20 мл анолита	4,18	216,17	32,23
Актифос	396,79	5 + 20 мл анолита	3,58	184,91	20,50
Актифос	396,79	10 + 10 мл анолита	4,44	230,53	37,62
Актифос	396,79	10 + 20 мл анолита	4,10	212,00	30,67
Актифос	396,79	20 + 10 мл анолита	4,00	207,60	29,02
Актифос	396,79	20 + 20 мл анолита	3,82	197,41	25,20
АддиТОП	396,79	1	4,83	289,36	59,69
АддиТОП	396,79	5	4,86	292,18	60,75
АддиТОП	396,79	10	4,89	293,99	61,43
АддиТОП	396,79	1 + 10 мл анолита	4,56	273,34	53,68
АддиТОП	396,79	1 + 20 мл анолита	4,55	271,92	53,15
АддиТОП	396,79	5 + 10 мл анолита	4,18	250,49	45,11
АддиТОП	396,79	5 + 20 мл анолита	4,00	238,86	40,74
-	396,79	10 мл анолита	4,12	246,88	43,76
-	396,79	20 мл анолита	3,88	231,64	38,04
-	396,79	10 мл католита	3,46	207,50	28,98
-	396,79	20 мл католита	3,38	202,18	26,98

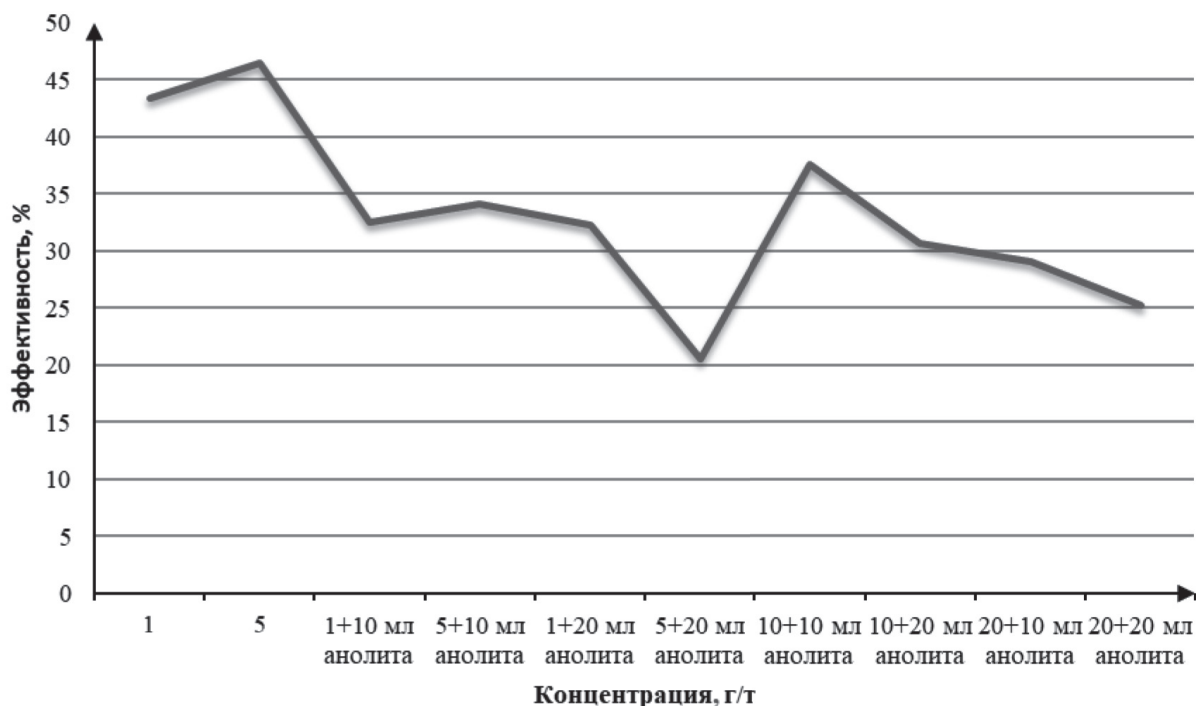


Рисунок 1. График зависимости эффективности Актифоса от его концентрации и сочетания с анолитом

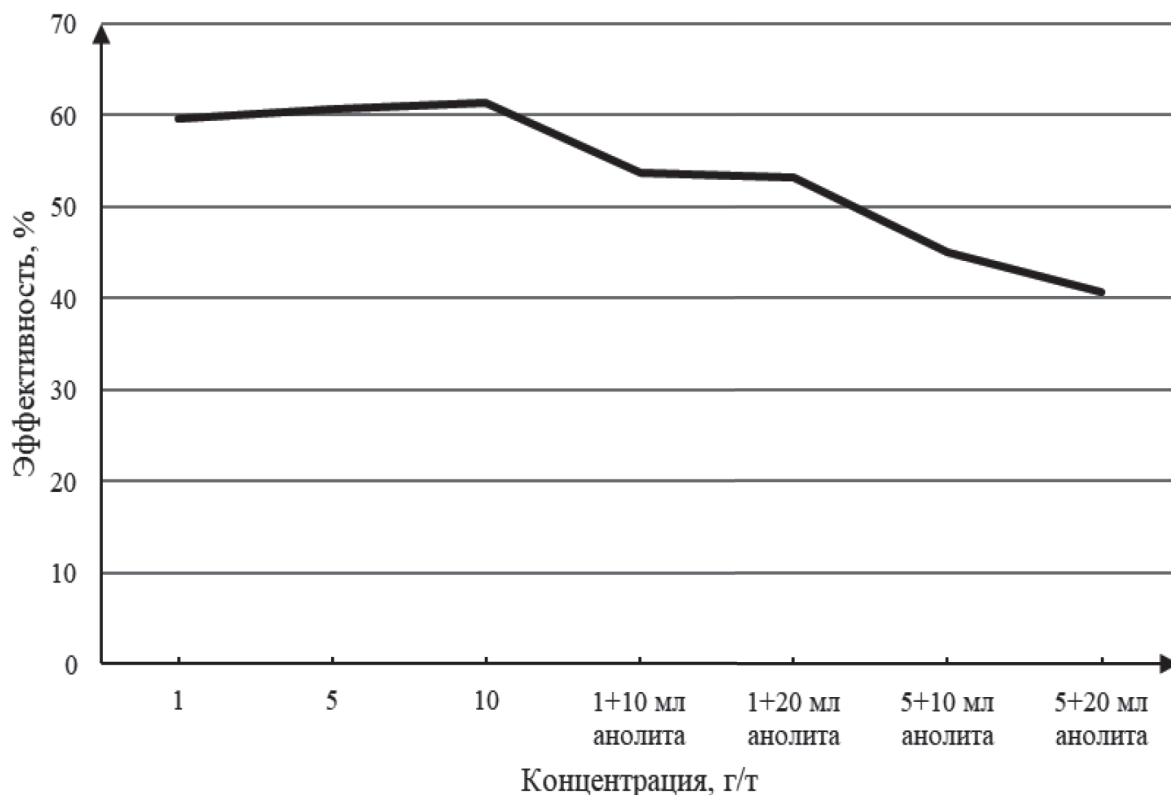


Рисунок 2. График зависимости эффективности АддиТОПа от его концентрации и сочетания с анолитом

### Вывод

По результатам анализа таблицы 2 и построенных графиков видно, что содержание ионов кальция в пробе при дозировании в раствор анолита составляет 246,8 мг/дм<sup>3</sup>, против 130,3 мг/дм<sup>3</sup> в контрольном образце. Эффективность анолита достигает 43,7%, и его

можно использовать в качестве агента для предотвращения солеобразования на поверхности металла, однако при совместном действии с ингибитором (эффективность чистого ингибитора составляет 61,4%, содержание ионов кальция 294 мг/дм<sup>3</sup>) наблюдается снижение эффективности до 53,7%.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кравцов В.В., Латыпов О.Р., Макаренко О.А., Ибрагимов И.Г. Коррозия и защита нефтезаводского и нефтехимического оборудования. М.: Химия, 2010. 344 с.
2. Черепашкин С.Е., Латыпов О.Р., Кравцов В.В. Методы исследования коррозии оборудования нефтегазового комплекса. Уфа: Монография, 2016. 104 с.
3. Гареев А.Г., Насибуллина О.А., Ибрагимов И.Г. Оценка работоспособности труб, имеющих дефекты коррозионного происхождения // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2016. Вып. 4 (106). С. 126–136.
4. Гареев А.Г., Худяков М.А., Кравцов В.В. Разрушение нефтегазового оборудования. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2010. 143 с.
5. Latypov O.R. Reduction of Salt Deposits on the Surface of Oilfield Equipment by Management of Electrochemical Parameters of the Medium // Chemical and Petroleum Engineering. November, 2015. Vol. 51, Issue 7. P. 522–525.
6. Latypov O.R., Bugai D.E., Boev E.V. Method of Controlling Electrochemical Parameters of Oil Industry Processing Liquids // Chemical and Petroleum Engineering. July, 2015. Vol. 51, Issue 3. P. 283–285.
7. Латыпов О.Р., Степанов Д.В., Бугай Д.Е. Расчет устройства для управления электрохимическими параметрами промышленных сред // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2015. Вып. 3 (101). С. 52–58.
8. Лаптев А.Б., Рахимов С.Р., Латыпов О.Р., Тюсенков А.С., Ахияров Р.Ж., Бугай Д.Е. Электрохимический метод разделения водонефтяной эмульсии // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2015. Вып. 3 (101). С. 59–68.
9. Латыпов О.Р. Защита поверхностей нефтепромыслового оборудования от солеотложения методом управления электрохимическими параметрами среды //

Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2015. № 8. С. 13–15.

10. Черепашкин С.Е., Лаптев А.Б., Бугай Д.Е., Абдуллин И.Г. Коррозия нефтепроводов при магнитной и акустической обработке флюидов // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2003. № 5. С. 85–91.

11. Латыпов О.Р. О применении агрегата для управления электрохимическими параметрами технологических жидкостей для снижения скорости коррозии нефтепромыслового оборудования // Коррозия Территории Нефтегаз. 2015. № 3 (32). С. 92–95.

12. Латыпов О.Р. Научные основы предупреждения осложнений в процессах извлечения и подготовки нефти путем модифицирования технологических жидкостей и агрегаты для его осуществления: дис. ... д-ра техн. наук. Уфа, 2016. 272 с.

13. Прилуцкий В.И., Бахир В.М. Электрохимически активированная вода: аномальные свойства, механизм биологического действия. М.: ВНИИИ мед. техники, 1997. 232 с.

14. Бахир В.М., Задорожний Ю.Г., Леонов Б.И., Паничева С.А. Электрохимическая активация: очистка воды и получение полезных растворов. М.: ВНИИИИМТ, 2001. 176 с.

## REFERENCES

1. Kravtsov V.V., Latypov O.R., Makarenko O.A., Ibragimov I.G. *Korroziya i zaschita neftezavodskogo i neftekhimicheskogo oborudovaniya* [Corrosion and Protection of Refinery and Petrochemical Equipment]. Moscow, Khimiya Publ., 2010. 344 p. [in Russian].

2. Cherepashkin S.E., Latypov O.R., Kravtsov V.V. *Metody issledovaniya korrozii oborudovaniya neftegazovogo kompleksa* [Methods for Investigating the Corrosion of Oil and Gas Equipment]. Ufa, Monograph Publ., 2016. 104 p. [in Russian].

3. Gareev A.G., Nasibullina O.A., Ibragimov I.G. *Otsenka rabotosposobnosti trub, imeyuschikh defekty korrozionnogo proiskhozhdeniya* [Evaluation of the Performance of Pipes with Corrosion Defects]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov — Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2016, Issue 4 (106), pp. 126–136. [in Russian]

4. Gareev A.G., Khudyakov M.A., Kravtsov V.V. *Razrushenie neftegazovogo oborudovaniya* [Destruction of Oil and Gas Equipment]. Ufa, UGNTU Publ., 2010. 143 p. [in Russian]

5. Latypov O.R. *Reduction of Salt Deposits on the Surface of Oilfield Equipment by Management of Electrochemical Parameters of the Medium*. *Chemical and Petroleum Engineering*, November, 2015. Vol. 51, Issue 7, pp. 522–525.

6. Latypov O.R., Bugai D.E., Boev E.V. *Method of Controlling Electrochemical Parameters of Oil Industry Processing Liquids*. *Chemical and Petroleum Engineering*, July 2015, Vol. 51, Issue 3, pp. 283–285.

7. Latypov O.R., Stepanov D.V., Bugai D.E. *Raschet ustroystva dlya upravleniya elektrokhimicheskimi parametrami promyslovykh sred* [Calculation of Device for Controlling Field Medium Electrochemical Parameters]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov — Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2015, Issue 3 (101), pp. 52–58. [in Russian].

8. Laptev A.B., Rakhimov S.R., Latypov O.R., Tyusenkov A.S., Akhiyarov R.Zh., Bugai D.E. *Elektrokhimicheskiy metod razdeleniya vodoneftyanoy emul'sii* [Electrochemical Method of Oil-Water Emulsion Separation]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov — Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2015, Issue 3 (101), pp. 59–68. [in Russian].

9. Latypov O.R. *Zashchita poverhnostey neftepromyslovogo oborudovaniya ot soletozheniya metodom upravleniya elektrokhimicheskimi parametrami sredy* [Reduction of Salt Deposits on the Surface of Oil Field Equipment by Management Electrochemical Parameters Medium]. *Khimicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie — Chemical and Oil and Gas Engineering*, 2015, No. 8, pp. 13–15. [in Russian].

10. Cherepashkin S.E., Laptev A.B., Bugai D.E., Abdullin I.G. *Korroziya nefteprovodov pri magnitnoy i akusticheskoy obrabotke flyuidov* [Corrosion of Oil Pipelines during Magnetic and Acoustic Treatment of Fluids]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Neft' i gaz — Higher Educational Institutions News. Neft' i gaz*, 2003, No. 5, pp. 85–91. [in Russian].

11. Latypov O.R. *O primeneniі agregata dlya upravleniya elektrokhimicheskimi parametrami tekhnologicheskikh zhidkostey dlya snizheniya skorosti korrozii neftepromyslovogo oborudovaniya* [On the Application of the Unit for Controlling the Electrochemical Parameters of Process Fluids to Reduce the Corrosion Rate of Oilfield Equipment]. *Korroziya Territorii Neftegaz — Corrosion of the Territory of Neftegaz*, 2015, No. 3 (32) pp. 92–95. [in Russian].

12. Latypov O.R. *Nauchnye osnovy preduprezhdeniya oslozhneniy v protsessakh izvlecheniya i podgotovki nefti putem modifitsirovaniya tekhnologicheskikh zhidkostey i agregaty dlya ego osushhestvleniya: dis. kand. tech. nauk* [Scientific Basis for Preventing Complications in Oil Extraction and Treatment by Modifying Process Fluids and Aggregates for its Implementation. Cand. Engin. Sci. Diss.]. Ufa, 2016. 272 p. [in Russian].

13. Prilutsky V.I., Bakhir V.M. *Elektrokhimicheski aktivirovannaya voda: anomal'nye svoystva, mekhanizm biologicheskogo deystviya* [Electrochemically Activated Water: Anomalous Properties, the Mechanism of Biological Action]. Moscow, VNI Med. Engineering, 1997. 232 p. [in Russian].

14. Bakhir V.M., Zadorozhnyy Yu.G., Leonov B.I., Panicheva S.A. *Elektrokhimicheskaya aktivatsiya: ochistka vody i poluchenie poleznykh rastvorov* [Electrochemical Activation: Purification of Water and Production of Useful Solutions]. Moscow, VNIIMT, 2001. 176 p. [in Russian].

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

## ABOUT THE AUTHORS

**Костылева София Сергеевна**, магистрант кафедры «Технология нефтяного аппаратостроения», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

**Kostyleva Sofiya S.**, Undergraduate Student of the Petroleum Technology Equipment Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: yhb7890@mail.ru

**Джумабаяев Хуршеджон Камилович**, магистрант кафедры «Технология нефтяного аппаратостроения», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

**Dzhumabaev Hurshedzhon K.**, Undergraduate Student of the Petroleum Technology Equipment Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: dzhumabaev2011@yandex.ru

**Тюсенков Антон Сергеевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология нефтяного аппаратостроения», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

**Tyusenkov Anton S.**, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of the Petroleum Technology Equipment Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: anton.tyusenkov@yandex.ru