

## ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА СОЛЕОТЛОЖЕНИЯ В ПЛАСТОВЫХ ВОДАХ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

Г. А. Аббасов, Н. Н. Халилов\*, Л. М. Талыбзаде, Л. Б. Гурбанзаде

НИПИ«Нефтегаз», SOCAR, Баку, Азербайджан

Hydrogeological and hydrochemical studies of the process of salt deposition in reservoir waters of oil fields

G. A. Abbasov, N. N. Khalilov\*, L. M. Talibzade, L. B. Gurbanzade

«OilGasScientificResearchProject» Institute, SOCAR, Baku, Azerbaijan

### ABSTRACT

As a result of analyzing solutions and dry residues obtained during the study of the interaction of core samples with various types of water, it was found that the interaction of the core with distilled water resulted in the dissolution of  $\text{Na}^+\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  ions and other components, leading to a decrease in the mass of the core dry residue by more than 2.0%. Interaction of the core with technical water led to an increase in mass by approximately 1.0%. In the case of seawater, the mass of the core dry residue decreased by more than 1.0%. The conducted research proves that the interaction of the core with different types of water causes certain physico-chemical processes, as a result of which the dissolution and precipitation of various salts occur. These results can have significant practical value in conducting analysis and determining the composition of various solutions.

### KEYWORDS:

Core;  
Technical water;  
Seawater;  
Distilled water;  
Soluble salts;  
Precipitated salts;  
Sulfate-sodium type

\*e-mail: [nurlan.xalilov1@gmail.com](mailto:nurlan.xalilov1@gmail.com)

<https://doi.org/10.53404/Sci.Petro.20230200044>

Одним из важнейших этапов изучения нефтегазового потенциала месторождений, оценки качества и объёма запасов углеводородов, планирования дальнейших геологоразведочных работ является качественный отбор и анализ кернового материала с целью получения максимально возможной информации о структурно-текстурных особенностях нефтегазоносных отложений, петрофизических характеристиках коллекторов, а также нефтенасыщенных и/или перспективных для разведки залежей углеводородов [1].

Керн – это порода, поднятая с пробуренных скважины и является очень значимым источником геологической информации. Комплексный анализ керна – является одним из прямых методов, позволяющих получить наиболее достоверную информацию о свойствах и составе пород и насыщающих флюидов [2].

Для изучения процесса солеотложения в лаборатории были проведены гидрохимические исследования образцов, полученных путём смешивания керна с различными типами воды. Первоначально были изучены физико-химические свойства воды Каспийского моря и технической воды, полученной в результате смешивания в различных соотношениях [3]. В дальнейшем образцы керна измельчались и смешивались с различными типами воды (водой Каспийского моря, технической и дистиллированной). Лабораторные анализы проводились через

разные промежутки времени (3, 10 и 28 дней) (табл. 1).

Проведенный лабораторией физико-химический анализ морской воды показал, что плотность воды составляет  $1.0087 \text{ г/см}^3$ , а ее минерализация –  $14650 \text{ мг/л}$ . Согласно классификации В. А. Сулина вода относится к сульфатно-натриевому типу (СН). Значения  $r\text{Na}/r\text{Cl}$  коэффициента составляет 1.03. Содержание ионов составляет ( $\text{мг/л}$ )  $\text{Na}^+\text{K}^+$  – 3962.55;  $\text{Ca}^{2+}$  – 322.78;  $\text{Mg}^{2+}$  – 588.07;  $\text{Cl}^-$  – 5901.9;  $\text{SO}_4^{2-}$  – 3065.44;  $\text{HCO}_3^-$  – 110.96;  $\text{RCOO}^-$  – 282.44;  $\text{H}_2\text{BO}_3^-$  – 415.58. Ион  $\text{CO}_3^{2-}$  не был обнаружен. По классификации Пальмера, первая соленость воды ( $S_1$ ) составляет 72.76 %-экв, вторая соленость ( $S_2$ ) – 24.5 %-экв, а вторая щелочность воды ( $A_2$ ) – 2.7 %-экв. Общая жесткость составляет  $64.50 \text{ мг-экв/л}$ , карбонатная жесткость –  $6.45 \text{ мг-экв/л}$ , а постоянная жесткость –  $58.05 \text{ мг-экв/л}$ .

Результаты анализа технической воды [4] свидетельствуют о том, что её плотность составляет  $1.0130 \text{ г/см}^3$ , а минерализация –  $21436 \text{ мг/л}$ . Согласно классификации В. А. Сулина вода относится к СН типу. Значения  $r\text{Na}/r\text{Cl}$  коэффициента составляет 1.15. Содержание ионов составляет ( $\text{мг/л}$ )  $\text{Na}^+\text{K}^+$  – 7018.29;  $\text{Ca}^{2+}$  – 64.83;  $\text{Mg}^{2+}$  – 329.23;  $\text{Cl}^-$  – 9413.81;  $\text{SO}_4^{2-}$  – 2056.39;  $\text{HCO}_3^-$  – 1035.29;  $\text{RCOO}^-$  – 683.78;  $\text{H}_2\text{BO}_3^-$  – 834.71. Ион  $\text{CO}_3^{2-}$  не был обнаружен. По классификации Пальмера первая соленость воды ( $S_1$ ) составляет 90.96 %-экв, вторая соленость ( $S_2$ ) – 0.96 %-экв, а

**Результаты химических анализов, проведенных на растворах, полученных из комбинации проб каспийской, технической и дистиллированной воды с керном в разные временные интервалы**

**Количество ионов в воде**

Плотность воды при 20°C, г/см <sup>3</sup>	Минерализация, мг/л	Количество ионов в воде											Тип воды по В.А.Судину	Дополнительная информация, мг-экв/л			
		1-я строка – мг/л, 2-я строка – мг-экв/л, 3-я строка – %-экв, 4-я строка – изменение количества ионов в зависимости от времени в %															
		Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	RCOO <sup>-</sup>	НВ <sub>1</sub> O <sub>7</sub> <sup>-</sup>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>			A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	
1	Σ ионов, мг-экв/л	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Дистиллированная вода + керн 75 г (3 дня)																	
0.9983	379.9	104.34	11.98	0.00	68.88	194.67	0.00	0.00	0.00	0.00							Ион SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> не определялся
	10.27	4.54	0.60	0.00	1.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00							
		44.18	5.82	0.00	18.92	0.00	31.08	0.00	0.00	0.00							
Дистиллированная вода + керн 75 г (10 дней)																	
0.9985	446.73	118.22	15.98	0	68.90	243.63	0	0	0	0							Ион SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> не определялся
	11.875	5.13994728	0.79741	0	1.943418	0	3.993934	0	0	0							
		43.2848421	6.71516	0	16.36603	0	33.63397	0	0	0							
Дистиллированная вода + керн 75 г (28 дней)																	
0.9985	544.74	127.37	31.95	0	68.90	316.52	0	0	0	0							Ион SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> не определялся
	14.265	5.53795913	1.59431	0	1.943418	0	5.188852	0	0	0							
		38.823255	11.1767	0	13.62412	0	36.37588	0	0	0							
Техническая вода																	
1.0130	21436	7018.29	64.83	329.23	9413.81	2056.39	1035.29	0	683.78	834.71							Общая жесткость- 30.33
	670.95	305.143148	3.23513	27.0967	265.5293	42.84146	16.9719	0	4.78164	5.35072	90.96	0.96	0	8.08	1.15		Карбонатная жесткость-27.10
		45.4792699	0.48217	4.03856	39.57512	6.385194	2.529533	0	0.71267	0.79748							Постоянная жесткость - 3.23
Техническая вода + керн 75 г (3 дня)																	
1.0134	21512	7403.66	64.86	177.35	9591.83	2128.00	1021.51	24.32	405.36	695.19							Общая жесткость - 17.83
	679.46	321.89845	3.23653	14.5967	270.5506	44.33333	16.74607	0.811	2.83469	4.45635	92.69	0	2.06	5.25	1.19		Карбонатная жесткость- 17.83
		47.3753942	0.47634	2.14827	39.81827	6.524757	2.464602	0.119	0.41719	0.65586							Постоянная жесткость - 0

Продолжение таблицы 1																	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1.0134	21580	7412.52	64.85	177.33	9590.88	2089.42	1145.03	0.00	405.32	695.12							Общая жесткость - 17.83
	680.23	322.283572	3.23603	14.5951	270.5238	43.52958	18.77098	0	2.83441	4.4559	92.34	0	2.42	5.24	1.19	Е	Карбонатная жесткость- 17.83
		47.378665	0.47573	2.14561	39.7695	6.399251	2.759508	0	0.41668	0.65506							Постоянная жесткость - 0
		105.6	100.03	53.86	101.88	101.6	101.6	110.59	0	59.27	83.27						
1.0134	22234	7613.88	81.07	167.21	9591.83	2111.93	1708.59	0.00	232.07	727.62							Общая жесткость - 17.81
	697.69	331.038351	4.04541	13.7621	270.5506	43.99854	28.00967	0	1.62287	4.66423	90.17	0	4.73	5.1	1.22	Е	Карбонатная жесткость- 17.81
		47.4476482	0.57983	1.97252	38.77795	6.306301	4.01462	0	0.23261	0.66852							Постоянная жесткость - 0
		108.48	125.05	50.78	101.89	101.89	102.7	165.03	0	33.93	87.17						
1.0087	14650	3962.55	322.78	588.07	5901.9	3065.44	110.96	0	282.44	415.58							Общая жесткость - 64.50
	473.59	172.284922	16.1068	48.4008	166.4711	63.86333	1.819016	0	1.9751	2.66397	72.76	24.51	0	2.73	1.03	Е	Карбонатная жесткость- 6.45
		36.3788758	3.40103	10.2201	35.15126	13.48508	0.384095	0	0.41705	0.56251							Постоянная жесткость - 58.05
		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100						
1.0090	14413	4552.26	339.02	210.88	5730.11	3142.03	226.02	0	74.67	138.23							Общая жесткость - 34.27
	464.4	197.92445	16.9172	17.3564	161.6255	65.45896	3.705246	0	0.52217	0.88609	85.24	12.56	0	2.2	1.22	Е	Карбонатная жесткость- 5.11
		42.6197588	3.64283	3.73741	34.80339	14.0955	0.797863	0	0.11244	0.1908							Постоянная жесткость - 29.16
		114.88	105.03	35.85	97.08	97.08	102.49	203.69	0	26.43	33.26						
1.0090	14434	4532.02	363.24	207.85	5730.11	3135.97	226.02	0	138.23	100.90							Общая жесткость - 35.23
	464.55	197.04418	18.1257	17.107	161.6255	65.33271	3.705246	0	0.96664	0.64679	84.83	12.88	0	2.29	1.21	Е	Карбонатная жесткость- 5.31
		42.415789	3.90175	3.68246	34.79156	14.06354	0.797592	0	0.20808	0.13923							Постоянная жесткость - 29.92
		114.36	112.53	35.34	97.08	97.08	102.3	203.69	0	48.94	24.27						
1.0090	14612	4641.16	363.24	183.64	5730.11	3159.18	413.69	0	51.46	69.62							Общая жесткость - 33.24
	470.06	201.789576	18.1257	15.1144	161.6255	65.81625	6.781803	0	0.35986	0.44628	85.86	10.91	0	3.23	1.25	Е	Карбонатная жесткость- 7.59
		42.9285218	3.85605	3.21542	34.38406	14.00169	1.442754	0	0.07656	0.09494							Постоянная жесткость - 25.65
		117.12	112.53	31.22	97.08	97.08	103.05	372.82	0	18.2	16.75						

вторая щелочность воды ( $A_2$ ) – 8.1 %-экв. Общая жесткость составляет 30.33 мг-экв/л, карбонатная жесткость – 27.10 мг-экв/л, а постоянная жесткость – 3.23 мг-экв/л.

Результаты проведенных испытаний свидетельствуют о том, что при физико-химическом анализе дистиллированной воды и её смеси с керном, количество ионов  $\text{Na}^+\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{HCO}_3^-$  в смеси увеличилось. Количество ионов  $\text{Na}^+\text{K}^+$  в смеси – 104.34 мг/л после 3-х дней смешивания, после 10 дней – 118.22 мг/л и после 28 дней – 127.37 мг/л. При анализе смеси, количество иона  $\text{Ca}^{2+}$  после 3-х дней смешивания составило 11.98 мг/л, после 10 дней – 15.98 мг/л, а после 28 дней оно увеличилось до 31.95 мг/л. Количество иона  $\text{HCO}_3^-$  в смеси – 194.67 мг/л после 3-х дней смешивания, после 10 дней 243.63 мг/л и после 28 дней – 316.52 мг/л.

Количество иона  $\text{Cl}^-$  в смеси – 68.88 мг/л после 3-х дней смешивания, после 10 дней – 68.90 мг/л и после 28 дней не изменилось (68.90 мг/л). Плотность дистиллированной воды 0.9981 г/см<sup>3</sup>, в смеси – 0.9983 г/см<sup>3</sup> после 3-х дней смешивания, после 10 дней 0.9985 г/см<sup>3</sup> и после 28 дней – не изменилась (0.9985 г/см<sup>3</sup>). Ионов  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{RCOO}^-$  и  $\text{H}_2\text{BO}_3^-$  не были обнаружены, иона  $\text{SO}_4^{2-}$  не определялся.

При физико-химическом анализе технической водой и её смеси с керном, количество ионов  $\text{Na}^+\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{HCO}_3^-$  в смеси увеличилось, а количество ионов  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{RCOO}^-$  и  $\text{H}_2\text{BO}_3^-$  уменьшилось по сравнению с технической водой. В технической воде количество ионов  $\text{Na}^+\text{K}^+$  составляло 7018.29 мг/л, а в смеси – 7403.66 мг/л после 3-х дней смешивания, после 10 дней – 7412.52 мг/л и после 28 дней – 7613.88 мг/л. Количество иона  $\text{Ca}^{2+}$  в технической воде составило 64.83 мг/л, а в смеси – 64.86 мг/л после 3-х дней смешивания, после 10 дней – 64.85 мг/л и после 28 дней – 81.07 мг/л. Количество иона  $\text{SO}_4^{2-}$  в технической воде составило 2056.39 мг/л, а в смеси – 2128.00 мг/л после 3-х дней смешивания, после 10 дней – 2089.42 мг/л и после 28 дней – 2111.93 мг/л. Количество иона  $\text{HCO}_3^-$  в технической воде составило 1035.29 мг/л, а в смеси – 1021.51 мг/л после 3-х дней смешивания, после 10 дней – 1145.03 мг/л и после 28 дней – 1708.59 мг/л. Количество иона  $\text{Mg}^{2+}$  в технической воде составило 329.23 мг/л, а в смеси – 177.35 мг/л после 3-х дней смешивания, после 10 дней – 177.33 мг/л и после 28 дней – 167.21 мг/л. Количество иона  $\text{Cl}^-$  в технической воде составило 9413.81 мг/л, а в смеси – 9591.83 мг/л после 3-х дней смешивания, после 10 дней – 9590.88 мг/л и после 28 дней – 9591.83 мг/л. Количество иона  $\text{H}_2\text{BO}_3^-$  в технической воде составило 834.71 мг/л, которое снизилось до 695.12 мг/л после 10 дней смешивания и 727.62 мг/л после 28 дней. Количество иона  $\text{RCOO}^-$  в технической воде составило 683.78 мг/л, а в смеси

– 405.36 мг/л после 3-х дней смешивания, после 10 дней – 405.32 мг/л и после 28 дней – 232.07 мг/л. Ион  $\text{CO}_3^{2-}$  был обнаружен в смеси только после 3-х дней смешивания и его количество составило 24.32 мг/л. Согласно классификации Пальмера, первая соленость ( $S_1$ ) технической воды составляет 90.96%. При анализе смеси после 3-х дней смешивания составила 92.69%, которая снизилась до 90.17% после 28 дней. Вторая соленость ( $S_2$ ) составляет 0.96%. Первая щелочность ( $A_1$ ) смеси через 3 дня составила 2.06%, которая через 28 дней увеличилась до 4.73%. Вторичная щелочность ( $A_2$ ) технической воды составляла 8.08%, но через 28 дней она снизилась до 5.1%. Если соотношение  $\text{rNa/rCl}$  в технической воде составляло 1.15, то через 28 дней оно увеличилось до 1.22. Техническая вода относится к СН типу, а смешанная – к гидрокарбонатно-натриевому типу (ГКН). Плотность технической воды составила 1.0130 г/см<sup>3</sup>, которая увеличилась до 1.0134 г/см<sup>3</sup> при анализе смеси после 28 дней. Минерализация технической воды составляла 21436 мг/л. При анализе смеси после 3-х дней минерализация составила 21512 мг/л, после 10 дней – 21580 мг/л, после 28 дней она увеличилась до 22234 мг/л.

При физико-химическом анализе воды Каспийского моря и её смеси с керном, количество ионов  $\text{Na}^+\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{HCO}_3^-$  в смеси увеличилось, а количество ионов  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{RCOO}^-$  и  $\text{H}_2\text{BO}_3^-$  уменьшилось по сравнению с морской водой. Количество ионов  $\text{Na}^+\text{K}^+$  в морской воде составляло 3962.55 мг/л, а в смеси – 4552.26 мг/л после 3-х дней смешивания, после 10 дней – 4532.02 мг/л и после 28 дней – 4641.16 мг/л. В морской воде количество иона  $\text{Ca}^{2+}$  составляло 322.78 мг/л, а в смеси – 339.02 мг/л после 3-х дней смешивания, после 10 дней – 363.24 мг/л и после 28 дней не изменилось (363.24 мг/л). Количество иона  $\text{SO}_4^{2-}$  в морской воде составляло 3065.44 мг/л, в то время как после 3-х дней смешивания в смеси оно составило 3142.03 мг/л, после 10 дней – 3135.97 мг/л, а после 28 дней – 3159.18 мг/л. Количество иона  $\text{HCO}_3^-$  в морской воде составляло 110.96 мг/л, а в смеси – 226.02 мг/л после 3-х дней смешивания, после 10 дней – не изменилось (226.02 мг/л) и после 28 дней – 413.69 мг/л. Количество иона  $\text{Mg}^{2+}$  в морской воде составляло 588.07 мг/л, а в смеси – 210.88 мг/л после 3-х дней смешивания, после 10 дней – 207.85 мг/л и после 28 дней – 183.64 мг/л. Количество иона  $\text{Cl}^-$  в морской воде составляло 5901.9 мг/л, а в смеси – 5730.11 мг/л после 3-х дней смешивания, после 10 и 28 дней – не изменилось (5730.11 мг/л). Количество иона  $\text{RCOO}^-$  в морской воде составляло 282.44 мг/л, тогда как после 3-х дней смешивания в смеси оно составило 74.67 мг/л, после 10 дней – 138.23 мг/л, а после 28 дней – 51.46 мг/л. Количество иона  $\text{H}_2\text{BO}_3^-$

в морской воде составляло 415.58 мг/л, а в смеси – 138.23 мг/л после 3-х дней смешивания, после 10 дней – 100.90 мг/л и после 28 дней – 69.62 мг/л. Ион  $\text{CO}_3^{2-}$  не был обнаружен. По классификации Пальмера, первая соленость ( $S_1$ ) составила 72.76% в морской воде, в смеси после 3-х дней смешивания – 85.24%, после 10 дней – 84.83% и после 28 дней – 85.86%. Согласно классификации Пальмера, вторая соленость ( $S_2$ ) составила 24.51% в морской воде, в смеси после 3-х дней смешивания 12.56%, после 10 дней – 12.88% и после 28 дней – 10.91%. Вторая щелочность ( $A_2$ ) по классификации Пальмера составила 2.73% в морской воде, 2.2% при анализе смеси после 3-х дней смешивания, после 10 дней – 2.29% и после 28 дней – 3.23%. Хотя соотношение  $r\text{Na}/r\text{Cl}$  в морской воде составляло 1.03, при анализе смеси после 28 дней смешивания соотношение  $r\text{Na}/r\text{Cl}$  увеличилось до 1.25. Эти воды относятся к СН типу. Плотность морской воды составляла 1.0087 г/см<sup>3</sup>, при анализе смеси через 28 дней она увеличилась до 1.0090 г/см<sup>3</sup>. Минерализация морской воды составляла 14650 мг/л. При анализе смеси после 3-х дней смешивания минерализация составила 14413 мг/л, после 10 дней – 14434 мг/л, после 28 дней она увеличилась до 14612 мг/л.

Результаты физико-химических анализов, проведённых в лаборатории в разные сроки (3, 10 и 28 дней), показали, что при анализе смеси дистиллированной воды и керна, постепенно увеличивается количество ионов  $\text{Na}^+\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{HCO}_3^-$ . Наличие ионов  $\text{Cl}^-$  в смеси является показателем растворимости керна в дистиллированной воде.

При анализе смеси технической воды и керна, наблюдалось увеличение количества ионов  $\text{Na}^+\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ , а количество ионов  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{H}_2\text{BO}_3^-$  и  $\text{RCOO}^-$  уменьшилось. Это подтверждает, что в результате смешивания керна с технической водой происходят определённые физико-химические процессы.

Аналогично, при анализе смеси морской воды и керна количество одних компонентов увеличивалось, а других уменьшалось.

Проведённые исследования включали в себя построение гистограмм, изображающих изменение количества ионов, присутствующих в растворах, полученных при смешивании образцов керна с дистиллированной, технической и Каспийской морской водами (рис. 1-3).

После испытаний в лаборатории оставшиеся образцы керна были отфильтрованы и высушены, полученные результаты представлены в таблице 2.

Исследования показали, что при смешивании керна с дистиллированной водой в ней растворяются  $\text{Na}^+\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  и другие компоненты (табл. 2). В результате масса керна в конце испы-

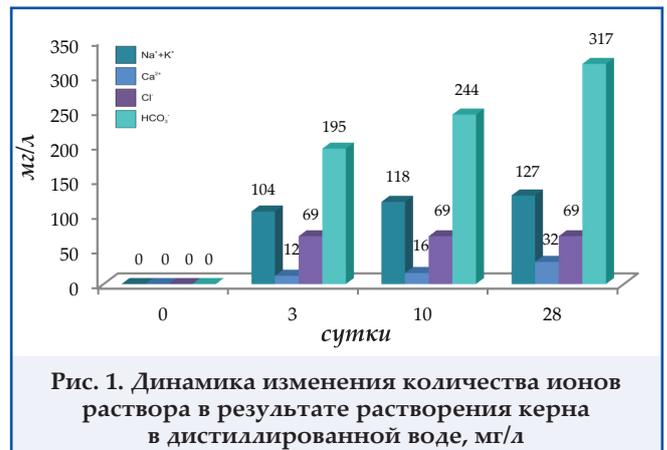


Рис. 1. Динамика изменения количества ионов раствора в результате растворения керна в дистиллированной воде, мг/л



Рис. 2. Динамика изменения количества ионов раствора в результате растворения керна в воде Каспийского моря, мг/л

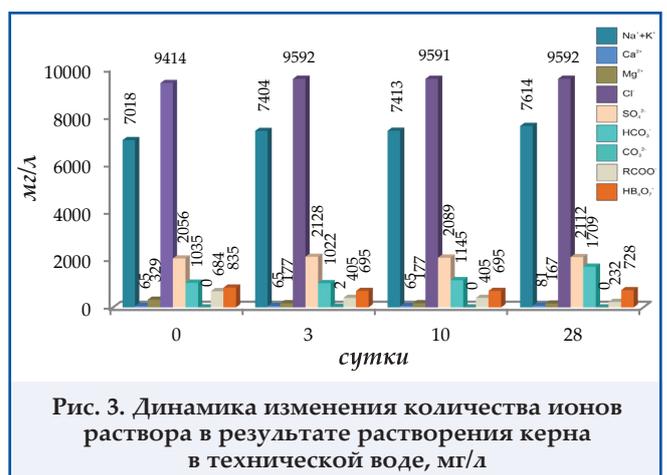


Рис. 3. Динамика изменения количества ионов раствора в результате растворения керна в технической воде, мг/л

тания уменьшилась более чем на 2.0%. Напротив, когда керна был смешан с технической водой, его вес увеличился примерно на 1.0% за счёт распада нескольких компонентов в результате взаимодействия. В конце анализа вес керна в смеси с морской водой уменьшился более чем на 1.0%.

После физико-химического анализа смесей керна с дистиллированной, технической и мор-

ской водами, было рассчитано их солесодержание. Количества растворенных и осажденных солей приведены в таблице ниже (табл. 3-5).

Изменение солесодержания определялось с помощью физико-химического анализа растворов,

полученных при смешивании керна с дистиллированной, технической и каспийской морской водами. Результаты представлены в виде гистограмм на рисунках 4-6.

На основании физико-химического анализа рас-

Результаты лабораторных исследований смесей образцов керна с дистиллированной, технической и Каспийской морской водой					Таблица 2
№	Приготовление раствора, Керн + жидкость	Сушка керна после испытательных работ		Масса высушенного керна, г	
		Температура, °C	Срок, час		
1	1 л дистил. вода + 75 г керна	150	16	72.8712	
2	1 л техническая вода + 75 г керна	100	8	75.657	
3	1 л морская вода + 75 г керна	100	8	74.845	

Количество растворённых и выпавших в осадок солей в смеси образцов керна с дистиллированной водой					Таблица 3
Содержание соли (мг/л)					
Образец	Растворимые соли				
	NaCl	NaHCO <sub>3</sub>	Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Общая сумма	
1 л дистил. воды + 75 г керна	-113.568	-301.98	-258.228	- 673.776 (0.67г/л)	

Количество растворённых и выпавших в осадок солей в смеси образцов керна с технической водой												Таблица 4
Содержание соли (мг/л)												
Образец	Растворимые соли					Осажденные соли					Разница в количестве растворенных (-) и выпавших в осадок (+) солей	
	NaCl	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NaHCO <sub>3</sub>	Ca(HB <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ) <sub>2</sub>	Общая сумма	MgSO <sub>4</sub>	Mg(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Mg(RCOO) <sub>2</sub>	Mg(HB <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ) <sub>2</sub>	Общая сумма		
1 л техническая вода + 75 г керна	-293.5	-622.83	-1385.76	-287.3	-2589.37	388.34	797.53	980.14	504.13	2670	80.77 мг/л (0.08 г/л)	

Количество растворённых и выпавших в осадок солей в смеси образцов керна с морской водой											Таблица 5
Содержание соли (мг/л)											
Образец	Растворимые соли				Осажденные соли					Разница в количестве растворенных (-) и выпавших в осадок (+) солей	
	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	CaSO <sub>4</sub>	Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Общая сумма	NaCl	MgSO <sub>4</sub>	Ca(RCOO) <sub>2</sub>	Ca(HB <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ) <sub>2</sub>	Общая сумма		
1 л морской воды + 75 г керна	-4880.10	-126.6	-803.52	-5810.2	282.9	4007.45w	528.25	781.62	5600.22	- 210.02 мг/л (0.21 г/л)	

творов, полученных из смесей образцов керна с дистиллированной водой, были рассчитаны растворимые соли и их количество, исходя из содержания ионов. Содержание солей рассчитывалось в соответствии с порядком активности ионов – правилом Фрезениуса (5). Как видно из таблицы, в дистиллированной воде растворялись соли NaCl, NaHCO<sub>3</sub> и Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. Общее количество растворённых солей составило 673.776 мг/л (0.67 г/л). Следовательно, масса керна должна была уменьшиться на 673.776 мг/л. После испытаний масса высушенного керна составила 72.8712 г/л, уменьшилась на 2.1288 г/л (2128.8 мг/л), что значительно больше (1.4588 г/л) рассчитанного уменьшения на 0.67 г/л. Это снижение можно объяснить наличием прочносвязанной воды, которая осталась в активной зоне из-за того, что она не была полностью высушена перед проведением теста.

Растворённые и выпавшие в осадок соли в растворах, полученных из смесей технической воды с керном и их количество были рассчитаны и представлены в таблице. Из этой таблицы видно, что в технической воде растворялись соли NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaHCO<sub>3</sub> и Ca(HB<sub>4</sub>O<sub>7</sub>)<sub>2</sub>, а осаждались соли MgSO<sub>4</sub>, Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, Mg(RCOO)<sub>2</sub> и Mg(HB<sub>4</sub>O<sub>7</sub>)<sub>2</sub>. Общее количество растворённых солей составило 2589.37 мг/л, а общее количество выпавших в осадок – 2670.14 мг/л, то есть вес керна должен был увеличиться на 80.77 мг/л. После проведения испытаний масса высушенного керна составила 75.657 г/л, что является небольшим увеличением (0.657 г/л или 657 мг/л), значительно превышающим (0.577 г/л) расчетное увеличение (0.08 г/л). Такое увеличение можно объяснить наличием прочносвязанной воды, оставшейся из-за неполного высыхания керна.

Исходя из преобладающего содержания неорганических солей в отложениях, выделяют две группы солей: карбонатные и сульфатные. Наиболее распространённым типом неорганических солевых отложений являются осадки, содержащие в основном сульфаты и карбонаты кальция и магния. В отложениях также присутствуют такие примеси, как оксиды железа и диоксид кремния [6].

Растворённые и выпавшие в осадок соли, а также их количество в растворах, полученных из смесей образцов керна с морской водой, были рассчитаны и представлены в таблице. Из этой таблицы видно, что такие соли, как Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, CaSO<sub>4</sub> и Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> растворялись в морской воде, а такие соли, как NaCl, MgSO<sub>4</sub>, Ca(RCOO)<sub>2</sub> и Ca(HB<sub>4</sub>O<sub>7</sub>)<sub>2</sub> выпадали в осадок. Общее количество растворённых солей составило 5810.2 мг/л, а общее количество выпавших в осадок 5600.22 мг/л, то есть масса керна должна была уменьшиться на 210.02 мг/л. Однако масса высушенного керна после тестирования составила 74845 г/л,

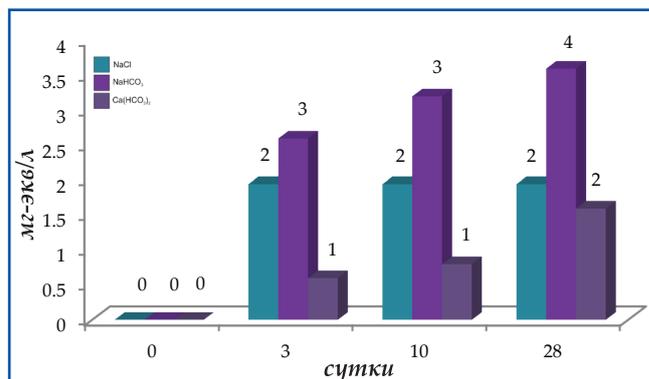


Рис. 4. Динамика изменения содержания солей раствора керна в результате его растворения в дистиллированной воде, мг-экв/л

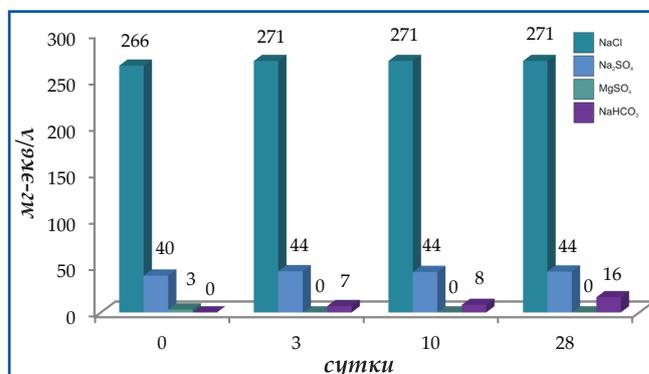


Рис. 5. Динамика изменения содержания солей раствора керна в результате растворения в технической воде, мг-экв/л

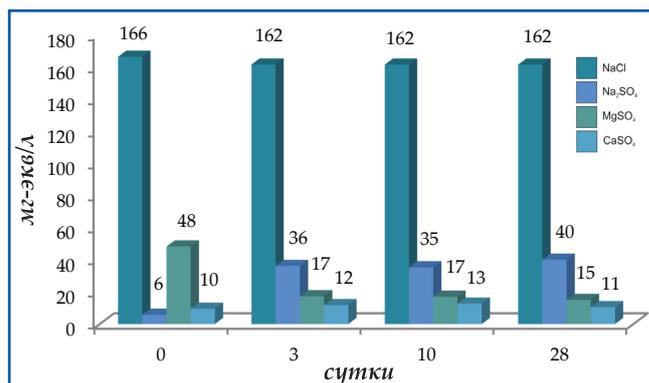


Рис. 6. Динамика изменения солесодержания раствора керна в результате его растворения в воде Каспийского моря, мг-экв/л

что является незначительным снижением (0.155 г/л или 155 мг/л), меньшим, чем расчетное снижение (0.21 г/л). Такое снижение можно объяснить наличием плотносвязанной воды, которая осталась в активной зоне из-за того, что она не была полностью высушена.

### Выводы

Исследования, проведенные с различными видами вод, позволили сделать несколько важных выводов о физико-химических процессах, происходящих при их смешивании.

Первое, что было выявлено, это то, что в смеси дистиллированной воды и керна происходит увеличение количества ионов  $\text{Na}^+\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{HCO}_3^-$ , а наличие ионов  $\text{Cl}^-$  является показателем растворимости керна в воде. При смеси с технической водой также вызывает увеличение количества ионов  $\text{Na}^+\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ , но в то же время наблюдается уменьшение количества ионов  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{H}_2\text{BO}_3^-$  и  $\text{RCOO}^-$ . При смешивании с морской водой также происходит увеличение количества некоторых компонентов и уменьшение других.

При лабораторных анализах было выявлено, что смешивание с дистиллированной водой приводит к растворению ионов  $\text{Na}^+\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  и других компонентов, что приводит к уменьшению массы керна более чем на 2.0%. С технической водой увеличение массы сухого остатка примерно на 1.0%. В случае с морской водой масса керна уменьшилась более чем на 1.0%.

Проведенный физико-химический анализ растворов позволил определить расчетные значения растворимых солей и их количество, исходя из содержания ионов. В дистиллированной воде растворяются такие соли, как  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NaHCO}_3$  и  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ . В технической воде растворяются такие соли, как  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaHCO}_3$  и  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{BO}_3)_2$ , а такие соли, как  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{Mg}(\text{RCOO})_2$  и  $\text{Mg}(\text{H}_2\text{BO}_3)_2$  выпадают в осадок. В морской воде растворяются такие соли, как  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{CaSO}_4$  и  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , а осаждаются такие соли, как  $\text{NaCl}$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{Ca}(\text{RCOO})_2$  и  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{BO}_3)_2$ .

Таким образом, проведенные исследования доказывают, что смешивание керна с различными видами воды вызывает определенные физико-химические процессы, в результате которых происходит растворение и осаждение различных солей. Эти результаты могут иметь значительное практическое применение при проведении анализа и определении состава различных растворов.

### Литература

1. Усманов, И. Ш. (2006). Совершенствование организации исследования керна - основа оптимизации геологического моделирования и геологоразведочных работ. *Нефтяное хозяйство*, 4, 16-20.
2. Кальчева, А. В. (2009). Керносно-водный источник получения геологической информации. *Георесурсы*, 3(31), 23-26.
3. Гусейнов, Ф. А., Казимов, Ш. П. (2010). Пластовые воды месторождений углеводородов и технико-экономические показатели разработки. *Баку: НИПИ «Нефтегаз»*.
4. ГОСТ 26449.1-85. (1985). Установки дистилляционные стационарные. Методы химического анализа солевых вод. *Москва: Стандартинформ*.
5. Карцев, А. А., Вагин, С. Б., Шугрин, В. П., Брагин, Ю. И. (2001). Нефтегазовая гидрогеология. *Москва: Нефть и газ*.
6. Халилов, Н. Н., Аббасов, Г. А., Гурбанзаде, Л. Б. и др. (2023). Проведение гидрохимических исследований с целью предотвращения образования солевых отложений. *Материалы научно-практической конференции «Гейдар Алиев и Нефтяная стратегия Азербайджана: Достижения Нефтегазовой Геологии и Геотехнологий»*.
7. Гаджиев, Ф. М., Атакишиева, Н. А. (2012). Исследования химического состава смеси пластовой воды свиты «Перерыва» месторождения «Гюнешли» с водой Каспийского моря. *SOCAR Proceedings*, 1, 30-40.

### References

1. Usmanov, I. Sh. (2006). Enhancement of core research organization - the basis for optimization of geological modeling and exploration work. *Oil Industry*, 4, 16-20.
2. Kalcheva, A. V. (2009). Core - the main source of geological information. *Georesources*, 3(31), 23-26.
3. Guseynov, F. A., Kazimov, Sh. P. (2010). Formation waters of hydrocarbon deposits and techno-economic indicators of development. *Baku: SOCAR OGPI Press*.
4. GOST 26449.1-85. (1985). Stationary distillation units. Methods of chemical analysis of saline waters. *Moscow: Standartinform*.
5. Kartsev, A. A., Vagin, S. B., Shugrin, V. P., Bragin, Yu. I. (2001). Oil and gas hydrogeology. *Moscow: Oil and Gas*.
6. Khalilov, N. N., Abbasov, G. A., Gurbanzade, L. B., et al. (2023). Conducting hydrochemical studies to prevent salt deposits. In: *Proceedings of Scientific-Practical Conference «Heydar Aliyev and the Oil Strategy of Azerbaijan: Achievements of Oil and Gas Geology and Geotechnologies»*.
7. Gadzhiev, F. M., Atakishiyeva, N. A. (2012). Research of the chemical composition of the mixture of the formation water of the «Pereyryva» suite of the «Guneshli» field with the water of the Caspian Sea. *SOCAR Proceedings*, 1, 30-40.

## Гидрогеологические и гидрохимические исследования процесса солеотложения в пластовых водах нефтяных месторождений

Г. А. Аббасов, Н. Н. Халилов, Л. М. Талыбзаде, Л. Б. Гурбанзаде  
НИПИ «Нефтегаз», SOCAR, Баку, Азербайджан

### Реферат

В результате анализа растворов и полученных сухих остатков при исследованиях взаимодействия керна с различными видами вод, было обнаружено: взаимодействия керна с дистиллированной водой происходит растворение ионов  $\text{Na}^+\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  и других компонентов, что приводит к уменьшению массы сухого остатка керна более чем на 2.0%. Взаимодействия керна с технической водой приводит к увеличению массы примерно на 1.0%. В случае с морской водой, масса сухого остатка керна уменьшалась более чем на 1.0%. Проведенные исследования доказывают, что взаимодействия керна с различными видами воды вызывает определенные физико-химические процессы, в результате которых происходит растворение и осаждение различных солей. Эти результаты могут иметь значительное практическое значение при проведении анализа и определении состава различных растворов.

**Ключевые слова:** керн; техническая вода; морская вода; дистиллированная вода; растворимые соли; осаждаемые соли; сульфатно-натриевый тип.

## Neft yataqlarının lay sularında duzçökmə prosesinin hidrogeoloji və hidrokimyəvi tədqiqatları

Q. A. Abbasov, N. N. Xəlilov, L. M. Talıbzadə, L. B. Qurbanzadə  
«Neftqazelmütədiqatlayihə» İnstitutu SOCAR, Bakı, Azərbaycan

### Xülasə

Kernin müxtəlif növ sular ilə qarışıqlarından hazırlanmış məhlullar analiz olunmuş və müvafiq quru qalıq nümunələri alınmışdır. Müəyyən olunmuşdur ki, kernin distillə edilmiş su ilə qarışması nəticəsində  $\text{Na}^+\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  və digər komponentlərin həll olması baş verir. Bu isə kernin quru qalığının çəkisinin 2%-dən artıq azalmasına gətirib çıxarır. Kernin texniki su ilə qarışması nəticəsində kernin quru qalığının çəkisi təxminən 1% artmışdır. Bu dəniz suyu ilə baş verdikdə isə kernin quru qalığının çəkisi 1%-dən çox azalmışdır. Aparılmış tədqiqatlar göstərir ki, kernin müxtəlif növ sular ilə qarışması fiziki-kimyəvi proseslərə səbəb olur. Bu zaman isə müxtəlif duzların həll olması və çökməsi baş verir. Alınmış nəticələr müxtəlif məhlulların tərkibinin təyininə və analiz olunmasında praktiki əhəmiyyətə sahib ola bilər.

**Açar sözlər:** kern; texniki su; dəniz suyu; distillə edilmiş su; həll olan duzlar; çökən duzlar; natrium-sulfat tipli.