

ГИДРОГЕОЛОГИЯ (ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ)

DOI 10.21672/2077-6322-2021-82-3-033-048

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПЛАСТОВЫХ ВОД КАСПИЙСКИХ МОРСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Набиева Виктория Викторовна, магистрант, Астраханский государственный университет, Российская Федерация, 414000, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, Geologi2007@yandex.ru

Серебряков Андрей Олегович, доцент, Астраханский Государственный Университет, Российская Федерация, 414000, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, Geologi2007@yandex.ru

Серебряков Олег Иванович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Астраханский государственный университет, Российская Федерация, 414000, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, Geologi2007@yandex.ru

Гидрогеологические условия пластовых вод месторождений нефти и газа северной акватории Каспийского моря характеризуют геологические особенности строения шельфа Северного Каспия, а также термодинамические параметры эксплуатации продуктивных залежей, добычи и транспортировки нефти и газа. Пластовые воды содержат водорастворённые газы. По величине минерализации, соотношению основных компонентов солевого состава, а также наличию йода и брома пластовые воды, возможно, отнести к относительно «молодым» по генетическому возрасту, подверженным вторичным геохимическим процессам изменения солевого состава при взаимодействии с «вторичными» мигрировавшими углеводородами. Физико-химические свойства пластовых вод определены технологиями PVT-анализа. Гидрогеологические и геохимические исследования совместимости с пластовыми водами морских вод, закачиваемых для поддержания пластовых давлений (ППД) при разработке морских месторождений с целью увеличения коэффициента извлечения нефти (КИН) свидетельствуют об отсутствии кольматирующего вторичного осадкообразования в смесях природных и техногенных вод.

Ключевые слова: гидрогеология, добыча, технология, техногенез, кольматация, смеси, миграция, давление

HYDROGEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF RESERVOIR WATERS OF THE CASPIAN SEA DEPOSITS

Nabieva Victoria V., master student, Astrakhan State University, 1 Shaumyana Sq., Astrakhan, 414000, Russian Federation, Geologi2007@yandex.ru

Serebryakov Andrey O., Associate Professor, Astrakhan State University, 1 Shaumyana Sq., Astrakhan, 414000, Russian Federation, Geologi2007@yandex.ru

Serebryakov Oleg I., Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Astrakhan State University, 1 Shaumyana Sq., Astrakhan, 414000, Russian Federation, Geologi2007@yandex.ru

Hydrogeological conditions of reservoir waters of oil and gas fields in the northern water area of the Caspian Sea characterize the geological features of the structure of the Northern Caspian shelf, as well as the thermodynamic parameters of the exploitation of productive deposits, production and transportation of oil and gas. Reservoir waters contain water-soluble gases. According to the size of mineralization, the ratio of the main components of the salt composition, as well as the presence of iodine and bromine, reservoir waters can be attributed to a relatively "young" genetic age, subject to secondary geochemical processes of changing the salt composition in interaction with "secondary" migrated hydrocarbons. The physical and chemical properties of reservoir waters are determined by PVT analysis technologies. Hydrogeological and geochemical studies of compatibility with reservoir waters of marine waters injected to maintain reservoir pressures (PPD) during the development of offshore fields in order to increase the oil recovery coefficient (KIN) indicate the absence of colmatating secondary sedimentation in mixtures of natural and man-made waters.

Keywords: Hydrogeology, mining, technology, technogenesis, colmatation, mixtures, migration, pressure

Гидрохимическая характеристика вод, полученных на месторождениях северной акватории Каспийского моря из продуктивных горизонтов, приведена в таблицах 1–3. Пластовые воды содержат водорастворенные газы. Состав и свойства газов стандартной сепарации пластовых вод представлены в таблицах 4, 5.

Таблица 1

Гидрогеологическая характеристика пластовых вод неокомского горизонта			
Возраст – неокомский надъярус			
Глубина отбора – 1468 м			
Компонент	Результаты анализа		
	мг/дм	$\frac{мг - экв}{дм^3}$	%-экв
Cl ⁻	46440	1310	49,16
SO ₄ ²⁻	496	10	0,39
HCO ₃ ³⁻	732	12	0,45
CO ₃ ²⁻	отс.	отс.	отс.
Ca ²⁺	2505	125	4,69
Mg ²⁺	426	35	1,31
Na ⁺ +K ⁺	26964	1172	44,00
Сумма К ⁺ +А ⁻	77562	2665	100,00
Г	14	-	-
Br ⁻	146	-	6,05
Минерализация, г/дм ³	78		
Плотность, г/см ³	1,055 ± 0,0004		
рН	6,92 ± 0,20		
Параметры Пальмера	S ₁ = 88; S ₂ = 11,1; A ₁ = нет; A ₂ = 0,9		
Коэффициенты	$\frac{rNa}{rCl} = 0,90; \frac{rCl - rNa}{rMg} = 3,93;$ $\frac{rNa - rCl}{rSO_4} = нет; \frac{rCa}{rMg} = 3,57;$ $\frac{rSO_4}{rCl} * 100 = 0,79$		
Характеристика воды (по В. А. Сулину)	Хлоркальциевый тип, класс S ₁ группа хлоридных, подгруппа натриевых вод		

По величине минерализации, рН, соотношению основных компонентов солевого состава, отвечающего хлоркальциевому гидрохимическому типу (по В. А. Сулину), а также наличию йода и брома представленная в таблице 1 вода характеризует своим составом пластовые воды неокомских отложений (табл. 1).

Таблица 2

Гидрогеологическая характеристика пластовых вод аптского горизонта			
Возраст – аптский ярус			
Глубина отбора – 1377 м			
Компонент	Результаты анализа		
	мг/дм	$\frac{мг - экв}{дм^3}$	%-экв
Cl ⁻	47149	1330	48,04
SO ₄ ²⁻	1480	31	1,11
HCO ₃ ³⁻	1098	18	0,65
CO ₃ ²⁻	168	6	0,20

Ca ²⁺	1303	65	2,35
Mg ²⁺	334	28	0,99
Na ⁺ +K ⁺	29714	1292	46,66
Сумма К ⁺ +А ⁻	81246	2769	100,00
J ⁻	2,54	-	-
Br ⁻	24	-	-
Минерализация, г/дм ³	81		
Плотность, г/см ³	1,06 ± 0,0004		
pH	8,55 ± 0,20		
Параметры Пальмера	S ₁ = 93,32; S ₂ = 4,98; A ₁ = нет; A ₂ = 1,70		
Коэффициенты	$\frac{rNa}{rCl} = 0,97; \quad \frac{rCl - rNa}{rMg} = 1,38;$ $\frac{rNa - rCl}{rSO_4} = \text{нет}; \quad \frac{rCa}{rMg} = 2,36;$ $\frac{rSO_4}{rCl} * 100 = 2,32$		
Характеристика воды (по В. А. Сулину)	Хлоркальциевый тип, класс S ₁ группа хлоридных, подгруппа натриевых вод		

Величина минерализации, pH, соотношение основных компонентов солевого состава, отвечающего хлоркальциевому гидрохимическому типу (по В. А. Сулину), а также наличие йода (2,5 мг/дм³) и брома (24 мг/дм³) в водах с глубины 1377 м указывают на характеристику пластовых вод аптских отложений (табл. 2).

Таблица 3

Гидрогеологическая характеристика пластовых вод альбского горизонта			
Возраст – альбский ярус			
Глубина отбора – 1319 м			
Компонент	Результаты анализа		
	мг/дм	$\frac{мг - экв}{дм^3}$	%-экв
Cl ⁻	45021	1270	47,68
SO ₄ ²⁻	1856	38	1,45
HCO ₃ ³⁻	1409	23	0,87
CO ₃ ²⁻	отс.	отс.	отс.
Ca ²⁺	401	20	0,75
Mg ²⁺	152	12	0,47
Na ⁺ +K ⁺	29883	1299	48,78
Сумма К ⁺ +А ⁻	78723	2663	100,00
J ⁻	2,1	-	-
Br ⁻	13	-	-
Минерализация, г/дм ³	78		
Плотность, г/см ³	1,0615 ± 0,0004		
pH	7,86 ± 0,20		
Параметры Пальмера	S ₁ = 97,56; S ₂ = 0,70; A ₁ = нет; A ₂ = 1,74		
Коэффициенты	$\frac{rNa}{rCl} = 1,02; \quad \frac{rCl - rNa}{rMg} = \text{нет};$ $\frac{rNa - rCl}{rSO_4} = 0,76; \quad \frac{rCa}{rMg} = 1,60;$		

	$\frac{rSO_4}{rCl} * 100 = 3,04$
Характеристика воды (по В. А. Сулину)	Сульфатнонатриевый тип, класс S ₁ группа хлоридных, подгруппа натриевых вод

Величина минерализации, рН, соотношение основных компонентов солевого состава, отвечающего сульфатнонатриевому гидрохимическому типу (по В. А. Сулину), а также концентрации брома геохимическая характеристика в таблице 3 представляет собой пластовую воду альбских отложений.

Таблица 4

Геохимическая характеристика водорастворенного газа с глубины 1468 м (неоком)

Компоненты	Содержание	
	масс. %	мол. %
Сероводород	0,000	0,000
Гелий	0,006	0,032
Водород	0,000	0,003
Углекислый газ	10,934	5,167
Азот	3,270	2,428
Метан	63,120	81,827
Этап	7,870	5,443
Пропан	4,047	1,909
Изо-бутан	1,016	0,364
Н-бутан	2,994	1,071
Изо-петнат	1,357	0,391
Н-пентан	1,820	0,525
C ₆	2,218	0,549
Остаток: C7+	1,348	0,292
Всего:	100,00	100,0
Плотность в стан-	0,867	
Молярная масса	20,80	
Относительная плотность газа (по воздуху)	0,720	

Газ не жирный (табл. 4), наряду с метаном (81,827 мол. %) содержит около 10,5 мол. % его гомологов: этап (5,443 мол. %), пропан-бутановую фракцию (около 3,34 мол. %), пентаны и вышекипящие углеводороды (1,78 мол. %). В составе газа присутствуют азот до 2,428 мол. %, углекислый газ до 5,167 мол. %, гелий до 0,032 мол. % и водород до 0,003 мол. %.

Таблица 5

Геохимическая характеристика водорастворенного газа с глубины 1377 м (апг)

Компоненты	Содержание	
	масс. %	мол. %
Сероводород	0,000	0,000
Гелий	0,246	1,236
Водород	0,028	0,275
Углекислый газ	0,561	0,257
Азот	30,539	21,945
Метан	54,299	68,124
Этап	9,370	6,272
Пропан	2,824	1,289
Изо-бутан	0,373	0,129

Н-бутан	0,601	0,208
Изо-петнат	0,214	0,060
Н-пентан	0,186	0,052
C ₆	0,204	0,049
Остаток: C7+	0,224	0,035
Всего:	100,00	100,00
Плотность в стан-	0,839	
Молярная масса	20,13	
Относительная плотность газа (по воздуху)	0,696	

Газ не жирный (табл. 5), наряду с метаном (68,124 мол. %) содержит около 8,1 мол. % его гомологов: этап (6,272 мол. %), пропан-бутановую фракцию (около 1,63 мол. %), пентаны и вышекипящие углеводороды (0,20 мол. %). В составе газа присутствуют азот до 21,945 мол. %, углекислый газ до 0,257 мол. %, гелий до 1,0236 мол. % и водород до 0,275 мол. %.

Физико-химические свойства пластовой воды, определенные в ходе РУТ-анализа, приведены в таблице 6.

Таблица 6

Физическая характеристика пластовых вод неокомского горизонта			
Параметры	Значения		
Пластовое давление, МПа(с)	15,7		
Пластовая температура, °С	69		
Давление насыщения при температуре пласта, МПа(с)	14,32		
Газосодержание:	м ³ /м ³	м ³ /т	мас. %
– при стандартной сепарации	1,53	1,45	0,126
Объемный коэффициент воды при стандартной сепарации, м ³ /м ³ :			
– в пластовых условиях	1,0150		
– при давлении насыщения	1,0157		
Плотность воды, кг/м ³ :			
– в пластовых условиях	1039,4		
– при давлении насыщения	1038,7		
Вязкость воды, мПа-с:			
– в пластовых условиях	0,490		
– при давлении насыщения	0,489		
Удельное сопротивление воды, Омм – в пластовых условиях	0,044		
Плотность выделившегося газа, кг/м ³ – при стандартной сепарации	0,867		
Плотность выделившегося газа, кг/м ³ – после стандартной сепарации	1055,0		

Пластовые воды исследованного пласта не насыщены газом и имеет давление насыщения 14,35 МПа(а). Плотность воды в пластовых условиях 1039,4 кг/м³, динамическая вязкость 0,490 мПа-с, удельное сопротивление 0,044 Омм. По данным стандартной сепарации газосодержание воды составляет 1,53 м/т, объемный коэффициент в пластовых условиях 1,0150 м³/м³.

Физико-химические свойства пластовой воды, определенные в ходе РУТ-анализа, приведены в таблице 7.

Таблица 7

Физическая характеристика пластовых вод аптского горизонта

Параметры	Значения		
Пластовое давление, МПа(с)	14,9		
Пластовая температура, °С	67		
Давление насыщения при температуре пласта, МПа(с)	12,42		
Газосодержание	м ³ /м ³	м ³ /т	мас. %
– при стандартной сепарации	1,30	1,22	0,15
Объемный коэффициент воды при стандартной сепарации, м ³ /м ³			
– в пластовых условиях	1,0140		
– при давлении насыщения	1,0150		
Плотность воды, кг/м ³			
– в пластовых условиях	1048,3		
– при давлении насыщения	1047,3		
Вязкость воды, мПа-с			
– в пластовых условиях	0,524		
– при давлении насыщения	0,523		
Удельное сопротивление воды, Ом – в пластовых условиях	0,045		
Плотность выделившегося газа, кг/м ³ – при стандартной сепарации	1,260		
Плотность выделившегося газа, кг/м ³ – после стандартной сепарации	1063,0		

Исследованные воды мезозойских отложений не насыщена газом и имеют давление насыщения 12,42 МПа(а). Плотность воды в пластовых условиях 1048,2 кг/м³, динамическая вязкость 0,524 мПа-с, удельное сопротивление 0,045 Ом*м. По данным стандартной сепарации газосодержание воды составляет 1,30 м³/т, объемный коэффициент в пластовых условиях 1,0140 м³/м³.

Гидрогеологические и геохимические исследования совместимости морских и пластовых вод для поддержания пластового давления (ППД) при разработке морских месторождений представлены в таблице 8.

Исследования на генетическую совместимость проведены на смесях в объемных соотношениях 1 : 9; 2 : 8; 3 : 7; 4 : 6; 5 : 5; 6 : 4; 7 : 3; 8 : 2 и 9 : 1 пластовых вод и закачиваемой морской воды соответственно.

Результаты химического анализа соответствующих смесей приведены в таблицах 9–18 для исследования возможного выпадения осадка и коагуляции коллекторов продуктивных пластов. Карбонаты и сульфаты кальция и магния являются основными солеобразующими компонентами при закачке вод. Для выявления тенденций возможного осадкообразования по результатам определения основных компонентов солевого состава проб составлены модельные диаграммы смешения исследованных вод (рис. 1–2). Линейный характер модельных зависимостей свидетельствует об отсутствии осадкообразования в смесях указанных вод.

Таблица 8

Гидрохимическая характеристика Каспийской морской воды

Компонент	Результаты анализа		
	мг/дм	$\frac{мг - экв}{дм^3}$	%-экв
СГ	5247	148	34,80

SO ₄ ²⁻	2906	61	14,24
HCO ₃ ⁻	214	3,5	0,82
CO ₃ ²⁻	18	0,60	0,14
Ca ²⁺	321	16	3,76
Mg ²⁺	778	64	15,05
Na ⁺ +K ⁺	3051	133	31,19
Сумма K ⁺ +A ⁻	12534	425	100,0
J ⁻	отс.	-	-
Br ⁻	2,7	-	-
Минерализация, г/дм ³	12		
Плотность, г/см ³	1,0100 ± 0,0004		
pH	8,55 ± 0,20		
Жесткость общая, $\frac{мг - экв}{дм}$	80,00		
Жесткость устранимая, $\frac{мг - экв}{дм^3}$	4,10		
Параметры Пальмера	S ₁ = 62,38; S ₂ = 35,70; A ₁ = нет; A ₂ = 1,92		
Коэффициенты	$\frac{rNa}{rCl} = 0,90; \frac{rCl - rNa}{rMg} = 0,24;$ $\frac{rNa - rCl}{rSO_4} = \text{нет}; \frac{rCa}{rMg} = 0,25;$ $\frac{rSO_4}{rCl} * 100 = 40,91$		
Характеристика воды (по В. А. Сулину)	Хлормagneиный тип, класс S ₁ группа хлоридных, подгруппа натриевых вод		

Таблица 9

**Гидрохимическая характеристика смеси пластовой воды
с морской водой в соотношении 1 : 9**

Компонент	Результаты анализа		
	мг/дм	$\frac{мг - экв}{дм^3}$	%-экв
Cl ⁻	9571,50	270,00	40,53
SO ₄ ²⁻	2789,72	58,12	8,72
HCO ₃ ⁻	268,49	4,40	0,66
CO ₃ ²⁻	18,00	0,60	0,09
Ca ²⁺	400,80	20,00	3,00
Mg ²⁺	729,60	60,00	9,01
Na ⁺ +K ⁺	5821,76	253,12	37,99
Сумма K ⁺ +A ⁻	19599,9	666,2	100,0
J ⁻	-	-	-
Br ⁻	-	-	-
Минерализация, г/дм ³	19,6		
Плотность, г/см ³	1,01501 ± 0,0004		
pH	8,37 ± 0,20		
Жесткость общая, $\frac{мг - экв}{дм}$	80,00		

$\frac{мг - экв}{дм^3}$	5,00
Жесткость устранимая, $\frac{мг}{дм^3}$	
Параметры Пальмера	$S_1 = 75,98; S_2 = 22,52; A_1 = \text{нет}; A_2 = 1,50$
Коэффициенты	$\frac{rNa}{rCl} = 0,94; \frac{rCl - rNa}{rMg} = 0,28;$ $\frac{rNa - rCl}{rSO_4} = \text{нет}; \frac{rCa}{rMg} = 0,33;$ $\frac{rSO_4}{rCl} * 100 = 21,52$
Характеристика воды (по В. А. Сулину)	Хлормagneиный тип, класс S_1 группа хлоридных, подгруппа натриевых вод

Таблица 10

Гидрохимическая характеристика смеси пластовой воды с морской водой в соотношении 2 : 8

Компонент	Результаты анализа		
	мг/дм	$\frac{мг - экв}{дм^3}$	%-ЭКВ
Cl ⁻	13825,50	390,00	43,17
SO ₄ ²⁻	2664,26	55,50	6,14
HCO ₃ ³⁻	329,51	5,40	0,60
CO ₃ ²⁻	24,00	0,80	0,09
Ca ²⁺	501,00	25,00	2,77
Mg ²⁺	699,20	57,50	6,36
Na ⁺ +K ⁺	8491,60	369,20	40,87
Сумма K ⁺ +A ⁻	26535,1	903,4	100,0
J ⁻	-	-	-
Br ⁻	-	-	-
Минерализация, г/дм ³	26,5		
Плотность, г/см ³	1,0200 ± 0,0004		
рН	8,35 ± 0,20		
$\frac{мг - экв}{дм}$	82,50		
Жесткость общая, $\frac{мг}{дм}$			
$\frac{мг - экв}{дм^3}$	6,20		
Жесткость устранимая, $\frac{мг}{дм^3}$			
Параметры Пальмера	$S_1 = 81,74; S_2 = 16,88; A_1 = \text{нет}; A_2 = 1,38$		
Коэффициенты	$\frac{rNa}{rCl} = 0,95; \frac{rCl - rNa}{rMg} = 0,36;$ $\frac{rNa - rCl}{rSO_4} = \text{нет}; \frac{rCa}{rMg} = 0,43;$ $\frac{rSO_4}{rCl} * 100 = 14,23$		
Характеристика воды (по В. А. Сулину)	Хлормagneиный тип, класс S_1 группа хлоридных, подгруппа натриевых вод		

Таблица 11

**Гидрохимическая характеристика смеси пластовой воды
с морской водой в соотношении 3 : 7**

Компонент	Результаты анализа		
	мг/дм	$\frac{мг - экв}{дм^3}$	%-экв
Cl ⁻	18434,00	520,00	44,75
SO ₄ ²⁻	2555,76	53,24	4,58
HCO ₃ ³⁻	402,73	6,60	0,57
CO ₃ ²⁻	36,00	1,20	0,10
Ca ²⁺	551,10	27,50	2,37
Mg ²⁺	668,80	55,00	4,73
Na ⁺ +K ⁺	11466,42	498,54	42,90
Сумма K ⁺ +A ⁻	34114,8	1162,1	100,0
J ⁻	-	-	-
Br ⁻	-	-	-
Минерализация, г/дм ³	34,1		
Плотность, г/см ³	1,0250 ± 0,0004		
рН	8,12 ± 0,20		
Жесткость общая, $\frac{мг - экв}{дм}$	82,50		
Жесткость устранимая, $\frac{мг - экв}{дм^3}$	7,80		
Параметры Пальмера	S ₁ = 85,80; S ₂ = 12,86; A ₁ = нет; A ₂ = 1,34		
Коэффициенты	$\frac{rNa}{rCl} = 0,96; \frac{rCl - rNa}{rMg} = 0,39;$ $\frac{rNa - rCl}{rSO_4} = \text{нет}; \frac{rCa}{rMg} = 0,50;$ $\frac{rSO_4}{rCl} * 100 = 10,24$		
Характеристика воды (по В. А. Сулину)	Хлормagneвий тип, класс S ₁ группа хлоридных, подгруппа натриевых вод		

Таблица 12

**Гидрохимическая характеристика смеси пластовой воды
с морской водой в соотношении 4 : 6**

Компонент	Результаты анализа		
	мг/дм	$\frac{мг - экв}{дм^3}$	%-экв
Cl ⁻	22688,00	640,00	45,73
SO ₄ ²⁻	2443,90	50,91	3,64
HCO ₃ ³⁻	414,90	8,50	0,61
CO ₃ ²⁻	36,00	1,20	0,09
Ca ²⁺	651,30	32,50	2,32
Mg ²⁺	608,00	50,00	3,57
Na ⁺ +K ⁺	14177,40	616,41	44,04
Сумма K ⁺ +A ⁻	41019,5	1399,5	100,0
J ⁻	-	-	-
Br ⁻	-	-	-
Минерализация, г/дм ³	41,0		

Плотность, г/см ³	1,0300 ± 0,0004
pH	8,18 ± 0,20
$\frac{Mg - экв}{\partial M}$ Жесткость общая,	82,50
$\frac{Mg - экв}{\partial M^3}$ Жесткость устранимая,	8,00
Параметры Пальмера	S ₁ = 88,20; S ₂ = 10,64; A ₁ = нет; A ₂ = 1,16
Коэффициенты	$\frac{rNa}{rCl} = 0,96$; $\frac{rCl - rNa}{rMg} = 0,47$; $\frac{rNa - rCl}{rSO_4} = \text{нет}$; $\frac{rCa}{rMg} = 0,65$; $\frac{rSO_4}{rCl} * 100 = 7,95$
Характеристика воды (по В. А. Сулину)	Хлормагниевый тип, класс S ₁ группа хлоридных, подгруппа натриевых вод

Таблица 13

Гидрохимическая характеристика смеси пластовой воды с морской водой в соотношении 5 : 5

Компонент	Результаты анализа		
	мг/дм	$\frac{Mg - экв}{\partial M^3}$	%-экв
Cl ⁻	26942,0	760,00	46,42
SO ₄ ²⁻	2323,50	48,41	2,96
HCO ₃ ³⁻	500,36	9,90	0,60
CO ₃ ²⁻	36,00	1,20	0,07
Ca ²⁺	701,40	35,00	2,14
Mg ²⁺	577,60	47,50	2,90
Na ⁺ +K ⁺	16912,10	735,31	44,91
Сумма К ⁺ +А ⁻	47993,0	1637,3	100,0
J ⁻	-	-	-
Br ⁻	-	-	-
Минерализация, г/дм ³	48,0		
Плотность, г/см ³	1,0350 ± 0,0004		
pH	7,99 ± 0,20		
$\frac{Mg - экв}{\partial M}$ Жесткость общая,	82,50		
$\frac{Mg - экв}{\partial M^3}$ Жесткость устранимая,	9,40		
Параметры Пальмера	S ₁ = 89,92; S ₂ = 8,94; A ₁ = нет; A ₂ = 1,14		
Коэффициенты	$\frac{rNa}{rCl} = 0,97$; $\frac{rCl - rNa}{rMg} = 0,52$; $\frac{rNa - rCl}{rSO_4} = \text{нет}$; $\frac{rCa}{rMg} = 0,74$;		

	$\frac{rSO_4}{rCl} * 100 = 6,37$
Характеристика воды (по В. А. Сулину)	Хлормagneиный тип, класс S ₁ группа хлоридных, подгруппа натриевых вод

Таблица 14

**Гидрохимическая характеристика смеси пластовой воды
с морской водой в соотношении 6 : 4**

Компонент	Результаты анализа		
	мг/дм	$\frac{мг - экв}{дм^3}$	%-экв
Cl ⁻	30841,50	870,00	46,92
SO ₄ ²⁻	2194,64	45,72	2,47
HCO ₃ ⁻	524,77	11,80	0,64
CO ₃ ²⁻	36,00	1,20	0,06
Ca ²⁺	751,50	37,50	2,02
Mg ²⁺	547,20	45,00	2,43
Na ⁺ +K ⁺	19389,46	843,02	45,46
Сумма K ⁺ +A ⁻	54285,1	1854,2	100,0
J ⁻	-	-	-
Br ⁻	-	-	-
Минерализация, г/дм ³	54,3		
Плотность, г/см ³	1,0400 ± 0,0004		
pH	7,81 ± 0,20		
$\frac{мг - экв}{дм}$	82,50		
Жесткость общая,	9,80		
$\frac{мг - экв}{дм^3}$	9,80		
Жесткость устранимая,	9,80		
Параметры Пальмера	S ₁ =91,08; S ₂ =7,86; A ₁ =нет; A ₂ =1,06		
Коэффициенты	$\frac{rNa}{rCl} = 0,97; \frac{rCl - rNa}{rMg} = 0,60;$ $\frac{rNa - rCl}{rSO_4} = нем; \frac{rCa}{rMg} = 0,83;$ $\frac{rSO_4}{rCl} * 100 = 5,26$		
Характеристика воды (по В. А. Сулину)	Хлормagneиный тип, класс S ₁ группа хлоридных, подгруппа натриевых вод		

Таблица 15

**Гидрохимическая характеристика смеси пластовой воды
с морской водой в соотношении 7 : 3**

Компонент	Результаты анализа		
	мг/дм	$\frac{мг - экв}{дм^3}$	%-экв
Cl ⁻	35450,00	1000,00	47,42
SO ₄ ²⁻	2050,54	42,72	2,03
HCO ₃ ⁻	524,77	12,60	0,60
CO ₃ ²⁻	24,00	1,40	0,07

Ca ²⁺	801,60	40,00	1,90
Mg ²⁺	486,40	40,00	1,90
Na ⁺ +K ⁺	22358,76	972,12	46,10
Сумма К ⁺ +А ⁻	61696,1	2108,8	100,0
Г ⁻	-	-	-
Вг ⁻	-	-	-
Минерализация, г/дм ³	61,7		
Плотность, г/см ³	1,0450 ± 0,0004		
рН	7,71 ± 0,20		
Жесткость общая, $\frac{мг - экв}{дм}$	80,00		
Жесткость устранимая, $\frac{мг - экв}{дм^3}$	9,40		
Параметры Пальмера	S ₁ =92,40; S ₂ =6,70; A ₁ =нет; A ₂ =0,90		
Коэффициенты	$\frac{rNa}{rCl} = 0,97; \frac{rCl - rNa}{rMg} = 0,70;$ $\frac{rNa - rCl}{rSO_4} = нет; \frac{rCa}{rMg} = 1,00;$ $\frac{rSO_4}{rCl} * 100 = 4,27$		
Характеристика воды (по В. А. Сулину)	Хлормagneиный тип, класс S ₁ группа хлоридных, подгруппа натриевых вод		

Таблица 16

Гидрохимическая характеристика смеси пластовой воды с морской водой в соотношении 8 : 2

Компонент	Результаты анализа		
	мг/дм	$\frac{мг - экв}{дм^3}$	%-экв
Cl ⁻	39704,00	1120,00	47,71
SO ₄ ²⁻	1928,47	40,18	1,71
HCO ₃ ³⁻	573,59	14,20	0,60
CO ₃ ²⁻	18,00	1,40	0,06
Ca ²⁺	851,70	44,10	1,88
Mg ²⁺	456,00	37,50	1,60
Na ⁺ +K ⁺	25074,14	1090,18	46,44
Сумма К ⁺ +А ⁻	68605,9	2347,6	100,0
Г ⁻	-	-	-
Вг ⁻	-	-	-
Минерализация, г/дм ³	68,6		
Плотность, г/см ³	1,0500 ± 0,0004		
рН	7,78 ± 0,20		
Жесткость общая, $\frac{мг - экв}{дм}$	80,00		
Жесткость устранимая, $\frac{мг - экв}{дм^3}$	10,00		
Параметры Пальмера	S ₁ = 93,16; S ₂ = 6,00; A ₁ = нет; A ₂ = 0,84		

Коэффициенты	$\frac{rNa}{rCl} = 0,97; \quad \frac{rCl - rNa}{rMg} = 0,80;$ $\frac{rNa - rCl}{rSO_4} = \text{нет}; \quad \frac{rCa}{rMg} = 1,13;$ $\frac{rSO_4}{rCl} * 100 = 3,59$
Характеристика воды (по В. А. Сулину)	Хлормagneиный тип, класс S ₁ группа хлоридных, подгруппа натриевых вод

Таблица 18

**Гидрохимическая характеристика смеси пластовой воды
с морской водой в соотношении 9 : 1**

Компонент	Результаты анализа		
	мг/дм	$\frac{мг - экв}{дм^3}$	%-экв
Cl ⁻	43958,00	1240,00	47,97
SO ₄ ²⁻	1805,05	37,60	1,45
HCO ₃ ³⁻	598,00	15,50	0,60
CO ₃ ²⁻	12,00	1,50	0,06
Ca ²⁺	901,80	47,80	1,85
Mg ²⁺	425,60	35,00	1,35
Na ⁺ +K ⁺	27779,40	1207,80	46,72
Сумма К ⁺ +А ⁻	75479,9	2585,2	100,0
J	-	-	-
Br	-	-	-
Минерализация, г/дм ³	75,5		
Плотность, г/см ³	1,0550 ± 0,0004		
рН	7,58 ± 0,20		
Жесткость общая, $\frac{мг - экв}{дм}$	80,00		
Жесткость устранимая, $\frac{мг - экв}{дм^3}$	10,20		
Параметры Пальмера	S ₁ =93,78; S ₂ =5,42; A ₁ =нет; A ₂ =0,80		
Коэффициенты	$\frac{rNa}{rCl} = 0,97; \quad \frac{rCl - rNa}{rMg} = 0,94;$ $\frac{rNa - rCl}{rSO_4} = \text{нет}; \quad \frac{rCa}{rMg} = 1,28;$ $\frac{rSO_4}{rCl} * 100 = 3,03$		
Характеристика воды (по В. А. Сулину)	Хлормagneиный тип, класс S ₁ группа хлоридных, подгруппа натриевых вод		

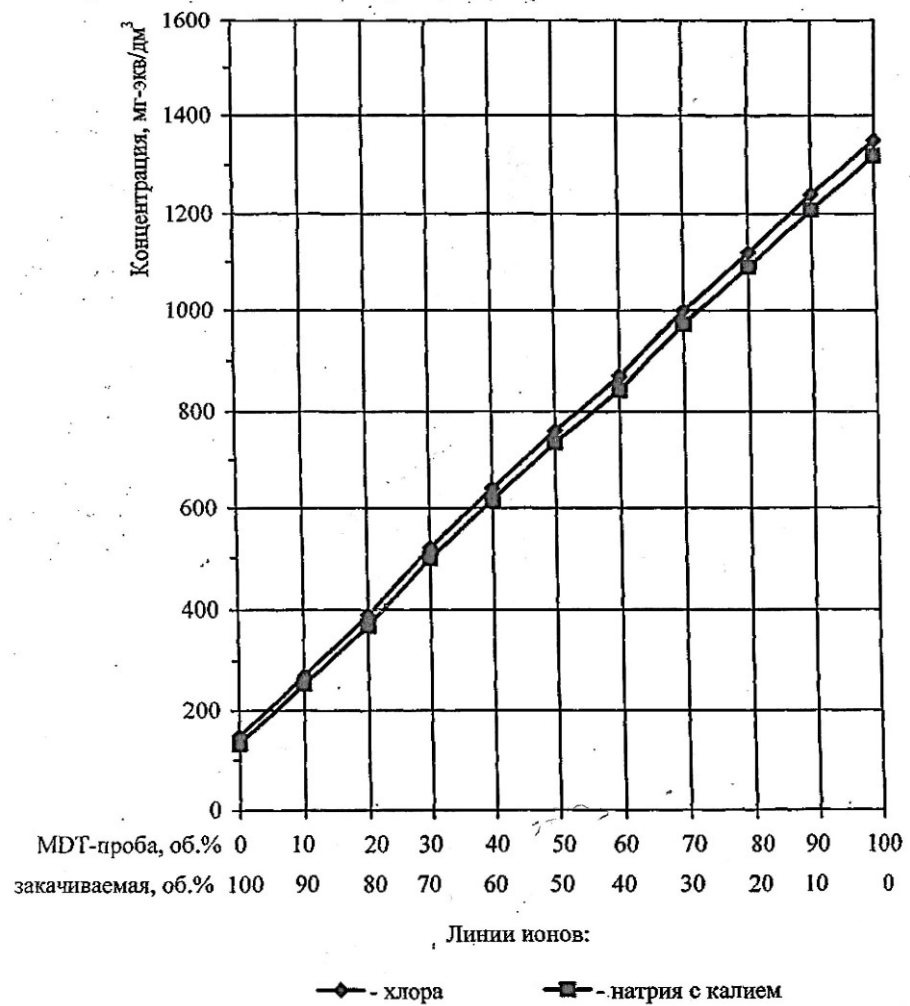


Рис. 1. Цифровая гидрохимическая модель смешивания анионов морских и пластовых вод для поддержания пластового давления при разработке морских месторождений

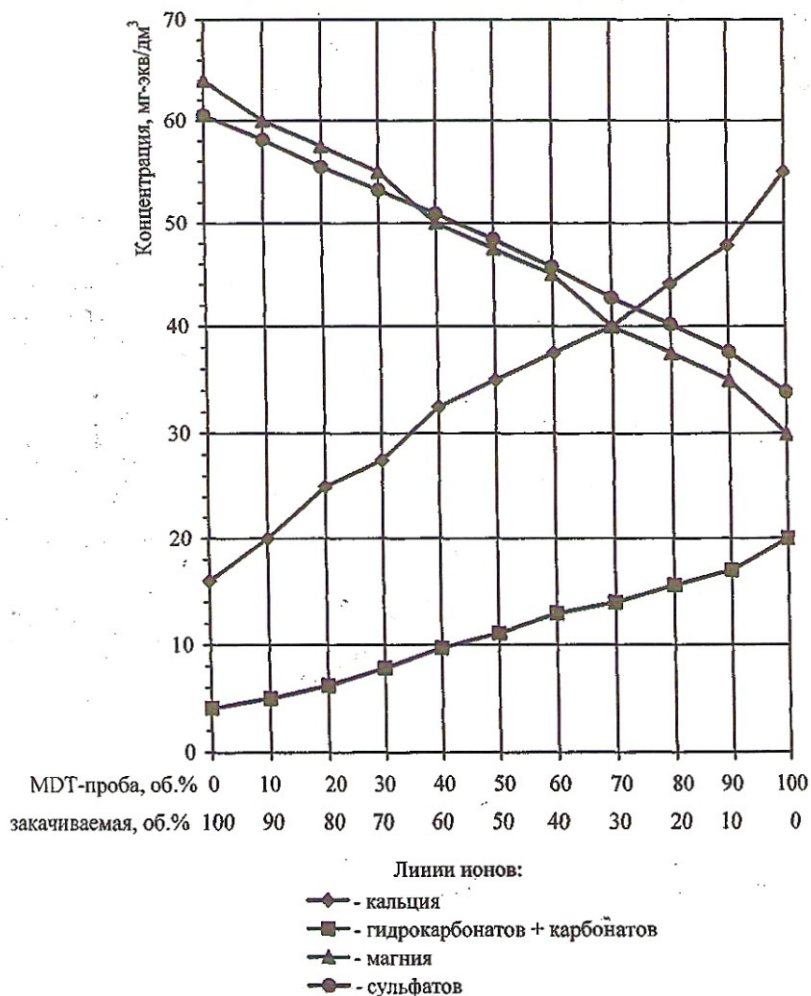


Рис. 2. Цифровая гидрохимическая модель смешивания катионов морских и пластовых вод для поддержания пластового давления при разработке морских месторождений

Таблица 18

Гидрохимическая модель пластовых и морских вод и их смесей в пластовых условиях месторождений

Объект воды, соотношение смеси	Количество осадка, г/дм ³	Плотность, кг/м ³	Вязкость, мПа*с
Вода морская	0,00	998	0,45
Смесь пластовой с морской 1 : 9	0,00	1003	0,46
Смесь пластовой с морской 2 : 8	0,00	1008	0,47
Смесь пластовой с морской 3 : 7	0,00	1013	0,47
Смесь пластовой с морской 4 : 6	0,00	1018	0,45
Смесь пластовой с морской 5 : 5	0,00	1023	0,49
Смесь пластовой с морской 6 : 4	0,00	1028	0,49
Смесь пластовой с морской 7 : 3	0,00	1032	0,50
Смесь пластовой с морской 8 : 2	0,00	1037	0,51
Смесь пластовой с морской 9 : 1	0,00	1042	0,52
Вода пластовая	0,00	1049	0,53

Таким образом, по составам основных компонентов солевого состава и гидрогеологическим исследованиям их изменений в результате смешивания пластовой и закачиваемой морской водой в различных соотношениях процессов карбонатного и сульфатного осадконакопления не выявляется. С учетом состава и свойств пластовых вод это позволяет осуществлять закачку морской воды с целью поддержания пластового давления (ППД) при поисках, разведке и разработке морских месторождений в Каспийском море.

В процессе обратной закачки необходимо проводить гидрогеологические мероприятия по контролю качества морской воды при их закачке в пласт, предусмотренные по ОСТ 39-225. Следует контролировать содержание растворенного кислорода и трехвалентного железа в закачиваемой морской воде, взаимодействие которых может привести к образованию гидрохимического техногенного осадка в пласте. При образовании в системе закачки «пластовая + морская» воды гидроксида железа и снижению приемистости продуктивного пласта рекомендуется закачка в скважину до 5 м³ 10 % соляной кислоты (СКО). Для предотвращения сероводородного заражения продуктивного пласта и последующей сульфидной агрессии нефтепромыслового оборудования следует контролировать наличие сульфатовосстанавливающих бактерий (СВБ) в закачиваемой морской воде.

Список литературы

1. Серебряков, А. О. Характеристика состава и свойств нефтей Каспийского месторождения / А. О. Серебряков // Астраханский вестник экологического образования. – 2018. – № 3 (51). – С. 40–43.
2. Серебряков, А. О. Гидрогеологические технологии определения параметров пластовых вод / А. О. Серебряков // Геология, география и глобальная энергия. – Астрахань : Издательский Дом «Астраханский университет», 2019. – №4 (75). – С. 125–136.
3. Серебряков, А. О. Роль подземных вод в формировании и сохранении залежей нефти и газа / А. О. Серебряков, О. И. Серебряков // Наука и практика–2019 : материалы Всероссийской междисциплинарной научной конференции (21–26 октября 2019 г.). – Астрахань : Изд-во АГТУ, 2019. – 5 с.
4. Серебряков, А. О. Промышленные ресурсы подземных гидросистем / А. О. Серебряков // Геология, география и глобальная энергия. – Астрахань : Издательский Дом «Астраханский университет», 2020. – №1 (76). – С. 84–86.

References

1. Serebryakov, A. O. *Harakteristika sostava i svojstv neftej Kaspijskogo mestorozhdeniya* [Characteristics of the composition and properties of the Caspian oil field]. *Astraxanskij vestnik e`kologicheskogo obrazovaniya* [Astrakhan Bulletin of Environmental Education]. 2018, № 3 (51), pp. 40–43.
2. Serebryakov, A. O. *Gidrogeologicheskie tekhnologii opredeleniya parametrov plastovyh vod* [Hydrogeological technologies for determining parameters of reservoir waters]. *Geologiya, geografiya i global'naya e`nergiya* [Geology, geography and global energy]. Astrakhan, Publishing house Astrakhan University, 2019, № 4 (75), pp. 125–136.
3. Serebryakov, A. O., Serebryakov, O. I. *Rol' podzemnyh vod v formirovanii i sohranении zalezhej nefi i gaza* [The role of underground waters in the formation and preservation of oil and gas deposits]. *Nauka i praktika–2019, materialy` Vserossijskoj mezhdisciplinarnoj nauchnoj konferencii, oktyabr` 21–26* ["Nauka i praktika–2019", materials of the All-Russian Interdisciplinary Scientific Conference, October 21–26. Astrakhan, AGTU Publishing House, 2019, 5 p.
4. Serebryakov, A. O. *Promyshlennye resursy podzemnyh gidrosistem* [Industrial resources of underground hydraulic systems]. *Geologiya, geografiya i global'naya e`nergiya* [Geology, geography, and global energy]. Astrakhan, Publishing House "Astrakhan University", 2020, № 1 (76), pp. 84–86.