

УДК 622.279.23

Петренко Василий Иванович, Петренко Иван Николаевич

МАССОПЕРЕНОС ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ГАЗОКОНДЕНСАТНОЙ ЗАЛЕЖИ ПРИ УПРУГОВОДОНАПОРНОМ РЕЖИМЕ РАЗРАБОТКИ

В статье рассматривается вопрос о том, как снижение пластового давления обуславливает ретроградную конденсацию углеводородов и испарение остаточной воды, с которыми происходит массоперенос химических элементов.

Ключевые слова: залежь, газоконденсат, конденсационная вода, химические элементы, массоперенос.

Petrenko Vasiliy I., Petrenko Ivan N.

MASS TRANSPORT OF CHEMICAL ELEMENTS IN THE GAS-CONDENSATE DEPOSITS AT ELASTIC WATER DRIVE DEVELOPMENT MODE

The article considers the question of how the reduction in reservoir pressure causes retrograde condensation hydrocarbons and evaporation of residual water, which there is the mass transfer of chemical elements.

Key words: deposit, gas condensate, condensation water, chemical elements, mass transfer.

В большинстве случаев при текущих термобарических параметрах в поровом пространстве разрабатываемой газоконденсатной залежи в фазовом равновесии находятся: пластовый газ, представленный газом-растворителем ($\text{CH}_4\text{--C}_4\text{H}_{10}$), парами высококипящих углеводородов (после конденсации газоконденсат); газоконденсат, образовавшийся в результате ретроградных процессов при изотермическом снижении пластового давления ниже давления начала конденсации; остаточная вода с растворённым в ней газом; газонасыщенная остаточная нефть (для вторичных газоконденсатных залежей типа газоконденсатного месторождения Хасси Р'Мель в Алжире [1]).

Практика разработки газоконденсатных месторождений свидетельствует о наличии в газоконденсатах и конденсационных водах многих химических элементов (рис. 1 и 2), что позволяет предполагать о подобном распределении элементов и в газовой фазе углеводородов и воды. Имеются публикации с количественными оценками массопереноса химических элементов в приземную атмосферу [2–7], однако отсутствуют публикации о массопереносе элементов при фазовых переходах флюидов непосредственно в газоконденсатных залежах. Авторы данной работы попытались ликвидировать имеющийся пробел.

Периоды	Ряды	ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВ															
		I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII	
		a	б	a	б	a	б	a	б	a	б	a	б	a	б	б	а
1	1	H															He
2	2	Li	Be	B	C	N	O	F									Ne
3	3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl									Ar
4	4	K	Ca		Sc		Ti	V		Cr		Mn		Fe	Co	Ni	
	5		Cu	Zn	Ga		Ge	As		Se		Br					Kr
5	6	Rb	Sr		Y		Zr	Nb		Mo		Tc		Ru	Rh	Pd	
	7		Ag	Cd	In		Sn	Sb		Te		I					Xe
6	8	Cs	Ba		лантаноиды		Hf	Ta		W		Re		Os	Ir	Pt	
	9		Au	Hg	Tl		Pb	Bi		Po		At					Rn
7	10	Fr	Ra		актиноиды		Rf	Db		Sg		Bh		Hn	Mt		

Лантаноиды	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd
		Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Актиноиды	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm
		Bk	Cf	Es	Fm	Md	(No)	(Lr)

Рис. 1. Химические элементы в газоконденсатах

		ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВ																	
Периоды	Ряды	I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII			
		a	б	a	б	a	б	a	б	a	б	a	б	a	б	б	a		
1	1	H															He		
2	2	Li		Be		B		C		N		O		F			Ne		
3	3	Na		Mg		Al		Si		P		S		Cl			Ar		
4	4	K		Ca			Sc		Ti		V		Cr		Mn		Fe	Co	Ni
	5		Cu		Zn		Ga		Ge		As		Se		Br				Kr
5	6	Rb		Sr			Y		Zr		Nb		Mo		Tc		Ru	Rh	Pd
	7		Ag		Cd		In		Sn		Sb		Te		I				Xe
6	8	Cs		Ba		лантаноиды			Hf		Ta		W		Re		Os	Ir	Pt
	9		Au		Hg		Tl		Pb		Bi		Po		At				Rn
7	10	Fr		Ra		актиноиды			Rf		Db		Sg		Bh		Hn	Mt	

Лантаноиды	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd
		Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Актиноиды	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm
		Bk	Cf	Es	Fm	Md	(No)	(Lr)

Рис. 2. Химические элементы в конденсационных водах

Для оценки массопереноса элементов непосредственно в залежи необходимо оценить масштабы выпадения конденсата в пласте и испарения остаточной воды. За основу приняты результаты разработки газоконденсатного месторождения 99 с начальными запасами газа свыше 2 трлн м³. В табл. 1 приведены масштабы фазовых переходов высококипящих углеводородов и остаточной воды. За весь период разработки в залежи выпало в жидкую фазу 153346,8 тыс. т газоконденсата и испарилось 4157,5 тыс. м³, образовав 5554,5 млн м³ водяного пара.

Таблица 1

Масштабы выпадения высококипящих УВ и испарения остаточной воды в пласте газоконденсатного месторождения 99

Годы разработки	Пластовое давление, МПа	Δq , г/м ³	Выпадение конденсата в пла- сте, тыс. т		ΔW , г/м ³	Испарение остаточной воды	
			за год	итого		жидкость, тыс. м ³	водяной пар, млн м ³
1	2	3	4	5	6	7	8
1963	30,48	0,01	23,6	94,3	—	—	—
1964	30,43	0,07	164,8	259,1	0,003	7,1	9,4
1965	30,39	0,05	117,6	376,7	0,002	11,8	15,7
1966	30,35	0,06	141,0	517,7	0,002	16,5	22,0
1967	30,29	0,09	211,3	729,0	0,003	23,5	31,4
1968	30,24	0,07	164,2	893,2	0,002	28,2	37,7
1969	30,18	0,10	234,2	1127,4	0,003	35,2	47,1
1970	30,12	0,10	233,9	1361,3	0,002	39,9	53,3
1971	30,06	0,10	233,6	1594,9	0,004	49,3	65,8
1972	29,99	0,12	279,9	1874,8	0,003	56,3	75,2
1973	29,87	0,21	488,8	2363,6	0,006	70,2	93,8
1974	29,82	0,10	232,1	2595,7	0,006	84,2	112,4
1975	29,77	0,09	208,2	2803,9	0,008	102,7	137,2

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
1976	29,76	0,02	46,1	2850,0	0,008	121,1	161,8
1977	29,61	0,30	688,2	3538,2	0,008	139,4	186,3
1978	29,35	0,57	1300,6	4838,8	0,015	173,7	232,0
1979	28,93	1,01	2285,2	7124,0	0,023	225,7	301,5
1980	28,32	1,71	3835,1	10959,1	0,016	261,6	349,5
1981	27,52	2,62	5826,0	16785,1	0,022	310,5	414,8
1982	26,58	3,59	7895,0	24680,1	0,029	374,3	500,1
1983	25,53	4,56	9848,3	34528,4	0,055	493,1	658,7
1984	24,36	5,66	11902,4	46430,8	0,065	629,8	841,4
1985	23,39	5,07	10323,5	56754,3	0,083	798,8	1067,1
1986	22,42	5,31	10404,9	67159,2	0,095	984,9	1315,8
1987	21,44	5,56	10469,9	77629,1	0,086	1146,9	1532,2
1988	20,46	5,65	10232,6	87861,7	0,090	1309,9	1750,0
1989	19,50	5,57	9676,2	97537,9	0,100	1483,6	1982,1
1990	18,54	5,51	9154,9	106692,8	0,111	1668,0	2228,5
1991	17,58	5,38	8525,0	115217,8	0,118	1855,0	2478,3
1992	16,60	5,29	7974,0	123191,8	0,127	2046,4	2734,0
1993	15,62	5,00	7147,9	130339,7	0,135	2239,4	2991,9
1994	14,64	4,63	6221,7	136561,4	0,181	2482,6	3316,8
1995	13,66	4,18	5229,4	141790,8	0,222	2760,4	3687,9
1996	12,74	3,46	4007,8	145798,6	0,212	3005,9	4015,9
1997	11,79	3,01	3223,8	149022,4	0,233	3255,5	4349,3
1998	10,82	2,41	2383,1	151405,5	0,276	3528,4	4713,9
1999	10,02	1,44	1302,8	152708,3	0,328	3825,2	5110,4
2000	9,36	0,78	638,5	153346,8	0,406	4157,5	5554,5

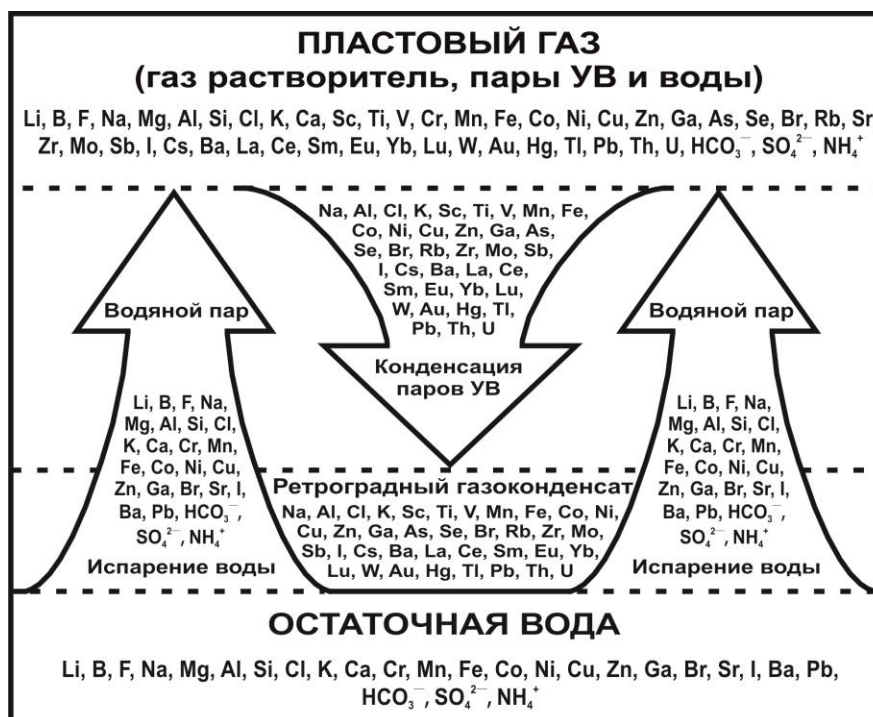


Рис. 3. Схема массопереноса химических элементов в залежи

На рис. 3 приведена принципиальная схема массопереноса химических элементов в газоконденсатной залежи. Упруговодонапорный режим разработки газоконденсатного месторождения сопровождается снижением пластового давления. Изотермическое снижение давления в залежи приводит к двум противоположным процессам: ретроградной конденсации паров высококипящих углеводородов и образованию в пласте жидкой фазы в виде газоконденсата, и к испарению остаточной воды и повышению влагосодержания текущего объема газа [6].

Таким образом, при разработке газоконденсатной залежи из необводившихся эксплуатационных скважин в установках по подготовке газа к транспорту получают относительно обезвоженный газ (газ-растворитель), газоконденсат, конденсационную воду. Жидкие флюиды содержат многие химические элементы. Исходя из имеющихся данных, при разработке газоконденсатной залежи во всех извлекаемых с газом флюидах осуществляется массоперенос химических элементов и комплексных ионов в значительных масштабах (табл. 2).

Таблица 2

Массоперенос химических элементов при выпадении конденсата и испарении остаточной воды в залежи месторождения 99 за 37-летний период разработки

Элемент	Массоперенос химических элементов, т		Элемент	Массоперенос химических элементов, т	
	при конденсации паров УВ	при испарении воды		при конденсации паров УВ	при испарении воды
Li	—	0,362	Rb	44,5	—
B	—	1,04	Sr	—	2,370
F	—	0,873	Zr	8,55	—
Na	73,6	130,5	Sb	3,07	—
Mg	—	19,3	I	150,3	0,028
Al	—	2,33	Cs	1,99	—
Si	—	11,6	Ba	30,7	3,33
Cl	2677,4	390,5	La	0,797	—
K	1030,5	10,4	Ce	0,117	—
Ca	—	119,9	Sm	0,199	—
Sc	0,828	—	Eu	6,75	—
V	76,7	—	Yb	2,45	—
Cr	—	0,291	Lu	0,041	—
Mn	70,5	9,81	W	2,61	—
Fe	308,3	676,0	Au	0,552	—
Co	15,3	0,457	Hg	18,4	—
Ni	41,5	2,20	Tl	0,767	—
Cu	153,3	15,7	Pb	—	1,66
Zn	141,1	15,7	Th	5,21	—
Ga	—	0,457	U	7,82	—
As	0,705	—	HCO ₃ [—]	—	658,1
Se	11,5	—	SO ₄ ^{2—}	—	108,0
Br	70,5	0,387	NH ₄ ⁺	—	37,4
Итого				4956,556	2218,695

Следует особо обратить внимание на тот факт, что химические элементы поступают на поверхность с газоконденсатом и конденсационной водой без каких-либо дополнительных технологических и финансовых затрат, а коэффициенты распределения и фракционирования некоторых элементов указывают на возможность их извлечения.

Литература

1. Ghalem T. Geodynamiques des fluides dans le cadre du gisement de Hassi R'Mel // 4-eme Seminaire National des Science de la Terre, Alger, 5–7 Juin 1982: Resumes. Alger: Centre National de Recherches et d'Applications des Geosciences (C.R.A.G.), Institut des Sciences de la Terre (I.S.T.), 1982. P. 46.
2. Пуланова С. А. Микроэлементы нефтей, их использование при геохимических исследованиях и изучении процессов миграции. М.: Недра, 1974. 216 с.
3. Старобинец И. С. Микроэлементы в газоконденсатах и их геохимическое значение (на примере нефтегазоконденсатных месторождений Средней Азии) // Докл. АН СССР. 1979. Т. 245. № 2. С. 454–457.
4. Легин Е. К. Летучие органические и комплексные соединения f-элементов. М.: Энергоатомиздат, 1987. 208 с.
5. Петренко В. И. Оценка масштабов переноса металлов углеродистыми газами через океаническую кору: тезисы доклада // Третье Всесоюзное совещание по геохимии углерода, 9–10 дек. 1991 г., Москва.
6. Петренко В. И. Геолого-геохимические процессы в газоконденсатных месторождениях и ПХГ. М.: Недра, 2003. 511 с.
7. Петренко В. И., Масштабы загрязнения окружающей среды при разработке месторождений углеводородов // Геоинформатика. 2012. № 2. С. 50–63.