

**НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ МАССОПЕРЕНОСА ЭЛЕМЕНТОВ
ПРИ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДАХ ВОДЫ
В ПРИРОДНЫХ ПАРОГАЗОВЫХ СИСТЕМАХ**

Петренко Василий Иванович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Северо-Кавказский федеральный университет, 355009, Российская Федерация, г. Ставрополь, пр. Кулакова, 16/1, e-mail: petrenko-stavropol@rambler.ru

Мерчева Валентина Сергеевна, кандидат технических наук, доцент, Астраханский государственный университет, 414000, Российская Федерация, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, e-mail: geologi2007@yandex.ru

Красильникова Ольга Владимировна, кандидат технических наук, начальник научно-исследовательской химико-аналитической лаборатории, ООО «Газпром добыча Астрахань», 414000, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Ленина, 30, e-mail: okrasilnikova@astrakhan-dobycha.gazprom.ru

Петренко Иван Николаевич, аспирант, Северо-Кавказский федеральный университет, 355009, Российская Федерация, г. Ставрополь, пр. Кулакова, 16/1, e-mail: petrenko-rng071@mail.ru

Еще в начале прошлого века была обнаружена удивительная способность природных газов испарять жидкую воду и превращать её в пар при любых термобарических параметрах в пределах до критических температур для чистой воды 374 °С и рассолов 400–600 °С. Поэтому в поровом пространстве газонасыщенных пород-коллекторов газовых и газоконденсатных месторождений всегда присутствуют парогазовые смеси, объем водяного пара в которых зависит от температуры, давления и минерализации остаточной воды. В статье показано, что при разработке газовых и газоконденсатных месторождений мира с любыми термобарическими параметрами и любой минерализацией остаточной воды с добываемым газом получают пресную конденсационную воду. Так, при минерализации остаточной воды по Уренгойскому газоконденсатному месторождению 18120,8 мг / дм³ минерализация конденсационной воды составляет 191,9 мг / дм³, а для месторождения Хасси Р'Мель при минерализации остаточной воды 314247 мг / дм³ минерализация конденсационной воды равна 289,97 мг / дм³. Таким образом, при разнице в минерализации остаточных и конденсационных вод от 94,4 до 1083,7 раз минерализация конденсационных вод находится в пределах от 191,9 до 289,97 мг / дм³, т.е. не выходит за пределы 300 мг / дм³. В конденсационных водах обнаружены следующие химические элементы: Cl⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Al, Fe, Mn, Ni, Co, Ti, V, Cr, Mo, Zr, Cu, Pb, Zn, Ba. Установлено, что при сопряжении природных газов с водой любой минерализации в газовую фазу переходит пресная влага с относительно повышенным содержанием микроэлементов по сравнению с минерализованными водами.

Ключевые слова: вода конденсационная, вода океанская, массоперенос, микроэлементы, коэффициенты распределения и фракционирования

**SOME FEATURES OF THE MASS TRANSFER ELEMENTS
IN PHASE TRANSITIONS OF WATER
IN NATURAL GAS-VAPOR SYSTEMS**

Petrenko Vasilij I., D.Sc. in Geology and Mineralogy, Professor, North-Caucasian Federal University, 16/1 Kulakov ave., Stavropol, 355009, Russian Federation, e-mail: petrenko-stavropol@rambler.ru

Mercheva Valentina S., C.Sc. in Engineering, Associate Professor, Astrakhan State University, 1 Shaumyan sq., Astrakhan, 414000, Russian Federation, e-mail: geologi2007@yandex.ru

Krasilnikova Olga V., C.Sc. in Engineering, Head of Scientific Research at the Chemical Analytical Laboratory, Ltd "Gazprom mining Astrakhan", e-mail: okrasilnikova@astrakhan-dobycha.gazprom.ru

Petrenko Ivan N., Post-graduate student, North-Caucasus Federal University, 16/1 Kulakov ave., Stavropol, 355009, Russian Federation, e-mail: petrenko-rng071@mail.ru

At the beginning of the last century it was discovered the amazing ability of natural gas to vaporize liquid water and turn it into steam at any temperature and pressure parameters to within the critical temperatures for pure water 374 °C and 400–600 °C brine. Therefore, in the gas-saturated pore space of reservoir rocks and gas condensate deposits always present steam-gas mixture, the amount of water vapor depends on the temperature, salinity and pressure of residual water. The article shows that the development of gas and gas condensate fields in the world with any thermobaric parameters and any residual water with mineralization mined gas condensing get fresh water. Thus, in the mineralization of residual water on the Urengoy gas condensate field 18120,8 mg / dm³ salinity condensation water is 191,9 mg / dm³, while for the Hassi R'Mel field in the mineralization of residual water 314 247 mg / dm³ salinity condensation water is 289,97 mg / dm³. Thus, the difference in the mineralization of the residual water and condensation from 94,4 to 1083,7 times condensation water salinity is in the range from 289,97 to 191,9 mg / dm³, i.e. It does not extend beyond 400 mg / dm³. The condensation water detected following elements: Cl⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Al, Fe, Mn, Ni, Co, Ti, V, Cr, Mo, Zr, Cu, Pb, Zn, Ba. It is found that when the conjugation of natural gas with water, any salinity in the gas phase proceeds fresh relatively high moisture content of trace elements as compared to the saline water.

Keywords: condensation water, ocean water, mass transfer, trace elements, distribution and fractionation coefficients

В начале XX в. (1919 г.) Р. Миллсом и Р. Уэллсом была обнаружена способность газов поглощать молекулярную влагу [1]. Позже способность газов растворять воду при различных термодинамических условиях была детально изучена Р. Олдсом, В. Сейджем, У. Лесли (1942 г.), Р. Кобаяши, Д. Катцем (1953 г.) [1], М.И. Гербер (1957 г.), Т.П. Жузе (1960 г.), Б.И. Султановым, В.Г. Скрипкой, А.Ю. Намиотом (1971 г.) и др.

Несмотря на указанные исследования, в течение продолжительного периода времени в специальной научной литературе по гидрогеологии и геохимии наличие конденсационных вод в газовых скоплениях в земной коре не находило отражения [2–8]. В СССР конденсационные воды, по-видимому, впервые были описаны Б.И. Султановым в 1961 г. [9]. В последующие годы генезису, солевому составу и свойствам конденсационных вод была посвящена обширная научная литература многих исследователей. С научными публикациями, в которых в той или иной мере рассматривались конденсационные воды различных регионов СССР, выступили: по водам Азербайджана – Б.И. Султанов, 1963, 1966 гг.; М.С. Агаларов, Б.М. Листенгартен, А.Р. Ахундов, 1965 г.; Б.С. Молдавский, 1965 г.; Т.Х. Мустафаев, 1966 г.; М.З. Рачинский, 1966 г.; Ф.И. Самедов, 1966 г.; Б.И. Султанов, Б.С. Молдавский, 1966 г.; Ш.Ф. Мехтиев, 1967 г.; Ш.Ф. Мехтиев, А.Р. Ахундов, Б.М. Листенгартен, 1970 г., и др.; по водам Средней Азии и Крыма – В.В. Колодий, 1968, 1970 гг.; В.В. Колодий, Ю.В. Добров, 1969 г.; О.Д. Штогрин, Е.С. Гавриленко, 1969 г.; по водам Калмыкии – О.С. Серебряков, И.В. Тронько, 1970 г.; О.И. Серебряков, 1971 г. и др.

В Западном Предкавказье пробы пресных вод (термин «конденсационные» появился несколько позже) впервые были получены в 1956 г. одним из авторов данного отчёта (В.И. Петренко) при исследовании безводных скважин газовых горизонтов Анастасиевско-Троицкого нефтегазового месторождения Западного Предкавказья. В.И. Петренко впервые обратил внимание на различие в ионном составе и минерализации конденсационных и пластовых вод, что послужило основой для гидрохимического метода контроля за обводнением скважин и залежей газовых и газоконденсатных месторождений, который к настоящему времени внедрён во всех газодобывающих регионах России и Алжира. В последующие годы гидрохимическому методу контроля, а также собственно конденсационным водам и их геолого-геохимической роли в проявлении многих природных явлений была посвящена обширная научная литература [10–22]. Обращает на себя внимание особый генезис газовой фазы воды (водяного пара) газовых, газоконденсатных и нефтегазоконденсатных залежей, а также газовой фазы воды гомогенных скоплений любых других газов. Заключается он в следующем. На Земле мало районов, в которых в зонах земной коры с докритической температурой для воды последняя может присутствовать в виде пара. В качестве примера можно привести такие известные геотермальные системы, как Камчатка в России, Лардерелло в Италии, Гейзеры и долина Десяти Тысяч Дымов на Аляске в США, Мацукава в Японии, в которых из пробуренных скважин получают пар при температурах примерно 230–250 °С (А. Джеймс Эллис, 1982). В большей части земной коры с докритическими температурами для воды (для чистой воды 374,15 °С, для её растворов 450–700 °С [24]) флюидное давление весьма значительно и на любых отметках вода может находиться только в жидком виде. Имеется, однако, удивительное исключение из этого «правила»: в случае наличия в земной коре газового скопления любого размера, от критического пузырька до газовой залежи, сформированного отдельным газом или смесью газов (CO₂, CH₄ и его гомологи, N₂, H₂, H₂S, SO₂, CO, He, NH₃), в нем присутствует водяной пар. Газ «испаряет» воду с превращением ее в пар в «запретной» для его присутствия зоне, охватывающей всю земную кору от глубин распространения критических температур для воды и ее растворов до земной поверхности. Известно, что все породы земной коры насыщены водой (В.И. Вернадский, 1983) и её количества достаточно для полного насыщения влагой любых по размерам гомогенных скоплений природных газов, вплоть до гигантских газовых залежей.

Конденсационные воды, число отобранных проб которых на всех газовых и газоконденсатных месторождениях России измеряется многими тысячами, имеют специфический ионный и микроэлементный состав, что подтверждено многолетними исследованиями. Объём газовой фазы (водяной пар) конденсационных вод следует учитывать при подсчёте начальных и текущих запасов газа в залежах [23].

В данной работе, прежде всего, обращается внимание на геохимический феномен: в пластовом газе, представленном в виде парогазовой смеси, независимо от минерализации сопряженной с ним пластовой воды, парообразная влага всегда является маломинерализованной, что подтверждается ионным и микроэлементным составом конденсационных вод, а также коэффициентами распределения и фракционирования в системе «вода пластовая – вода конденсационная».

В качестве коэффициента распределения принято отношение содержания химических элементов в водяном паре пластовой парогазовой системы (пластовый газ), представленном в виде конденсационной воды, пробы которой отбирались до обводнения скважин, к их содержанию в пластовой воде, пробы которой отбирались в процессе обводнения скважин:

$$K_{dis} = \frac{C_{wc}}{C_{wg}}, \quad (1)$$

где K_{dis} – коэффициент распределения; C_{wc} – содержание элемента в конденсационной воде; C_{wg} – содержание элемента в пластовой воде.

Под коэффициентом фракционирования принимается способность каждого из элементов переходить в газовую фазу (в водяной пар) в сравнении с «летучестью» хлорид-иона, т.е. отношение величин коэффициентов распределения любого химического элемента к коэффициенту распределения хлорид-иона:

$$K_{fr} = \frac{K_{dis}^x}{K_{dis}^{Cl^-}}, \quad (2)$$

где K_{fr} – коэффициент фракционирования; K_{dis}^x – коэффициент распределения элементов; $K_{dis}^{Cl^-}$ – коэффициент распределения для хлорид-иона.

В таблице 1 представлено детальное сопоставление ионного состава пластовых и конденсационных вод для пяти (авторы располагают аналогичными данными по ряду других месторождений) газоконденсатных месторождений (ГКМ), в таблице 2 приведены обобщённые данные для тех же месторождений и для Мёртвого моря [30].

Таблица 1

Коэффициенты распределения и фракционирования элементов в системе «вода пластовая – вода конденсационная» по месторождениям

Ионы	Содержание ионов (мг / дм ³) в воде		Коэффициенты		Соотношение содержания ионов (C _{wg} / C _{wc})
	пластовой (C _{wg})	конденсационной (C _{wc})	распределения (K _{dis})	фракционирования (K _{fr})	
Ленинградское					
Cl ⁻	37370	519	0,01389	1,00	72,0
HCO ₃ ⁻	524	402,6	0,768	55,3	1,30
SO ₄ ²⁻	18	9	0,500	36,0	2,0
Na ⁺ + K ⁺	21090	437	0,02072	1,49	48,3
Ca ²⁺	2090	30	0,01435	1,03	69,7
Mg ²⁺	507	8	0,01578	1,14	63,4
Минерализация, мг / дм ³	61599	1405,6	0,02282	1,64	43,6
Уренгойское					
Cl ⁻	10625,5	42,4	0,00399	1,00	251
HCO ₃ ⁻	317,2	78,7	0,218	54,7	4,0
SO ₄ ²⁻	6	9,4	1,57	393	0,64
Na ⁺	6789,1	45,4	0,00669	1,68	150
K ⁺	Не опр.	2,3	–	–	–
Ca ²⁺	256,5	10,9	0,0425	10,65	24
Mg ²⁺	126,5	2,8	0,0221	5,55	45
Минерализация, мг / дм ³	18120,8	191,9	0,0106	–	94,4

Медвежье					
Cl ⁻	12436,1	50,5	0,00406	1,00	246,3
HCO ₃ ⁻	31,7	89	2,81	692,1	0,356
SO ₄ ²⁻	18,1	9	0,497	122,4	2,01
Na ⁺	6888	48,5	0,00704	1,73	142,0
K ⁺	34	3,1	0,0912	22,5	11,0
Ca ²⁺	803,9	11,7	0,0146	3,60	68,7
Mg ²⁺	143,1	2	0,0140	3,45	71,6
Минерализация, мг / дм ³	20354,9	213,8	0,0105	–	95,2
Астраханское					
Cl ⁻	42223,2	204,7	0,00422	1,00	237,1
HCO ₃ ⁻	27,3	19,7	0,721	170,8	1,38
SO ₄ ²⁻	301,8	29,7	0,0113	2,68	88,3
Na ⁺	24023,7	66,7	0,00245	0,581	407,6
K ⁺	370,9	следы	–	–	–
Ca ²⁺	2802,1	56,3	0,0188	4,45	53,3
Mg ²⁺	259,1	12,7	0,0151	3,58	66,1
Минерализация, мг / дм ³	70008,1	389,8	0,00557	1,32	179,6
Хасси Р'Мель (Алжир)					
Cl ⁻	190544	138,45	0,000727	1,00	1376
HCO ₃ ⁻	227,3	22,39	0,0985	135,5	10,2
SO ₄ ²⁻	2195	31,42	0,0143	19,76	69,9
Na ⁺	105642	42,3	0,000400	0,550	2497
K ⁺	2446	17,52	0,00716	9,85	139,6
Ca ²⁺	12652	34,52	0,00273	3,76	366,5
Mg ²⁺	540,8	3,37	0,00623	8,57	160,5
Минерализация, мг / дм ³	314247,1	289,97	0,000923	1,27	1083,7

Для Мертвого моря в качестве K_{dis} приведено отношение минерализации «конденсационной» воды, принятой условно с минерализацией 500 мг / дм³, к минерализации рассола моря (350000 мг / дм³ [30; БСЭ]).

Из приведенных данных видно, что, несмотря на высокую минерализацию пластовой воды по главным ионам, находящуюся в пределах от 18121 мг / дм³ (Уренгойское месторождение) до 314247 мг / дм³ (месторождение Хасси Р'Мель), минерализация конденсационной воды меняется незначительно, от 191,9 до 389,8 мг / дм³.

Таблица 2

Коэффициенты распределения главных ионов в системе «вода пластовая – вода конденсационная» для месторождений и для Мертвого моря

Месторождение	Давление, МПа	Температура, °С	Вла-госо-держания, г / м ³	Минерализация воды, мг / дм ³		Коэффициент распределения (K_{dis})	Соотношение минерализации (C_{wg} / C_{wc})
				пластовой (C_{wg})	конденсационной (C_{wc})		
Ленинградское	22,19	73	1,879	61599	*1405,6	0,0228	43,6
Уренгойское	12	34	0,525	18120,8	191,9	0,0106	94,4
Медвежье	11,7	37	0,615	20354,9	213,8	0,0105	95,2
Астраханское	62	105	3,587	69982,8	389,8	0,00557	179,5
Хасси Р'Мель	31,5	90	0,912	314247	289,97	0,000923	1083,7
Мертвое море	4,3	24	0,131	350000	500	0,00161	700

*По-видимому, в конденсационной воде Ленинградского месторождения есть незначительная примесь воды пластовой.

При этом чем выше минерализация пластовой воды, тем меньше величина коэффициента распределения. Это является свидетельством того, что независимо от минерализации пластовой воды водяной пар в пластовой парогазовой смеси всегда представлен пресной влагой. Напрашивается исключительной важности вывод: природные газы в докритической области для воды при сопряжении с рассолами любой минерализации испаряют «чистую» воду.

В качестве подтверждения такого вывода приведём данные, полученные на Ленинградском ГКМ при специальном исследовании в обводнившейся скважине 81 восточного купола. Небольшая по запасам газа залежь восточного купола разрабатывалась с апреля 1963 г. по июль 1972 г. при жёстком водонапорном режиме тремя скважинами. Так как обводнение скважин происходило практически при одном и том же пластовом давлении, равном начальному (22,19 МПа), любая из обводнившихся скважин могла продолжать работать с водой. Последней обводнялась скважина 81. Впервые в ней пластовая вода появилась в апреле 1970 г. Так как она оставалась единственной скважиной, эксплуатирующей залежь восточного купола, было решено ее не останавливать и она продолжала работать 2,3 года с пластовой водой. За этот период из скважины было добыто 143,048 млн м³ газа, 7131,3 м³ конденсата, 402,4 м³ воды конденсационной и 48963 м³ воды пластовой (342,3 см³ рассола на 1 м³ газа). Перед полной остановкой в июле 1972 г. из скважины получили 1,118 млн м³ газа, 59,7 м³ конденсата, 3,1 м³ воды конденсационной и 3674,5 м³ воды пластовой (3286,7 см³ рассола на 1 м³ газа). Через неделю после остановки скважины из неё специально на малом штуцере получили незначительный дебит газа, из которого выделилась пресная конденсационная вода.

Таблица 3

**Коэффициенты распределения и фракционирования элементов
в системе «вода пластовая – вода конденсационная» Астраханского ГКМ**

Элементы	Содержание ионов и микрокомпонентов		Коэффициенты	
	вода пластовая	вода конденсационная	распределения	фракционирования
Cl ⁻	42223,2	148,0	0,00351	1,00
HCO ₃ ⁻	27,3	19,7	0,722	205,9
SO ₄ ²⁻	301,8	16,8	0,0557	15,9
Ca ²⁺	2802,1	42,8	0,0153	4,36
Mg ²⁺	259,1	4,08	0,0157	4,49
Na ⁺	24023,7	65,5	0,00273	0,778
K ⁺	370,9	2,60	0,00701	2,00
Al	0,150	0,0633	0,422	120,4
Fe	0,134	0,150	1,12	319,4
Mn	0,0330	0,237	7,18	2048,9
Ni	0,0113	0,323	28,6	8154,8
Co	0,00500	0,410	82,0	23393,9
Ti	0,00500	0,497	99,4	28358,0
V	0,00150	0,583	388,7	110883,4
Cr	0,0356	0,670	18,8	5369,3
Mo	0,00567	0,757	133,5	38089,2
Zr	0,00467	0,843	180,5	51499,2
Cu	0,0140	0,930	66,4	18951,5
Pb	0,0245	1,02	41,6	11877,5
Zn	0,340	1,28	3,76	1074,0
Ba	6,44	2,06	0,320	91,3
Все элементы	70015,3	309,3033	0,00414	1,182
Макроэлементы	70008,1	299,48	0,00400	1,141
Микроэлементы	7,20424	9,8233	1,36	389,0

Это свидетельствует о том, что, несмотря на полное заполнение порового пространства призабойной зоны скважины высокоминерализованной пластовой водой ($61,6 \text{ г / дм}^3$), парообразная влага контактирующего с рассолом пластового газа была пресной (аналогичный эксперимент можно осуществить в обводнившейся скважине любого газового месторождения).

Описанным геохимическим феноменом объясняется обнаружение на дне Мертвого моря выходов пресной воды [30]. Есть все основания утверждать, что снизу через осадки просачивается парогазовая смесь, из неё на дне моря при изменении давления и температуры выделяется пресная вода, в пределах распространения которой развиваются микроорганизмы.

В таблице 3 приведены коэффициенты распределения и фракционирования 6 ионов и 14 микроэлементов в системе «вода пластовая – вода конденсационная» для Астраханского газоконденсатного месторождения (АГКМ). На рисунке 1 показан коэффициент фракционирования для указанных ионов и микроэлементов того же месторождения. Как видно из таблицы 3 и рисунка 1, все микроэлементы обладают высокой «летучестью», превышающей «летучесть» хлорид-иона на 2–5 порядков. В целом «летучесть» микроэлементов превышает «летучесть» макроэлементов (главные ионы) в 341 раз ($389,6 / 1,1423 = 341,1$).

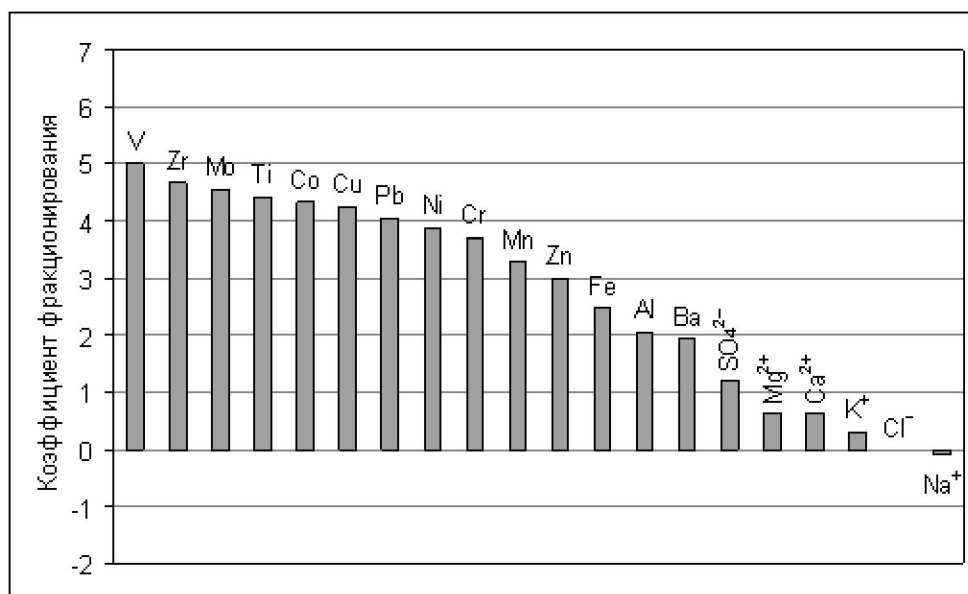


Рис. 1. Коэффициенты фракционирования элементов в системе «пластовая вода – конденсационная вода» Астраханского ГКМ

Как известно, большая часть земной коры представлена осадками морского происхождения, а состав океанской воды в течение как минимум 500 млн лет оставался постоянным [6, 7, 24], что позволяет выполнить сопоставление минерализации и состава конденсационной и морской воды. Полученные результаты представлены в таблице 4 и на рисунке 2.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что за геологическое время, с момента формирования газоконденсатной залежи, многие микроэлементы из пород и остаточной воды перешли в парообразную влагу пластовой па-

рогазовой системы. При этом отмечены значительные по масштабам коэффициенты распределения для Co, Ti и Cu и огромные коэффициенты распределения для Zr, Cr и Pb (табл. 4).

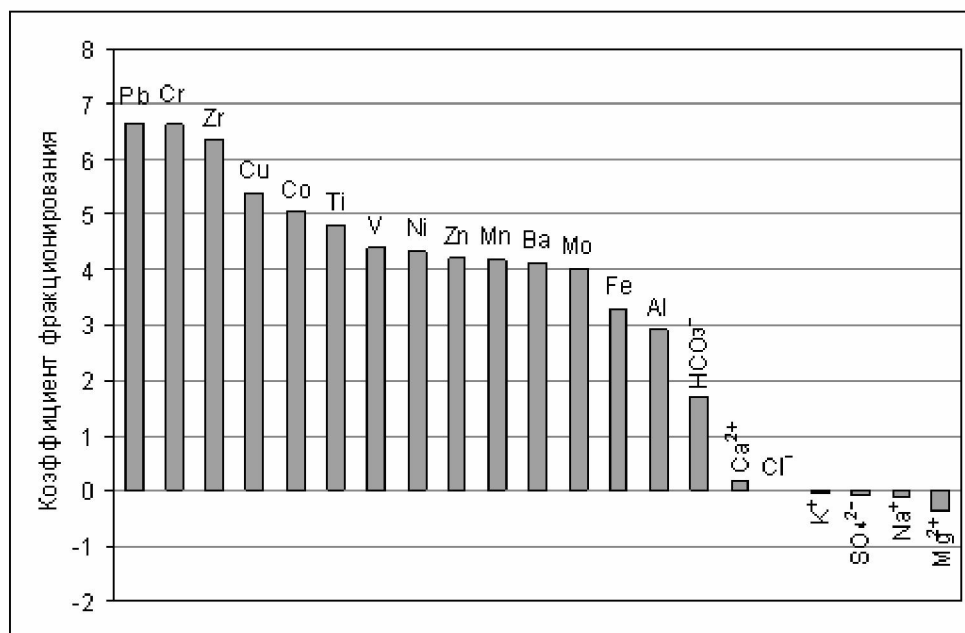


Рис. 2. Коэффициенты фракционирования элементов в системе «вода океанская – вода конденсационная АГКМ»

Таблица 4

Коэффициенты распределения и фракционирования элементов в системе «вода океанская – вода конденсационная АГКМ»

Элементы	Содержание ионов и микрокомпонентов, мг / дм ³		Коэффициенты	
	*вода океанская	вода конденсационная	распределения	фракционирования
1	2	3	4	5
Cl ⁻	19354	148,0	0,00765	1,00
HCO ₃ ⁻	138	19,7	0,1428	51,0
SO ₄ ²⁻	2700,7	16,8	0,00622	0,813
Ca ²⁺	408,0	42,8	0,0118	1,538
Mg ²⁺	1297,0	4,08	0,00315	0,411
Na ⁺	10763,8	65,5	0,00608	0,795
K ⁺	387,5	2,60	0,00671	0,877
Al	0,01	0,0633	6,33	827,4
Fe	0,01	0,150	15,0	1961
Mn	0,002	0,237	118,5	15490
Ni	0,002	0,323	161,5	21111
Co	0,0005	0,410	820	107190
Ti	0,001	0,497	497	64967
V	0,003	0,583	194,3	25403
Cr	0,00002	0,670	33500	4379085
Mo	0,01	0,757	75,7	9895
Zr	0,00005	0,843	16860	2203922
Cu	0,0005	0,930	1860	243137

Pb	0,00003	1,02	34000	4444444
Zn	0,01	1,28	128	16732
Ba	0,02	2,06	103	13464
Все элементы	35049,07	309,3033	0,00886	1,1581
Макроэлементы	35049,0	299,48	0,008825	1,1213
Микроэлементы	0,0691	9,8233	142,16	18583

*По А.П. Виноградову.

В заключении можно констатировать, что конденсационные воды газовых и газоконденсатных месторождений и конденсаты возгонов базальтовой и андезит-базальтовой лав являются дериватом сконденсировавшихся водяных паров, и перенос большого числа химических элементов в газовую фазу происходит по одному и тому же механизму с помощью различных лигандов [25–29, 31–34].

Приведенный в данной работе новый материал свидетельствует о возможности массопереноса химических элементов парогазовыми смесями в значительных количествах к океанскому дну, приводящему к формированию железомарганцевых конкреций [35–36] и металлоносных осадков [37–39].

Список литературы

1. Барнс Х. Л. Растворимость рудных минералов / Х. Л. Барнс // Геохимия гидротермальных рудных месторождений. – Москва : Мир, 1982. – С. 328–404.
2. Браунлоу А. Х. Геохимия / А. Х. Браунлоу. – Москва : Недра, 1984. – 463 с.
3. Бримхолл Д. Х. Рудные флюиды: от магматических до гипергенных / Д. Х. Бримхолл // Термодинамическое моделирование в геологии / Д. Х. Бримхолл, Д. А. Крерар. – Москва : Мир, 1992. – С. 247–353.
4. Брукс Р. Р. Биологические методы поисков полезных ископаемых : пер. с англ. / Р. Р. Брукс. – Москва : Недра, 1986. – 311 с.
5. Взаимосвязь природных газов и воды / В. И. Петренко, Н. В. Петренко, В. Г. Хадькин, В. Д. Щугорев. – Москва : Недра, 1995. – 279 с.
6. Влияние обводнения многопластовых газовых и газоконденсатных месторождений на их разработку / Г. В. Рассохин, И. А. Леонтьев, В. И. Петренко, П. Т. Шмыгля, Ю. В. Коноплев. – Москва : Недра, 1973. – 262 с.
7. Воды нефтяных и газовых месторождений СССР : справочник / под ред. Л. М. Зорькина. – Москва : Недра, 1989. – 382 с.
8. Геолого-геохимические процессы в газоконденсатных месторождениях и ПХГ / В. И. Петренко, В. В. Зиновьев, В. Я. Зленко, И. В. Зиновьев, С. Б. Остроухов, Н. В. Петренко. – Москва : Недра, 2003. – 511 с.
9. Гричук Д. В. Термодинамические модели субмаринных гидротермальных систем / Д. В. Гричук. – Москва : Научный мир, 2000. – 304 с.
10. Гурвич Е. Г. Металлоносные осадки Мирового океана / Е. Г. Гурвич. – Москва : Научный Мир, 1998. – 340 с.
11. Драйвер Дж. Геохимия природных вод / Дж. Драйвер. – Москва : Мир, 1985. – 440 с.
12. Дымкина Л. Г. Особенности состава спонтанных газов кальдеры Узон при анализе непосредственно на термальном поле / Л. Г. Дымкина, В. А. Соломонов, Г. А. Карпов // Геология и геофизика. – 1988. – № 5. – С. 42–47.
13. Карцев А. А. Нефтегазопромысловая гидрогеология / А. А. Карцев, А. М. Никаноров. – Москва : Недра, 1983. – 199 с.
14. Колодий В. В. Подземные конденсационные и солощонные воды нефтяных, газоконденсатных и газовых месторождений / В. В. Колодий. – Киев : Наукова думка, 1975. – 124 с.
15. Контроль за разработкой газовых и газоконденсатных месторождений / Г. В. Рассохин, И. А. Леонтьев, В. И. Петренко, Н. И. Белый, С. П. Омесь. – Москва : Недра, 1979. – 272 с.
16. Контроль за процессом обводнения газовых и газоконденсатных месторождений по гидрохимическим показателям / И. А. Леонтьев, В. И. Петренко, Г. В. Рассохин, В. А. Царев, А. П. Козлов, Ю. Н. Селиванов. – Москва, 1967. – 48 с.

17. Крафт Б. С. Прикладной курс технологии добычи нефти / Б. С. Крафт, М. Ф. Хокинс. – Москва : Гостотгхиздат, 1963. – 460 с.
18. Мархинин Е. К. Вулканизм / Е. К. Мархинин. – Москва : Недра, 1985. – 288 с.
19. Механизмы концентрирования благородных металлов в терригенно-углеродистых отложениях / Н. П. Ермолаев, Н. А. Созинов, Р. П. Котина, Е. А. Пашкова, Н. И. Горячкин. – Москва : Научный мир, 1999. – 124 с.
20. Набоко С. И. Вулканические эксгальциации и продукты их реакций / С. И. Набоко. – Москва : Академия наук СССР, 1959. – 302 с.
21. Овчинников А. М. Гидрогеохимия / А. М. Овчинников. – Москва : Недра, 1970. – 200 с.
22. Пампура В. Д. Минералообразование в гидротермальных системах / В. Д. Пампура. – Москва : Наука, 1977. – 204 с.
23. Петренко В. И. Динамика и фазовые превращения подземных вод при эксплуатации газоконденсатных месторождений / В. И. Петренко // Известия Академии наук СССР. Сер. геологическая. – 1982. – № 1. – С. 116–129.
24. Петренко В. И. Контроль за обводнением газоконденсатных скважин с помощью наблюдений за минерализацией пластовых вод / В. И. Петренко, Г. В. Рассохин, И. А. Леонтьев // Газовое дело. – 1966. – № 2. – С. 10–16.
25. Петренко В. И. Механизм формирования пресных вод в залежах углеводородов / В. И. Петренко, С. С. Заводнов // Геология и геофизика. – 1986. – № 5. – С. 27–32.
26. Петренко В. И. О роли природных газов в формировании океанических железомарганцевых конкреций / В. И. Петренко, Н. В. Петренко // Геологический журнал. – 1992. – № 2. – С. 45–54.
27. Петренко В. И. О роли эндогенных газов в формировании океанических железомарганцевых конкреций / В. И. Петренко, Н. В. Петренко // Доклады Академии наук Украины. – 1991. – № 11. – С. 82–85.
28. Петренко В. И. Роль докритического пара воды в вертикальном массопереносе (на примере парогазовых смесей газоконденсатных месторождений) / В. И. Петренко, С. С. Заводнов // Доклады Академии наук СССР. – 1986. – Т. 291. – С. 454–457.
29. Петренко В. И. Роль фазовых переходов в системе углеводорода-вода в формировании оторочек маломинерализованных вод / В. И. Петренко, С. С. Заводнов // Доклады Академии наук СССР. – 1984. – Т. 278, № 5. – С. 1196–1199.
30. Петренко В. И. Связь подземных вод с углеводородами / В. И. Петренко // Известия Академии наук СССР. Сер. геологическая. – 1984. – № 4. – С. 116–124.
31. Петренко, В. И. Фазовые переходы в парогазовых смесях и их роль в увеличении углеводородоотдачи недр / В. И. Петренко, С. С. Заводнов, М. А. Мартынова // Доклады Академии наук СССР. – 1985. – Т. 283, № 2. – С. 441–445.
32. Питьева К. Е. Гидрогеохимия (формирование химического состава подземных вод) / К. Е. Питьева. – Москва : Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, 1978. – 328 с.
33. Рейф Ф. Г. Первые результаты прямого определения концентрации рудообразующих элементов в магматическом дистилляте вольфрамоносных интрузий / Ф. Г. Рейф, Ю. М. Ишков // Доклады Академии наук СССР. – 1983. – Т. 269, №3. – С. 725–728.
34. Руководство по добыче, транспорту и переработке природного газа / Д. Л. Катц, Д. Кобаяши, Ф. Х. Поеттманн, Дж. А. Вери, Дж. Р. Еленбаас, Ч. Ф. Уайнауг. – Москва : Недра, 1965. – 676 с.
35. Самарина В. С. Гидрогеохимия : учебное пособие / В. С. Самарина. – Ленинград : Ленинградский университет, 1977. – 360 с.
36. Слободской Р. М. Элементоорганические соединения в магматогенных и рудообразующих процессах / Р. М. Слободской. – Новосибирск : Наука, 1981. – 134 с.
37. Смирнов В. И. Геология полезных ископаемых / В. И. Смирнов. – Москва : Недра, 1982. – 669 с.
38. Султанов Б. И. Глубинные конденсатные воды газоконденсатных месторождений и условия их формирования / Б. И. Султанов // Доклады Академии наук Азербайджанской ССР. – 1961. – Т. XVII, № 12. – С. 1165–1167.
39. <http://www.cellbiol.ru/news>.

References

1. Barns Kh. L. Rastvorimost rudnykh mineralov [Solubility ore minerals]. *Geokhimiya gidrotermalnykh rudnykh mestorozhdeniy* [Geochemistry of hydrothermal ore deposits], Moscow, Mir Publ., 1982, pp. 328–404.
2. Braunlou A. Kh. *Geokhimiya* [Geochemistry], Moscow, Nedra Publ., 1984. 463 p.

3. Brimkholl D. Kh., Krerar D. A. Rudnye flyuidy: ot magmatischeikh do gipergennykh [Ore fluids from magmatic to supergene]. *Termodinamicheskoe modelirovanie v geologii* [Thermodynamic modeling in geology], Moscow, Mir Publ., 1992, pp. 247–353.
4. Bruks R. R. *Biologicheskie metody poiskov poleznykh iskopaemykh* [Biological methods of searches of minerals], Moscow, Nedra Publ., 1986. 311 p.
5. Petrenko V. I., Petrenko N. V., Khadykin V. G., Shchugorev V. D. *Vzaimosvyaz prirodnykh gazov i vody* [The relationship of natural gas and water], Moscow, Nedra Publ., 1995. 279 p.
6. Rassokhin G. V., Leontev I. A., Petrenko V. I., Shmyglya P. T., Konoplev Yu. V. *Vliyaniye obvodneniya mnogoplastovykh gazovykh i gazokondensatnykh mestorozhdeniy na ikh razrabotku* [The effect of flooding multilayer gas and gas condensate fields in their development], Moscow, Nedra Publ., 1973. 262 p.
7. Zorkin L. M. *Vody neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy SSSR* [Water oil and gas deposits of the USSR], Moscow, Nedra Publ., 1989. 382 p.
8. Petrenko V. I., Zinovev V. V., Zlenko V. Ya., Zinovev I. V., Ostroukhov S. B., Petrenko N. V. *Geologo-geokhimicheskie protsessy v gazokondensatnykh mestorozhdeniyakh i PKhG* [Geological and geochemical processes in the gas-condensate fields and UGS], Moscow, Nedra Publ., 2003. 511 p.
9. Grichuk D. V. *Termodinamicheskie modeli submarinnykh gidrotermalnykh sistem* [Thermodynamic models of submarine hydrothermal systems], Moscow, Nauchnyy mir Publ., 2000. 304 p.
10. Gurvich Ye. G. *Metallonosnye osadki Mirovogo okeana* [Metalliferous sediments of the oceans], Moscow, Nauchnyy mir Publ., 1998. 340 p.
11. Driver Dzh. *Geokhimiya prirodnykh vod* [Geochemistry of natural waters], Moscow, Mir Publ., 1985. 440 p.
12. Dymkina L. G., Solomonov V. A., Karpov G. A. Osobennosti sostava spontannykh gazov kaldery Uzon pri analize neposredstvenno na termalnom pole [Features composition of spontaneous gas caldera Uzon in the analysis directly on the thermal field]. *Geologiya i geofizika* [Geology and Geophysics], 1988, no. 5, pp. 42–47.
13. Kartsev A. A., Nikanorov A. M. *Neftegazopromyslovaya gidrogeologiya* [Oil and gas hydrogeology], Moscow, Nedra Publ., 1983. 199 p.
14. Kolodiy V. V. *Podzemnye kondensatsionnye i solyutsionnye vody neftyanykh, gazokondensatnykh i gazovykh mestorozhdeniy* [Underground condensing water and a dissolving of oil, condensate and gas fields], Kiev, Naukova dumka Publ., 1975. 124 p.
15. Rassokhin G. V., Leontev I. A., Petrenko V. I., Belyy N. I., Omes S. P. *Kontrol za razrabotkoy gazovykh i gazokondensatnykh mestorozhdeniy* [Oversee the development of gas and gas condensate deposits], Moscow, Nedra Publ., 1979. 272 p.
16. Leontev I. A., Petrenko V. I., Rassokhin G. V., Tsarev V. A., Kozlov A. P., Selivanov Yu. N. *Kontrol za protsessom obvodneniya gazovykh i gazokondensatnykh mestorozhdeniy po gidrokhimicheskim pokazatelyam* [Control of the process of flooding and gas condensate fields on the hydrochemical], Moscow, 1967. 48 p.
17. Kraft B. S., Khokins M. F. *Prikladnoy kurs tekhnologii dobychi nefiti* [Applied rate of oil production technology], Moscow, Gostoptekhizdat Publ., 1963. 460 p.
18. Markhinin Ye. K. *Vulkanizm* [Volcanism], Moscow, Nedra Publ., 1985. 288 p.
19. Yermolaev N. P., Sozinov N. A., Kotina R. P., Pashkova Ye. A., Goryachkin N. I. *Mekhanizmy kontsentrirvaniya blagorodnykh metallov v terrigenno-uglerodistykh otlozheniyakh* [Mechanisms for the concentration of precious metals in lacustrine sediments, carbon], Moscow, Nauchnyy mir Publ., 1999. 124 p.
20. Naboko S. I. *Vulkanicheskie eksulyatsii i produkty ikh reaktsiy* [Volcanic exhalations and products of their reactions], Moscow, USSR Academy of Sciences Publ. House, 1959. 302 p.
21. Ovchinnikov A. M. *Gidrogeokhimiya* [Hydrogeochemistry], Moscow, Nedra Publ., 1970. 200 p.
22. Pampura V. D. *Mineraloobrazovanie v gidrotermalnykh sistemakh* [Mineralization in hydrothermal systems], Moscow, Nauka Publ., 1977. 204 p.
23. Petrenko V. I. Dinamika i fazovye prevrashcheniya podzemnykh vod pri ekspluatatsii gazokondensatnykh mestorozhdeniy [Dynamics and phase transitions of groundwater in the operation of gas condensate deposits]. *Izvestiya Akademii nauk SSSR. Ser. geologicheskaya* [Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR. Ser. Geological], 1982, no. 1, pp. 116–129.
24. Petrenko V. I., Rassokhin G. V., Leontev I. A. Kontrol za obvodneniem gazokondensatnykh skvazhin s pomoshchyu nablyudeniy za mineralizatsiey plastovykh vod [Control of flooding condensate wells with the help of observations of formation water salinity]. *Gazovoe delo* [Gas Business], 1966, no. 2, pp. 10–16.

25. Petrenko V. I., Zavodnov S. S. Mekhanizm formirovaniya presnykh vod v zalezhakh uglevodorodov [Mechanism of fresh water in the reservoirs of hydrocarbons]. *Geologiya i geofizika* [Geology and Geophysics], 1986, no. 5, pp. 27–32.
26. Petrenko V. I., Petrenko N. V. O roli prirodnykh gazov v formirovanii okeanicheskikh zhelezomargantsevykh konkretsiy [The role of natural gas in the formation of oceanic ferromanganese nodules]. *Geologicheskii zhurnal* [Geological Journal], 1992, no. 2, pp. 45–54.
27. Petrenko V. I., Petrenko N. V. O roli endogennykh gazov v formirovanii okeanicheskikh zhelezomargantsevykh konkretsiy [About the role of endogenous gases in the formation of oceanic ferromanganese nodules]. *Doklady Akademii nauk Ukrainy* [Proceedings of the Academy of Sciences of Ukraine], 1991, no. 11, pp. 82–85.
28. Petrenko V. I., Zavodnov S. S. Rol dokriticheskogo para vody v vertikalnom massopere nose (na primere parogazovykh smesey gazokondensatnykh mestorozhdeniy) [The role of subcritical water vapor in the vertical mass transfer (for example, mixtures of steam and gas condensate fields)]. *Doklady Akademii nauk Ukrainy* [Proceedings of the Academy of Sciences of Ukraine], 1986, vol. 291, pp. 454–457.
29. Petrenko V. I., Zavodnov S. S. Rol fazovykh perekhodov v sisteme uglevodorody-voda v formirovanii otorochek malomineralizovannykh vod [The role of phase transitions in the hydrocarbon-water formation of mineralized waters rims]. *Doklady Akademii nauk Ukrainy* [Proceedings of the Academy of Sciences of Ukraine], 1984, vol. 278, no. 5, pp. 1196–1199.
30. Petrenko V. I. Svyaz podzemnykh vod s uglevodorodami [Communication groundwater with hydrocarbons]. *Izvestiya Akademii nauk SSSR. Ser. geologicheskaya* [Proceedings of the USSR Academy of Sciences. Ser. Geological], 1984, no. 4, pp. 116–124.
31. Petrenko V. I., Zavodnov S. S., Martynova M. A. Fazovye perekhody v parogazovykh smesyakh i ikh rol v uvelichenii uglevodorodootdachi nedr [Phase transitions vapor gas mixtures, and their role in increasing uglevodorodootdachi subsoil]. *Doklady Akademii nauk SSSR* [Proceedings of the USSR Academy of Sciences], 1985, vol. 283, no. 2, pp. 441–445.
32. Piteva K. Ye. *Gidrogeokhimiya (formirovanie khimicheskogo sostava podzemnykh vod)* [Hydrogeochemistry (formation of the chemical composition of groundwater)], Moscow, Lomonosov Moscow State University Publ. House, 1978. 328 p.
33. Reyf F. G., Ishkov Yu. M. Pervye rezultaty pryamogo opredeleniya kontsentratsii rudoobrazuyushchikh elementov v magmaticheskom distillyate volframonosnykh intruziy [The first results of the direct determination of the concentration of ore-forming elements in the magmatic intrusions distillate volframonosnykh]. *Doklady Akademii nauk SSSR* [Proceedings of the USSR Academy of Sciences], 1983, vol. 269, no. 3, pp. 725–728.
34. Katts D. L., Kobayashi D., Poettmann F. Kh., Veri Dzh. A., Yelenbaas Dzh. R., Uaynaug Ch. F. *Rukovodstvo po dobyche, transportu i pererabotke prirodnogo gaza* [Guidelines for the production, transport and processing of natural gas], Moscow, Nedra Publ., 1965. 676 p.
35. Samarina V. S. *Gidrogeokhimiya* [Hydrogeochemistry], Leningrad, Leningrad University Publ. House, 1977. 360 p.
36. Slobodskoy R. M. *Elementoorganicheskie soedineniya v magmatogemykh i rudoobrazuyushchikh protsessakh* [Organometallic compounds in magmatic and ore-forming processes], Novosibirsk, Nauka Publ., 1981. 134 p.
37. Smirnov V. I. *Geologiya poleznykh iskopaemykh* [Geology of mineral deposits], Moscow, Nedra Publ., 1982. 669 p.
38. Sultanov B. I. Glubinye kondensatnye vody gazokondensatnykh mestorozhdeniy i usloviya ikh formirovaniya [Depth condensate water condensate fields and conditions of their formation]. *Doklady Akademii nauk Azerbaydzhanskoj SSR* [Reports of the Academy of Sciences of Azerbaijan SSR], 1961, vol. XVII, no. 12, pp. 1165–1167.
39. <http://www.cellbiol.ru/news>.