УДК 553.7: 556.314.6 (571.17)

О.Г.ТОКАРЕНКО
Томский политехнический университет

ГЕОХИМИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД ТЕРСИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Углекислые минеральные воды – это ценные гидроминеральные ресурсы, оказывающие лечебное воздействие на организм человека. Исследования особенностей химического состава уникального для территории Кузбасса Терсинского месторождения углекислых минеральных вод ведутся на протяжение более полувека, но остаются не изученными условия формирования состава вод и пути поступления и обогащения вод углекислым газом. Предыдущие исследования были сосредоточены на гидрогеологическом аспекте изучения вод и до настоящего времени не было предложено единой комплексной картины формирования Терсинских минеральных вод Кемеровской области. С использованием данных многолетних исследований химического состава подземных вод Терсинского месторождения и результатов полевых наблюдений изучена распространенность химических элементов, определены процессы формирования состава природных вод, исследована степень равновесия вод с минералами вмещающих пород и обосновано формирование щелочного карбонатно-кальциевого геохимического типа вод.

Acidulous water is a valuable hydro-mineral resource rendering therapeutic modality on human organism. Research into peculiarities of chemical composition of the acidulous water deposit known as the Tersin deposit which is unique for the Kuzbass Region has been carried out for over fifty years, but conditions of water formation as well as ways of water intake and its carbon dioxide saturation are still uninvestigated. Previous research mainly focused on hydro-geological aspects of water studies and until now no unified complex vision of the Tersin mineral water formation has been offered. Occurrence of chemical elements was investigated, formation processes of natural water composition were determined, the degree of water balance with minerals of surrounding rocks was investigated and formation of alkaline carbonic - calcium geochemical type of waters was proved basing on perennial research into chemical composition of the Tersin underground waters and results of field observations.

Терсинское месторождение на восточной окраине Кузнецкого бассейна в Кемеровской области приурочено к крупному региональному разлому (Кузнецкий глубинный разлом) и расположено в долине р.Верхняя Терсь, правого притока р.Томь, в 75 км от г.Новокузнецка (рис.1). По составу и физическим свойствам минеральная вода является ближайшим аналогом лечебных минеральных вод «Боржоми».

В 2003-2005 гг. подземные минеральные воды исследовались автором совместно с сотрудниками проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии Института геологии и нефтегазового дела Томского политехнического университета. Согласно результатам Терсинская минеральная вода эксплуатационной скважины № 1011 по химическому составу является холодной (13 °С на устье), солоноватой (4,7-4,8 г/л), углекислой (51-82 %), гидрокарбонатной натриево-кальциевой, со слабокислой реакцией водной среды (6,5-6,6). Это содовые воды с несколько повышенным содержанием хлора (135 мг/л), железа (до 20 мг/л), кремния (до 40 мг/л) и фтора (более 2 мг/л). В газовом составе преобладает углекислый газ (50-80 %). В общем случае состав кислородно-азотно-углекислый.

Для детального анализа химического состава вод использован масс-спектрометрический метод с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) (табл.1). Приведенные данные показывают, что появилась возмож-

Таблица 1

Новые данные о микрокомпонентном составе минеральных вод, мкг/л

Компонент	Метод определения			Содержание в водах зоны гипергенеза****	Компонент	Метод определения			Содержание в водах зоны гипергенеза****
	Нейтронная активация	ICP-MS				Нейтронная активация	ICP MS		
	Дата отбора пробы					Дата отбора пробы			
	08.2004	08.2005	09.2005			08.2004	08.2005	09.2005	
Li, мг/л	1,68	1,14	0,99	0,013	I	30,00	35,30	30,00	8,02
Be	2,40***	1,23	0,63	0,19	Cs	3,65	3,620	3,270	0,26
B, мг/л	5,50**	2,31	2,39	0,078	Ba	2610,00	3238,00	4280,00	18,30
Al	100,0*	61,00	59,00	226,00	La	<0,020	0,235	0,261	0,67
P		10,70	4,50	58,00	Ce	0,800	0,297	0,343	
Sc	0,004	9,60	10,90	0,07	Pr		0,045	0,051	
Ti		9,80	11,80	17,40	Nd		0,212	0,248	
V		0,20	0,20	1,34	Sm	<0,002	0,069	0,091	
Cr	5,20	2,82	0,06	3,03	Eu	<0,030	1,133	1,336	
Mn	720,0**	371,19	419,25	54,50	Gd		0,102	0,112	
Fe, мг/л	10,80*	8,99	6,47	0,48	Tb	<0,004	0,016	0,013	
Co	0,03	0,84	0,96	0,39	Dy		0,120	0,136	
Ni		14,50	13,90	3,58	Ho		0,035	0,033	
Cu		1,70	2,10	5,58	Er		0,101	0,096	
Zn	8,40	2,30	1,60	41,40	Tm		0,024	0,021	
Ga		0,0002	0,009	0,37	Yb	<0,010	0,137	0,158	
Ge		8,76	7,31		Lu	<0,001	0,073	0,072	
As	<500,0	20,10	10,90	1,46	Hf	<0,008	0,181	0,234	
Se	0,80***	2,40	2,70	0,72	Ta		0,003	0,002	
Br	233,90	114,0	119,0	85,20	W		0,003	0,013	
Rb		0,02	0,02	1,86	Re		0,011	0,002	
Sr	3200,0	2550,0	3300,0	183,00	Os		0,001	0,0004	
Y		1,30	1,40		Ir		0,004	0,003	
Zr		34,50	33,80	1,20	Pt		0,006	0,008	
Nb		0,10	0,10	0,45	Au	<0,001	0,005	0,001	0,005
Mo		0,10	0,50	1,75	Hg		0,018	0,056	0,041
Pd		0,0009	0,0009		Tl		0,007	0,001	
Ag	<0,05	0,10	0,10	0,26	Pb	1,40	0,101	0,078	2,97
Cd		0,01	0,01	0,24	Bi		0,001	0,009	
Sn		0,05	0,09	0,39	Th	<0,02	0,006	0,009	0,24
Sb	<0,03	0,22	0,02	0,68	U	<0,1	0,008	0,001	1,31
Te		0,020	0,018						

* – данные исследований 2003 г.; ** – 2001 г.; *** – 1997 г.; **** – по С.Л.Шварцеву

ность уточнить уровни концентраций элементов в водах зоны гипергенеза и получить знания о тех из них, для которых они были не известны. Определение 60 химических элементов показало, что минеральная вода богата микроэлементами, пределы концентраций которых ГОСТом не регламентируются, но должны учитываться при ее употреблении. В связи с этим прием воды как минеральной лечебно-столовой должен составлять не более 0,5 л/сут из учета биологически значимых концентраций.

Для анализа условий формирования состава минеральных вод нами исследовано

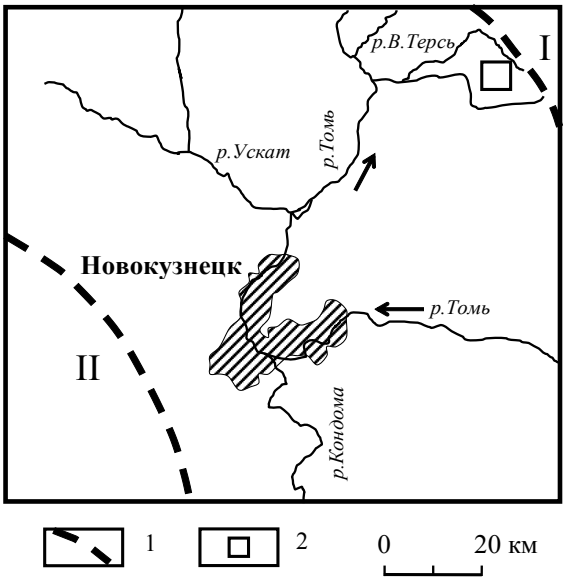


Рис.1. Местоположение Терсинских минеральных вод
1 –глубинные разломы: I – Кузнецкий, II – Салаиро-Кузнецкий; 2 – район Терсинских минеральных вод

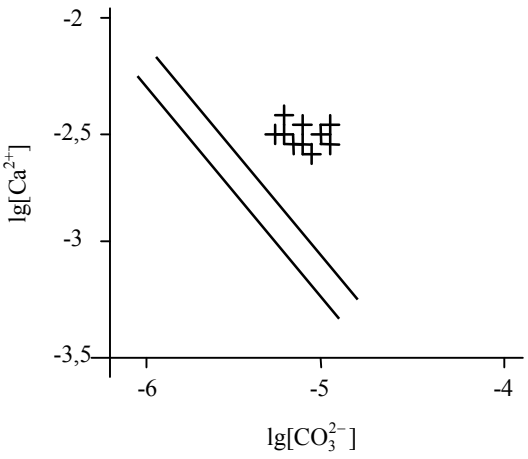


Рис.2. Степень насыщения Терсинских углекислых вод относительно кальцита по данным химического состава за период 1987-2004 гг.

состояние равновесия подземных вод с горными породами. Оценка равновесия Терсинских углекислых минеральных вод с карбонатными минералами водовмещающих горных пород показала, что они являются насыщенными к кальциту (рис.2), несмотря на относительно низкие значения pH (6,5-6,8). Карбонат кальция активно формируется на выходе подземных вод из скважины, где зафиксированы травертиновые постройки мощностью до 3 м. Их формирование связано с характером термодинамического геохимического барьера, проявляющегося, прежде всего, благодаря удалению углекислого газа из вод.

Изучение характера равновесия воды с алюмосиликатными минералами показало, что независимо от выбранных координат все точки располагаются в поле устойчивости глинистых минералов, в основном в полях устойчивости различных по составу монтмориллонитов.

Обогащение вод химическими элементами происходит в результате процессов углекислотного выветривания, главным образом алюмосиликатных пород и, отчасти, карбонатных пород. Это взаимодействие протекает по следующей схеме:

$$CaCO_3 + H_2O + CO_2 = Ca^{2+} + 2HCO_3; \quad (1)$$

$$2Ca[Al_2Si_2O_8] + 4H_2O + 2CO_2 =$$
$$= Al_4Si_4O_{10}(OH)_8 + 2CaCO_3. \quad (2)$$

Как видно из реакции (2), взаимодействие алюмосиликатов с водой приводит к образованию вторичных продуктов, растворимость которых ниже исходных. Это определяет постоянную ненасыщенность воды относительно исходных минералов, которые могут растворяться в течение всего времени их взаимодействия с подземными водами. Благодаря присутствию углекислого газа нейтрализуется щелочность, которая образуется при гидролизе. В этой связи реакцию (2) можно представить в два этапа:

$$2Ca[Al_2Si_2O_8] + 6H_2O =$$
$$= [Al_4Si_4O_{10}](OH)_8 + 2Ca^{2+} + 4OH^-, \quad (3)$$

$$OH^- + CO_2 = HCO_3^-. \quad (4)$$

Нейтрализация образующейся щелочности способствует непрерывному течению реакции гидролиза, определяет неравновесное состояние воды с первичными алюмосиликатами и способствует обогащению вод химическими элементами. На определенной стадии происходит насыщение вод глинами и кальцитом. Глины связывают большую часть Mg и K из раствора. Воды равновесные относительно кальцита оста-

ются равновесными с первичными алюмосиликатами, в результате этого кальций, попадая в раствор в процессе гидролиза алюмосиликатов, высаживается в виде вторичного карбоната. С появлением в составе продуктов выветривания кальцита рост кальция в водном растворе крайне затруднен. Таким образом, предпочтение для концентрирования получает Na, содержание которого непрерывно растет. Так происходит формирование в этих условиях щелочного карбонатно-кальциевого геохимического типа вод.

Оценка степени равновесия минеральных вод с оксидами, карбонатами, сульфатами и алюмосиликатами на основе использования программы численного моделирования геохимических процессов HydroGeo 32 (М.Б.Букаты, 2003) позволила выявить равновесие воды к следующим минералам: кварц, арагонит, гиббсит, каолинит, монтмориллонит, пирофиллит, бемит, гематит, причем магнетит, арагонит, кварц и монтмориллонит высаживаются из раствора в количестве до нескольких миллиграмм на литр.

Для выяснения источника свободной углекислоты и углерода подземных вод, играющих весьма важную роль в формировании гидрокарбонатного состава подземных вод, нами был использован углеродно-изотопный метод (табл.2).

Анализ результатов изотопных исследований позволяет установить следующие закономерности для подземных вод региона. Гидрокарбонат-ион Терсинской минеральной воды значительно обогащен тяжелыми изотопами углерода до значений $\delta^{13}C = -4{,}3$ ‰, что указывает на эндогенный источник CO_2. Изотопный состав углекислого газа Терсинки не постоянен и колеблется в пределах от –12,3 до –6,2 ‰ (при этом содержание углекислого газа в воде также резко меняется от 90 до 211 мг/л), что указывает на смешенное происхождение CO_2. Терсинское месторождение минеральных вод приурочено к крупному региональному разлому. По зонам нарушений происходит внедрение инфильтрационных вод и смешение их с углекислыми водами, поднимающимися с больших глубин. При этом доля эндогенной углекислоты постоянно меняется: чем больше CO_2, тем больше газонасыщенность и тем, соответственно, тяжелее изотопный состав углерода.

Таблица 2

Изотопный состав углерода углекислого газа и гидрокарбонат-иона минеральных вод

Дата отбора	Газонасыщенность, мл/л	$\delta^{13}C$, ‰	
		HCO_3^-	CO_2
Август 2003 г.	90	–4,3	–12,3
Август 2004 г.	211	–	–6,2

В отличие от газов, водная фаза минеральных вод формируется за счет инфильтрационных вод относительно неглубокого генезиса (< 1 км) зоны замедленного водообмена. Об этом свидетельствует их содовый состав и повышенные содержания хлора, что характерно для этих вод.