

УДК 556.3+556.5

Исследование индикаторных свойств химических элементов, отвечающих особенностям геохимии сред формирования природных минеральных вод

А.Н. Васильев, В.Г. Амелин

Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир, Россия

Как показывают исследования, каждый регион суши характеризуется опеределенными гидрохимическими показателями, отвечающими пространственным закономерностям геохимических сред. Авторами предложен метод исследования закономерностей в химическом составе природных минеральных вод и выявления элементов индикаторов, отвечающих геохимическим особенностям сред их формирования. Исходным материалом исследования стали результаты химического анализа вод, выполненного на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) «Elan 9000 DRC II» (Perkin-Elmer, США). Минеральные воды были охарактеризованы набором качественных и количественных параметров: геохимия водных мигрантов, поэлементный сравнительный анализ концентраций, ареалы происхождения и условия добычи вод. Данные параметры компоновали в сводную таблицу, из которой были установлены ряд закономерностей. Выявлены элементы индикаторы Sr, Ba, Mn, Li, Br, B, I, Ge, Rb, отвечающие геохимическим особенностям среды формирования вод.

Ключевые слова: минеральные воды, геохимия сред, химический состав, индикаторы, формирование вод.

DOI: 10.18599/grs.18.2.11

Для цитирования: Васильев А.Н., Амелин В.Г. Исследование индикаторных свойств химических элементов, отвечающих особенностям геохимии сред формирования природных минеральных вод. *Георесурсы*. 2016. Т. 18. № 2. С. 133-137. DOI: 10.18599/grs.18.2.11

Введение

Химический состав подземных вод, в том числе минеральных, является следствием взаимодействия геологических пород с подземной гидросферой, где вода как универсальный растворитель выступает главным агентом выноса из минералов водных мигрантов (Перельман, 1982; Шварцев, 1998). Каждый регион суши характеризуется определенными гидрохимическими показателями, выступающими в качестве территориальных индикаторов происхождения подземных вод. Как показывают наши исследования, каждой природной минеральной воде характерен свой «отпечаток пальцев» по содержанию и набору химических элементов, которые выступают в качестве «географических маркеров» происхождения вод (Амелин и др., 2012). Кроме практической значимости, которая заключается в установлении фальсификации и географического происхождения природных минеральных вод, исследование химического состава вод ориентирует на решение других задач, одна из которых сводится к установлению закономерностей между химическим составом природных минеральных вод и геохимией среды их формирования.

Цель данной работы – исследование закономерностей в химическом составе природных минеральных вод и выявление элементов индикаторов, отвечающих геохимическим особенностям сред их формирования.

Экспериментальная часть

В работе использовался квадрупольный масс-спектрометр с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) «Elan 9000 DRC II» (Perkin-Elmer, США). Полученные данные обрабатывались компьютерной программой «Elan ICP-MS Instrument Control ver. 3.4» (Perkin-Elmer, США).

В качестве стандартов использовались сертифицированные 1 г/л моно- (K, Mg, Ca, Zn, Fe, Na) (Panreac, Испания) и мультиэлементные растворы для ИСП-МС (Perkin-Elmer, США). Разбавления проводились в пластиковой посуде ультрачистой деионизованной водой 15-18 МОм·см²

(ТУ 2123-002-00213546-2004). Для подготовки образцов и холостых проб использовалась концентрированная азотная кислота «ос.ч.» (ГОСТ 11125-84). Градуировочные растворы готовились разбавлением соответствующих стандартов. Для обзорного анализа и идентификации минеральных вод использовался полуколичественный режим сбора данных «TotalQuant», преимущество которого заключается в определении полного изотопного элементного состава пробы за относительно короткое время измерения (2-3 мин).

Объект исследования

Исследовались природные минеральные воды: Нарзан, Эссентуки № 17, Эссентуки № 4, Рычал-Су, Perrier, Vitasnella, Livissima, Серебряный сокол, Суздальские напитки, Липецкий бювет. Исходным материалом исследования стали результаты многоэлементного анализа и содержание основных макроингредиентов (Табл. 1, 2). Анализ проводился на базе данных ФГБУ «Федеральный центр охраны здоровья животных» (ВНИИЗЖ), в рамках работы по идентификации минеральных вод, приобретенных в торговой сети, по географическому происхождению. База данных создана по водам из соответствующих источников или же скважин.

Результаты и их обсуждения

На базе комплексного подхода авторами предложен метод выявления индикаторных свойств ряда химических элементов, подчеркивающих геохимические особенности сред формирования природных минеральных вод. Минеральные воды были охарактеризованы следующим набором параметров: геохимия водных мигрантов, поэлементный сравнительный анализ концентраций, ареалы происхождения и условия добычи вод. Приведенный набор параметров скомпонован в сводную таблицу.

Геохимические свойства водных мигрантов. Миграционные свойства большинства химических элементов изучены в полной мере и выступают критериями геохимической классификации, что дает возможность проследить пути

их попадания в растворы минеральных вод (Крайнов и др., 2004). В то же время, водная миграция таких элементов как W, Y, Rh, Te, La, Eu, Ce изучена еще слабо, тем более что концентрация данных элементов не превышает 1 мкг/л, наравне с такими элементами как Co, Pb, Tl, Th, Zr.

Поэлементный сравнительный анализ концентраций. В анализе использованы наиболее информативные значения: 1) диапазон концентраций; 2) величина соотношения максимальной концентрации к минимальной (c_{\max}/c_{\min} , табл. 3).

Величина c_{\max}/c_{\min} у элементов Sr, Ba, Mn, Li, Br, B, I, Ge, Mo, Rb, Cs измеряется сотнями и тысячами раз. Концентрации Mo, Cu и Cs – менее 5 мкг/л, что по сравнению с другими элементами ничтожно мало. Выразим величину концентрации элементов в процентах и расположим минеральные воды в порядке увеличения их концентрации (Табл. 4).

Ареалы происхождения минеральных вод. Добыча исследуемых вод ведется как на платформенной области, так и в горных областях:

1) воды из платформенной области Восточно-европейской равнины (Серебряный сокол, Суздальские напитки, Липецкий бювет);

2) воды из складчатых областей альпийский региона (Levissima, Perrier, Vitasnella) и кавказского региона (Нарзан, Рычал-Су, Эссенуки № 17, Эссенуки № 4).

Условия добычи вод.

Сведения о способе забора минеральных вод и температурном режиме представлены в табл. 5.

Компоновка сводной таблицы. Для выявления закономерностей приведенный набор параметров скомпонован в таблицу.

Определяемый элемент (ПО*, мкг/л)	Нарзан (стекло пластик)	Эссенуки № 17 (стекло пластик)	Эссенуки № 4	Рычал-Су (стекло пластик)	Серебряный сокол (пластик)	Суздальские напитки (пластик)	Липецкий бювет (пластик)	Vitasnella (пластик)	Levissima (пластик)	Perrier (стекло)
Li (0,1)	140 150	1010 990	1100	1600 1500	9,5	3,8	160	1,5	2,0	7,6
Be (0,1)	0,042 0,031	0,021 **	-	0,37 0,27	-	-	0,011	-	-	-
B (1)	400 420	5900 5800	6600	4400 4500	7,7	3,6	3300	10	36	51
Al (0,1)	1,2 1,7	2,9 3,1	5,2	4,9 3,3	5,6	4,8	3,8	3,0	4,6	7,4
P (10)	21 15	29 30	25	38 64	346	550	0,23	0,14	0,18	10
Sc (1)	4,5 4,7	5,3 5,8	3,9	13 14	5,9	6,4	1,9	2,2	1,4	3,5
Mn (0,1)	120 110	30 20	8,4	15 17	0,26	0,40	59	0,35	0,62	0,18
Co (0,05)	0,22 0,12	0,11 0,092	0,12	0,23 0,20	0,032	0,032	0,18	0,086	0,038	0,15
Ni (0,1)	4,1 3,8	2,5 2,9	3,1	1,8 2,1	3,0	1,3	2,1	1,6	0,77	1,0
Cu (0,05)	3,1 3,5	2,1 1,8	3,7	2,2 1,9	0,71	0,81	9,5	0,52	0,32	3,6
Ge (0,1)	0,18 0,20	6,7 6,1	13	53 56	0,042	0,058	0,051	0,018	0,0006	0,015
Br (10)	1250 1280	13500 14000	13700	3800 3850	35	38	7100	0,012	18	190
Rb (0,05)	9,0 11	16 15	18	20 26	1,8	1,1	2,5	0,02	0,21	1,2
Sr (0,05)	12000 11000	10600 9100	4400	2300 2400	134	85	1700	2000	51	960
Y (0,05)	0,048 0,052	0,081 0,087	0,045	0,097 0,091	0,0004	0,0004	0,0014	0,011	0,023	0,0023
Zr (0,05)	0,20 0,16	2,3 1,7	1,3	1,5 1,3	0,0055	0,0009	0,0007	0,076	0,0095	0,042
Mo (0,1)	4,8 3,8	0,68 0,59	0,084	0,030 0,029	1,5	0,38	0,60	0,95	0,94	2,7
Rh (0,05)	0,68 0,63	0,56 0,32	0,14	0,11 0,10	0,0071	0,0003	0,059	0,16	-	0,027
Ag (0,05)	14 60	0,94 0,13	0,29	0,0007 -	0,0044	120	0,0007	0,0023	0,0031	0,0008
Cd (0,05)	0,0035 0,0043	0,0011 0,0009	0,010	0,0009	0,0071	0,011	0,0008	0,0080	0,0081	0,0009
Sb (0,05)	- 0,36	0,012 0,15	0,012	0,011 0,22	0,33	0,40	0,42	0,61	0,63	0,075
Te (0,05)	0,012 0,013	0,069 0,060	0,069	0,043 -	0,013	-	0,059	0,0050	0,024	-
I (5)	390 480	15000 13000	9900 8900	900 880	37	15	590	110	480	20
Cs (0,05)	2,0 2,4	1,1 1,0	0,97 0,85	0,10 0,081	0,21	0,22	0,087	0,38	0,26	0,0065
Ba (0,05)	11 12	1400 1300	2060	2500 2600	0,17	0,25	6,5	44	5,7	38
La (0,05)	0,0015 0,0011	0,016 0,012	0,024	0,017 0,015	0,0035	0,0031	0,0013	0,0022	0,021	0,0047
Ce (0,05)	0,013 0,0004	0,0052 -	0,0055	0,018 -	0,0065	0,0021	0,0005	0,0039	0,0046	0,024
Eu (0,05)	0,0027 0,0035	0,21 0,18	0,31	0,44 0,45	0,0008	0,0007	0,0003	0,0049	0,0005	0,0099
W (0,05)	0,0169 -	0,36 0,35	0,14	0,14 0,17	0,018	0,047	0,0049	0,02	0,11	0,075
Tl (0,05)	0,84 0,73	0,0020 0,0010	0,0021	- -	0,0005	-	-	-	-	-
Pb (0,05)	0,95 0,93	0,35 0,40	0,045	0,11 0,099	0,18	0,85	0,68	0,049	0,010	0,28
Bi (0,05)	0,46 0,32	0,20 0,15	0,047	0,010 0,0089	0,39	0,077	0,0035	0,0092	0,0051	0,0082
Th (0,05)	0,0022 0,0025	0,021 0,016	0,0076	0,014 0,016	0,0019	0,0019	0,018	0,0007	0,0009	0,0010
U (0,05)	2,4 2,7	0,45 0,43	0,0048	0,020 0,014	1,1	0,32	0,11	6,5	5,0	3,9

Табл. 1. Результаты обзорного анализа природных минеральных вод (мкг/л, среднее значение из трех различных партий воды). Примечание - *ПО- предел обнаружения, ** - не обнаружено.

Качественные параметры:

- 1) горизонтальная линейка – ряд микроэлементов, дифференцированных по свойствам в водных растворах (анионы и катионы) и по подвижности;
- 2) вертикальная линейка – ряд минеральных вод, сгруп-

Минеральная вода	СГ	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺
Суздальские напитки	5-7	8-15	130-160	30-45
Серебряный сокол	<10	<25	200-300	35-70
Липецкий бювет	500-850	1200-1700	200-400	120
Levissima	0,3	13,7	56,8	19,5
Perrier	25	48	445	158
Vitasnella	1,3	80	296	82
Нарзан	100-150	300-500	1000-1500	300-400
Рычал-Су	450-550	<25	2500-3000	<25
Эссендуки № 17	1400-2100	<25	5200-6500	<100
Эссендуки № 4	1500-1900	<25	3600-4500	<150

Табл. 2. Содержание основных макроингредиентов минеральных вод (мг/л, среднее значение из трех различных партий воды).

Элемент	c, мкг/л	c _{max} /c _{min}	Элемент	c, мкг/л	c _{max} /c _{min}
Li	1,5-1600	1066	B	3,6-6600	1833
Br	0,012-14000	116666	Sr	51-12000	235
I	15-15000	1000	Ba	0,17-2600	15294
Al	1,2-7,4	6	Ni	0,77-4,1	5,3
Mn	0,18-120	667	Ge	0,0006-56	93333,3
Cu	0,32-3,7	11,56	Mo	0,029-4,8	165,5
Rb	0,02-26	1300	U	0,11-6,5	59
Cs	0,0065-2,4	369			

Табл. 3. Диапазоны концентраций и величина c_{max}/c_{min} элементов в исследуемых минеральных водах.

Ряд	Элемент								
	Rb	Sr	Ba	Mn	Li	Br	B	I	Ge
1	Vitasnella 0,077	Levissima 0,42	Сереб. сокол 0,22	Perrier 0,15	Vitasnella 0,094	Vitasnella 0,000087	Сузд. напитки 0,054	Сузд. напитки 0,1	Levissima 0,0011
2	Levissima 0,81	Сузд. напитки 0,71	Сузд. напитки 0,01	Сереб. сокол 0,22	Levissima 0,125	Levissima 0,13	Сереб. сокол 0,12	Perrier 0,13	Perrier 0,028
3	Сузд. напитки 4,23	Сереб. сокол 1,12	Levissima 0,28	Vitasnella 0,29	Сузд. напитки 0,24	Сереб. сокол 0,25	Vitasnella 0,15	Сереб. сокол 0,12	Vitasnella 0,34
4	Perrier 4,61	Perrier 8	Липецкий бювет 0,26	Сузд. напитки 0,33	Perrier 0,47	Сузд. напитки 0,28	Levissima 0,54	Vitasnella 0,73	Сереб. сокол 0,79
5	Сереб. сокол 6,92	Липецкий бювет 14,17	Нарзан 0,44	Levissima 0,51	Сереб. сокол 0,59	Perrier 1,38	Perrier 0,77	Нарзан 2,6	Липецкий бювет 0,096
6	Липецкий бювет 9,61	Vitasnella 16,67	Perrier 1,52	Эссендуки № 4 7	Нарзан 8,75	Нарзан 9,12	Нарзан 6,06	Levissima 3,2	Сузд. напитки 0,11
7	Нарзан 42,31	Рычал-Су 19,17	Vitasnella 1,76	Рычал-Су 12,5	Липецкий бювет 10	Рычал-Су 27,74	Липецкий бювет 50	Липецкий бювет 3,93	Нарзан 0,34
8	Эссендуки № 17 61,54	Эссендуки № 4 36,67	Эссендуки № 17 56	Эссендуки № 17 25	Эссендуки № 17 63,12	Липецкий бювет 51,82	Рычал-Су 66,66	Рычал-Су 6	Эссендуки № 17 12,64
9	Эссендуки № 4 69,23	Эссендуки № 17 88,33	Эссендуки № 4 82,4	Липецкий бювет 49,17	Эссендуки № 4 68,75	Эссендуки № 17 98,54	Эссендуки № 17 89,39	Эссендуки № 4 66	Эссендуки № 4 24,53
10	Рычал-Су 100	Нарзан 100	Рычал-Су 100	Нарзан 100	Рычал-Су 100	Эссендуки № 4 100	Эссендуки № 4 100	Эссендуки № 17 100	Рычал-Су 100

Табл. 4. Распределение минеральных вод по увеличению концентрации % в минеральных водах для Rb, Sr, Ba, Mn, Li, Br, B, I, Ge.

пированных по ареалам происхождения – платформенный (П) или горный (Г);

3) способ добычи – источник (Ис) или скважина (Ск, глубина);

4) температурный режим – не термальный (0), слабо-термальный (т), термальный (Т).

Количественные параметры:

5) величины концентраций выбранных элементов %, позиции в ряду;

6) диапазоны концентраций элементов (мкг/л) и c_{max}/c_{min};

7) содержание макроингредиентов: Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, Ca²⁺ (мг/л).

Оперирование суммой параметров табличного массива в рамках причинно-следственных цепочек установило:

1. Высокие концентрации брома, бора и йода характерны для скважинных вод кавказского региона, что указывает на присутствие йодобромных и бороносных вод, приуроченных к отрицательным геологическим структурам – прогибам предгорных территорий. В данных структурах аккумулируются соляные растворы (хлоридные натриевые воды) – наиболее благоприятные условия для накопления анионов. Высокие концентрации брома и бора в Липецком бювете обусловлены подтоком глубинных расолов из зоны застойного водообмена в вышележащие артезианские бассейны.

2. Накопление германия идет в сульфосолях, образованных в гидротермальных условиях в приповерхностных, малых, реже средних глубин, что объясняет позиции вод относительно друг друга. Первое место занимает источник Рычал-Су и термальные воды Кавказа, затем следуют воды из платформенной области и только потом альпийские воды. Замыкает цепочку не термальный открытый источник воды Livissima с ничтожной концентрацией германия 0,00113 %.

3. Литий и рубидий – спутники активных геодинамических процессов. Рубидий содержится в кислых изверженных породах, что персонафицирует вид магматических пород – гранитоиды и пегматиты, служащие литологической основой места забора вод. Сравнение концентраций лития и рубидия в водах из альпийского и кавказского регионов подчеркивает различия условий формирования вод, возможно связанные со скоростью водообмена. Значительная концентрация лития в Липецком бьюете служит подтверждением гидравлической связи с водами застойного режима, осуществляемой по глубоким разломам.

4. Концентрации бария и его осадителя SO_4^{2-} скоррелированы. При контакте глубинных бессульфатных вод хлоридного и гидрокарбонатного состава с инфильтрационными водами возникает сульфатный барьер, и осаждается

барит. При увеличении глубины возможность смешения уменьшается, следовательно, концентрация бария возрастает с глубиной забора вод. Таким образом, индикатором степени смешения бессульфатных вод с инфильтрационными водами может служить барий. Нарзан показывает низкую концентрацию бария, связано это, вероятно, с обогащением тальми ледниковыми водами. Вода Рычал-Су, напротив, показывает максимальную концентрацию не только по барию, но и по германию, рубидию и литию, указывая тем самым на то, что бессульфатные воды не встречают на своем пути геохимические барьеры для данных элементов, непосредственно разгружаясь в источнике.

5. По геохимическим свойствам стронций аналог бария и кальция. В первом случае содержание стронция контролируется сульфатностью, поэтому глубинные хлоридные воды богаты им (Ессентуки № 17, Ессентуки № 4 Липецкий бьюет). Воды из альпийского региона выстраиваются в ряд по температурному режиму как для бария, так и для стронция. Во втором случае содержание стронция и кальция скоррелированы, как показывает пример Нарзана. По всей видимости, активное выщелачивание тальми ледниковыми водами магматических (гранодиориты и диориты) и осадочных пород на основе кальцита (известняки юрского и мелового периода) растворяет кальций и содержащийся в них целестин ($SrSO_4$).

6. Низкие концентрации марганца характерны для вод Суздальские напитки и Серебряный сокол, что является следствием высокого содержанием растворенного кислорода; аналогичная ситуация с водами альпийского регио-

Минеральная вода	способ забора	температурный режим
Суздальские напитки	источник	не термальный
Серебряный сокол	скважина, глуб. 60 м.	не термальный
Липецкий бьюет	скважина, глуб. 106 м.	не термальный
Levissima	источник	не термальный
Perrier,	источник	не термальный
Vitasnella	источник	слаботермальный
Нарзан	источник	слаботермальный
Рычал-Су	источник	слаботермальный
Ессентуки № 17	скважина, глуб. 685,8 м.	термальный
Ессентуки № 4	скважина, глуб. 865 м.	термальный

Табл. 5. Способ забора и температурный режим минеральных вод.

Минеральная вода, качественные параметры	макроингредиенты				микроэлементы								
					анионы				катионы				
	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Br	I	B	Ge	Rb	Li	Ba	Sr	Mn
					Очень подвижный	Подвижный	слабоподвижные			подвижные			
Суздальские напитки	5-7	8-15	130-160	30-45	0,012-14000 116666	15-15000 1500	3,6-6600 1833	0,0006-56 93333,3	0,02-26 1300	1,5-1600 1066	0,17-2600 15294	51-12000 235	0,18-120 667
П Ис 0				0,28	0,1	0,054	0,109	4,23	0,24	0,01	0,71	0,33	
Серебряный сокол	<10	<25	200-300	35-70	0,25	0,24	0,12	0,079	6,92	0,59	0,0068	1,12	0,22
П Ск 60 0				3	3	2	4	5	5	1	3	4	
Липецкий бьюет	500-850	1200-1700	200-400	120	51,82	3,93	50	0,096	9,61	10	0,26	14,17	49,17
П Ск 106 0				8	7	7	5	6	7	4	5	9	
Livissima	0,3	13,7	56,8	19,5	0,13	3,2	0,54	0,00113	0,81	0,125	0,23	0,42	0,51
П Ис 0				2	6	4	1	2	2	3	1	5	
Vitasnella	1,3	80	296	82	0,000087	0,73	0,15	0,034	0,077	0,094	1,76	16,67	0,29
Г Ис Т				1	4	3	3	1	1	7	6	3	
Perrier	25	48	445	158	1,38	0,13	0,77	0,028	4,61	0,47	1,52	8	0,15
Г Ис т				5	2	5	2	4	4	6	4	1	
Нарзан	100-150	300-500	1000-1500	300-400	9,12	2,6	6,06	0,34	42,31	8,75	0,44	100	100
Г Ис т				6	5	6	7	7	6	5	10	10	
Рычал - Су	450-550	<25	2500-3000	<25	27,74	6	66,66	100	100	100	100	19,17	12,5
Г Ис т				7	8	8	10	10	10	10	10	7	7
Ессентуки №17	1400-2100	<25	5200-6500	<100	98,54	100	89,39	12,64	61,54	63,12	56	88,33	25
Г Ск 685 Т				9	10	9	8	8	8	8	9	8	
Ессентуки №4	1500-1900	<25	3600-4500	<150	100	66	100	24,53	69,23	68,75	82,4	36,67	7
Г Ск 865 Т				10	9	10	9	9	9	9	9	8	6

Табл. 6. Сводная таблица количественных и качественных параметров.

на. Иная ситуация обстоит с водами кавказского региона: Эссенуки № 4, Эссенуки № 17 и Рычал-Су характеризуются относительно низкими концентрациями марганца – наличие сероводорода в гидрогеологических системах. Минеральная вода Нарзан показывает максимальную концентрацию по марганцу вне зависимости от высокой степени разбавления тальми водами, что связано с марганцевым оруднением района. Возможен процесс миграции марганца из магматических пород в известняки, составляющие литологическую основу территории забора, затем его аккумуляции в карбонатных породах с последующим выносом его водными растворами из пород по аналогии со стронцием. Высокая концентрация марганца в Липецком бьюете подчеркивает транспортную функцию разломов древнего заложения в миграцию элементов из глубинных геологических структур в верхние напластования.

Выводы

Предложенный авторами метод на базе комплексного подхода интегрирует качественные и количественные параметры в виде единого табличного массива. Данная форма компоновки материала позволяет провести причинно-следственные цепочки и установить ряд важных закономерностей. Выявлены закономерности между содержанием макроингредиентов и микроэлементов в связке с факторами формирования природных минеральных вод. В результате исследования подтверждены индикаторные свойства элементов Вг, I, В, Ge, Rb, Li, Ba, Sr, Mn, отвечающих геохимическим особенностям сред формирования вод.

Заключения на основе сводной таблицы, сделанные

авторами, выступают в качестве предварительных выводов, так как ассортимент исследуемых минеральных вод не превышает десяти наименований. Для более точных выводов требуется большее количество статистического материала, поэтому установленные закономерности по индикаторным свойствам каждого из элементов идут в порядке обсуждения.

Литература

- Амелин В.Г., Подколзин И.В., Третьяков А.В., Соловьев А.И. Природные минеральные воды России: идентификация географического происхождения и выявление фактов фальсификации по соотношению концентраций редкоземельных элементов и стабильных изотопов свинца. *Вода: химия и экология*. 2012. № 11. С. 79-84.
- Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М. Геохимия подземных вод. М: Наука. 2004. 677 с.
- Перельман А.И. Геохимия природных вод. М: Наука. 1982. 154 с.
- Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. М: Недра. 1998. 366 с.

Сведения об авторах

Алексей Николаевич Васильев – инженер кафедры Физики и прикладной математики, Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н. Г. Столетовых

Россия, 600000, Владимир, ул. Горького, 87
Тел: +7 (910) 176-05-40, e-mail: vasilev11.03.84@mail.ru

Василий Григорьевич Амелин – доктор хим. наук, профессор кафедры химии, Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н. Г. Столетовых

Россия, 600000, Владимир, ул. Горького, 87
Тел: +7 (919) 027-13-48, e-mail: amelinvg@mail.ru

Статья поступила в редакцию 12.04.2016

Study of Indicator Properties of Chemical Elements, Corresponding to Geochemical Environment of Natural Mineral Water Formation

A.N. Vasilyev, V.G. Amelin

Vladimir State University, Vladimir, Russia

Abstract. Studies show that unique hydro-chemical indicators that meet the spatial patterns of geochemical environments characterize each land area. The authors proposed a method to study the regularities in the chemical composition of natural mineral waters and identify the indicator elements that correspond geochemical peculiarities of their formation. The initial material of the study included the results of the water chemical analysis conducted on the mass spectrometer with inductively coupled plasma (ISP-MS) Elan 9000 DRC II (Perkin-Elmer, USA). Mineral waters were characterized by a set of qualitative and quantitative parameters: geochemistry of water migrants, element-by-element comparative analysis of the concentrations, areas of origin and the water extraction conditions. These parameters are linked in the summary table, from which a number of regularities were established. The following indicator elements are identified: Sr, Ba, Mn, Li, Br, B, I, Ge, Rb, corresponding to geochemical parameters of water formation environment.

Keywords: mineral waters, geochemistry of environments, chemical composition, indicators, formation of water.

References

- Amelin V.G., Podkolzin I.V., Tret'yakov A.V., Solov'ev A.I. Prirodnye mineral'nye vody Rossii: identifikatsiya geograficheskogo proiskhozhdeniya i vyavlenie faktov fal'sifikatsii po sootnosheniyu kontsentratsiy redkozemel'nykh elementov i stabil'nykh izotopov svintsa [Natural mineral water of Russia: identification of geographical origin and detecting the ratio falsification facts between concentrations of rare earth elements and lead stable isotopes]. *Voda: khimiya i ekologiya*

= *Water: chemistry and ecology*. 2012. No. 11. Pp. 79-84. (In Russ.)

Kraynov S.R., Ryzhenko B.N., Shvets V.M. Geokhimiya podzemnykh vod [Geochemistry of groundwater]. Moscow: Nauka Publ. 2004. 677 p. (In Russ.)

Perel'man A.I. Geokhimiya prirodnykh vod [Geochemistry of natural waters]. Moscow: Nauka Publ. 1982. 154 p. (In Russ.)

Shvartsev S.L. Hidrogeokhimiya zony gipergeneza [Hydrogeochemistry of supergene zone]. Moscow: Nedra Publ. 1998. 366 p. (In Russ.)

For citation: Vasilyev A.N., Amelin V.G. Study of Indicator Properties of Chemical Elements, Corresponding to Geochemical Environment of Natural Mineral Water Formation. *Georesursy = Georesources*. 2016. V. 18. No. 2. Pp. 133-137. DOI: 10.18599/grs.18.2.11

Information about authors

Aleksey N. Vasilyev – Engineer, Physics and Applied Mathematics Department, Vladimir State University

Russia, 600000, Vladimir, Gorky str., 87
Phone: +7 (910) 176-05-40, e-mail: vasilev11.03.84@mail.ru

Vasily G. Amelin – Doctor of Science (Chem.), Professor, Chemistry Department, Vladimir State University

Russia, 600000, Vladimir, Gorky str., 87
Phone: +7 (919) 027-13-48, e-mail: amelinvg@mail.ru

Manuscript received April 12, 2016