

## НОВЫЕ ИЗОТОПНО-ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ПО МЕСТОРОЖДЕНИЮ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД БАНГ (ПРОВИНЦИЯ КУАНГ БИНЬ, ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ВЬЕТНАМ)

© 2019 г. Д. А. Новиков<sup>a, b, \*</sup>, Фан Ти Ким Ван<sup>c</sup>, Доан Ван Туен<sup>c</sup>,  
До Ти Ту<sup>c</sup>, Тран Вьет Хоан<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН  
Россия, 630090 Новосибирск, пр. Академ. Коптюга, 3

<sup>b</sup> Новосибирский национальный исследовательский государственный университет  
Россия, 630090 Новосибирск, ул. Пирогова, 2

<sup>c</sup> Институт геологических наук Вьетнамской академии наук и технологий  
Вьетнам, 84 Чуа Ланг, Донг Да, Ханой

<sup>d</sup> Национальный центр планирования и исследования водных ресурсов  
Вьетнам, 93/95 Ву Хуань Ту, Сай Донг Ворд, Лонг Бьен, Ханой

\* e-mail: NovikovDA@ipgg.sbras.ru

Поступила в редакцию 02.07.2018 г.

После доработки 25.09.2018 г.

Принята к публикации 10.10.2018 г.

В работе приведены новые изотопно-гидрогеохимические данные двух типов термальных вод месторождения Банг (провинция Куанг Бинь, центральный Вьетнам). Первый тип относится к водам  $\text{HCO}_3\text{-Cl-Na-Mg}$  состава, имеет крайне низкую минерализацию ( $44\text{--}87\text{ мг/дм}^3$ ) и характеризуется величиной pH от слабощелочных до слабощелочных ( $5.71\text{--}7.84$ ). Второй тип вод относится к водам  $\text{HCO}_3\text{-Na}$  состава, имеет минерализацию до  $256\text{--}659\text{ мг/дм}^3$  и величину pH от 8.03 до 8.51. Изученные воды значительно отличаются по температуре, которая составляет  $24.3\text{--}34.5\text{ }^\circ\text{C}$  в первом случае и  $62.1\text{--}97.1\text{ }^\circ\text{C}$  во втором. Впервые выполненные исследования по распределению изотопов кислорода ( $\delta^{18}\text{O}$ ) и водорода ( $\delta\text{D}$ ) подтверждают разную генетическую природу выделенных гидрогеохимических типов вод. Первый имеет атмосферный генезис ( $\delta^{18}\text{O} = -7.3\text{...}-6.2\text{ ‰}$  и  $\delta\text{D} = -51.4\text{...}-39.3\text{ ‰}$ ), а второй, локализованный в зоне пересечения разломов Кьень Жань и Банг, имеет более глубокий источник ( $\delta^{18}\text{O} = -1.6\text{...}-1.3\text{ ‰}$  и  $\delta\text{D} = -22.2\text{...}-21.4\text{ ‰}$ ). Данные по тритию ( $^3\text{H}$ ) также указывают на разное время циркуляции этих вод. Время формирования состава  $\text{HCO}_3\text{-Cl-Na-Mg}$  вод не превышает 50 лет ( $^3\text{H} = 4.3\text{--}11.1\text{ TE}$ ), тогда как  $\text{HCO}_3\text{-Na}$  вод может достигать более 1000 лет ( $^3\text{H} = 0.5\text{ TE}$ ).

**Ключевые слова:** термальные воды, гидрогеохимия, дейтерий, тритий, кислород-18, месторождение Банг, Вьетнам

**DOI:** 10.31857/S0016-7525646664-672

### ВВЕДЕНИЕ

Изучение термальных вод Вьетнама было начато в 1980-х годах. Результаты выполненных исследований по тектоническому режиму, геологическому и гидрогеологическому строению, гидрогеохимии основных геотермальных областей приведены в работах Х. Амагучи, Г.Р. Андерсона, Д. Буи, Г.Д. Као, Н.Н. Кат, А.В. Кристенсена, Я. Дэзи, Т.В. Доана, К. Дрога, А.Д. Дучкова, Р. Гилбуэны, С.Х. Хардера, А. Кавамурь, Й. Кенига, Ф. Ларсена, Н. Накагавы, В.К. Нгхиэпа и многих других.

В центральном Вьетнаме развиты низко- и высокотермальные воды с температурой на

выходе источника, варьирующей в интервале от  $25\text{ до }99\text{ }^\circ\text{C}$ . По составу доминируют термы гидрокарбонатного, гидрокарбонатно-хлоридного и хлоридного натриевого типов с величиной общей минерализации, варьирующей в интервале от  $0.05\text{ до }10.05\text{ г/дм}^3$ . Большинство термальных вод характеризуется соленостью, не превышающей  $1\text{ г/дм}^3$ , что может быть связано с тем, что их состав формируется в пределах нестратифицируемых подразделений гидрогеологических массивов в области широкого развития интрузивных пород, устойчивых к процессам выветривания. Циркуляция вод происходит по водоносным зонам экзогенной трещиноватости и разломам (Новиков и др., 2018).

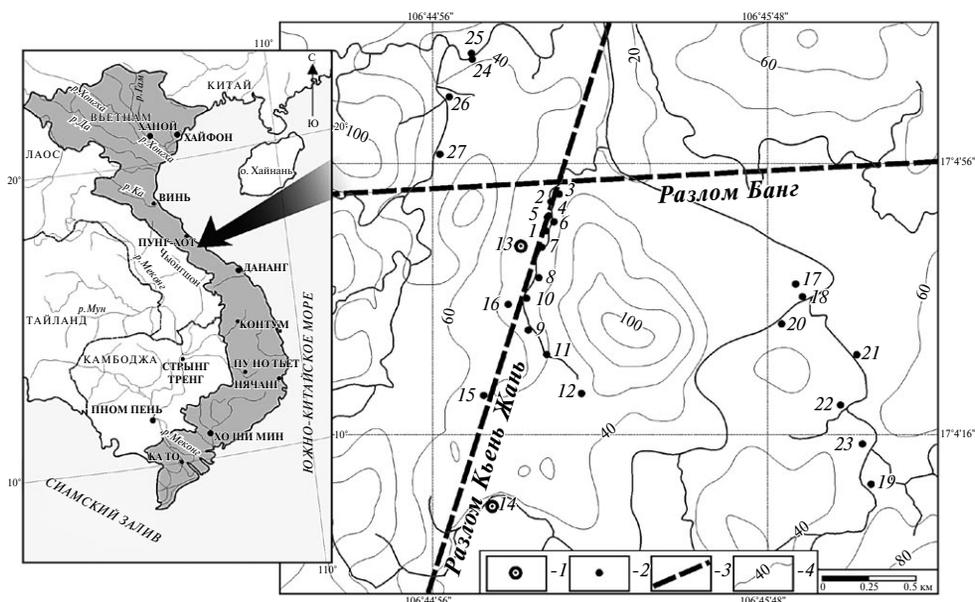


Рис. 1. Схема проявлений термальных вод месторождения Банг (Ло Вой).

Водоупункты: 1 – скважины, 2 – источники; 3 – тектонические нарушения; 4 – горизонтали, отображающие рельеф местности.

В настоящей работе приведены результаты изотопно-гидрогеохимических исследований полевых сезонов 2014–2016 годов гидротерм месторождения Банг (другое название – Ло Вой) – одного из важнейших геотермальных районов, расположенных в провинции Куанг Бинь, в центральной части Вьетнама (рис. 1). Первое обследование преимущественно описательного характера и гидрогеохимическое опробование было выполнено Во Конг Нгхиепом в 1998 году и характеризуется двумя пробами высокотермальных источников 1 и 2 (рис. 1) (Nghiep, 1998). К сожалению, тогда был изучен лишь макрокомпонентный состав и содержание кремнезема в растворе.

## МЕТОДИКА

В 2014–2016 годах нами впервые было проведено детальное изучение гидрогеохимии и изотопного состава терм месторождения Банг. Произведен отбор проб, проанализировано 27 водных проб на полный химический анализ с микроэлементами, 6 проб на изотопы. Пробы для анализа катионов и анионов отфильтровывались через целлюлозный фильтр (0.45 мкм) на месте отбора для удаления взвеси и собиралась в полиэтиленовые бутылки. Для достоверного определения устойчивых компонентов в растворе на месте отбора пробы консервировались (для анализа катионов проба подкислялась азотной кислотой, для анионов – нет), после чего

доставлялись в лабораторию для последующего анализа.

Определение стабильных изотопов проводилось в аналитическом центре Института геологических наук Вьетнамской академии наук и технологий. Подготовка проб воды для изотопного анализа проведена стандартным методом высокотемпературного пиролиза воды на углероде. Для определения изотопных отношений  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  и D/H в образцах воды использовали высокотемпературный конвертер TC/EA, соединенный с изотопным масс-спектрометром MAT 253, работающий в режиме непрерывного потока гелия. Измерения изотопных отношений проведены относительно лабораторного стандарта, калиброванного по международным стандартам VSMOW, SLAP и GISP. Для сравнительных оценок использовано соотношение  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  относительно водного стандарта SMOW – среднего значения в морской воде. Для измерения трития использовался  $\beta$ -счет на низкофоновом жидкостинцилляционном спектрометре QUANTULUS-1220 с предварительным электролитическим обогащением.

Нестабильные параметры (pH, температура,  $\text{HCO}_3^-$ ) определялись непосредственно на точке отбора проб воды с помощью полевой гидрогеохимической лаборатории. Полученные результаты аналитических исследований приведены в табл. 1–3.

**Таблица 1.** Химический состав термальных вод месторождения Банг (Ло Вой), мг/дм<sup>3</sup>

№ водопункта	М, мг/дм <sup>3</sup>	T, °C	pH	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
1	530	96.29	8.47	119.50	1.20	1.46	12.77	29.80	8.86	294.90
2	659	97.12	8.51	152.00	1.20	0.50	13.33	5.10	7.49	421.20
3	650	93.85	8.37	146.70	2.40	0.73	14.40	3.52	10.26	419.44
4	660	90.07	8.03	151.80	0.40	0.89	13.42	4.52	7.81	419.20
5	654	84.13	8.45	149.45	1.60	2.92	11.57	3.71	5.40	420.10
6	647	86.41	8.34	147.90	1.26	1.22	11.84	4.16	6.43	418.10
7	648	85.32	8.21	146.80	1.03	1.06	12.08	3.92	6.37	422.50
8	335	68.43	6.63	66.85	6.00	3.65	6.38	13.45	12.25	185.20
9	340	69.12	6.78	65.34	5.84	2.96	6.87	12.7	12.41	191.30
10	607	78.10	8.43	133.05	2.00	2.19	12.03	4.95	7.35	385.28
11	644	62.0	8.28	147.60	1.20	1.21	13.22	7.10	7.47	407.00
12	633	65.40	8.13	144.80	1.30	1.52	12.89	7.09	7.64	398.70
13	256	29.50	6.80	62.71	4.36	1.02	7.91	5.84	5.41	136.40
14	518	28.20	7.12	15.06	6.00	1.37	6.33	17.04	14.67	428.10
15	72	28.90	6.84	7.25	2.00	3.65	0.62	7.95	4.21	30.00
16	71	30.30	6.51	6.10	2.00	3.65	1.41	9.37	5.84	30.00
17	51	30.80	6.06	4.84	1.80	2.67	0.71	6.53	2.58	21.96
18	76	29.70	6.50	6.83	1.60	4.86	1.62	9.09	4.91	34.16
19	72	32.40	6.71	7.76	2.80	4.86	2.67	11.36	5.37	26.60
20	67	30.20	7.84	6.05	3.60	3.89	1.05	7.95	3.51	31.72
21	67	34.50	6.89	6.11	3.20	4.13	1.17	9.94	3.51	31.72
22	80	33.30	6.86	8.28	3.20	4.13	1.02	9.40	3.51	40.36
23	76	31.90	6.74	6.56	2.80	3.37	1.35	8.52	3.51	39.04
24	87	37.80	7.11	7.84	3.20	5.05	2.02	9.78	5.26	48.56
25	44	25.95	6.37	3.28	1.40	1.68	1.67	4.26	2.75	19.55
26	54	24.30	5.71	4.59	1.90	2.35	1.94	5.96	2.45	27.30
27	62	31.70	6.20	4.52	3.60	4.38	1.75	4.07	4.56	30.75

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Месторождение термальных вод Банг приурочено к зоне тектонических нарушений, связанной с пересечением крупных разломов Кьень Жань и Банг. Первый имеет простирание с севера на юг и трассируется одноименной рекой, а второй – с северо-запада на юго-восток. В изучаемом районе широко проявились магматические процессы в неотектоническое время. Излившиеся базальты плиоцен-плейстоценового возраста широко распространены северо-западнее от месторождения Банг. В разрезе выделяется два гидрогеологических этажа. Нижний представлен отложениями архей-протерозойского кристаллического фундамента, а верхний – осадочным чехлом, представленным водовмещающими породами верхнего ордовика – нижнего силура (переслаивание глин, песчаников и алевроитов

формации Лонгдаи) и четвертичными элювиальными и аллювиальными отложениями.

Выходы термальных вод проявляются по берегам небольшой речки Кьень Жань. Наблюдается интенсивная разгрузка гидротерм и фумарольная деятельность (рис. 2). Суммарный дебит высокотермальных вод с температурой 75–97 °C составляет более 40 л/с. На выходе источников отлагаются травертины (диаметр новообразований составляет до 1.0–1.5 м) (рис. 2а). Установлено, что температура на выходе источников варьирует в широком интервале – от 30 до 100 °C. Разгрузка вод с температурой более 60 °C локализуется в зоне пересечения разломов Кьень Жань и Банг (водопункты 1–10). На месторождении пробурены две неглубокие скважины: 1) глубиной 40 метров (водопункт 13) в июне 2013 года и 2) глубиной 200 метров (водопункт

Таблица 1. Продолжение

№ водопункта	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>общее</sub>	S <sup>2-</sup> <sub>общая</sub>	CO <sub>2</sub> свободный	H <sub>2</sub> S
1	1.27	0.001	0.005	0.001	55.85	<0.001	6.0	0	0.60
2	0.40	<0.001	<0.001	0.001	58.23	0.001	4.0	0	0.29
3	0.42	0.001	<0.001	1.250	51.93	<0.001	4.0	0	0.29
4	0.40	<0.001	0.001	0.001	61.21	<0.001	2.0	0	0.15
5	0.42	0.001	<0.001	0.012	58.91	<0.001	4.0	0	0.29
6	0.46	0.015	0.150	0.015	55.92	0.001	4.0	0	0.23
7	0.51	0.027	0.760	<0.001	53.8	0.001	3.0	0	0.19
8	0.34	<0.001	0.001	<0.001	41.22	1.730	4.0	8.36	2.40
9	0.37	-	-	-	42.6	1.860	4.0	7.96	2.53
10	0.53	-	-	-	59.25	1.050	12.0	0	0.86
11	0.40	-	-	-	58.57	0.010	12.0	0	0.86
12	0.84	-	-	-	58.23	0.010	11.0	0	0.79
13	0.63	-	-	-	31.70	<0.001	2.94	0	0.17
14	0.24	0.038	0.950	0.015	29.40	-	4.10	35.95	0.40
15	0.20	-	-	-	16.05	0.352	0.02	8.36	0.01
16	0.22	-	-	-	12.65	0.510	<0.10	8.36	<0.10
17	0.07	-	-	-	9.93	<0.001	<0.10	9.18	<0.10
18	0.22	-	-	-	12.65	0.561	<0.10	9.18	<0.10
19	0.72	-	-	-	9.59	1.250	<0.10	8.36	<0.10
20	0.05	-	-	-	9.25	0.120	<0.10	0.42	<0.10
21	0.01	-	-	-	7.55	0.150	<0.10	5.42	<0.10
22	0.01	-	-	-	9.59	0.150	<0.10	5.42	<0.10
23	0.19	-	-	-	10.27	0.750	<0.10	5.42	<0.10
24	0.28	-	-	-	5.45	1.120	<0.10	5.13	<0.10
25	0.09	-	-	-	9.52	0.370	<0.10	2.71	<0.10
26	0.13	-	-	-	7.18	0.520	<0.10	3.79	<0.10
27	0.24	-	-	-	8.35	0.750	<0.10	6.04	<0.10

14) в ноябре 2014 года. Как показали результаты геотермических исследований, чем дальше мы отдаляемся от зоны пересечения разломов Кьень Жань и Банг, тем в большей степени снижаются геотермические параметры разреза. Так, пластовая температура 34.5 °С отмечается в первой скважине на глубине 40 м, а во второй – на глубине 200 м, геотермические градиенты достигают больших величин и составляют 86.3 °С/100 м и 17.2 °С/100 м соответственно. В целом, для крупных отрицательных тектонических элементов Юго-Восточной Азии, сложенных породами палеоген-неогенового возраста, геотермические градиенты нередко достигают 5.5–7.5 °С/100 м (Уткин и др., 1986). Например, в Ханойском прогибе на глубинах от 2500 до 4000 м пластовые температуры варьируют в интервале 125–180 °С (Дучков и др., 1992; Wysocka, 2009),

а согласно расчетам (Скордули и др., 1983) на глубине 5000 м могут достигать 230 °С.

Величина общей минерализации изученных терм варьируется от 44 до 659 мг/дм<sup>3</sup>. Воды значительно отличаются по своему химическому составу и содержанию основных макро- и микрокомпонентов в зависимости от температуры источника. На диаграмме Пайпера (рис. 3) показаны соотношения основных компонентов в термальных водах, для сравнения на рисунок добавлены литературные данные по составу морских вод, за которые были приняты воды Мирового океана со следующим составом (мг/дм<sup>3</sup>): Ca<sup>2+</sup> – 400; Mg<sup>2+</sup> – 1350; Na<sup>+</sup>+K<sup>+</sup> – 11 080; Cl<sup>-</sup> – 19 300; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> – 2700; HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> – 160; Br<sup>-</sup> – 65; I<sup>-</sup> – 0,06; NH<sub>4</sub><sup>+</sup> – 0.5; SiO<sub>2</sub> – 6; B<sup>+</sup> – 4.6. Установлены две основные гидрогеохимические группы терм (по С.А. Шу-

**Таблица 2.** Микрокомпонентный состав термальных вод месторождения Банг (Ло Вой)

№ водопункта	M, мг/ дм <sup>3</sup>	T, °C	Mn	Zn	F <sup>-</sup>	I <sup>-</sup>	Pb	As	Cd
			мг/дм <sup>3</sup>				мкг/дм <sup>3</sup>		
1	530	96.29	0.007	0.002	4.10	0.20	0.03	1.25	0.137
2	659	97.12	0.003	0.021	-	-	3.06	3.86	0.189
3	650	93.85	0.001	0.003	-	-	1.82	2.50	0.134
4	660	90.07	0.005	0.002	-	-	2.15	1.35	0.137
5	654	84.13	0.041	0.002	-	-	0.04	2.02	0.135
6	647	86.41	0.009	0.007	-	-	2.43	2.15	0.152
7	648	85.32	0.005	0.023	-	-	2.08	1.05	0.356
8	335	68.43	0.001	0.096	-	-	1.63	1.25	0.171
14	518	28.20	0.182	0.074	-	-	3.11	1.65	0.180

кареву). Первая характеризуется температурой на выходе 24.3–34.5 °C, гидрокарбонатно-хлоридным натриево-магниевым составом с величиной общей минерализации 44–87 мг/дм<sup>3</sup>, по величине pH – от слабокислых до слабощелочных (5.71–7.84). Вторая отличается температурой 62.1–97.1 °C, гидрокарбонатным натриевым составом, величиной минерализации 256–659 мг/дм<sup>3</sup> и величиной pH от 8.03 до 8.51. Полученные результаты хорошо согласуются

с ранее полученными данными Во Конг Нгхипа. Установленные особенности накопления основных солеобразующих компонентов четче проявляются в разных химических типах термальных вод.

Так, в высокотемпературных водах гидрокарбонатного натриевого состава наиболее тесная связь с общей минерализацией отмечается у натрия, калия и гидрокарбонат-иона,

**Рис. 2.** Разгрузка гидротерм месторождения Банг по берегам реки Кьень Жань (фото Тран Вьет Хоан, 2016).

Таблица 3. Изотопный состав термальных вод месторождения Банг (Ло Вой) и ряда других объектов

Водопункт	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta\text{D}$	$^3\text{H TE}$	Источник
	‰ SMOW			
Банг (Ло Вой) № 1, fumaroles	-1.6	-22.2	0.5	Результаты полевых исследований 2014–2016 годов
Банг (Ло Вой) № 3, fumaroles	-1.3	-21.4	-	
Банг (Ло Вой) № 8, источник	-7.3	-51.4	10.2	
Банг (Ло Вой) № 13, скважина	-6.4	-42.1	11.1	
Банг (Ло Вой) № 14, скважина	-6.2	-39.3	10.0	
Банг (Ло Вой) № 17, источник	-5.7	-34.2	4.3	
Нефтечала Южная, источник	-0.6	-32.0	-	Лаврушин и др., 2015
Нефтечала, скважина	0.0	-32.0	-	
Эль Чичен, fumaroles	-2.2	-17.0	-	Taran et al., 1998
Эль Чичен, кратер	-1.5	-22.0	-	
Кирсехир, источник	-12.3	-88.4	0.2	Yurteri, Simsek, 2017
Кон Майн, скважина	-14.4	-69.0	1.0	Douglas et al., 2000
Лос Ратонэс, скважина	-	-	3.5	Gómez et al., 2006
г. Кизляр, скважина	-13.1	-97.0	<1.0	Соколовский и др., 2010а
пос. Полуночное, скважина	-16.8	-125.0	7.0	Соколовский и др., 2010б
пос. Денежкино, скважина	-16.2	-118.0	5.0	
Банный, скважина	-11.5	-83.6	1.2	Харитоновна и др., 2012
Горячий, колодец	-11.2	-80.1	0.8	
Святая Елена, скважина	-12.3	-99.2	3.1	

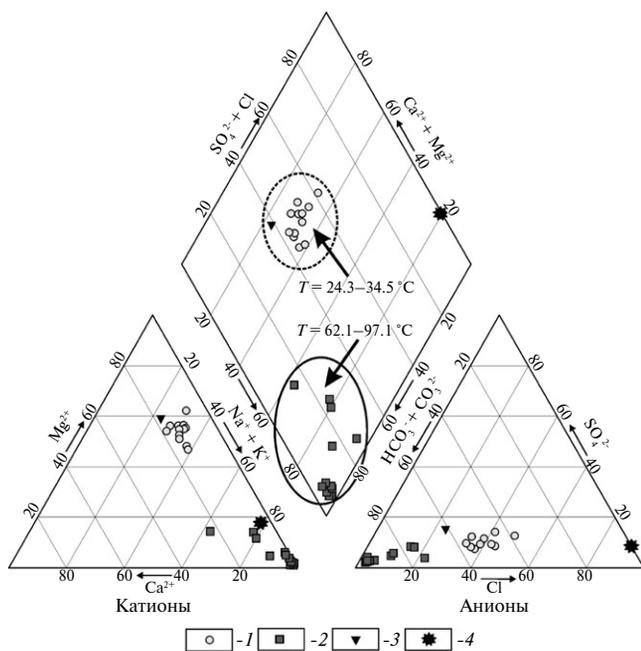


Рис. 3. Диаграмма Пайпера состава термальных вод месторождения Банг.

Химические типы вод по С.А. Шукареву: 1 –  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{Cl}$ - $\text{Na}$ - $\text{Mg}$ ; 2 –  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{Na}$ ; 3 –  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{Mg}$ - $\text{Na}$ ; 4 – морская вода.

концентрации которых варьируют в интервале 132–165, 12–14 и 295–423  $\text{мг/дм}^3$  соответственно. Среди микрокомпонентов – у серы и кремнезема с содержаниями 4–12 и 41–61  $\text{мг/дм}^3$ . Величина достоверности полученных регрессионных зависимостей достигает 0.84–0.89. Характер изменения соотношения катионов и анионов в термальных водах с температурой ниже 35 °C показывает, что среди катионов в водах преобладает натрий, на втором месте находится магний. Среди анионов доминирует также гидрокарбонат-ион, концентрации которого изменяются от 20 до 41  $\text{мг/дм}^3$  и хлорид с содержанием 4–11  $\text{мг/дм}^3$ . Результаты химических анализов сезонного опробования в мае и декабре показывают, что соотношения основных ионов в составе терм (источники 1–10, рис. 1, табл. 1) остаются стабильными.

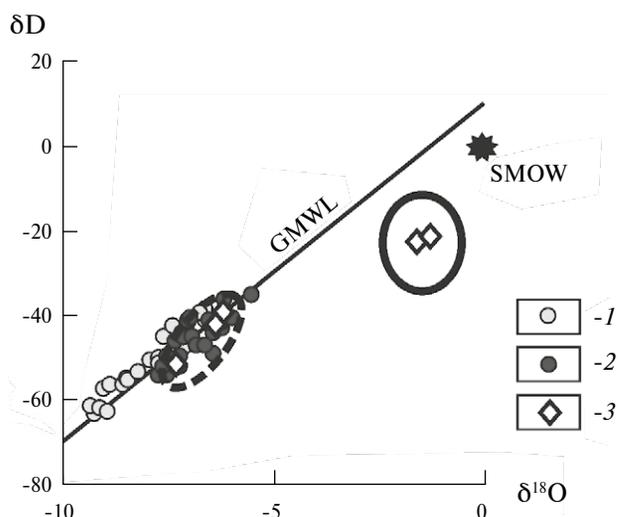
Концентрации кремнезема возрастают с увеличением температуры, что отмечалось ранее (Плюснин и др., 2013) при изучении термальных вод Байкальской рифтовой зоны. На месторождении Банг у вод ниже 35 °C концентрации кремнезема составляют 6–32  $\text{мг/дм}^3$ ,

а у высокотермальных вод (температура выше 80 °С) — 51–61 мг/дм<sup>3</sup>. С ростом общей минерализации и температуры вод в растворе помимо серы и кремнезема также накапливаются в следующих концентрациях аммоний (до 1.27 мг/дм<sup>3</sup>), свинец (до 3.11 мкг/дм<sup>3</sup>), марганец (до 0.182 мкг/дм<sup>3</sup>), цинк (до 0.096 мг/дм<sup>3</sup>), мышьяк (до 3.86 мкг/дм<sup>3</sup>) и кадмий (до 0.356 мкг/дм<sup>3</sup>) (табл. 2). Наиболее обогащены железом (общее) термы с величиной общей минерализации ниже 400 мг/дм<sup>3</sup> (до 1.86 мг/дм<sup>3</sup>), высокотермальные воды характеризуются следовыми концентрациями (ниже 0.001 мг/дм<sup>3</sup>). Следует отметить, что наибольшие содержания свинца и марганца характерны для гидротерм, отобранных на глубине 200 метров в скважине № 14. Для них также характерны наиболее высокие концентрации NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (до 0.038) и NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (до 0.95 мг/дм<sup>3</sup>).

Как отмечалось выше, впервые для гидротерм месторождения Банг (Ло Вой) нами выполнен изотопный анализ кислорода ( $\delta^{18}\text{O}$ ), водорода ( $\delta\text{D}$ ) и трития ( $^3\text{H}$ ) (табл. 3). Анализ распределения положения точек гидротерм разного химического состава от величины  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta\text{D}$  свидетельствует о двух возможных генетических типах вод. В основе водной компоненты первого лежит метеорная вода и в незначительной степени морская (талассогенная), а у группы содовых вод с максимальными значениями  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta\text{D}$ , связанными с фумаролами, более глубокий источник. Положение первой группы точек по изотопному составу ( $\delta^{18}\text{O} = -7.3... -6.2 \text{‰}$  и  $\delta\text{D} = -51.4... -39.3 \text{‰}$ ) (рис. 4) хорошо согласуется с данными, полученными нами ранее для геотермальной области Транг Бо в центральных районах Вьетнама (Doan et al., 2015; Новиков, Доан, 2016; Новиков и др., 2018), они близко расположены к мировой линии метеорных вод (GMWL) (Craig, 1961). Измерения  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta\text{D}$  у группы содовых вод ( $\delta^{18}\text{O} = -1.6... -1.3 \text{‰}$  и  $\delta\text{D} = -22.2... -21.4 \text{‰}$ ), связанных с фумаролами, показали их сильное отличие от поверхностных вод (морских и речных). Этот факт не является исключением. По своему изотопному составу они во многом схожи с грязевулканическими водами гидрокарбонатного натриевого типа Азербайджана ( $\delta^{18}\text{O} = -0.6-0 \text{‰}$  и  $\delta\text{D} = -32.0 \text{‰}$ ) (Лаврушин и др., 2015), а также гидротермами (кратер, фумаролы) вулкана Эль Чичен в Мексике ( $\delta^{18}\text{O} = -2.2... -1.5 \text{‰}$  и  $\delta\text{D} = -22.0... -17.0 \text{‰}$ ) (Taran et al., 1998). Подобный изотопный сдвиг может происходить за счет процессов взаимодействия вод с вмещающими

горными породами и из-за высокотемпературных преобразований минерального вещества пород. При этом чем больше время взаимодействия, тем больше наблюдаемый сдвиг.

Полученные данные по измерениям трития также указывают на разное время циркуляции двух групп терм, изученных на месторождении Банг. Первые — гидрокарбонатно-хлоридные натриево-магниевые — характеризуется содержанием трития, варьирующим в пределах 4.3–11.1 ТЕ (табл. 3). Тогда как в высокотемпературных гидрокарбонатных натриевых водах его концентрация составляет всего 0.5 ТЕ. Если сравнивать полученные данные с результатами изучения термальных вод К. Юртери и С. Симсека в Турции (Yurteri, Simsek, 2017) и М. Дугласа с соавторами на Канадском щите (Douglas et al., 2000), П. Гомеса с соавторами в Испании (Gómez et al., 2006), Л.Г. Соколовского с соавторами по Восточно-Предкавказскому (Соколовский и др., 2010а) и Западно-Сибирскому (Соколовский и др., 2010б) артезианским бассейнам, Н.А. Харитоновой с соавторами по Дальнему Востоку (Харитонов и др., 2012) и многим другим регионам мира, а также использовать для расчета возраста подземных вод различные модели, рассмотренные в монографии В.И. Ферронского и В.А. Полякова (Ферронский, Поляков, 1983; 2009), можно предположить, что в первом случае «третиевый» возраст (время водообмена) не бу-



**Рис. 4.** Соотношения изотопов кислорода и водорода в гидротермах месторождения Банг и центрального Вьетнама.

Термальные воды центрального Вьетнама (Новиков и др., 2018): 1 — материк, 2 — прибрежные районы; 3 — гидротермы месторождения Банг.

дет превышать 50 лет, тогда как во втором может достигать более 1000 лет.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение следует отметить, что впервые по термальным водам месторождения Банг (Ло Вой) проведены детальные гидрогеохимические и изотопные исследования, которые позволили выявить особенности состава, генезиса и предварительно оценить их возраст. Установлено, что все воды разделяются на две генетические группы. Первая имеет атмосферный генезис ( $\delta^{18}\text{O} = -7.3... -6.2 \text{‰}$  и  $\delta\text{D} = -51.4... -39.3 \text{‰}$ ), температуру 24.3–34.5 °С, гидрокарбонатно-хлоридный натриево-магниевый состав с величиной общей минерализации 44–87 мг/дм<sup>3</sup> и рН 5.71–7.84. Вторая, локализованная в зоне пересечения разломов Кьень Жань и Банг, имеет более глубинный генезис ( $\delta^{18}\text{O} = -1.6... -1.3 \text{‰}$  и  $\delta\text{D} = -22.2... -21.4 \text{‰}$ ), отличается температурой 62.1–97.1 °С, гидрокарбонатным натриевым составом, величиной минерализации 256–659 мг/дм<sup>3</sup> и рН от 8.03 до 8.51. Данные по тритию (<sup>3</sup>H) также указывают на разное время циркуляции этих вод. В первом он не превышает 50 лет (<sup>3</sup>H = 4.3–11.1 ТЕ), тогда как во втором может достигать более 1000 лет (<sup>3</sup>H = 0.5 ТЕ).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Дучков А.Д., Нгуен Чонг Ием, Динь Ван Тоан, Чинь Вьет Бак (1992) Первые оценки теплового потока в Северном Вьетнаме. *Советская геология и геофизика* (5), 110–115.
- Лаврушин В.Ю., Гулиев И.С., Киквадзе О.Е., Алиев Ад.А., Покровский Б.Г., Поляк Б.Г. (2015) Воды грязевых вулканов Азербайджана: изотопно-геохимические особенности и условия формирования. *Литология и полезные ископаемые* (1), 3–29.
- Новиков Д.А., Доан Ван Туен (2016) Термальные воды центрального Вьетнама. Сборник. матер. XII Междунар. науч. конгресса «ГЕО-Сибирь-2016» в 3 т. Т. 1. Новосибирск: СГУГиТ, 94–98.
- Новиков Д.А., Doan Van Tuyen, Phan Thi Kim Van, Харитонов Н.А. (2018) Гидрогеохимические особенности термальных вод Южного Трангбо (Центральный Вьетнам). *Тихоокеанская геология* 37(1), 77–93.
- Плюснин А.М., Замана Л.В., Шварцев С.Л., Токаренко О.Г., Чернявский М.К. (2013) Гидрогеохимические особенности состава азотных терм Байкальской рифтовой зоны. *Геология и геофизика* 54(5), 647–664.
- Скордули В.Д., Худык М.В. Ле Ван Кы, Нгуен Нгок Кы, Севостьянов К.М. (1983) Геологическое строение и нефтегазоносность Ханойского прогиба. *Геология нефти и газа* (5), 55–61.
- Соколовский Л.Г., Поляков В.А., Тимохин В.Г., Алибекова С.В. (2010) Оценка условий формирования и защищенности от техногенного загрязнения подземных вод Восточно-Предкавказского артезианского бассейна. *Разведка и охрана недр* (7), 24–31.
- Соколовский Л.Г., Поляков В.А., Соколова А.В., Провоторова Н.А., Чистякова А.И. (2010) Изотопно-гидрогеохимическое изучение подземных и поверхностных вод Западно-Сибирского артезианского бассейна и Уральской сложной гидрогеологической складчатой области. *Разведка и охрана недр* (7), 65–71.
- Уткин В.П., Нгуен Чонг Ием, Хо Дак Хоай, Ле Чонг Кан, Нгуен Динь Ту, Лый Хой Тхонг, Чан Ле Донг, Нгуен Куок Кыонг, Ле Ван Чыонг, Ле Минь Куок (1986) Геодинамические условия формирования депрессий Юго-Восточной Азии. *Тихоокеанская геология* (6), 12–23.
- Ферронский В.И., Поляков В.А. (1983) Изотопия гидросферы. М.: Недра, 280 с.
- Ферронский В.И., Поляков В.А. (2009) Изотопия гидросферы. М.: Научный мир, 632 с.
- Харитонов Н.А., Челноков Г.А., Брагин И.В., Вах Е.А. (2012) Изотопный состав природных вод юга Дальнего Востока России. *Тихоокеанская геология* 31(2), 75–86.
- Craig H. (1961) Isotopic variations in meteoric waters. *Science* (133), 1702–1703.
- V.T. Doan, T.K.V. Phan, F.V. Tran, D.A. Novikov (2015) Features of hydrogeology of Central Vietnam. Матер. II Всероссийской конференции с участием иностранных ученых «Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами». Владивосток: Дальнаука, 234–237.
- Vo Cong Nghiep (1998) List of mineral and hot water sources in Vietnam. Vietnam Department of Geology and Mineral Resources, Hanoi, 300 p (in Vietnamese)
- Douglas M., Clark I.D., Raven K., Bottomley D. (2000) Groundwater mixing dynamics at a Canadian Shield mine. *J. Hydrology* 235, 88–103.
- Taran Y., Fisher T.P., Pokrovsky B., Sano Y., Aurora Armienta M., Macias J.L. (1998) Geochemistry of the volcano-hydrothermal system of El Chichón Volcano, Chiapas, Mexico. *Bull Volcanol.* 59, 436–449.
- Gómez P., Turrero M.J., Garralón, Peña J., Buil B., de la Cruz B., Sánchez M., Sánchez D.M., Quejido A., Bajos C., Sánchez L. (2006) Hydrogeochemical characteristics of deep groundwaters of the Hesperian Massif (Spain). *J. Iberian Geology* 32(1), 113–131.

- Wysocka A. (2009) Sedimentary environments of the Neogene basins associated with the Cao Bang-Tien Yen fault, NE Vietnam. *Acta Geologica Polonica* **59**(1), 45–69.
- Yurteri C., Simsek S. (2017) Hydrogeological and hydrochemical studies of the Kaman-Savcili-Büyükoba (Kirsehir) geothermal area, Turkey. *Geothermics* **65**, 99–112.

## NEW ISOTOPE-HYDROGEOCHEMICAL DATA ON THE BANG SPRING (KUANG BINH PROVINCE, CENTRAL VIETNAM)

© 2019 D. A. Novikov<sup>a,b,\*</sup>, Phan Thi Kim Van<sup>c</sup>, Doan Van Tuyen<sup>c</sup>,  
Do Thi Thu<sup>c</sup>, Tran Viet Hoan<sup>d</sup>

<sup>a</sup>*Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch,  
Russian Academy of Sciences,  
pr. Koptyuga 3, Novosibirsk, 630090 Russia*

<sup>b</sup>*Novosibirsk State University, ul. Pirogova 1, Novosibirsk, 630090 Russia*

<sup>c</sup>*Institute of Geological Sciences, Vietnam Academy of Sciences and Technology,  
Chua Lang 84, Dong Da, Hanoi, Vietnam*

<sup>d</sup>*National Center for Planning and Study of Water Resources, Vu Huan Ti 93/95,  
Sai Don Vord, Long Bien, Hanoi, Vietnam*

\*e-mail: NovikovDA@ipgg.sbras.ru

Received: 02.07.2018

Received version received: 25.09.2018

Accepted: 10.10.2018

New isotope hydrogeochemical data on two types of thermal water from the Bang spring (Kuang Binh province, central Vietnam) are reported in the work. The first type includes  $\text{HCO}_3\text{-Cl-Na-Mg}$  water with extremely low mineralization (44–87 mg/dm<sup>3</sup>) and pH variations from weakly acidic to weakly alkaline values (5.71–7.84). The second type includes  $\text{HCO}_3\text{-Na}$  water with mineralization up to 256–659 mg/dm<sup>3</sup> and pH 8.03 to 8.51. The studied types differ significantly in temperature: 24.3–34.5°C in the first type and 62.1–97.1°C in the second type. The analysis of the distribution of oxygen ( $\delta^{18}\text{O}$ ) and hydrogen ( $\delta\text{D}$ ) isotopes carried out for the first time confirms different genetic nature of these hydrogeochemical water types. The first type has an atmospheric genesis ( $\delta^{18}\text{O} = -7.3\text{...}-6.2\text{‰}$  and  $\delta\text{D} = -51.4\text{...}-39.3\text{‰}$ ), while the second type restricted to the Kien Giang–Bang intersection zone has a deeper source ( $\delta^{18}\text{O} = -1.6\text{...}-1.3\text{‰}$  and  $\delta\text{D} = -22.2\text{...}-21.4\text{‰}$ ). The tritium ( $^3\text{H}$ ) data also point to different circulation times of these waters. The formation time of the  $\text{HCO}_3\text{-Cl-Na-Mg}$  waters does not exceed 50 years ( $^3\text{H} = 4.3\text{--}11.1$  TE), while that of  $\text{HCO}_3\text{-Na}$  water may reach more than 1000 years ( $^3\text{H} = 0.5$  TE).

**Keywords:** thermal waters, hydrogeochemistry, genesis, tritium, oxygen-18, Bang spring, central Vietnam.

**(For citation:** Novikov D. A., Phan Thi Kim Van, Doan Van Tuyen, Do Thi Thu, Tran Viet Hoan. New Isotope-Hydrogeochemical Data on the Bang Spring (Kuang Binh Province, Central Vietnam). *Geokhimiya*. 2019;64(6):664–672. DOI: 10.31857/S0016-7525646664-672)