

УДК 556.36

ВЕЛИНГРАДСКАЯ ГИДРОГЕОТЕРМАЛЬНАЯ СИСТЕМА (БОЛГАРИЯ): ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ТЕПЛОВАЯ МОЩНОСТЬ РАЗГРУЗКИ

© 2020 г. Б. Г. Поляк^{а,*}, О. Е. Киквадзе^а, А. В. Ермаков^а, В. Х. Христов^б,
И. Л. Каменский^с, В. Ю. Лаврушин^а, Р. Након^б, Б. Денева^д

^аГеологический институт РАН, Пыжжевский пер., 7, Москва, 119017 Россия

^бГеологический институт БАН, ул. Акад. Г. Бончева, 24, София, 1113 Болгария

^сГеологический институт Кольского научного центра РАН,
ул. Ферсмана, 14, Апатиты Мурманской области, 184209 Россия

^дBordo Engineering Ltd., Riccardo Vaccarini str., bl. 4, ap. 16, Sofia, 1404 Bulgaria

*e-mail: bgpolyak@mail.ru

Поступила в редакцию 24.06.2019 г.

После доработки 24.09.2019 г.

Принята к публикации 30.10.2019 г.

Обсуждаются геотермические и гидрохимические особенности крупной гидрогеотермальной системы, расположенной в г. Велинграде и его окрестностях (юго-западная Болгария). Статья суммирует результаты ее исследований, полученные к 2019 г. Температура разгружающихся терм варьирует от 37 до 94°C, причем по типу минерализации более горячие относятся к SO₄–HCO₃/Na типу с рН ≈ 8.0, тогда как менее горячие – к HCO₃–SO₄/Na с рН до 9.6. Уточнена геотермическая и геохимическая специфика разных участков разгрузки гидротерм, указывающая на увеличение их минерализации с ростом температуры.

Ключевые слова: Болгария, акратотермы, параметры Велинградской гидрогеотермальной системы.

DOI: 10.31857/S0024497X2002007X

На юго-западе Болгарии, в долине р. Чепинской – одного из южных притоков р. Марицы, расположена крупная гидрогеотермальная система, которая разгружается в г. Велинграде и его окрестностях. Естественные источники и пробуренные здесь фонтанирующие скважины выводят на поверхность земли маломинерализованные воды с температурой от 37 до 94°C и спонтанно выделяющиеся из них газы, главным компонентом которых является азот.

Такие воды, богатые N₂, гидрогеологи Австрии и Германии в позапрошлом веке назвали акратотермами (нем. *akrotermen*), считая их “индифферентными”, т.е. слабо взаимодействующими с вмещающими породами. Уже в глубокой древности эти воды проявили целебные свойства и стали использоваться в античных купальнях. В наши дни термоминеральные воды Велинградской системы широко применяются для лечения и профилактики разных болезней, для отдыха и спорта, отопления зданий, а в последние годы и для розлива в качестве столовой питьевой воды.

Термы Велинграда изучались многими исследователями – А. Азмановым, Г. Бончевым, Е. Пенчевой, П. Петровым, Н. Пиперовым, К. Щеревым, В. Христовым и др. С 1958 г. эта гидрогеотермальная система была разбурена компанией “Водоканалпроект” и Геологическим комитетом БНР, а в 1997 г. ее теплоэнергетические ресурсы были уточнены полевыми исследованиями Геологического института БАН. Новейшие результаты изучения в этой гидрогеотермальной системе температуры вод, их солевого состава и дебита всех поверхностных проявлений, т.е. источников и изливающих скважин, изложены в работе [Стоянов, Христов, 2018].

Велинградская система (рис. 1) заключена в гранитоидах Рило-Западно-Родопского батолита, внедрившегося в начале палеозоя в толщу протерозойских метаморфитов (гнейсы, гранитогнейсы, амфиболиты, мрамора) Родопского срединного массива [Йовчев, 1965]. Кристаллические породы разбиты многочисленными тектоническими нарушениями и сильно раздроблены, так

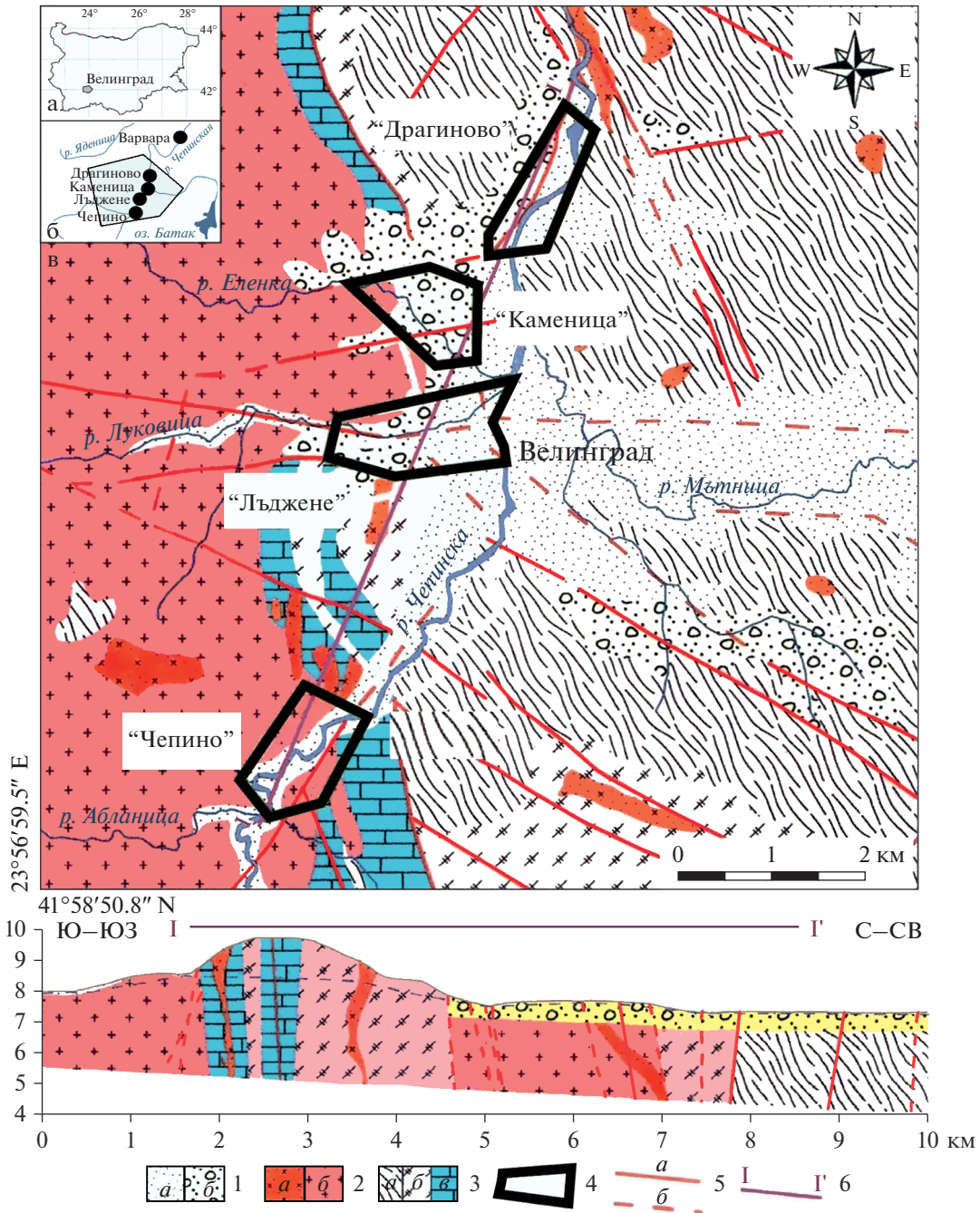


Рис. 1. Позиция Велинградской гидрогеотермальной системы.
 а – обзорная схема, б – термальные поля (очаги разгрузки гидротерм), в – геологическая карта, по [Petrov, 1964; Kozhoukharov et al., 1989, 1990; Dimitrova, Katskov, 1990; Marinova, Katskov, 1990] с изменениями.
 1 – четвертичные пески и галечники; 2 – мезозойские аплитовидно-пегматитовые граниты (а), нижнепалеозойские гранитоиды Рило-Родопского массива (б); 3 – AR-PRZ метаморфиты: гранитогнейсы (а), амфиболиты (б), мраморы (в); 4 – границы термальных полей; 5 – зоны разломов установленные (а) и предполагаемые (б); 6 – линия геолого-гидрогеологического профиля.

что циркуляция гидротерм имеет трещинно-жильный характер.

В долине р. Чепинской (развившейся, по-видимому, вдоль крупной разломной зоны), протягивающейся с Ю–ЮЗ на С–СВ, выделяются че-

тыре относительно разобнесенных термальных поля, или очага разгрузки гидротерм: Чепино (с температурой вод на выходе 38–48°C), Лъджене (25–63°C), Каменица (63–89°C) и Драгиново (71–94°C). Всего в них насчитывается 36 отдель-

Таблица 1. Состав газа (об. %), выделяющегося при разгрузке Велинградских акратотерм (опробование 21 августа 2018 г. отрядом ГИН РАН, ГИН БАН, аналитики О.Е. Киквадзе и В.Ю. Лаврушин (ГИН РАН), И.Л. Каменский (ГИ КНЦ РАН))

ПОЛЕ	Чепино	Драгиново	Каменица*	Воздух	
				Сухой (АТМ)	Водорастворенный
N широта	41°59'44"	42°03'20"	42°02'21"		
E долгота	23°56'23"	24°00'28"	23°59'20"		
T°С	37.9	73.6	84	0	10
N ₂	97.97	97.07	96.9	78.09	62.9
Ar	1.31	1.64	1.76	0.934	1.8
CO ₂	0.42	0.11	0.32	0.03	–
H ₂	0.007	0.005	н/опр	0.00005	0
O ₂	0.012	0.199	0	20.95	34.8
ΣΣ	99.719	99.24	98.98	99.974	99.5
N ₂ /Ar	74.8	59.2	55.1	83.60	37.31
⁴⁰ Ar/ ³⁶ Ar	н/опр	н/опр	293	295.6	295.6
He	0.019	0.124	0.12	0.000524	–
³ He/ ⁴ He	(14 ± 3) × 10 ⁻⁸	н/опр	15 × 10 ⁻⁸	139 × 10 ⁻⁸	139 × 10 ⁻⁸

Примечание: н/опр – не определено; * – [Piperov et al., 1994].

ных выходов термальных вод – естественных источников и изливающихся буровых скважин – с общим дебитом 132 л/с.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЕЛИНГРАДСКОЙ СИСТЕМЫ

Результаты изучения состава вод Велинградской системы и свободной газовой фазы, выделяющейся из них при разгрузке, отражены в ряде публикаций [Атлас ..., 1971; Щерев, Христов, 1985; Владева и др., 2000]. В 2018 г. два термальных поля системы: самое южное (Чепино) и самое северное (Драгиново) были опробованы совместно исследователями Российской АН и Болгарской АН для уточнения состава спонтанно выделяющихся газов. Взятые пробы были проанализированы по известным методикам в Геологическом институте РАН для выяснения общего химического состава газов и в Геологическом институте Кольского научного центра РАН для определения изотопного состава гелия. Полученные результаты представлены в табл. 1. Они подтвердили принадлежность данной системы к акратотермам.

Термальные воды этого типа рассмотрены в специальной монографии по материалам исследования 217 источников на территории России и других республик бывшего СССР [Барабанов, Дислер, 1968]. Такие источники распространены в районах новейшего горообразования и повышенной сейсмичности – в глыбово-складчатых структурах Закавказья, Памира, Тянь-Шаня, Тувы, Алтае-Саянской и Байкало-Монгольской об-

ластей, Сихотэ-Алиня, Сахалина и Камчатки. Из них 73% – имеют температуру на выходе не выше 50°С; 78% – общую минерализацию ниже 1 г/л, причем около 50% – менее 0.5 г/л; последние приурочены преимущественно к гранитным массивам. По типу минерализации акратотермы неоднородны, что отражает взаимодействие инфльтрационных вод с вмещающими породами. При этом в их анионном составе доминируют HCO₃⁻- или SO₄-ионы, а Cl, как правило, играет подчиненную роль; катионный же состав обычно натриевый. Отличительной особенностью акратотерм является присутствие кремниевой кислоты, содержание которой растет с увеличением температуры [Барабанов, Дислер, 1968].

В табл. 1 включены данные об акратотермах Велинградской системы, которые были опубликованы ранее [Пиперов и др., 1987; Piperov et al., 1994], но без указания, какие именно из ее термальных полей они характеризуют. Сравнение этих данных с полученными при опробовании этой системы в 2018 г., свидетельствует о ее геохимической стабильности.

Л.Н. Барабанов и В.Н. Дислер [1968, с. 57] подчеркнули, что "...подавляющее большинство... исследователей азотных терм считает, что основной их составляющей являются инфльтрационные атмосферные воды, обогащающиеся на глубине различными компонентами в результате процессов выщелачивания... в процессе... циркуляции их по породам". Это абсолютно правильно в отношении H₂O акратотерм и их солевой нагрузки, но относительно самого азота верно лишь тогда, когда в

газовой фазе гидротерм отношение концентраций N_2 и Ar, который лучше азота растворяется в воде, не превышает ~ 84 , что отвечает отношению долей этих компонентов в атмосферном воздухе. Однако если отношение N_2/Ar в акратотермах больше “воздушного”, оно указывает на присутствие в исследуемом газе примеси “избыточного” – неатмогенного азота. Для точного определения этой примеси следует измерить изотопный состав аргона, и в случае $^{40}Ar/^{36}Ar > 295.6$, что указывает на примесь к атмосферному аргону радиогенного $^{40}Ar_{РАД}$, образующегося при распаде в породах радиоактивного ^{40}K , вычистить эту примесь из общей концентрации аргона в пробе и найти в ней истинное отношение $N_2/Ar_{АТМ}$. Судя по величине $^{40}Ar/^{36}Ar = 293$ в газах пробы “Каменица”, охарактеризованной в табл. 1, избыточного, т.е. неатмогенного (“глубинного”, “корового”, “мантийного”) азота в гидротермах Велинградской системы нет.

Отсутствие такого азота в акратотермах отмечается в разных районах их распространения, например, в Восточно-Карпатском регионе [Поляк и др., 2018], Байкало-Монгольском регионе и Сихотэ-Алине [Шуколюков, Толстихин, 1965] и других структурах, что в этих случаях свидетельствует о чисто метеогенной природе питающих вод. Эта же особенность Велинградских акратотерм поддерживается низкой величиной отношения концентраций в их газах изотопов гелия $^3He/^4He$. В газах участка Чепино это отношение, по нашим определениям, составило $(14 \pm 3) \times 10^{-8}$ и является практически таким же (15×10^{-8}), как определенное ранее (~ 30 лет назад) в пробе “Велинград” Н. Пиперова [1987]). Оба этих значения очень близки к типичным для радиогенного гелия, образующегося в континентальной коре – $\approx 3 \times 10^{-8}$ [Мамырин, Толстихин, 1981].

В подземных водах другого газового состава, например, в метановых водах Предкарпатского нефтегазоносного краевого прогиба или в углекислых водах восточного сегмента Складчатых Карпат, примесь избыточного N_2 в газовой фазе, напротив, была встречена в большинстве опробованных водопроявлений [Поляк и др., 2018]. В газах Предкарпатского прогиба присутствие “избыточного” (неатмогенного) азота считается следствием преобразования органического вещества, содержащегося в выполняющих прогиб породах, тогда как присутствие такого азота в углекислых минеральных водах может быть связано с более глубинными процессами.

ВАРИАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ, рН И МИНЕРАЛИЗАЦИИ В ВЕЛИНГРАДСКИХ ГИДРОТЕРМАХ

Как было показано в работе [Стоянов, Христов, 2018], значения параметров гидротерм Велинградской системы в разных ее выходах неодинаковы. Эти параметры приведены в табл. 2 вместе с нашими интегральными оценками дебита термальных вод на каждом из термальных полей (или каждой зоны поля Лъджене) и вытекающими из этих оценок средневзвешенными значениями $T^\circ C$, рН и общей минерализации (М) для каждого из этих участков. Эти оценки графически отображены на рис. 2 вдоль профиля через Велинградскую гидрогеотермальную систему, приведенного в работе [Стоянов, Христов, 2018]. На трех верхних графиках этого рисунка границы каждого из четырех полей (очагов разгрузки) Велинградских терм определены по пересечениям линии профиля с границами полей на приложенной карте (см. рис. 1 и нижний график рис. 2), а положение отдельных водопроявлений, из-за отсутствия в цитируемой работе их координат, условно приписано середине пересечения каждого поля линией профиля. На этом “среднем сечении” горизонтальными штрихами отмечены все частные значения (в отдельных водопроявлениях) каждого рассматриваемого параметра ($T^\circ C$, рН или общей минерализации вод), а кружками – средние значения этих параметров в каждом из четырех термальных полей.

Это позволило более корректно определить латеральные тренды изменения каждого параметра в субмеридиональном сечении Велинградской гидрогеотермальной системы, чем это было сделано в вышеуказанной работе Н. Стоянова и В. Христова. Уточненные тренды, однако, не изменили сделанного в этой работе вывода о закономерных изменениях параметров гидротерм Велинграда при движении с Ю–ЮЗ на С–СВ: росте температуры и минерализации терм в этом направлении при уменьшении в них рН. Эти взаимосвязанные изменения параметров термальных вод разных полей Велинградской системы наглядно проявлены на графиках, приведенных на рис. 3.

Но изменения эти, как показано на рис. 2, происходят вдоль описанного профиля не монотонно, а с разной интенсивностью, резко возрастающая между полями Лъджене и Каменица. Это указывает, с одной стороны, на родство гидротерм всех полей Велинградской системы, а с другой – на изменение гидрогеологических условий вдоль профиля: если ультрапресные воды Чепино и Лъджене относятся к гидрокарбонатному типу, то несколько более минерализованные воды Каменицы и Драгиново – к сульфатному, что сопровождается понижением рН. По-видимому, именно последние, к тому же более горячие, точнее ха-

Таблица 2. Геохимическая характеристика вод разных полей Велинградской гидрогеотермальной системы (по [Стойнов, Христов, 2018])

Пункт	Т, °С	Дебит,		Вынос тепла, ккал/с	рН	НСО ₃ , мг/л	SiO ₂ , мг/л	SO ₄ , мг/л	CO ₃ , мг/л	F, мг/л	Na, мг/л	Ca, мг/л	M (TDS) Σ мг/л	M*л/с, л/с
		л/с	б											
ЧЕПИНО														
С-1	48.0	11		528	9.40	64.9	44.8	27.0	10.6	4.7	43.1	2.1	197.2	2169.2
С-2	48.0	9.7		465.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
С-3	48.0	6.3		302.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
С-4	48.0	5.4		259.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
К-1 Старый каптаж	48.0	23		1104	9.45	65.0	44.3	25.4	11.7	4.7	43.0	2.1	196.2	4512.6
К-2 Новый каптаж ¹⁾	48.0	23		1104	9.42	67.7	45.3	25.8	11.5	4.7	47.7	2.1	204.8	4710.4
С-5 Горски пункт	37.0	7.7		284.9	9.27	69.0	41.2	24.4	7.2	4.5	51.1	2.4	199.8	1538.5
Источник 7	45.0	0.2		9	9.36	74.6	42.8	23.0	10.7	4.5	45.5	3.4	204.5	40.9
Сумма	Σ	86.3*	/64.9**	4057.1	9.41									12971.6
средневзвешенная оценка	47.0												199.9	
ЛЪДЖЕНЕ														
<i>западная зона</i>														
К-8	35.0	0.4		14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
К-6 Вел. баня	40.0	0.25		10	9.40	81.8	41.3	32.8	12.0	5.0	74.3	1.4	248.6	62.2
К-7	38.0	0.3		11.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
К-9 Вел. баня	39.0	0.2		7.8	9.57	71.4	36.7	41.2	15.3	4.9	72.7	1.6	243.8	48.8
К-11	25.0	0.03		0.75	9.40	—	—	—	—	—	—	—	—	—
К-14	38.0	0.25		9.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
К-15	43.0	0.1		4.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
К-16	27.0	0.02		0.54	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
С-1 ВКП Вел. баня	35.0	0.4		14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
С-2 ВКП Вел. баня	45.0	1.4		63	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
С-7 ВКП Вел. баня	59.0	5.8		342.2	9.43	144.0	41.5	182.0	6.4	5.0	128.0	1.5	508.4	2948.7
С-6 ВКП Вел. баня	44.0	0.6		26.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Сумма	Σ	9.75*	/6.25**	460.69	9.43									3059.6
средневзвешенная оценка	47.3												489.5	

Таблица 2. Окончание

Пункт	Т, °С	Дебит,		Вынос тепла, ккал/с	рН	НСО ₃ ⁻ , мг/л	SiO ₂ , мг/л	SO ₄ ²⁻ , мг/л	CO ₃ ²⁻ , мг/л	F, мг/л	Na, мг/л	Ca, мг/л	M (TDS) Σ мг/л	M [*] л/с, л/с
		л/с	б											
ЛЪДЖЕНЕ														
<i>средняя зона</i>														
К-18	49.0	0.8		39.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
К-19 Плажа	54.0	7.0		378.0	9.11	72.7	46.6	50.8	6.5	4.8	72.7	1.4	255.5	1788.5
К-21	55.0	0.1		5.5	8.41	105.0	63.6	76.7	7.1	5.5	77.4	4.7	340.0	34
К-28	59.0	1.0		59.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
К-29	59.0	0.8		47.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
С-7 ВКП Крем. баня	63.0	8.1		510.3	9.43	158.0	58.7	104.0	2.8	5.9	93.2	2.2	424.8	3440.9
Сумма	Σ	17.8*	(15.2**)	1039.2										5263.4
средневзвешенная оценка	58.4				8.96								346.3	
<i>восточная зона</i>														
С-8 КГ Топилата	51.0	5.25		267.75	8.87	71.4	77.7	33.6	12.6	8.0	73.2	4.9	281.4	1477.4
С-9 Кентавър	44.0	0.5		22.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Сумма	Σ	5.75*	(5.25**)	289.75										1477.4
средневзвешенная оценка	50.4				8.87								281.4	
КАМЕНИЦА														
С-3 Мизинка	89.0	3.0		267.0	7.84	185.0	95.2	243.0	1	10.00	195.0	6.26	735.5	2206.5
С-4 Власа	88.0	13.0		1144.0	8.15	158.0	86.6	231.0	2.4	8.60	144.0	4.07	634.7	8251.1
С-5 Сярна баня	87.0	5.0		435.0	8.27	159.0	95.3	182.0	1.8	9.70	168.0	7.11	622.9	3114.5
К Власа	65.0	2.0		130.0	8.01	156.0	79.1	197.0	1.2	8.2	153.0	8.4	602.9	1205.8
К-7 Сярна баня	63.0	1.2		75.6	8.05	166.0	98.6	261.0	1.4	10.2	167.0	13.2	717.4	860.9
Сумма	Σ	24.2		2051.6										15638.8
средневзвешенная оценка	84.8				8.12								646.2	
ДРАГИНОВО														
С-1	71.0	1.5		106.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
С-2	91.0	1.2		109.2	7.99	134.0	101.0	209.0	1.1	9.0	196.0	6.51	650.3	780.4
С-5	94.0	7.8		733.2	8.00	144.0	92.0	242.0	1.2	10.0	154.0	6.41	642.4	5010.7
С-13	92.0	2.0		184.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Сумма	Σ	12.5*	(9.0**)	1132.9										5791.1
средневзвешенная оценка	90.6				8.0								643.5	
Итого:		156.3		9031.24										

Примечание. *) Величина для средневзвешенной оценки температуры; **) величина для средневзвешенных оценок рН и минерализации.

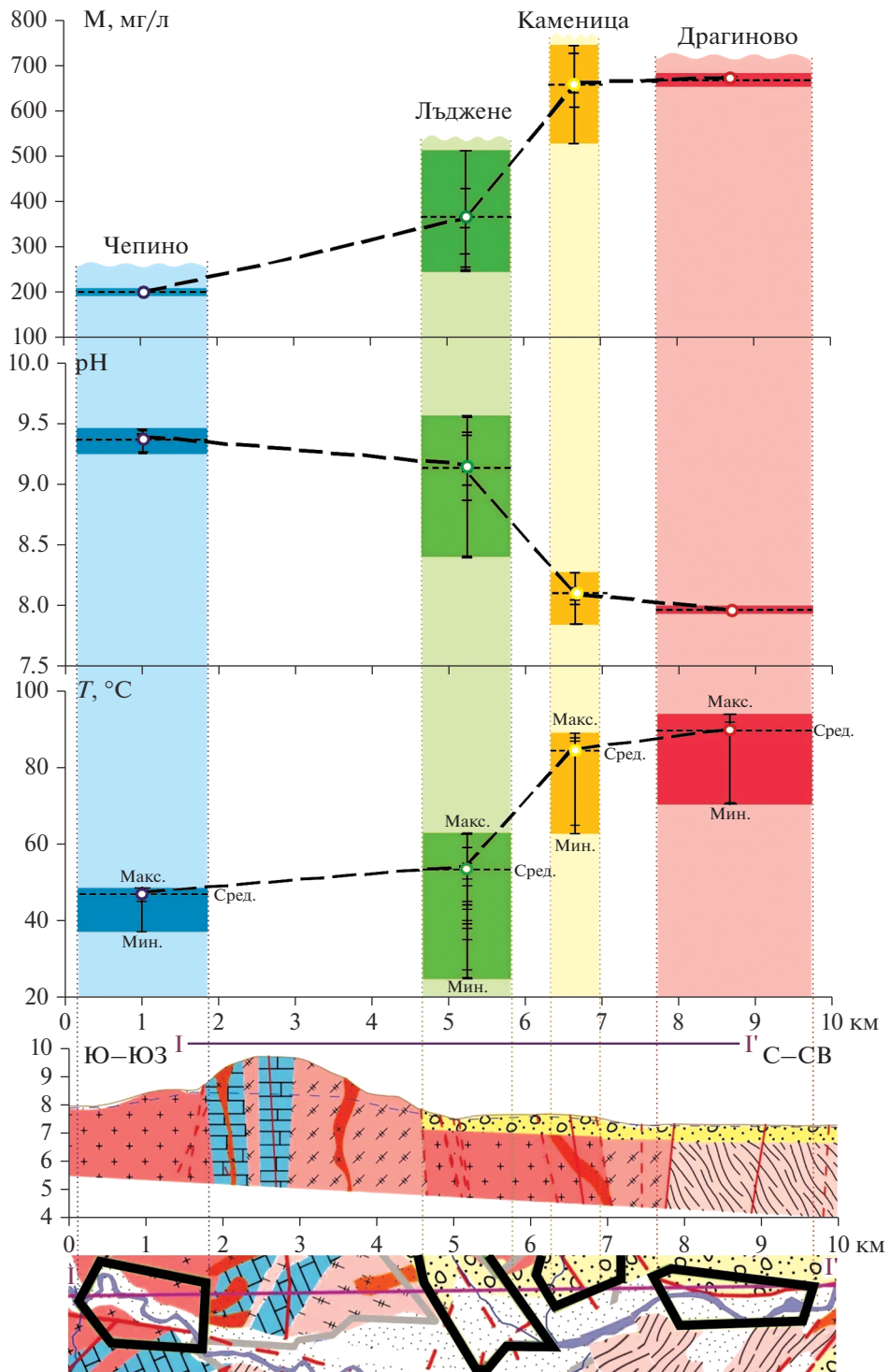


Рис. 2. Сопряженные вариации параметров термальных вод в Велинградской системе вдоль профиля, показанного на рис. 1.

Условные обозначения см. на рис. 1. На графиках в верхней части рисунка прямоугольниками показаны диапазоны вариаций параметров в пределах каждого термального поля. Горизонтальные границы прямоугольников соответствуют максимальному и минимальному значениям параметров, риски на вертикальных осях прямоугольников – частным значениям параметров, кружки – их средневзвешенным значениям на данном поле; соединяющий их пунктир отражает тенденцию изменения величин параметров вдоль долины р. Чепинской.

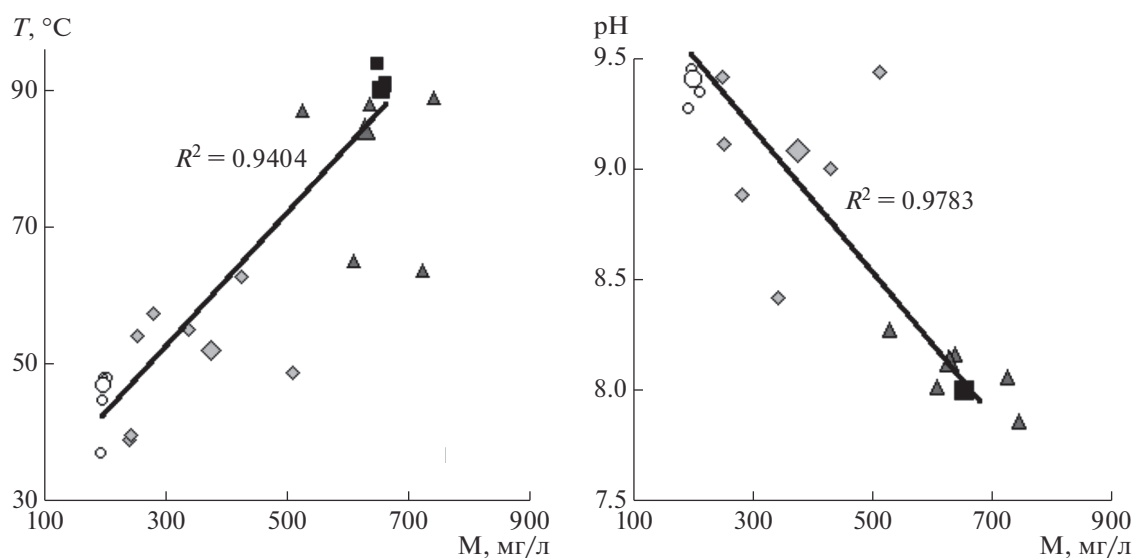


Рис. 3. Взаимосвязанные вариации температуры, pH и величины минерализации термальных вод в Велинградской системе. Разными символами показаны знаки разных полей (Чепино – кружки, Лъджене – ромбы, Каменица – треугольники, Драгиново – квадраты). Крупные значки соответствуют средним значениям для каждого поля, мелкие – частным значениям в исследованных водопрооявлениях. Линии на графиках – корреляционные линейные тренды, R^2 – оценки достоверности аппроксимации.

рактически восходящий поток термальных вод, а поля Чепино и Лъджене представляют периферию гидрогеотермальной системы, где циркулируют и разгружаются ее дериваты, разбавленные более холодными и пресными метеогенными инфильтрационными водами. Для проверки такого заключения необходим дополнительный, более детальный анализ гидродинамических условий в Велинградской системе. В этой связи стоит заметить, что в 14 км севернее, на простирании линии рассмотренного профиля в долине р. Чепинской находится гидрогеотермальное поле Варвара (см. рис. 16 и работу [Атлас ..., 1971]). Термы этого поля, судя по “Справочнику...” [Владева и др., 2000], вдвое водообильнее по сравнению с термами ближайшего поля Драгиново (19.5 л/с); при той же $T = 90^\circ\text{C}$ они характеризуются несколько более высокой общей минерализацией (0.77 г/л) и $\text{pH} = 8.3$ при таком же сульфатном типе минерализации. Представляется, что это не просто “близнец” Велинградских терм, а еще один эле-

мент общей гидрогеотермальной системы. Подтверждение такого предположения могло бы увеличить прогнозные бальнеологические и геотермальные ресурсы Велинградской системы.

Что касается последних, то общий вынос тепла на всех четырех полях Велинградской гидрогеотермальной системы, согласно приведенным в табл. 2 оценкам дебитов и температур в индивидуальных выходах гидротерм на каждом поле, оценен в ~ 9030 ккал/с, или ~ 38 МВт. В табл. 3 приведены оценки доли каждого из четырех полей в общем дебите гидротерм системы и выносе ими глубинного тепла.

Сопоставление этих оценок показывает, что более половины общей массы разгружающихся в Велинградской системе термальных вод изливается на Чепинском поле, где выделяется в атмосферу почти половина общего количества тепла, выносимого гидротермами. К северо-востоку от Чепинского поля дебиты других термальных полей последовательно убывают, в отличие от роста

Таблица 3. Дебит гидротерм и вынос ими тепла на разных полях Велинградской системы

Поле	Дебит (средневзвешенная оценка по T)			Вынос тепла		
	л/с	%	Σ %%	ккал/с	%	Σ %%
Чепино	86.3	55.21	55.21	4057.1	44.92	44.92
Лъджене	33.3	21.31	76.52	1789.6	19.82	64.74
Каменица	24.2	15.48	92.00	1132.9	12.54	77.28
Драгиново	12.5	8.00	100.00	2051.6	22.72	100.00
Σ	156.3	100.00		9031.24	100.00	

температур разгружающихся вод, (см. табл. 2 и работу [Стоянов, Христов, 2018]).

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны за помощь в проведении опробования термальных полей Чепино и Драгиново С. Тетимовой. Для нас была весьма полезна плодотворная дискуссия с К. Щеревым.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование было поддержано госбюджетной темой № 0135-2019-0040, а также Российским фондом фундаментальных исследований (проект РФФИ № 18-55-18004) и Болгарским национальным научным фондом (проект БННФ 02/63, 15 июня 2018) в рамках “Программы двустороннего сотрудничества 2017 г. Россия–Болгария”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Атлас курортного районирования НР Болгарии (Атлас курортно районирани на НРБългария). ГУГК–София, 1971.

Барабанов Л.Н., Дислер В.Н. Азотные термы СССР. ЦНИИКиФ Минздрав СССР. М.: “Геоминвод” Минздрав СССР, 1968. 120 с.

Владева Л., Кръстева Д., Йорданов Ю., Костадинов Д. Справочник по болгарским минеральным водам (основные данные, физико-химические характеристики) (Справочник за българските минерални води (основни данни, физико-химични характеристики). София: ГИН БАН, 2000. 225 с.

Йовчев Й.См. Основы геологии и полезные ископаемые территории НР Болгарии // VII конгресс Карпато-Балканской геологической ассоциации. София, 1965. 223 с.

Пиперов Н., Каменский И.Л., Толстухин И.Н. Изотопы благородных газов и термальных источников Болгарии // Геохимия. 1987. № 12. С. 1712–1721.

Поляк Б.Г., Чешко А.Л., Киквадзе О.Е. и др. Изотопно-геохимические особенности и генезис газов Восточно-Карпатского региона // Литология и полез. ископаемые. 2018. № 5. С. 417–431.

Стоянов Н., Христов В. Металлы в термоминеральных водах Велинграда (Метали в термоминералните води на Велинград. Списание на Българското геологическо дружество, год 79, кн. 1. 2018. С. 13–27) // Журн. Болгарского геологического общества. Т. 79. 2018. С. 13–27.

Шуколюков Ю.А., Толстухин И.Н. Ксенон, аргон и гелий в некоторых газах // Геохимия. 1965. № 7. С. 608–617.

Dimitrova R., Katskov N. Geological Map of PR Bulgaria at a Scale 1 : 100 000. Velingrad Map Sheet. Sofia, Committee of Geology, Department of Geophysical Prospecting and Geological Mapping. 1990.

Kozhoukharov D., Dimitrova R., Katskov N. Geological Map of PR Bulgaria at a scale 1 : 100000. Rakitovo Map Sheet. Sofia, Committee of Geology, Department of Geophysical Prospecting and Geological Mapping. 1989.

Kozhoukharov D., Dimitrova R., Katskov N. Geological Map of PR Bulgaria at a scale 1 : 100000. Pazardzik Map Sheet. Sofia, Committee of Geology, Department of Geophysical Prospecting and Geological Mapping. 1990.

Marinova R., Katskov N. Geological Map of PR Bulgaria at a scale 1 : 100 000. Belica Map Sheet. Sofia, Committee of Geology, Department of Geophysical Prospecting and Geological Mapping. 1990.

Petrov P.S. The warm mineral waters in Chepino valley // Bull. Geol. Inst. 1964. “Str. Dimitrov”. V. 10. P. 267–301. (in Bulgarian with an English abstract).

Piperov N.B., Kamensky I.L., Tolstikhin I.N. Isotopes of the light noble gases in mineral waters in the eastern part of the Balkan peninsula, Bulgaria // Geochim. Cosmochim. Acta. 1994. V. 58. № 8. P. 1889–1898.

Shterev K., Hristov V. Exploration du contenu d’helium dans les eaux thermales du bassin de Velingrade // Recueil des rapports, XXI eme Congres International – SITH, 1985. P. 66–76.

Velingrad Hydrogeothermal System (Bulgaria): Geochemical Features and Heat Output

**B. G. Polyak^{1,*}, O. E. Kikvadze¹, A. V. Ermakov¹, V. H. Hristov²,
I. L. Kamenskii³, V. Yu. Lavrushin¹, R. Nakov², B. Deneva⁴**

¹Geological Institute RAS, Pyzhevsky line, 7, Moscow, 119017 Russia

²Geological Institute BAS, Acad. G. Boncheva str., 24, Sofia, 1113 Bulgaria

³Geological Institute Kola Sci. Center RAS, Fersmana str., 14, Apatity, Murmansk obl., 184209 Russia

⁴Bordo Engineering Ltd., Riccardo Vaccarini str., bl. 4, ap. 16, Sofia, 1404 Bulgaria

*e-mail: bgpolyak@mail.ru

Received June 24, 2019; revised September 24, 2019; accepted October 30, 2019

The geothermal and hydrochemical parameters of a large hydrogeothermal system located in the city of Velingrad and its environs (southwestern Bulgaria) are discussed. The article summarizes the results of its research including obtained in 2019. The temperature of discharging thermal waters varies from 37 to 94°C. The hottest mineral waters have SO₄–HCO₃/Na composition with pH ≈ 8.0, while the less hot ones are of HCO₃–SO₄/Na with a pH of up to 9.6. The geothermal and geochemical features of various parts of the system are revealed, indicating an increasing in mineralization of thermal water with increasing temperature.

Keywords: Bulgaria, N₂-rich thermal waters, parameters of Velingrad hydrogeothermal system.