

# Хидрогеолошки услови формирања угљокиселих минералних вода Србије; Hydrogeological conditions of forming carbonated mineral water of Serbia

Goran H. Marinković



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Хидрогеолошки услови формирања угљокиселих минералних вода Србије; Hydrogeological conditions of forming carbonated mineral water of Serbia | Goran H. Marinković | Универзитет у Београду | 2014-06-17 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0004015>

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
РУДАРСКО – ГЕОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ  
БЕОГРАД

Горан Х. Маринковић

**ХИДРОГЕОЛОШКИ УСЛОВИ  
ФОРМИРАЊА УГЉОКИСЕЛИХ  
МИНЕРАЛНИХ ВОДА СРБИЈЕ**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

БЕОГРАД, 2014.година

BELGRADE UNIVERSITY  
FACULTY OF MINING AND GEOLOGY  
BELGRADE

Goran H. Marinković

**HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS OF  
FORMING CARBONATED MINERAL  
WATER OF SERBIA**

Doctoral Dissertation

BELGRADE, 2014.

У Београду, 2014. године

Ментор:

Др Петар Папић, ред. проф. научна област: хидрогеоекологија,  
Универзитет у Београду, Рударско – геолошки факултет.

Чланови комисије:

Др Веселин Драгишић, ред. проф. научна област: водоснабдевање и  
менаџмент подземних вода, Универзитет у Београду, Рударско –  
геолошки факултет.

Др Драгоман Рабреновић, ред. проф. научна област: историјска  
геологија, Универзитет у Београду, Рударско – геолошки факултет.

Др Оливера Крунић, ред. проф. научна област: хидрогеоекологија,  
Универзитет у Београду, Рударско – геолошки факултет.

Др Зоран Никић, ред. проф. научна област: водоснабдевање и  
менаџмент подземних вода, Универзитет у Београду, Шумарски  
факултет.

# ХИДРОГЕОЛОШКИ УСЛОВИ ФОРМИРАЊА УГЉОКИСЕЛИХ МИНЕРАЛНИХ ВОДА СРБИЈЕ

## САЖЕТАК

Докторском дисертацијом разматране су хидрогеолошке структуре угљокихиселих минералних вода литосфере Србије. При истраживањима узети су у обзир: резултати испитивања старости, порекла и физичко – хемијских карактеристика угљокихиселих вода, геотемпературни услови и геотектонска грађа литосфере, резултати изотопских испитивања на  $\delta^{13}\text{C}$  у карбонатима хидротермалних лежишта, резултати истраживања минималних температура трансформације карбоната и структурно - хидрогеолошки услови у областима дренажања угљокихиселих вода.

Резултати показују да је угљеник угљокихиселих вода пореклом из карбоната хидротермалне фазе младих магматских процеса, а да су матични супстрати овог елемента карбонати мезозојских и палеозојских седиментних и метаморфних стена. Угљендиоксид може да се генерише испод 3 km дубине. Испод ове дубине у литосфери Србије владају повољни геотемпературни услови за одвијање термометаморфних (хемијских) процеса трансформације доломита и калцита. Хидрогеолошке структуре могу да залежу до дубине генерисања угљендиоксида, а активна количинска измена врши се до знатно мањих дубина, од 100 m до 1 km.

Хемијске карактеристике угљокихиселих вода условљене су њиховом агресивношћу. Агресивност вода се испољава кроз процесе хидролизе и угљекиселинског излуживања силиката и алумосиликата, и растварања карбоната. Показало се да постоји аналоган садржај елемената у угљокихиселим водама и изоморфном садржају минерала гранитоидних интрузива, вулканских стена и кристаластих шкриљаца (*Mn, Sr, B, Cs* и др.).

У односу на познате геотектонске јединице запажено је да више од 90 % хидрогеолошких структура залеже у домену Вардарске зоне и периферне делове суседних јединица. Уочена је и веза угљокихиселих вода за познате дубоке разломне зоне и активне дисјунктивне тектонске структуре. У резултату ових истраживања било је могуће издвојити основне типове хидрогеолошких структура. Највећу издашност имају хидрогеолошке структуре формиране у

тектонски оштећеној геолошкој основи са развијеном пукотинско – карстном порозношћу, и вулканско – тектонском типу који се карактерише отвореним пукотинама и пропусним литолошким дисконтинуитетима. Укупне расположиве резерве ових вода износе преко 180 l/s. Од тога, термалне воде имају учешће више од 90 %. На основу квалитета и расположивих резерви, закључено је да угљокиселе воде Србије могу да се користе у балнеологији, као освежавајуће киселе воде, за развој спортско – рекреативног туризма и да имају енергетски потенцијал. Могућности изналажења нових лежишта угљокиселих вода везане су за делове линијских структура ових вода покривене моћним комплексима седимената.

Кључне речи: литосфера Србије, угљокиселе воде, генеза, супстрати, рејони, хидрогеолошке структуре, дубина залегања, геолошки услови, типови, потенцијал.

Научна област: геолошко инжењерство

Ужа научна област: хидрогеоекологија

УДК 55:551:552:553.7:556/.3(497.11)(043.3)

# THE HYDRO-GEOLOGICAL CONDITIONS OF FORMING CARBONACID MINERAL WATER OF SERBIA

## ABSTRACT

The doctoral thesis examined the hydrogeological structure of carbonacid mineral water in the lithosphere of Serbia. During researches, the following parameters were taken into account: the results of the examination of the age, the genesis and the physicochemical characteristics of carbonacid water; the geotemperature conditions and the geo-tectonic structure of the lithosphere; the test results of isotope researches on  $\delta^{13}\text{C}$ , made in carbonate hydrothermal deposits; the results of the researches of transformation of carbonates on minimum temperatures and structural-hydrogeological conditions in the drainage areas of carbon-acid mineral water.

The results show that carbon, made from carbonacid water, originates from hydrothermal carbonate phases of new magmatic processes and that the parent substrates of this element are Mesozoic carbonates and Paleozoic sedimentary and metamorphic rocks. Carbon dioxide can be generated below 3 km of surface, under which rule geotemperature favorable conditions, in the lithosphere of Serbia, for the flowing of thermo-metamorphic (chemical) process of transformation of dolomite and calcite. Hydrogeological structures can reach the deepness of generating carbon dioxide and active quantitative change is made on much smaller depth of 100 m to 1 km.

The thesis concludes that physicochemical characteristics of carbonacid water are caused by their aggressiveness, which manifests through a process of hydrolysis and carbonicacid leaching of silicates, alumsilicates and carbonates dissolution. It has been shown that there was an analogue content of elements in carbonacid water in the isomorphic content of minerals, which were in fissures of granitic, volcanic rocks and crystalline shale (*Mn, Sr, B, Cs*, etc.).

Compared to known geo-tectonic units, it was observed that more than 90% of hydro-geological structures were in the area of the Vardar zone and in the peripheral parts of the adjacent units. There was a relation between carbon-acid water in the known, deep rupture zones and active disjunctive tectonic structures. As a result of these studies, it was possible to abstract the basic types of hydrogeological

structures. The most plenteous type of hydrogeological structures is formed in tectonically damaged geological basis, with developed fracturekarst porosity and volcano-tectonic type, which was characterized by open fissures and permeable lithological discontinuities. The total available reserves of this water are over 180 l/s. Thereof, the thermal water has a share of over 90%. Based on the quality and the available reserves, it is concluded that carbonacid water in Serbia can be used in balneology, as refreshing mineral water, for developing of recreation, tourism and in the purpose of having potential energy. Possibilities of finding new (hidden) resources of carbonacid water, is related to the parts of line structures of this water, induced by powerful complex of sediments.

Keywords: lithosphere of Serbia, carbonacid water, genesis, substrates, areas, hydrogeological structure, deep motion, geological conditions, types, potential.

Scientific field: geological engineering

Special topics: hydrogeoecology

UDC 55:551:552:553.7:556/.3(497.11)(043.3)



## САДРЖАЈ

1	УВОД.....	1
2	УГЉОКИСЕЛЕ МИНЕРАЛНЕ ВОДЕ.....	3
	2.1. Појам и типови.....	4
	2.2. Распрострањење у свету и код нас.....	7
	2.3. Коришћење.....	11
3	ГЕНЕЗА УГЉОКИСЕЛИХ ВОДА.....	14
	3.1. Извори угљендиоксида у подземним водама.....	15
	3.2. Литостратиграфски супстрати.....	18
	3.3. Генеza угљокиселих вода.....	20
4	ХИДРОГЕОЛОШКА РЕЈОНИЗАЦИЈА УГЉОКИСЕЛИХ ВОДА ЛИТОСФЕРЕ СРБИЈЕ.....	23
	4.1. Хидрогеолошка рејонизација.....	24
	4.2. Угљокиселе воде у Карпато – балканидима источне Србије.....	24
	4.3. Угљокиселе воде области Српско – македонске масе.....	27
	4.4. Угљокиселе воде Вардарске зоне.....	45
	4.5. Угљокиселе воде Дринско – ивањичког елемента.....	84
	4.6. Угљокиселе воде Офиолитског појаса.....	90
	4.7. Угљокиселе воде Источно – дурмиторског блока (Дурмиторски блок).....	92
5	ФИЗИЧКО – ХЕМИЈСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ УГЉОКИСЕЛИХ ВОДА.....	94
	5.1. Физичке особине, рН вредност и оксидационо – редукциони потенцијал.....	95
	5.2. Главне компоненте.....	98
	5.3. Споредне компоненте.....	101
	5.4. Гасни састав и гасни фактор.....	107
	5.5. Радиоактивност.....	109
6	ХИДРОГЕОЛОШКЕ СТРУКТУРЕ.....	112

6.1. Хидрогеолошке структуре угљокиселих минералних вода.....	113
6.2. Распрострањење.....	114
6.3. Прихрањивање и дренажање.....	116
6.4. Удаљеност области храњења.....	117
6.5. Дубина залегања угљокиселих вода.....	118
6.6. Хидродинамички услови.....	121
6.7. Тектонске (разломне) зоне.....	123
6.8. Структурно – геолошки услови.....	130
6.9. Типови хидрогеолошких структура угљокиселих вода.....	136
<b>7 ПОТЕНЦИЈАЛ УГЉОКИСЕЛИХ ВОДА ЛИТОСФЕРЕ СРБИЈЕ.....</b>	<b>140</b>
7.1. Потенцијал угљокиселих вода.....	141
7.2. Потенцијал хидрогеолошких структура.....	142
7.3. Могућност изналажење нових ресурса.....	144
<b>8 ЗАКЉУЧАК.....</b>	<b>146</b>
<b>9 ЛИТЕРАТУРА.....</b>	<b>151</b>

Биографија аутора

Изјава о ауторству

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Изјава о коришћењу

## **1. УВОД**

Тема докторске дисертације „Хидрогеолошки услови формирања угљокиселих минералних вода Србије“ произашла је из потребе да се за овај веома коришћен минерални ресурс дефинишу законитости распрострањења и залегања хидрогеолошких структура у литосфери, структурно – хидрогеолошки услови у областима њиховог формирања, услови храњења, дренажа и обнављања. И да се укаже на могућност откривања нових количина ових минералних вода на територији Србије.

У овој докторској дисертацији се први пут третирају све познате области појава угљокиселих минералних вода на територији Србије, које су претежно везане за територију централне Србије. До данас је регистровано више од 60 појава угљокиселих вода, односно минералних вода које садрже угљендиоксид више од 250 mg/l. Угљокиселе воде су везане за продручја распрострањења терцијарних магматита, чију геолошку основу чине протерозојски и палеозојски кристалисти шкриљаци. Дубоким разломним зонама и активним дисјунктивним раседним структурама дубоког залегања се обавља циркулација угљокиселих вода. То су такође делови литосфере Србије у којима постоје повољни геотемпературни услови за процесе температурне трансформације матичних супстрата угљеника ( $CO_2$ ).

Угљокиселе минералне воде су природан ресурс, различитог квалитета и самим тим се разликује могућност њихове употребе. Формирање хидрогеолошки специфичних услова, угљокиселим водама даје угљендиоксид. Овај гас се генерише у литосфери кроз регионалне и контактано-метаморфне геохемијске процесе.

У циљу решавања предметне проблематике тезе, пошло се од тога да су у разматраним областима, хидрогеолошки услови формирања угљокиселих минералних вода у тесној вези са геохемијским, геотермским, магматским и структурно – тектонским факторима.

Савремено коришћење угљокиселих минералних вода на територији Србије везано је за период након одласка Турака. Прва бањска лечилишта отворио је Милош Обреновић 1837. године на изворишту Буковичке бање у Аранђеловацу. Од тог времена до данас, угљокиселе воде су највише коришћен ресурс међу минералним водама.

Досадашња сазнања на тему хидрогеолошких услова формирања вода Србије омогућавају да се у том погледу, у односу на ове воде у ширем региону Балкана, сагледају сличности. У резултату таквих разматрања очекује се да угљокиселе воде Србије припадају једној провинцији ширег распрострањења.

## **2. УГЉОКИСЕЛЕ МИНЕРАЛНЕ ВОДЕ**

## 2.1. Појам и типови

Гасне смесе литосфере састоје се у основи из таквих компоненти као што су азот ( $N$ ), кисеоник ( $O_2$ ), угљендиоксид ( $CO_2$ ), угљенмоноксид ( $CO$ ), угљоводоници ( $CH_4$  и др.), сумпорводоник ( $H_2S$ ) и племенити гасови ( $Ar$ ,  $He$  и др.). У земљиној кори главну улогу играју угљендиоксид<sup>1</sup> и метан (Самарина, 1977). Угљендиоксид у подземним водама може да се налази, везан у неком једињењу раствореном у води, полувезан у извесним нестабилним растворима и у апсорбованом (растворном) стању (Пећинар, 1959). Резултат делимичног узајамног деловања између угљендиоксида и воде је угљена киселина, која води даје слабу киселу реакцију.

Типови угљокиселих вода зависе од концентрације раствореног угљендиоксида. Минимална количина угљендиоксида, која одређује припадност подземних вода угљокиселим је 250 mg/l. Доминација угљендиоксида у овим водама прелази 80 %. Када су у питању балнеолошке потребе, угљокиселе минералне воде се деле на 3 групе: слабо угљокиселе (0,5 – 1,4 g/l), угљокиселе воде средње концентрације (1,4 – 2,5 g/l) и угљокиселе воде „јаке“ концентрације ( $> 2,5$  g/l) (Драгишић, 1997). Тип ових вода је условљен и јонским саставом и минерализацијом. Њихов хемијски састав је разноврстан, а у анјонском погледу преовлађује јон  $HCO_3^-$ . Минерализација ових вода креће се од делова грама по литру, до више од 90 g/l.

Од свих минералних вода, угљокиселе воде се карактеришу највећом засићеношћу гасом. Тако се гасни фактор ових вода ( $Q_{gas} m^3 / Q_{vode} m^3$ ) мења у границама 1,5 – 4,6, а изузетно достиже 18  $m^3/m^3$  и више (Драгишић, 1997). Висока засићеност гасом условљава пулсирајући режим при истицању или експлоатацији.

У класификацији В.В.Иванова и Г.А.Невраева (1964), угљокиселе минералне воде су класификоване на основу физичких особина и хемијског састава бројних познатих појава у земљама Европе, Азије и Северне Америке. У овој класификацији, угљокиселе воде су подељене у више издвојених група и подгрупа. У овом раду су из ове класификације издвојене само угљокиселе воде и приказане у табели 1. Физичко-хемијске карактеристике приказане су за хладне ( $< 20$  °C) и термалне ( $> 20$  °C) угљокиселе воде.

---

<sup>1</sup> Угљендиоксид је гас без боје са slabим мирисом, не подржава горење, згушњава се у безбојну течност при температури 0 °C и притиску 36 атм. Одлично се раствара у води, са коефицијентом растворљивости 1,179 при 10 °C.

Табела 1. Физичко-хемијске карактеристике хладних и термалних угљокиселих вода (В.В.Иванов и Г.А.Невраев, 1964, издвојени типови угљокиселих вода)

Основна балнеолошка група и подгрупа вода по гасном саставу	Физичко – хемијски параметри					Хидрохемијски тип
	t	M	pH	CO <sub>2</sub>		
	°C	g/l		g/l		
<b>Група Б –</b> угљокиселих	термалне	20.1-	3.1–	6.5-	0.6-	HCO <sub>3</sub> Cl-NaCa или Na
		60.0	92.8	7.0	7.5	HCO <sub>3</sub> SO <sub>4</sub> -NaCa Cl HCO <sub>3</sub> -NaMg или NaCa Cl HCO <sub>3</sub> SO <sub>4</sub> -NaCa
Подгрупа - угљокисела						Cl-Na SO <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub> -NaCa
	хладне	0.5–	1.3-	5.6-	0.97-	HCO <sub>3</sub> -CaMg, NaMgCa, NaCa или 19.3 23.6 7.3 3.39 Na HCO <sub>3</sub> Cl-CaNaMg, NaCaMg, NaCa илиNa HCO <sub>3</sub> SO <sub>4</sub> -CaMgNa, CaMg Cl HCO <sub>3</sub> SO <sub>4</sub> -NaCa или CaNaMg SO <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub> -CaMgNa, NaCa или Na SO <sub>4</sub> Cl HCO <sub>3</sub> -Na SO <sub>4</sub> Cl-Na
<b>Група В –</b> сулфидне	термалне	24-	2.7-	6.5-	0.48-	HCO <sub>3</sub> Cl- NaCa или Na
		60.0	6.7	6.8	1.85	Cl HCO <sub>3</sub> SO <sub>4</sub> - NaCa
Подгрупа - угљокисела		43-	3.3-	1.5-	4.96	(SO <sub>4</sub> +HSO <sub>4</sub> )-HNaAlFe или AlCaH
		69.9	6.7	2.0		(SO <sub>4</sub> +HSO <sub>4</sub> )Cl-HAl (Ca+Mg)
<b>Група Г –</b> FeAs са високим садржајем Mn, Cu, Al и др.	термалне	26.5-	4.4-	5.5-	до 1.5	HCO <sub>3</sub> Cl-NaCa
		94 (340)	76.8 (400)	6.7		Cl HCO <sub>3</sub> -NaCa или Na Cl SO <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub> -NaCa Cl-NaCa
Подгрупа - угљокисела		55.6-	3.9-	0.4-	-	ClSO <sub>4</sub> - HAl или HCaNa
		95.0	35.8	2.4		Cl (SO <sub>4</sub> +HSO <sub>4</sub> )-AlNaFeCa SO <sub>4</sub> Cl-HAlFe
	хладне	7.0-	1.6-	6.1-	1.58-	HCO <sub>3</sub> -CaMg или CaNa
		15.0	24.9	6.6	3.0	HCO <sub>3</sub> SO <sub>4</sub> -NaCa HCO <sub>3</sub> Cl- CaNaMg SO <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub> Cl -Na Cl HCO <sub>3</sub> - NaCa или Na

Група Е – радонске	хладне	0.5-	0.7-	5.7-	0.37-	HCO <sub>3</sub> -CaMg
		19.5	4.9	7.3	2.57	HCO <sub>3</sub> SO <sub>4</sub> -NaCa
Подгрупа -						HCO <sub>3</sub> Cl-NaCa или CaNa
угљокисела						Cl HCO <sub>3</sub> SO <sub>4</sub> -NaCa
Група Ж –	термалне	40.0-	3.1-	6.6-	0.47-	HCO <sub>3</sub> Cl-NaCa или Na
		71.4	27.5	7.4	1.61	HCO <sub>3</sub> Cl SO <sub>4</sub> -NaCa
силицијумске						HCO <sub>3</sub> SO <sub>4</sub> Cl -NaCa или Na
Подгрупа -						Cl – NaCa
угљокисела						

Запажа се да се групе – **В** сулфидних и **Ж** силицијумских вода карактеришу само термалним угљокиселим водама, група **Е** радонских се карактерише само хладним, а група **Б** угљокиселих и **Г** гвожђевито - арсенских су са високим садржајем мангана, бакра, алуминијума и др. хладним и термалним. Произилази да је порекло силицијумске и сулфидне воде везано за дубоке делове хидрогеолошких структура угљокиселих вода, а радонске воде за дубине циркулације хладних вода до 100 m (Чудаева и Чудаев, 2005.). Ако знамо да се радон распада за свега 3,6 дана, јасно је да се и еменација овог радиоактивног гаса одвија до ове дубине. На основу рН вредности која се, осим за младе вулканске области, креће од 5,6 до 7,4, угљокиселе воде су киселе до неутралне реакције. Термалне воде Курилско – камчатских и других младих вулканских области су јако киселе реакције са рН од 0,4 до 2,4. Ове киселе воде припадају групи **В** сулфидних и **Г** гвожђевито-арсенских угљокиселих вода са високим садржајем мангана, бакра, алуминијума и других елемената.

У анијонском саставу хладних угљокиселих вода најчешће доминирају HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> или SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> јони и ретко Cl јон, а у термалним Cl или HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> јони и ретко SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> јон. У катјонском саставу најчешће доминира Na<sup>+</sup> јон, ређе Ca<sup>2+</sup> и веома ретко Mg<sup>2+</sup>. Код ових вода младих вулканских области, са јако киселом реакцијом, анијонско- катјонски састав је специфичан, с обзиром на то да има сложену мешавину јона ((SO<sub>4</sub>+HSO<sub>4</sub>), Na, Al, Fe, Ca, H, Cl, (Ca+Mg)).

Угљокиселе воде Србије су најчешће HCO<sub>3</sub> – Na типа, са ређом доминацијом Ca<sup>2+</sup> и веома ретко Mg<sup>2+</sup>, углавном у мешавини катјонског садржаја. Температура ових термалних вода је у интервалу 20 – 79 °C, а хладних 9 – 19 °C. Минерализација је у интервалу 0,49 – 8,11g/l, садржај CO<sub>2</sub> 0,22 - 2,3 g/l, рН вредности 5,7 – 7,1 и SiO<sub>2</sub> (у више од 90 % појава) у интервалу 20 – 120 mg/l. Више од 55 % појава има повишен садржај гвожђа, а међу микрокомпонентама најчешће се у повишеном садржају налази манган.



По класификацији В.В.Иванова и Г.А.Невраева (1964) угљокиселе воде Србије могу да припадају балнеолошким групама: **Б** – угљокиселих, **Г** - гвожђевито-арсенских угљокиселих вода са високим садржајем мангана, бакра, алуминијума и других елемената или **Ж** – силицијумских угљокиселих вода (табела 1).

## 2.2. Распрострањење у свету и код нас

Угљокиселе воде су бројне у свету и јављају се како у пределима копна тако и у пределима подводних хидрогеолошких структура. То је специфичан водни ресурс са доминантним садржајем угљендиоксида у гасном саставу. По правилу су повишене минерализације, киселе и слабо киселе реакције, ретко неутралне. Одликују се различитим јонским саставом специфичног микрокомпонентног и гасног састава (пратећи гасови су најчешће азот, сумпор-водоник, радон). Везане су за делове литосфере где се одвијају геохемијски процеси генерисања угљендиоксида.

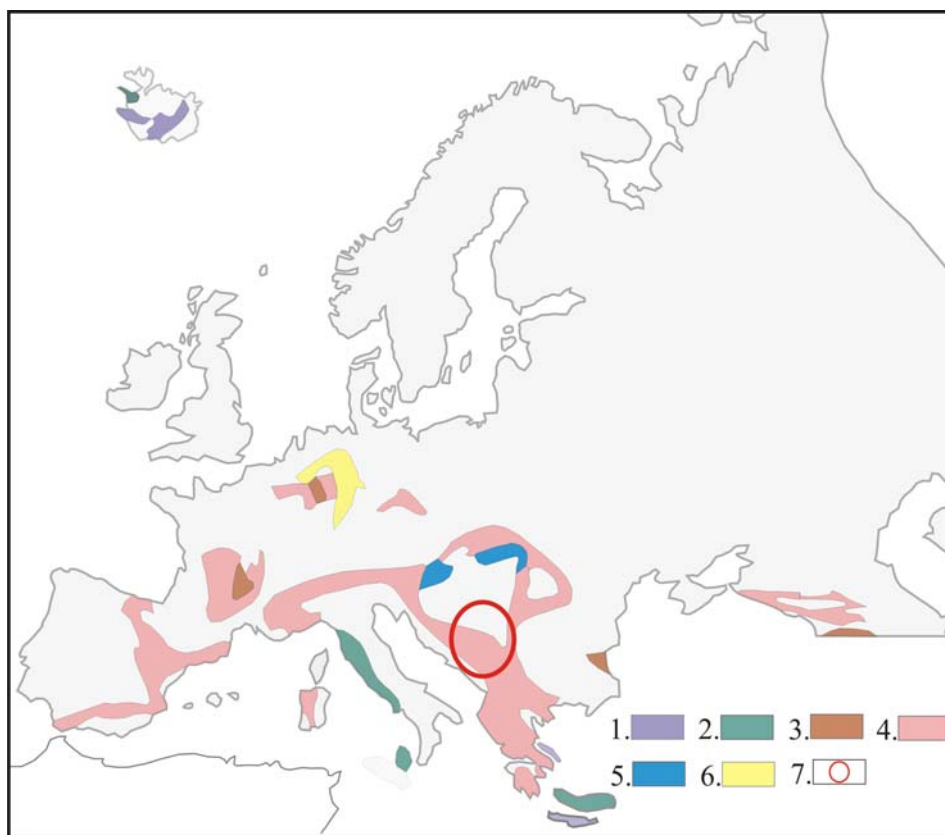
Појаве угљокиселих вода су најчешће груписане у виду широких замочварених зона, појављују се линијски дуж раседних структура, око интрузивних масива или по ободу мањих артеских басена. На површини се јављају и преко бушених водозахвата, који каптирају хидрогеолошке структуре на мањим и већим дубинама.

Из класификације В.В.Иванова и Г.А.Невраева (1964), угљокиселим водама групе Б, припадају појаве: Боржомские (Грузија), Кисловодские и Пјатогорские (Руска Федерација), Криница (Пољска), Франтишковие Лазне (Чешка), Бад-Елстер и Наухејм (Немачка). Термалним силицијумским, групе Ж, појаве: Виши (Француска), Карлови Вари (Чешка), Емс и Висбаден (Немачка), Джермуксие (Јерменија), Бјуксек (Мађарска) и Исти-Су (Азејберџан). Угљокиселим гвожђевито-арсенским, групе Г, припадају појаве: Марианске Лазне (Чешка), Салто – Си (САД). Угљокисело – арсенским, групе Г, припадају појаве: Сингорски и Наличевски (Руска Федерација). Угљокисело-радонским, групе Е, појава Брамбахскиј (Чешка). Сулфидно – угљокиселим, групе В, појаве: Пјатогорскиј и Есентукскиј (Руска Федерација). У веома ретке угљокиселе високотермалне гвожђевите расоле (*Cl-Na* типа), групе Г, издвојене су воде Арума (Јапан) и Салтон-Си (САД) из дубоких бушотина у вулканским областима.

На простору Европе најзначајније угљокиселе воде су у Француској, везане за област централног масива (Виши и др.), у Немачкој (Емс, Наухејм, Висбаден) и у Чешкој (Карлови Вари, Марианске-Лазне). У Руској Федерацији веома познате су Кавкаске угљокиселе воде (Есентукова, Кисловодска, Пјатогорска, Железноводска) (РЕГИОН,

2013.). Ове воде, на територији Русије јављају се и у подручју активног вулканизма на Камчатки и Курилским острвима.

Распрострањење угљокиселих вода у пределима континента и океана везано је за одређене регионалне структурно-геолошке јединице. У Европи, издвојена су подручја распрострањења угљокиселих вода различитог основног састава са специфичним гасним саставом, са азотом, сумпор-водоником и метаном (слика 1). На територији Украјине, Грузије, Јерменије, Азербејџана, Таџикистана, Киргистана и Русије ове воде су распрострањене у зонама алпске убраности и у реонима младих магматских активности (Богомолов, 1975).



Слика 1. Шематска хидрогеохмијска карта провинција угљокиселих вода Европе  
(Е.А.Басков и С.Н.Суриков, 1989, модификовано)

Легенда: 1. водонично-сумпорводоничне, угљокиселе, местимично азотно-угљокиселе пресне, разног анијонског састава; 2. сумпорводонично-угљокиселе, угљокиселе, азотно-угљокиселе слане воде разног анијонског састава и расола (хлоридне и сулфатне); 3. алкалне и слабокиселе угљокиселе хидрокарбонатне и хлоридне слане воде у планинским карбонатним областима са појавама младог магматизма; 4. алкалне и слабокиселе угљокиселе и азотне претежно хидрокарбонатне и хлоридне слане воде у планинским наборним областима са појавама младог магматизма; 5. алкалне азотне, метанске и угљокиселе, претежно слане воде разног анијонског састава у артеским басенима са појавама младог магматизма; 6. алкалне азотне, метанске и угљокиселе слане и расолне, претежно хлоридног састава у артеским басенима са појавама младог вулканизма; 7. подручје Србије.

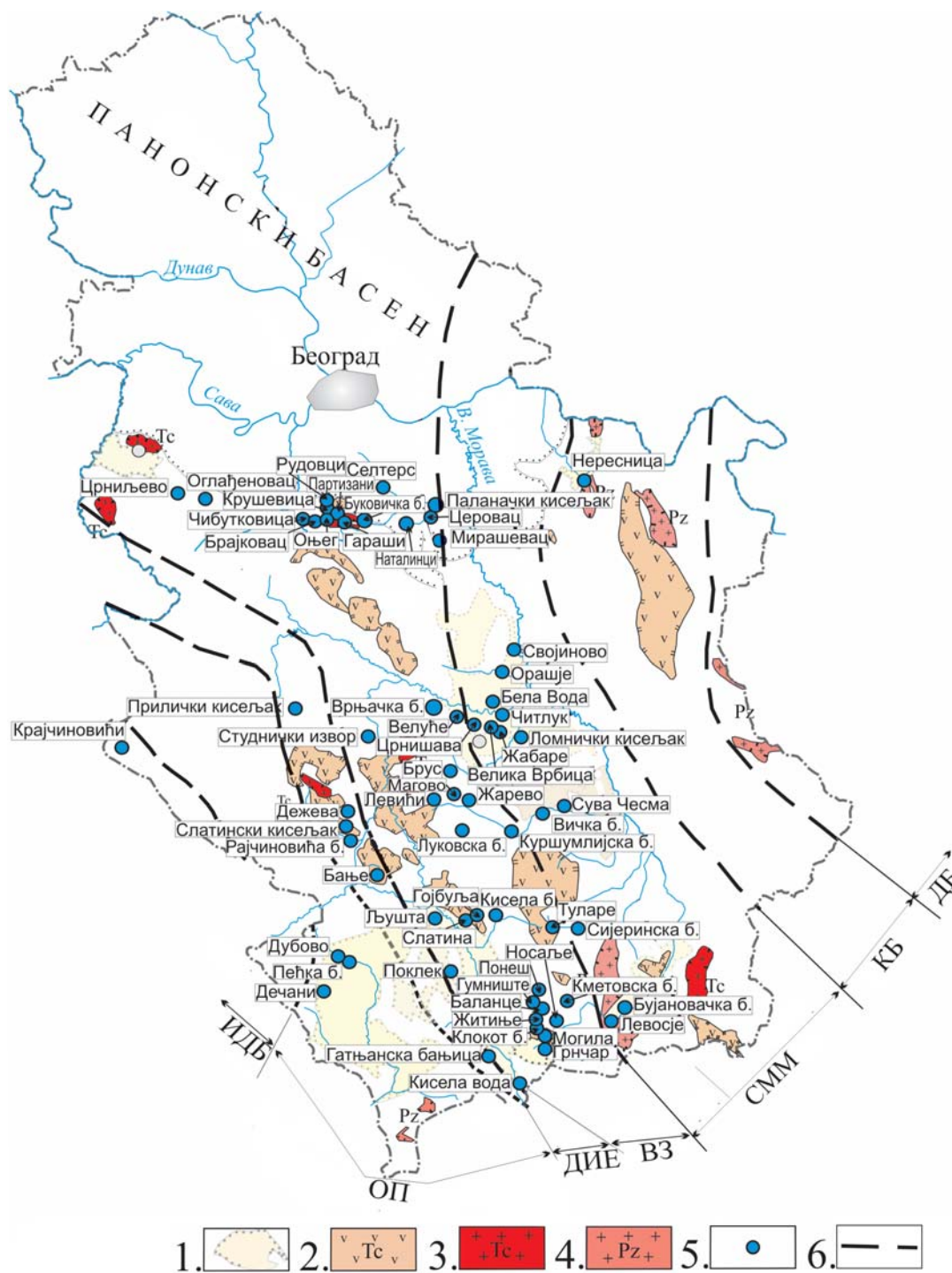
Може се закључити да угљокиселе воде имају распрострањење у различитим геолошким структурама континента, океана и прелазних зона, као и различитим геотемпературним, геохемијским и другим условима литосфере. У прилог томе иде и чињеница да су веома различитих минерализација, од маломинерализованих до расола, ањонско – катјонских типова, температура (< 5 до преко 80 °C). Такође, различитих су концентрација угљендиоксида и мешавина гасова (угљендиоксид, азот, метан, сумпорводоник, водоник, радон). Међутим, без обзира на такве различитости, запажа се да постоји законитост у њиховом распрострањењу. На првом месту, она је одређена геохемијским, тектонским, геотемпературним и хидрогеолошким условима.

На територији Србије постоји више од 60 регистрованих појава угљокиселих вода (слика 2.). Под појавама, овде се подразумевају сва природна истицања и истицања на бунарима и бушотинама на познатим локалностима. Осим за угљокиселе воде „Селтерс“ и Мирашевца, које су случајно откривене бушењем, све остале ове воде су захваћене на локалитетима где су већ постојале индикације о њиховом постојању.

Угљокиселе воде распрострањене су у области Влашићких планина, Шумадије, централне Србије, Голије, средњег и горњег слива Топлице, горњег слива Јабланице, јужноморавског рова и на Косову у Метохији. На територији Војводине нису регистроване, а у источном и крајње западном делу Србије, позната је по једна појава (Нересница и Крајчиновићи).

У односу на познате геотектонске јединице, највећи број појава ових вода јавља се у области Српско – македонске масе (17 појава) и Вардарске зоне (41 појава). На подручју Дринско – ивањичког елемента познато је 7 појава, Офиолитског појаса 3 и по једна појава у оквиру Источно – дурмиторског блока и Карпато – балканида (слика 2).

Око 57 појава угљокиселих вода Србије припада Црноморском сливу (река Дунав), две појаве Егејском (Неродимка) и три Јадранском (Бели Дрим). У сливу реке Дунав угљокиселе воде се јављају у сливовима: Западне Мораве, Биначке Мораве, Расине, Топлице и Колубаре, а мањи број појава и у сливовима: Рашке, Ибара, Лима, Пека и Јасенице.



Слика 2. Шематски приказ појава угљокиселих вода на територији Србије<sup>2</sup>

Легенда: 1. терцијарни седиментни басени; 2. терцијарне вулканске стене; 3. терцијарни гранитоидни интрузиви; 4. палеозојски гранитоидни интрузиви; 5. појава угљокиселе воде; 6. граница геотектонске јединице; Гетектонске јединице: Карпато – балканиди (КБ); Српско – македонска маса (СММ); Вардарска зона (ВЗ), Дринско – ивањички елемент (ДИЕ), Офиолитски појас (ОП), Источно – дурмиторски блок (ИДБ); Дакијски басен (ДБ).

<sup>2</sup> Геологија по Геолошкој карти СФРЈ размере 1:500.000. Група аутора „Института за геолошко – рударска истраживања и испитивања нуклеарних и других минералних сировина“. Савезни геолошки завод, Београд, 1970.

Територија Србије припада четвртој провинцији на шематској хидрогеохемијској карти угљокиселих вода Европе (слика 1). Ова провинција обухвата угљокиселе воде у планинским наборним областима Србије са појавама младог магматизма. У оквиру Панонског басена, који по овој хидрогеохемијској карти припада некој другој провинцији, на територији Србије нису издвојене минералне воде разматраног типа.

Четврта провинција има значајно распрострањење на територији Европе. Карактеришу је алкалне угљокиселе и азотне првенствено хидрокарбонатне и хлоридне слане воде (Басков и Суриков, 1989). Она у Европи заузима велики део Балканског полуострва, Алпа, Карпата, Динарида и подручја Великог Кавказа. У Азији обухвата велики део алпске планинске области, у Африци – планине Атласа и у Америци је развијена у Кордиљерима и Андима.

### **2.3. Коришћење**

О минералним водама постоје записи који датирају од пре нове ере. Зна се да су минералне воде коришћене у медицини старе Грчке, Рима, Индије, Египта, Перуа и Грузије. За лечење и у друге сврхе, минералне воде су коришћене кроз векове. Римљани су показали посебну пажњу за овим водама. Разноврсност употребе била је диктирана развојем аналитичких метода. Како се повећавао број нових детектованих компонената повећавала се и могућност њихове балнеолошке употребе.

За лековита својства минералних вода на подручју Европе знало се и пре владавине Римљана. Та запажања се односе на просторе данашње Француске и на време када су тамо живели Гали. Римљани који су освојили Галију наставили су да унапређују културу коришћења минералних вода. О томе сведоче остаци древних галско-римских каптажа и велелепних базена за купање који су нађени на минералним изворима Централног масива, Вогеза, Алпа и Пиринеја.

Француска има највећи допринос у развоју физичко – хемијских метода анализе вода и уопште у једном научном приступу према минералним водама. Прве публикације о лековитим својствима минералних извора у Француској су објављене у XV и XVI веку. Од тог времена до данас, популарност минералних вода је непрекидно расла. На захтев Француске Академије завршен је и објављен 1785. године „Каталог минералних вода краљевства“ са сажетим описима свих појава. Већ 1856. године ступио је на снагу и први закон о минералним водама, под називом: „Закон о заштити минералних извора“. Француска је позната и по првом комерцијалном флаширању вода у Европи, још

1873.године. У Европи она има и водећу улогу у законодавству које третира подземне воде (минералне, изворске, флаширане).

Почетком 15. века, познате у целој Европи биле су Чешке бање лековитих вода. Посебно посећена била је бања Карлови Вари. У њој се налази 60 минералних извора који припадају бикарбонатном сулфатно – хлоридно – натријумском типу термалних вода. Сви извори садрже угљокисели гас док је хемијски састав извора веома различит. Температура вода се креће од 40 до 73 степени. На основу тих различитости одређени су и различити лековити квалитети ових угљокиселих вода.

У Русији, минералне воде гвожђевитих извора у Карелији користе се од 1718.године. У другој половини XVIII века била је написана „географија“ лековитих вода Русије. Данас у Русији, Украјини, Грузији, Јерменији, Азербејдану, Казахстану, Киргистану и Тацикистану постоје бројни санаторијуми са угљокиселим водама. На тржишту су ове минералне воде познате под комерцијалним називима Боржомские, Кисловодские, Есентукскије и др.

Коришћење минералних вода, није се битно променила у смислу њене основне намене, за купање, лечење и пиће. Издавањем различитих типова угљокиселих вода и њиховом практичном употребом у бањском лечењу, дошло се до научно засноване и разноврсније употребе угљокиселих вода. Данас се користе у лечењу бројних обољења желуца, црева, јетре, жучних и мокраћних канала и других болести. Поред ове намене, користе се и као освежавајуће, за производњу угљендиоксида и у енергетске сврхе (термалне воде).

Комерцијално флаширање минералних вода започиње у другој половини 18 века. До тада су угљокиселе и друге минералне воде коришћене на самим извориштима. Развојем технологије издавајња угљендиоксида, који сам по себи представља веома значајну економску вредност, добила се шира димензија коришћења угљокиселих минералних вода.

Према расположивим подацима, до данас је откривено преко 30 типова угљокиселих минералних вода, од пресних до сланих са минерализацијом 90 g/l. Лековити ефекат ових вода одређен је пре свега високом концентрацијом раствореног гаса угљендиоксида.

За бројне појаве минералних вода на територији Србије постоје докази да су коришћене у римско доба. У доба пре доласка Турака, многи владари тадашње Србије су подизали

манастире управо на извориштима минералних вода (Студеница, Сопоћани, Дечани и др.). Савремено коришћења минералних вода у Србији почело је након ослобођења Србије од Турске владавине.

Употребну вредност угљокиселе воде одређује количина и садржај угљендиоксида, температура, микрокомпонентни садржај, садржај радиоактивних елемената и други физичко – хемијски параметари. Угљокиселе воде Србије и данас се користе највише као освежавајуће. Осим тога, ове воде у Луковској Бањи, Паланачком кисељаку и другим бањама се користе за купање, пиће, инхалирање и лечење. Оне успешно лече обољења срца, крвотока, вена и других крвних судова, периферних нерава, запаљива реуматска обољења, ортопедска обољења, болести стомака и црева, поремећаје метаболизма, обољења дисајних путева и последице повреда (Туристичка организација Србије, 2013) Највећа количина слободног угљендиоксида ослобађа се из угљокиселих вода Суве Чесме и Клокот бање. Међутим, код прве појаве није било могуће избушити водозахват због високих притисака у систему, а код друге је раније краткотрајно вршена екстракција угљендиоксида.

### **3. ГЕНЕЗА УГЉОКИСЕЛИХ ВОДА**



### 3.1. Извори угљендиоксида у подземним водама

Угљендиоксид, у подземне воде доспева различитим процесима из стена богатих угљеником. У земљиној кори око 93 % угљеника припада седиментним и метаморфним стенама, само 7 % магматским и свега 0,01 % чини збир угљеника атмосфере, хидросфере и биосфере (Omoto and Raj, 1982). У литосфери Србије, овај елемент у тако великом садржају (преко 90 %) може да се налази до око 8 km дубине (слика 3). Ово је дубина залегања седиментних и метаморфних комплекса стена, прожетих терцијарним магматитима. Испод овог комплекса залеже „гранитно – метаморфни слој“, до око 15 km дубине. У њему се садржај угљеника може очекивати до 7 %.

Вредности изотопа<sup>3</sup>  $\delta^{13}\text{C}$  могу да укажу на изворе угљеника из: растварања калцита, арагонита или доломита, оксидације органских материја и преноса угљендиоксида из земљишне атмосфере (Дривер 1985). Овај изотоп се користи за идентификацију угљеника када је потребно разликовати угљеник настао из органских материја и угљеник карбонатних минерала. За више угљокиселих вода Србије вредност изотопа  $\delta^{13}\text{C}$  у слободном угљендиоксиду се налази у интервалу од -8,5 до -2,5 ‰ (за 9 појава) а у хидрокарбонатима од -10,03 до +1,78 ‰ (13 појава) (Перић и Миливојевић, 1990, фонд. док.ум.). Осим у хидротермалном лежишту Пајн – Појнт где је вредност  $\delta^{13}\text{C}$  ‰ од -8 до +10, за сва остала ова лежишта ова вредност се налази у границама од -12 до +3<sup>4</sup> ‰. Произилази да се опсег вредности  $\delta^{13}\text{C}$  ‰ хидротермалних лежишта добро поклапа са опсегом његових вредности у угљокиселим водама Србије (слика 4).

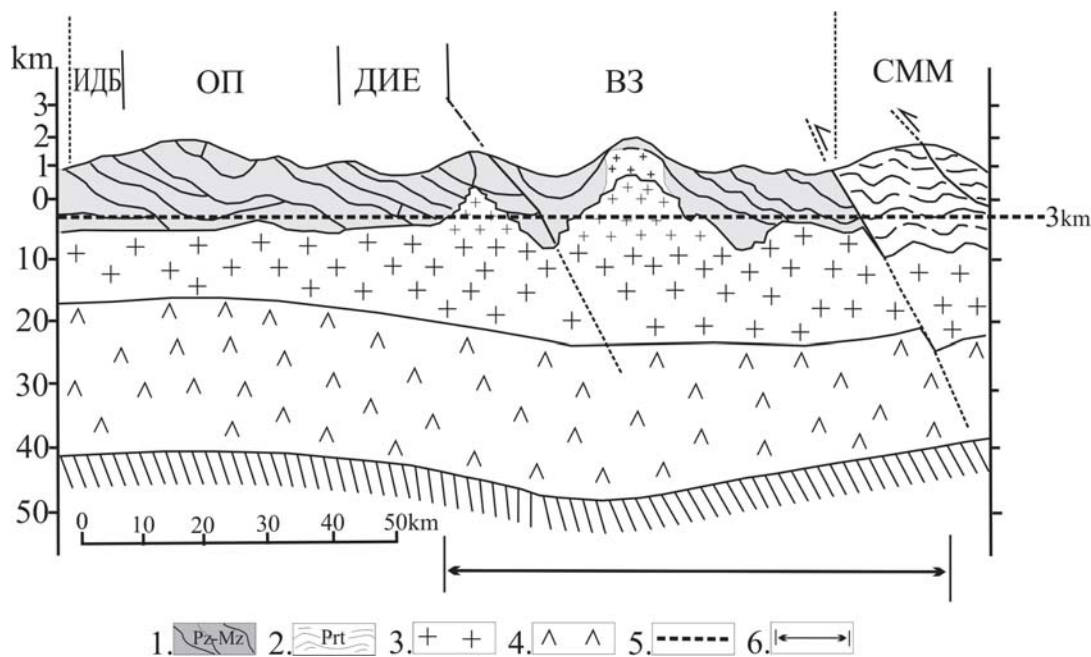
Истраживања изотопа угљеника  $\delta^{13}\text{C}$  показала су да се његове вредности у гранитима, мафитским и ултрамафитским<sup>5</sup> стенама колебају у много ширем опсегу него у карбонатима. У карбонатима вредности изотопа  $\delta^{13}\text{C}$  обично износе од +2 до -10 ‰. У редукционим формама овај изотоп угљеника има вредност од -15 до -30 ‰ (Omoto and Raj, 1982). У карбонатима седиментних и метаморфних стена вредност изотопа  $\delta^{13}\text{C}$  се креће око -5,5 ‰, а у случају стена образованих топљењем разних стена, око -5 ‰.

---

<sup>3</sup> Релативно одступање односа стабилних изотопа  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  (‰) - односа изотопа у проби од њиховог односа у стандарду (Дривер, 1985).

<sup>4</sup> У овим лежиштима угљеник је узет из угљендиоксида течних инклузија и карбоната.

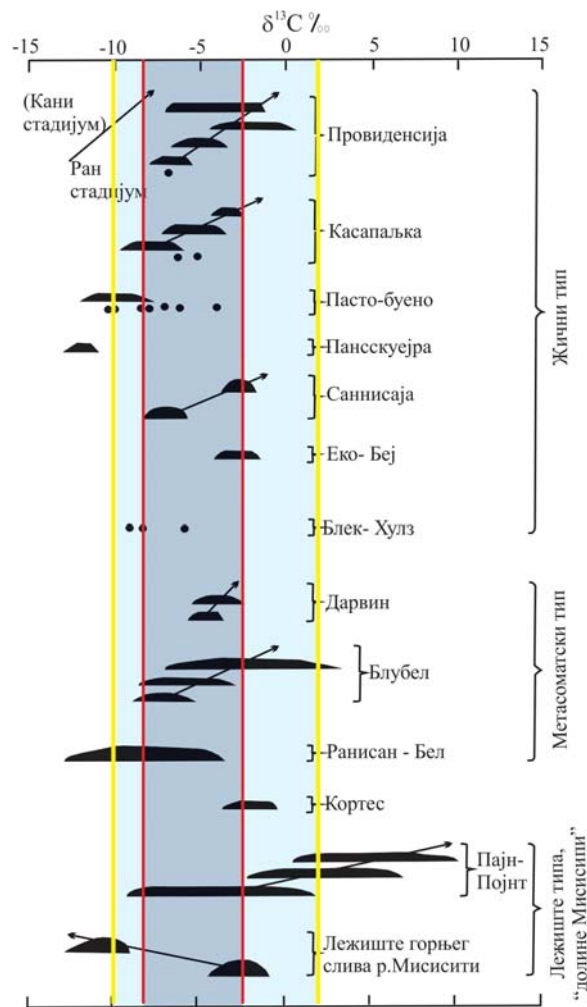
<sup>5</sup> Базичним и ултрабазичним



Слика 3. Шематски геолошки профил дубинске грађе литосфере Србије (М. Анђелковић, 1988, модификовано)

Легенда: 1. палеозојски и мезозојски комплекс седиментних и метаморфних стена са пробојима магматита, 2. протерозојски комплекс метаморфних стена, 3. гранитно – метаморфни слој, 4. базалтни слој, 5. минимална дубина повољних геотемпературних услова за геохемијске процесе генерисања угљендиоксида, 6. део литосфере са око 93 % формираних хидрогеолошких структура угљокиселих вода. Геотектонске јединице: Карпато - балканиди (КБ); Српско – македонска маса (СММ); Вардарска зона (ВЗ), Дринско – ивањички елемент (ДИЕ), Офиолитски појас (ОП), Источно – дурмиторски блок (ИДБ).

Оксидационе форме угљеника ( $CO_2$ ,  $HCO_3^-$ ,  $H_2CO_3$  и  $CO_3^{2-}$ ) у хидротермалним флуидима могу да воде порекло из магматских извора, доломита и калцита, и оксидисаних редукционих облика угљеника (Omoto and Raj, 1982). Ако узмемо у обзир да се генерисање угљеника одвија већ испод дубине од 3 km, долазимо до закључка да су извори угљеника за угљокиселе воде Србије управо оксидационе форме угљеника из карбоната седиментних и метаморфних стена и магматских стена које су асимилирале карбонате ових стена. Ови оксидациони облици угљеника у литосфери Србије изложени су повољним геотемпературним условима за генерисање угљендиоксида на дубинама од 3 до 8 km (слика 3). Такође произилази, да угљеник из редукционих форми не може да има значајније учешће у овим водама.



Слика 4. Шема изотопског састава угљеника хидротермалних лежишта у свету (Н.Оmoto and R.O.Raj, 1982) са приказом опсега вредности изотопа  $\delta^{13}\text{C}$  слободног угљендиоксида (црвене линије) и хидрокарбоната (жуте линије) у угљокиселим водама Србије

На генетску везу угљокиселих вода из Србије и магматских процеса, указују повишен садржај флуора (око 60 % изнад садржаја 1,0 mg/l, а максимално до 16,0 mg/l), тешких метала и радиоактивних елемената урана, радијума и радона. Извори угљендиоксида у литосфери Србије могу да буду процеси температурне трансформације карбоната хидротермалних процеса и магматских стена, и карбоната седиментних и метаморфних стена. Међутим, пошто су карбонати хидротермалних процеса у ствари карбонати седиментних и метаморфних стена, а из истих тих стена су они асимилирани магматским стенама, може се сматрати да су матични извори угљендиоксида карбонати седиментних и метаморфних стена.

Извори гасова у литосфери могу да буду биохемијски, метаморфни (хемијски) и радиоактивни процеси (Карцев и Шугрин,1964). Вредности изотопа  $\delta^{13}\text{C}$  ‰ за

угљокиселе воде Србије износе од -10,03 до +1,78 ‰ (Перић и Миливојевић, 1990, фонд. док.ум.) а у његовим редукционим формама од -15 до -30 ‰ (Omoto and Raj, 1982). Произилази да овај елемент у угљокиселим водама Србије не може да води порекло из његових редукционих облика (органиска једињења, графит). На основу тога се онда може закључити да у овим водама биохемијски процеси не могу да буду извор угљендиоксида. У резултату радиоактивних процеса угљендиоксид се не генерише. Међутим, повишени садржаји радиоактивних елемената и гаса радона у угљокиселим водама указују на њихову везу са гранитоидним интрузијама, док повишени садржаји флуора, олова, арсена и других тешких метала, говоре о њиховој вези са вулканским процесима. Произилази да су главни процеси генерисања угљендиоксида у угљокиселим водама Србије метаморфни (хемијски) процеси.

Ако се узму у обзир утврђене минималне температуре, од 150 и 320 °C, од којих се доломит и калцит трансформишу са ослобађањем угљендиоксида (Patrick and White, 1968), затим, геотемпературни услови (Перић и Миливојевић, 1990, фонд. док.ум.) и геолошка грађа литосфере Србије (слика 3), произилази да извори угљендиоксида залежу испод 3 km дубине. Као што се може видети на сликама 3 и 5, то је зона прелаза између „гранитно-метаморфног слоја“ и протерозојских, палеозојских и мезозојских комплекса седиментних и метаморфних стена, прожетих пробојима вулканита и гранитоидних интрузива. Слично се претпоставља и у раду који третира разломну зону Јужни Тан-лу у Кини (Xiaoyong et al, 2008) али на дубинама од 15 до 20 km.

### 3.2. Литостратиграфски супстрати

---

**Дефиниција:** Литостратиграфски супстрати угљендиоксида су стене из којих угљеник угљокиселих вода води порекло. Они садрже угљеник у виду оксидационих (калцит, доломит) и /или редукционих (органиска једињења, графит) минералних форми. Литостратиграфским супстратима угљендиоксида припадају оне литостратиграфске јединице које се налазе на дубини повољних геотемпературних услова за одвијање метаморфних процеса ослобађања угљендиоксида. Садржај угљеника у литосфери са дубином генерално опада, а највећи је до дубине залегања седиментних и метаморфних стена, где се садржи преко 90 % од укупног (Omoto and Raj, 1982). Дубоке разломне зоне омогућавају миграцију угљендиоксида са дубина његовог генерисања. (Г. Маринковић)

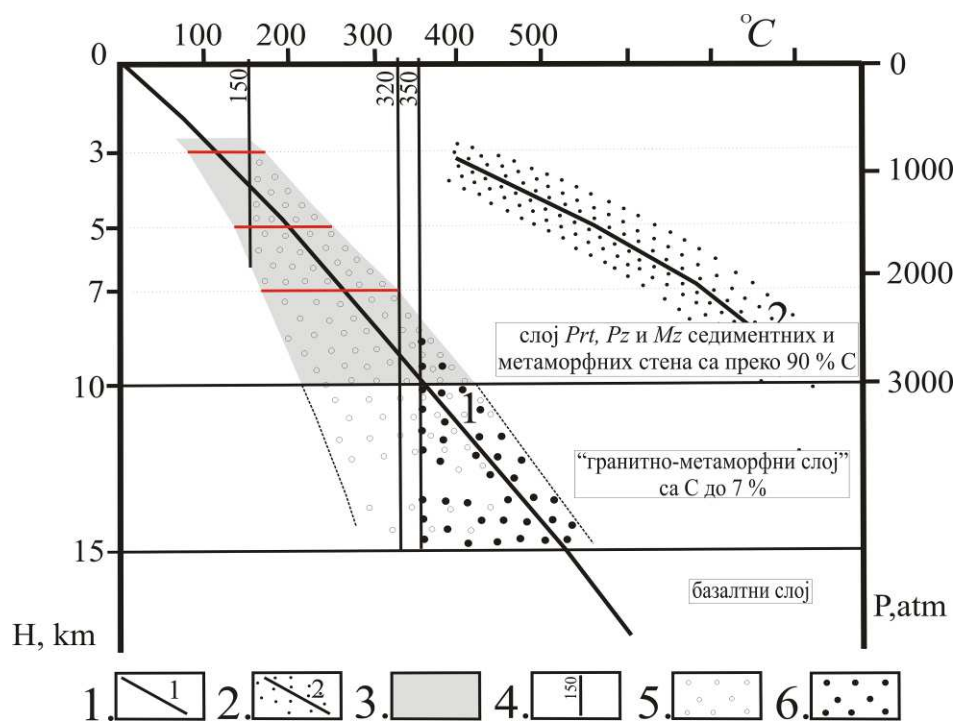
---

На основу распрострањења у односу на познате геотектонске јединице и зоне (Димитријевић, 1982. и 1995; Анђелковић, 1988; Поповић, 1995. и 2002 и Богдановић,

1978.), више од 90 % формираних хидрогеолошки структура угљокиселих вода Србије припада подручјима Вардарске зоне, Дринско-ивањичког елемента и Гнајсног комплекса Српско – македонске масе (слика 2). Највећи број појава ових вода налази се по јужном ободу Панонског басена и у јужном централном делу Србије. Више усамљених појава јавља се ван овог централног дела.

Закључено је, на основу минималних температура од којих се доломит и калцит трансформишу и ослобађају угљендиоксид (Patrick and White, 1968), геотемпературних услова и геолошке грађе литосфере Србије (слике 3 и 5), да:

- литостратиграфски супстрати угљендиоксида у домену Српско – македонске масе припадају протерозојским метаморфитима и гранитно-метаморфном слоју. А у домену Вардарске зоне, Офиолитског појаса, Источно-дурмиторског блока и Карпато-балканида припадају мезозојско – палеозојском комплексу;



Слика 5. Шематски приказ геотемпературних услова у литосфери Србије (В.В.Аверев, 1966, допуњено)

Легенда: 1. температура у условима фонских вредности топлотног тока; 2. температура унутар термалних аномалија; 3. геотемпературни услови у литосфери Србије (по подацима М.Миливојевића, 1989); 4. минималне температуре за ослобађање угљендиоксида из доломита и калцита (М.Л. Patrick and D.E. White, 1968) и графита (Н.Оmoto and R.O.Raj, 1982); 5. геотемпературни услови повољни за ослобађање угљендиоксида из карбоната; 6. геотемпературни услови повољни за ослобађање угљендиоксида из редукционих форми угљеника.

- литостратиграфски супстрати угљендиоксида су седиментне, метаморфне и магматске (вулканске, интрузивне) стене богате оксидационим формама угљеника (доломит, калцит);
- угљокиселе воде су доминантно везане за део литосфере са повишеним геотемпературним условима, где постоје услови за температурну трансформацију калцита и доломита;
- са удаљавањем од простора повишених геотемпературних услова се повећава и дубина ових повољних услова за трансформацију доломита и калцита;
- литостратиграфски супстрати угљендиоксида залежу до прелазне зоне између протерозојских или палеозојско - мезозојских комплекса стена и „гранитно-метаморфног слоја“.

### 3.3. Генеза угљокиселих вода

Угљокиселе воде су генетски везане за делове литосфере где протичу процеси генерисања угљендиоксида, и где (уједно) постоје водопрпусне геолошке структуре (тектонске, литолошке) са могућностима акумулирања и обнављања подземних вода. Ове минералне воде чине заједницу гаса угљендиоксида и подземних вода. Као такве, формирају се у водопрпусним хидрогеолошким структурама на различитим дубинама и у различитим количинским односима. У подземним водама угљендиоксид налазимо везан у неком једињењу раствореном у води, полувезан у извесним лабилним растворима, и у апсорбованом стању (Пећинар, 1959). Порекло угљендиоксида је из дубоких делова литосфере у домену магматских и метаморфних процеса, а највећа маса подземних вода је савременог инфилтрационог порекла (Коротков, 1983).

Ослобођен из дубоких делова литосфере, угљендиоксид мигрира дифузно, навише, у правцу развића пропусних геолошких структура. Мигрирајући према површини засићује све подземне воде које се нађу на том путу. Подземне воде које се засићују могу да буду различитог порекла (инфилтрациона, седиментациона, јувенилна вода). Угљокиселе воде Србије су атмосферског (инфилтрационог) порекла (Перић и Миливојевић, 1990, фонд.докум.). За одређивање порекла воде послужили су изотопи  $\delta^{18}\text{O}$  и  $^2\text{H}$ . Ови изотопи су приказани на стандардном дијаграму  $\delta^{18}\text{O} - ^2\text{H}$  који садржи линију падавина и линију падавина на основу сталних изотопских мерења у Загребу и Љубљани. Тачке на овом дијаграму груписане су у пољу које несумњиво показује да све испитиване угљокиселе воде потичу од метеорских вода, тј. падавина.

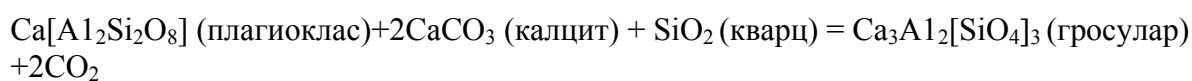
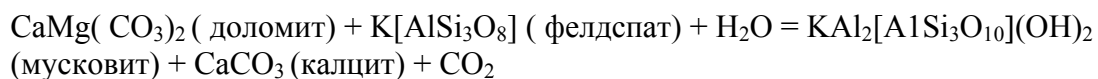
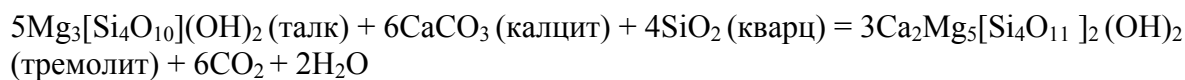
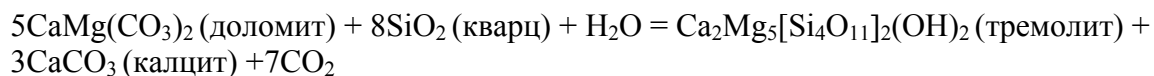
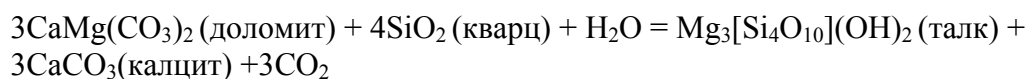
Хемијски састав угљокиселих вода, првенствено везаних за области младих интрузивних и вулканских области, одражава хидрогеохемијске услове седиментних слојева који окружују интрузије и вулкане (Овчиников, 1970). Угљокиселе воде литосфере Србије су генетски везане за мономинералне (карбонати, силикати) и полиминералне (магматске, метаморфне) стене. У полиминералним стенама доминантни садржај имају фелдспати, плагиокласи, кварц и лискуни, т.ј. минерали алумосиликата и силиката. Локално, могу да се налазе концентрисани сулфиди, сулфати, хидроксида, оксиди и други минерали, бројних елемената: гвожђа, арсена, бакра, цинка, бора и др, који разматраним минералним водама дају специфичан састав. Агресивност угљокиселих вода условљава интензивно излуживање елемената из минерала стена. Излуживање се одвија кроз процесе хидролизе, угљокиселинског излуживања и растварања.

Са угљендиоксидом у угљокиселим водама се у подређеним количинама налазе и гасови: азот, сумпор-водоник, радон и други гасови (*He*, *Ar*) који могу бити важни показатељи геохемијских услова њиховог формирања.

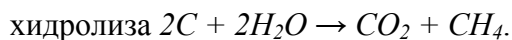
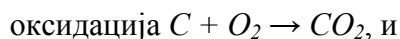
Основни извори угљокиселог гаса у литосфери су масиви карбонатних и магматских стена, из којих се  $\text{CO}_2$  издваја под утицајем процеса динамо- метаморфизма и термо- метаморфизма (Карцев и Шугрин, 1964). За ослобађање угљендиоксида најзначајнији су дубоки процеси везани за интрузивни и регионални метаморфизам (Коротков, 1983). Термометаморфизам се одвија утискивањем интрузива под утицајем његовог температурног дејства на околне стене. Регионални метаморфизам обухвата велике масе стена и одвија се под дејством високих температура и притисака.

Температурни услови у гранитном слоју литосфере Србије одговарају условима фонских вредности топлотног тока (слика 5). Део литосфере који припада Вардарској зони има повишене геотемпературне услове захваљујући терцијарним магматским активностима. За температурну трансформацију доломита и калцита и генерисање угљендиоксид повољни геотемпературни услови ( $> 150\text{ }^\circ\text{C}$ ) постоје испод 3 km дубине (слике 3 и 5). На дубини већој од 8 km владају повољни геотемпературни услови ( $> 350\text{ }^\circ\text{C}$ ) за процеса трансформације редукционих облика угљеника.

У литосфери Србије угљендиоксид је генетски везан за оксидационе форме угљеника (доломит, калцит) и метаморфне процесе који могу да протичу на следећи начин (Xiaoyong et al, 2008):



Редукциони облици угљеника (графит) могу да се трансформишу у извор угљендиоксида хидротермалних флуида углавном кроз два процеса (*Omoto and Raj, 1982*):



Процеси оксидације највећи значај имају у површинским условима, а у условима високотемпературног метаморфизма протичу оба процеса (и оксидација и хидролиза). Раније је закључено да угљеник из ових редукционих облика, у угљокиселим водама Србије не може да има значајније учешће.

Угљокиселе минералне воде у литосфери Србије су инфилтрационог порекла, генетски везане за термометаморфне процесе, за оксидационе облике карбоната (доломит, калцит), у седиментним, метаморфним и магматским стенама испод 3 km дубине, и водопрпусне дубоке геолошке структуре.

На шематском приказу литосфере Србије (слика 3) запажа се да хидрогеолошке структуре угљокиселих вода залежу сагласно залегању Вардарске зоне. Веза угљокиселих вода за ову геотектонску зону је сасвим логична, јер кроз ову зону воде и главни доводни канали терцијарног вулканизма и интрузивног магматизма.



**4. ХИДРОГЕОЛОШКА РЕЈОНИЗАЦИЈА УГЉОКИСЕЛИХ ВОДА ЛИТОСФЕРЕ  
СРБИЈЕ**

#### **4.1. Хидрогеолошка рејонизација**

Хидрогеолошко рејонирање<sup>6</sup> је важан метод упознавања закономерности формирања и распрострањења угљокиселих вода. Основни принцип хидрогеолошке рејонизације територије Србије овде је базиран на геотектонској грађи Земљине коре. Полази се од тога да се геотектонске јединице литосфере Србије карактеришу сличним условима залегања, акумулирања, истицања и формирања угљокиселих вода, с обзиром на то да су се у њима одвијали и слични процеси геотектонског развића. На основу геотектонског критеријума издвојени су хидрогеолошки рејони области Карпато – балканида источне Србије, Српско – македонске масе, Вардарске зоне, Дринско – ивањичког елемента, Офиолитског појаса и Источно – дурмиторског блока.

#### **4.2. Угљокиселе воде у Карпато – балканидима источне Србије**

У области Карпато – балканида, једина позната појава су угљокиселе воде Нереснице. Јављају се на прелазу између истакнутог нересничког гранитоидног масива и кучевског терцијарног басена. Ужа област припада једној типичној међупланинској тектонској депресији, котлини Звижд.

Угљокиселе воде су каптиране бунарима у домену мезозојских карбонатних стена (слика 6). Ове воде маркирају зону укрштања раседа који се пружа долином Буковске реке (Кисела вода) и раседа који се пружа левом долином страном Пека. Раседна структура у долини Буковске реке, геофизички детектована, представља источну границу термоминералне издани (Поповић, 2005, фонд. док. док.).

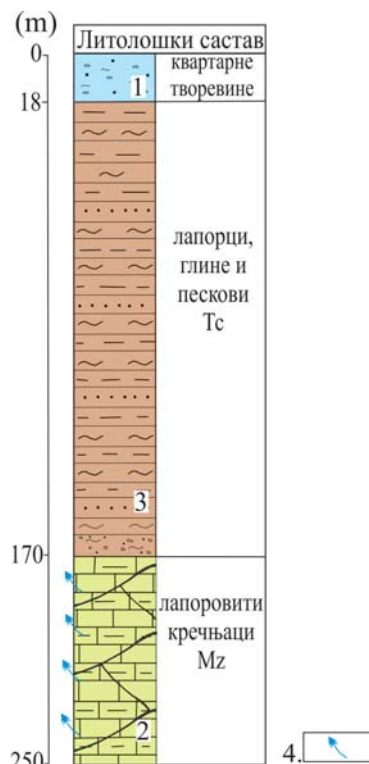
Геолошку основу ове области изграђују палеозојски гранитоиди, палеозојски шкриљци и мезозојске карбонатне стене. Ове стене прожимају пробоји терцијарних вулканита (слике 7 и 8). Комплекс чврстих стена карактерише се блоковском грађом са хорстовским и рововским структурама.

„Екранирајуће“ литостратиграфске јединице су терцијарни и квартарни седименти. Угљокиселе минералне воде су формиране у мезозојским карбонатним стенама које залежу између повлатних терцијарних и подинских палеозојских стена (Каленић и Хаџи-Вуковић, 1973). Комплекс терцијарних литостратиграфских јединица у целини је

---

<sup>6</sup> Хидрогеолошки рејон је геолошка структура, део ње, или свеукупност неколико структура са истим условима залегања, акумулирања, истицања и формирања подземних вода кроз процесе развића земљине коре (Геологическиј словарь, издательство „Недра“, 1973).

водонепропусан (хидрогеолошки изолатор). Испуњава једну синклиналну форму (тектонску депресију) генералног правца пружања С – Ј. На левој страни Пека терцијарни седименти су дебљине 100 – 150 m, а дуж средине долине Пека 600 – 700 m.



Слика 6. Литолошко – хидрогеолошки профил бунара К-1 на локалности Кисела вода у Нересници (С. Поповић, 2005, фонд. док.)

Легенда: 1. водопрпусне неvezане квартарне наслаге<sup>7</sup>, 2. водопрпусне чврсте карбонатне стене, 3. практично водонепропусне стене, 4. водоносна средина угљокиселих вода.

Уз источни обод кучевског басена, на локалности Кисела вода у Нересници, избушено је више бунара. Њима су каптиране угљокиселе воде из мезозојских карбонатних стена (слика 6), на дубини од 230 до 287 m. На једној од бушотина уласком у кречњаке на 240 m добијен је самоизлив (око 5 l/s), са водом температуре 20,5 °С и хидростатичким притиском од 3,5 m изнад површине терена. Бунари су минималне издашности од 4,5 до 9,9 l/s, а максималне од 5,3 до 17 l/s.

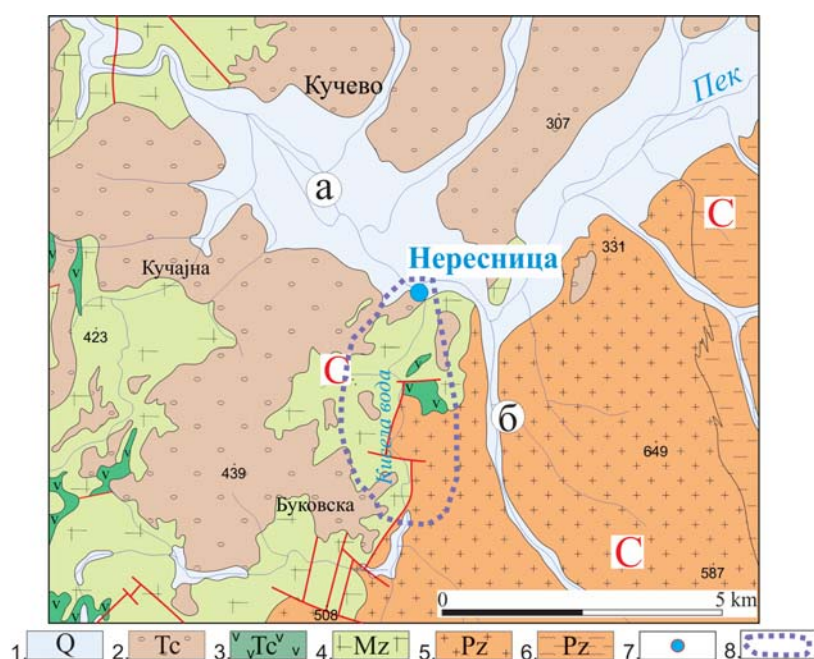
За раседне структуре које предиспонирају долину река Пек и Кисела вода, претпоставља се да предиспонирају и хидрогеолошке структуре угљокиселих вода.

Мезозојске карбонатне стене су у различитом степену карстификоване и тектонски оштећене. Подину ових стена чине палеозојске интрузивне и високо метаморфне стене,

<sup>7</sup> Хидрогеолошка категоризација литостратиграфских јединица по важећем Упутству за израду Оновне хидрогеолошке карте Србије.

а повлату непропусни терцијарни седименти. Ови непропусни седименти не дозвољавају слободно ослобађање (губљење) угљендиоксида у атмосферу, и на тај начин, снижаваће његовог садржаја у издани угљокиселих вода.

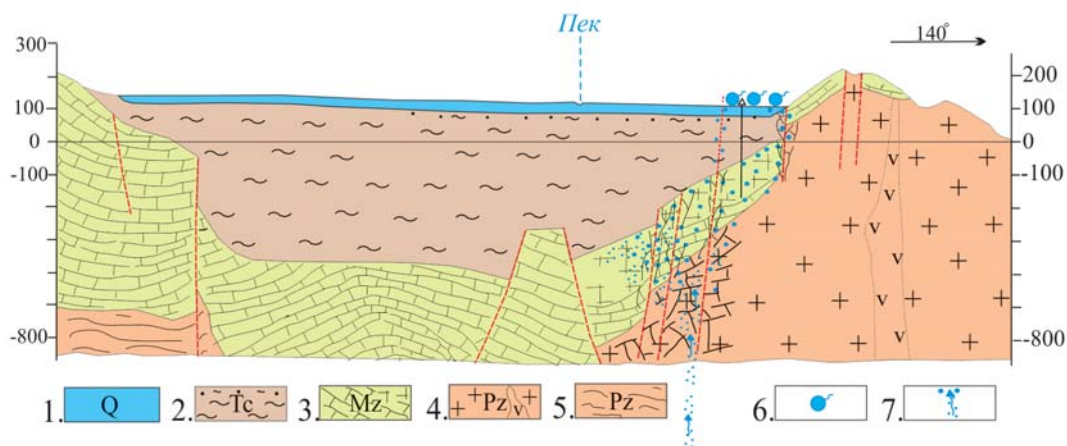
Порекло угљокиселих вода је атмосферско. Ове воде, до главне издани, доспевају инфилтрацијом у границама гравитационог сливног подручја реке Пек. Инфилтрирају се кроз откривене карбонатне и гранитоидне стене геолошке основе, као и кроз терцијарне седименте тамо где су они мале дебљине и водопрпусни. Атмосферске падавине се инфилтрирају директно или индиректно из површинских токова. Хипсометријски истакнута и откривена подручја стена геолошке основе распрострањена су јужно и источно од изворишта (слике 7 и 8).



Слика 7. Шематска хидрогеолошка карта области угљокиселих вода Нереснице (геолошка подлога по М. Каленић и други, 1973)

Легенда: 1. водопрпусне незване квартарне насlage; 2. практично водонепропусне стене; 3. водопрпусне чврсте стене; 4. водопрпусне чврсте карбонатне стене; 5 и 6. претежно водонепропусне интрузивне и високометаморфне стене; 7. појава угљокиселе воде; 8. област прихрањивања угљокиселих вода, претпостављена; С – севернокучајско – хомолска структурна јединица, а – терцијарни басен Кучева, б – палеозојски гранитски масив.

На основу утврђене старости, могуће брзине кретања и дубине залегања угљокиселих вода Нереснице, удаљеност између области храњења и дренарања за хидрогеолошке структуре ових вода може да износи до 5 km (табела 2). Контуре области храњења су по свему у сагласности са пружањем активних тектонских структура којима су и предиспониране хидрогеолошке структуре угљокиселих вода.



Слика 8. Шематски хидрогеолошких профил области угљокиселих вода Нереснице (размере 1:25000/1:10000)(С. Поповић, 2005, фонд. докум.)

Легенда: 1. водопрпусне неvezане квартарне наслагe; 2. практично водонепрпусне стене; 3. водопрпусне чврсте карбонатне стене; 4 и 5. претежно водонепрпусне интрузивне и високометаморфне стене; 6. зона истицања угљокиселих вода; 7. правац миграције угљендиоксида.

Дренирање угљокиселих вода, из карстификованих и изломљених мезозојских карбонатних стена, одвија се преко бунара и инфилтрацијом у граничне издани. По хемијском саставу вода је  $HCO_3 - Ca$  типа, са садржајем  $CO_2$  око 0,44 mg/l и рН вредношћу која се креће од 6,2 до 7,1.

Табела 2. Изотопске анализе угљокиселе минералне воде из бушотине К-1 (С.Поповић, 2005, фонд. докум.)

Бушотина	Ознака узорка	Радиоактивни изотопи			Стабилни изотопи		
		$^{14}C$ % савремен	старост године	$^3H$ % TU	$^{18}O$ % савремен	$^2H$ % SMOW	$^{13}C$ % PDB
К-1	49	7,3 ± 1,7	20.300 ± 500	7,4 ± 1,7	- 10,31	- 7,9	-2,60

Издани угљокиселих вода, формиране у мезозојским карбонатним стенама, се прихрањују угљендиоксидом из дубоких делова литосфере преко активних дисјунктивних тектонских зона. У овој пукотинско – карстној средини угљендиоксид се шири дуж линијских зона боље водопрпусности, до граница њеног распрострањења. Резерве угљокиселих вода у области Нереснице зависе од издашности карстно – пукотинских система мезозојских карбонатних стена и количине угљендиоксида која доспева дубоким тектонским зонама. Јасно је да из ових дубоких зона не може да се очекује значајна количина подземних вода.

### 4.3. Угљокиселе воде области Српско – македонске масе

Овој области припадају угљокиселе воде источног Јухора (Орашје, Својиново), Крушевачког басена (Беле Воде, Читлук, Ломнички кисељак, Жабаре, Велика Врбица, Мрмош, Велуће, Црнишава), Топличке разломне зоне (Сува Чесма, Вича), обода Лецког андезитског масив (Сијеринска и Туларска бања) и Бујановачке котлине (Бујановачка бања, Левосоје)

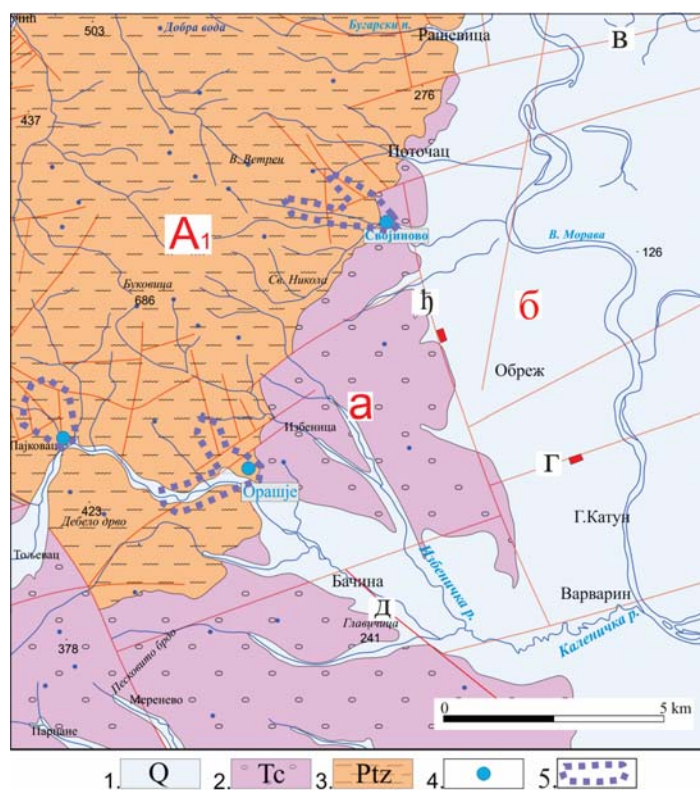
Геолошка основа подручја распрострањења ових угљокиселих вода се карактерише блоковском грађом. У ниским брдско – планинским подручјима, угљокиселе воде дренирају водопрпусне разломне зоне из геолошких основа покривених моћним комплексима терцијарних и квартарних седимената. Ови седименти запуњавају поморавски, крушевачки, топлички и бујановачки басен. Угљокиселе воде се јављају претежно у ободу седиментних басена. У планинским областима разломне зоне угљокиселих вода су покривене квартарним седиментима мале моћности (Туларска и Сијеринска бања). Дренирају се у доњим деловима уских дубоких клисурастих долина.

Угљокиселе воде Својинова и Орашја јављају се у источном ободу планине Јухор, изграђене од протерозојских кристаластих шкриљаца (слика 9). Појаве маркирају тектонске структуре на прелазу између крупне хорст структуре Јухора и ров структуре Јужне Мораве, односно басена поморавља запуњеног терцијарним седиментима (слика 10). Блок Јухора оконтурен је са свих страна раседима. На простору басена поморавља постоје мање хорст и ров тектонске структуре. Најмлађи раседи су пружања СЗ – ЈИ (бачински др.).

По ободу Јухора покрети трају и данас, чиме се издваја у активно сеизмичко подручје. Угљокиселе воде су везане за млађе раседе, на којима тектонски покрети још нису завршени (Долић и други, 1981). Цело подручје карактерише блоковска грађа, са бројним активним блоковима различитог опсега позитивног и негативног кретања.

У селу Својиново постоји извор издашности 0,01 l/s, температуре воде 12 °C,  $HCO_3$ - $CaMg$  типа, са повишеним садржајем радона од 140,6 Bq/l и садржајем угљендиоксида 1,36 g/l. У селу Орашје избушено је више плитких водозахвата, дубине од 5,0 до 40 m. Укупна издашност бунара износила је око 1,0 l/s. Избушене су и три бушотине дубине од 150 до 200 m (Ђаловић, 1991, фонд. док. док.). Све оне бушене су кроз кристаласте шкриљце у којима су каптиране издани угљокиселих вода издашности 0,1 – 0,3 l/s. Ове

воде су истог хемијског типа као у селу Својиново, са садржајем угљендиоксида од 1,1 g/l и без повишеног садржаја радона.



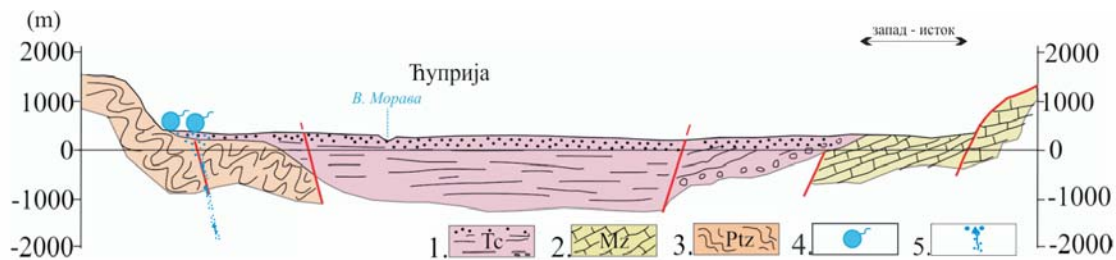
Слика 9. Шематска хидрогеолошка карта области угљокиселих вода на источној страни блока Јухора (геолошка подлога по Д. Долић и други, 1981)

Легенда: 1. водопропусне незване квартарне насlage; 2. водопропусне незване преквартарне насlage; 3. претежно водонепропусне високометаморфне стене; 4. појава угљокиселе воде; 5. област прихрањивања угљокиселих вода, претпостављена; А<sub>1</sub> – блок Јухора, а – басен поморавља, б – хорст Рашевица-Обреж, в – расед Рашевица-Главица, г – расед Обреж-Дреновац, д – млади бачински расед, ђ – ћупријски расед.

Геолошку основу области ових угљокиселих вода изграђују кристаласти шкриљци. Делови разломних зона у којима су оне формиране покривене су терцијарним и квартарним седиментима. Пошто на простору Јухора постоји утицај гранитоидног магматизма, на одређеној дубини се могу очекивати и гранитоиди (Долић и други, 1981). Ативне и дисјунктивне разломне зоне представљају основне средине акумулирања и кретања ових вода у чврстим стенама, које чине геолошку основу.

Прихрањивање угљокиселих вода одвија се на рачун атмосферских падавина. Оне се генерално инфилтрирају у границама гравитационих сливних подручја река у чијим сливовима се дренажују и угљокиселе воде (Каленићка река и др.). У пропусним седиментима мешају се атмосферске падавине са угљокиселим водама које се дренажују из дубоких тектонских структура.





Слика 10. Шематски хидрогеолошки профил тектонске ров структуре Велике Мораве (М. Анђелковић, 1988, допуњено)

Легенда: 1. водопрпусне невезане преквартарне наслагe; 2. водопрпусне чврсте карбонатне стене; 3. претежно водонепрпусне високометаморфне стене; 4. зона истицања угљокиселих вода; 5. правац миграције угљендиоксида.

Угљокиселе воде источног Јухора дренирају се на надморским висинама од 160 до 220 m. Доминантан дренирајући базис, представља ниво реке Велике Мораве који је на 120 m надморске висине. У односу на то, моћност познате хидродинамичке зоне интензивних процеса водозамене износи свега 40 -100 m. У овом појасу се по свему одвија активна циркулација угљокиселих вода. У случају већег учешћа водопрпусних стена (карбонатни) или водопрпусних литолошких дисконтинуитета (пробоји вулканских стена) могуће је евентуално дубље залегање ове зоне активне циркулације.

Из тектонских зона кристалстих шкриљаца, угљокиселе воде се дренирају у пропусне седименте по ободу басена (слика 10).

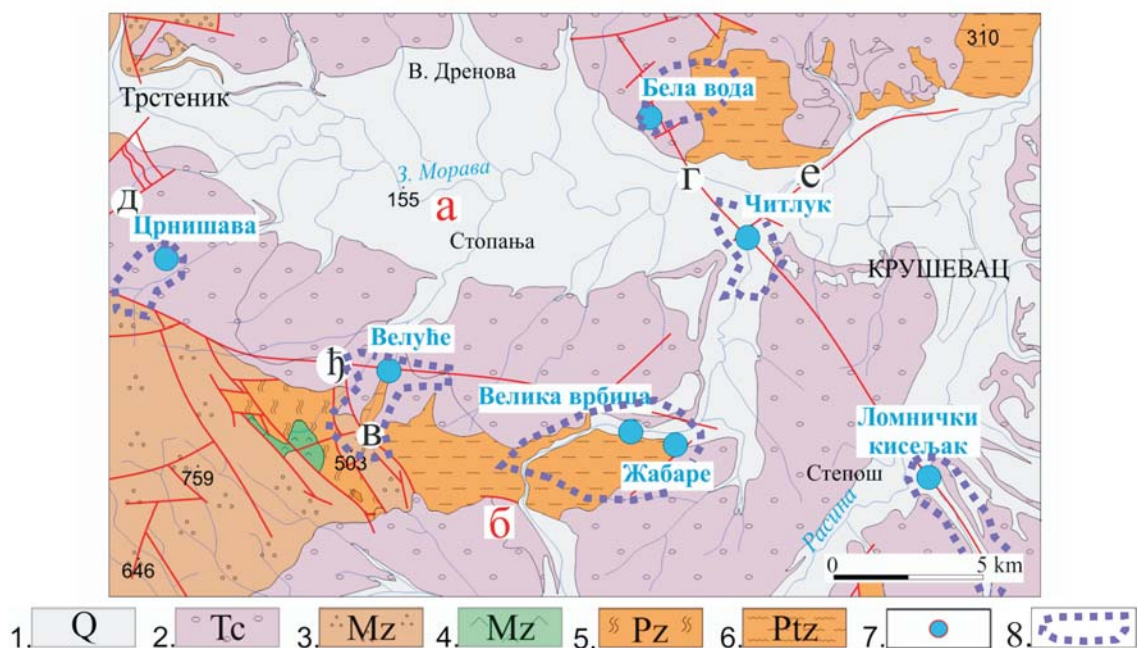
Угљокиселе воде крушевачког терцијарног басена су: Беле Воде, Читлук, Ломнички кисељак, Жабаре, Велика Врбица, Мрмош, Велуће и Црнишава (слика 11). Хидрогеолошки услови формирања угљокиселих вода крушевачког басена аналогни су претходно разматраним.

У геолошкој основи ове области су кристалсти шкриљци геотектонске јединице Српско – македонске масе. Покривају их литостратиграфске јединице терцијарних и квартарних седимената.

Линијски распоред разматраних појава поуздано указује да је формирање угљокиселих вода везано за тектонске структуре. Запажа се да се дренирају на прелазу између крупних хорст и ров блоковских структура (слика 12). Конкретно, појаве Беле Воде и Читлук, мартирају раседну структуру Брајковац – Читлук, а на југоисточном продужетку налази се и појава Ломнички кисељак. Затим, појаве Жабаре, Велика Врбица, Мрмош, Велуће и Црнишава мартирају раседну структуру Г. Црнишава –



Треботин. На источном продужетку ове структуре налази се појава Ломнички кисељак. Постоје и раседне структуре мањих размера које секу поменуте маркантне разломе и на којима се јављају угљокиселе воде. Појаве Црнишава, Велуће и Бела Вода, маркирају маркантне раседне структуре генералног правца пружања СЗ – ЈИ. Оне су такође пресечене мањим (млађим) раседним структурама дубоког залегања, правца пружања СИ – ЈЗ.



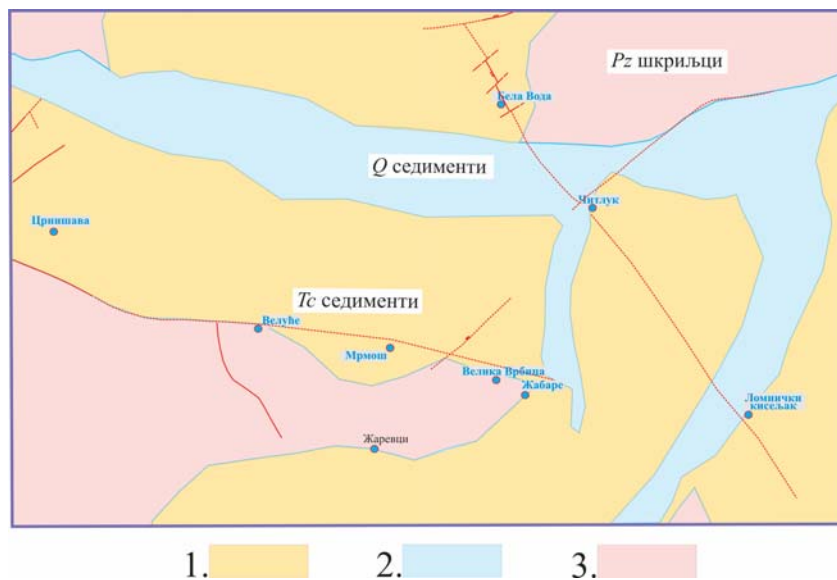
Слика 11. Шематска хидрогеолошка карта области угљокиселих вода кушевачког терцијарног басена (геолошка подлога по М. Ракић и други, 1976.)

Легенда: 1. водопропусне невезане квартарне насlage; 2. водопропусне невезане преквартарне насlage; 3. практично водонепропусне стене; 4. водопропусне чврсте стене; 5. и 6. претежно водонепропусне високометаморфне стене; 7. појава угљокиселе воде; 8. област прихрањивања угљокиселих вода, претпостављена; а – ров Велике Дренове; б – ров Дедине; в – разломна зона Разбојна-Велуће; г – расед Брајковац-Читлук; д – разлом Липак-Трстеник-Црнишава; њ – разлом Г. Црнишава-Треботина; е – разлом Читлук-Шанац.

На изворишту угљокиселих вода Беле Воде постоје извори Кисељаја и Слатина. Јављају се високо на падини брда (250 m.n.v.), а на ободу терцијарних седимената. Издашност извора је мања од 0,1 l/s. Минерална вода је  $HCO_3 - CaMg$  типа, хладна са температуром 13-15 °C, са садржајем угљендиоксида око 1 g/l и мало повишеним садржајем радиоактивних елемената, урана 1  $\mu\text{g/l}$ , радијума 0,25 Bq/l и радона од 18,5 до 218,3 Bq/l (Крстић, 1989, фонд. докum.). Код извора Слатина избушене су 4 бушотине дубине до 97 m (Стојадиновић, 1989, фонд. докum.).

Најбољи резултати постигнути су бушотином дубине 50 m, којом су у терцијарним седиментима каптиране минералне воде од 5 l/s, минерализације 2,1 g/l и садржаја угљендиоксида од 2,6 g/l (Протић, 1995). Бунаром дубине 97 m каптирана је угљокисела

вода на интервалу дубине 54 – 69 m, у терцијарним седиментима изграђеним од песка пескова сиве боје (слика 13). Самоизлив је износио 0,12 – 0,13 l/s, са температуром воде 13,8 – 15 °C. Црпљењем је постигнута издашност од 1,5 l/s. Минерална вода је  $HCO_3 - CaMg$  типа, са садржајем угљендиоксида 1,7 -1,8 g/l,  $O_2$  0,44 mg/l, минерализације 2,5 g/l и рН 6,34-6,5.

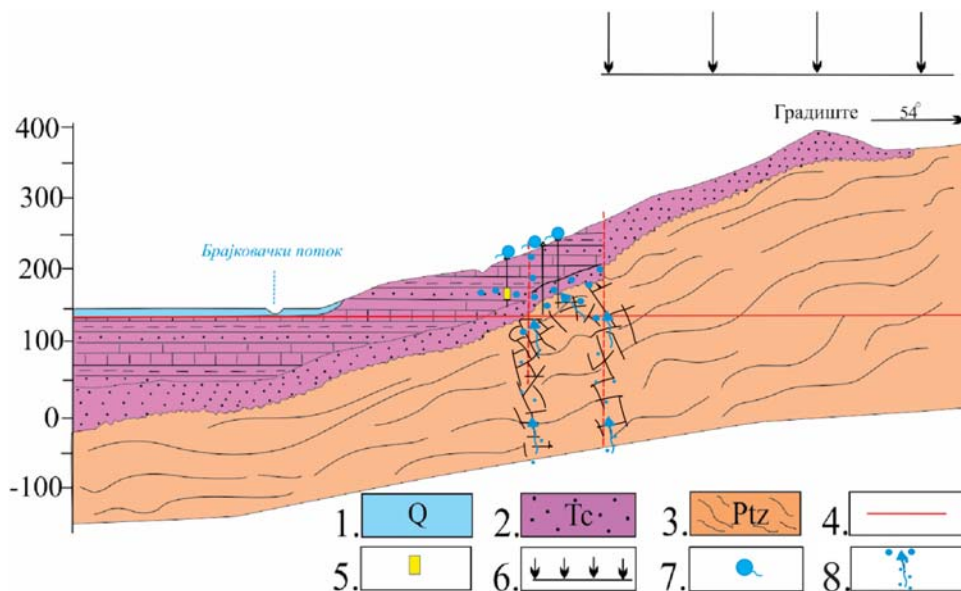


Слика 12. Шематски приказ блокoвских структура позитивних (хорст) и негативних (ров) кретања у области угљокиселих вода крушевачког терцијарног басена

1. ров блокoвска тектонска структура; 2. активна ров блокoвска тектонска структура; 3. хорст блокoвска тектонска структура

Од великог значаја, за идентификацију хидрогеолошких структура угљокиселих вода, јесте регистрована аеромагнетска аномалија, која указује на могуће присуство интрузива (Протић, 1995). Угљендиоксид је поуздана индикација термометаморфних процеса у кристаластој подлози. Повишени садржаји радиоактивних елемената указују на генетску везу угљокиселих вода за гранитоидни интрузив. Извори на изворишту Беле Воде маркирају дубоку раседну структуру Брајковац – Читлук правца пружања СЗ – ЈИ, и то на местима где је пресецају млађе раседне структуре дубоког залегања, правца пружања СИ – ЈЗ (слика 11).

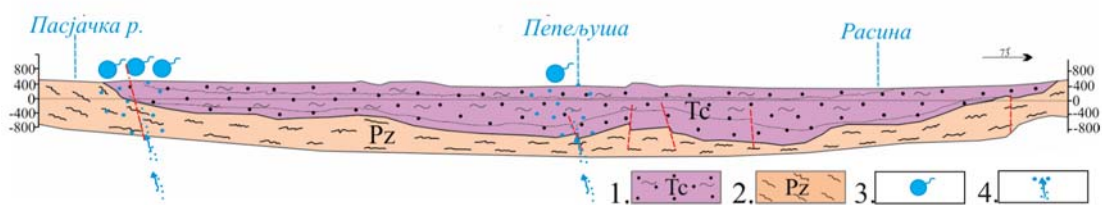
Угљокисела вода код Читлука каптирана је шахтом дубине 4,5 m, издашности 0,8 l/s (Крстић, 1989, фонд. докум.). По хемијском саставу је  $HCO_3SO_4 - CaMg$  типа, мале минерализације, свега 0,49 g/l, хладна са температуром 13,3 °C, са садржајем угљендиоксида од 1,19 g/l, повишеним садржајем мангана 0,39 mg/l и стронцијума 0,28 mg/l и киселе реакције са рН вредношћу од 5,6. У овој води постоји повишен садржај радона 152 Bq/l (Стојадиновић, 2004).



Слика 13. Шематски хидрогеолошки профил уже области угљокиселих вода Белих Вода (М.Вукићевић, 2005, допуњено)

Легенда: 1. водопрпусне невезане квартарне стене; 2. водопрпусни невезани и слабо везани преквартарни седименти; 3. претежно водонепрпусне високо метаморфне стене; 4. ниво регионалног дренајућег базиса; 5. зона истицања угљокиселе воде у бунару; 6. област храњења; 7. зона истицања угљокиселих вода; 8. правац миграције угљендиоксида.

Угљокиселе воде Велике Врбице дренају се преко више копаних бунара', и природно, у виду разбијеног изворишта на левој обали реке Пепељуше (на 200 m н.в.). Слично као и код осталих минералних вода околине Крушевца, угљокиселе воде Велике Врбице јављају се унутар терцијарног басена, на месту где слојеви ових стена исклињавају уз масу кристаластих шкриљаца (слика 14). Минерална вода је  $HCO_3 - MgCa$  типа, минерализације 2,71 g/l, са садржајем угљендиоксида од 0,88 g/l и са рН вредношћу 6,5.



Слика 14. Шематски хидрогеолошких профил области угљокиселих вода крушевачког терцијарног басена (М. Ракић и други, 1976, допуњено)

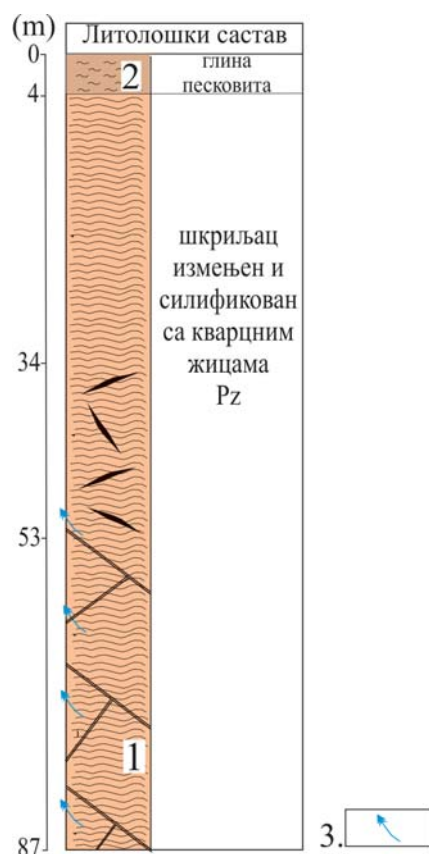
Легенда: 1. водопрпусне невезане преквартарне наслагае; 2. претежно водонепрпусне високометаморфне стене; 3. зона истицања угљокиселих вода; 4. правац миграције угљендиоксида.

Код Жабара постоји неколико мањих извора. Минерална вода је  $HCO_3 - Na$  типа, минерализације 3,5 g/l, са садржајем угљендиоксида од 0,65 g/l, рН 6,6 и ниским садржајем радиоактивних елемената. У подручју ове појаве избушене су две истражне бушотине, дубине 184 и 34,6 m. Бушене су кроз терцијарне седименте, у којима се

наизменично смењују глине, пескови и песковите глине (Крстић, 1989, фонд. докум.). Једна од ових бушотина имала је самоизлив 0,33 l/s минералне воде, минерализације 3,18 g/l и рН вредности 6,8. Артески притисак је износио око +0,2 m изнад површине терена. Вода је имала минерализацију 2,65 g/l.

Угљокисела минерална вода Ломнички кисељак јавља се у улегнућу терасе Ломничке реке на 180 m надморске висине. Вода се експлоатише из бунара дубине 9 m. По хемијском саставу је  $HCO_3 - Na$  типа, а у зависности од спољних хидролошких услова, минерализација варира у интервалу 6,7 - 2,5 g/l. Угљендиоксид варира у интервалу 1,38-2,0 g/l. Вода је киселе реакције са рН вредношћу 6,5, са ниским садржајем радиоактивних елемената и температуром која се налазиу интервалу 9,8 – 14 °C. На овом изворишту је избушено више бушотина дубине од 6,4 до 103,6 m. Угљендиоксид се пробија из већих дубина из серије кристаластих шкриљаца, кроз терцијарне седименте до квартарног наноса (Милојевић, 1964). Појава гаса је у великим количинама и на различитим дубинама констатована у експлоатационом бунару. Главна издан је формирана у приповршинским слојевима квартарних и терцијарних седимената. У хидрауличкој је вези са површинским током. Ова веза се директно одражава на промену нивоа воде у бунару. Промене режима минерализације и садржаја угљендиоксида последица су мешања угљокиселих са површинским водама.

Угљокиселе воде Велућа јављају се у ободу крушевачког басена. Геолошку основу изграђују кристаласти шкриљци, седименти, ултрамафити и интрузивни магматити (плагиогранити и габро). Ове стене су бројним разломима издељене у блокове. Дуж ових разлома, су у прошлости струјали хидротермални раствори. Они су изазвали различите промене у стенским масама, са продуктима силификације и једињења гвожђа (Протић, 1995). Генерални правац пружања раседних структура је ЗСЗ – ИЈИ. Минерална вода на извору је  $HCO_3 - MgNa$  типа, са минерализацијом од 3,1 g/l, садржајем угљендиоксида 2,3 g/l, рН 6,5, повишеним садржајем радијума 0,45 Bq/l и температуром од 11 °C. На овом изворишту је избушено више бушотина дубине од 101 до 141 m (слика 15). Набушени су различити шкриљци, местимично распаднути и тектонски поломљени. Са дубином се повећала количина воде на самоизливу (на 11 m 0,25 l/s, на 33 m 0,4 l/s, на 70 m 6 l/s). На крајњој дубини самоизлив је износио 12 l/s, да би се након извесног времена усталио на 2 l/s. По хемијском саставу угљокиселе воде из бушотина су  $HCO_3 - NaMg$  или  $MgNa$  типа, са садржајем угљендиоксида од 1,4 до 2,8 g/l и температуром воде од 19 до 20,5 °C.



Слика 15. Литолошко - хидрогеолошки профил бунара на изворишту Велуће (М. Лазић, 2008, допуњено)

1. претежно водонепропусне високо метаморфне стене, 2. практично водонепропусне стене; 3. зона истицања угљокиселих вода.

Угљокиселе воде код Црнишаве откривене су у копаном бунару дубине 4 m и при копању темеља куће. По хемијском саставу су  $HCO_3 - Na$  типа, са садржајем угљендиоксида око 0,7 g/l, повишеним садржајем радијума 0,51 Bq/l мало повишеним урана 1,2  $\mu g$  /l и рН 6,7 – 7,0. Ове воде су хладне са температуром 16 °С. У геолошкој основи ове области могу да се очекују мезозојски седименти, серпентинити и интрузиви (плаггиогранити и габро).

Угљокиселе воде код Мрмоша налазе се на око 6 km од Велућа. Ове воде су такође хладне, са температуром 13 °С. По хемијском саставу су  $HCO_3 - CaMg$  типа, са садржајем угљендиоксида око 0,8 g/l, повишеним садржајем радијума 0,3 Bq/l и рН вредношћу 6,2. Код ове појаве постоји мешање угљокиселих вода са водама алувијалног наноса, што доприноси доминацији јона  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  у односу на  $Na^+$  (Протић, 1995).

На основу апсолутне старости угљокиселих вода Велуће од 22.000±650 година (Перић и Миливојевић, 1998), као и на основу могуће брзине њиховог кретања и дубине залегања, произилази да удаљеност између области храњења и дренарања за формиране

хидрогеолошке структуре може да износи до 4 km. За ову удаљеност, област храњења се поклапа са контурама површинског сливног подручја.

Са дубином, температура угљокиселих вода у домену крушевачког басена расте у сагласности са температурним градијентом. Код плићих водоносних хоризоната услед мешања са површинским водама угљокиселе воде се расхлађују, а са дубином, како слаби тај утицај, тако поступно њихова температура расте.

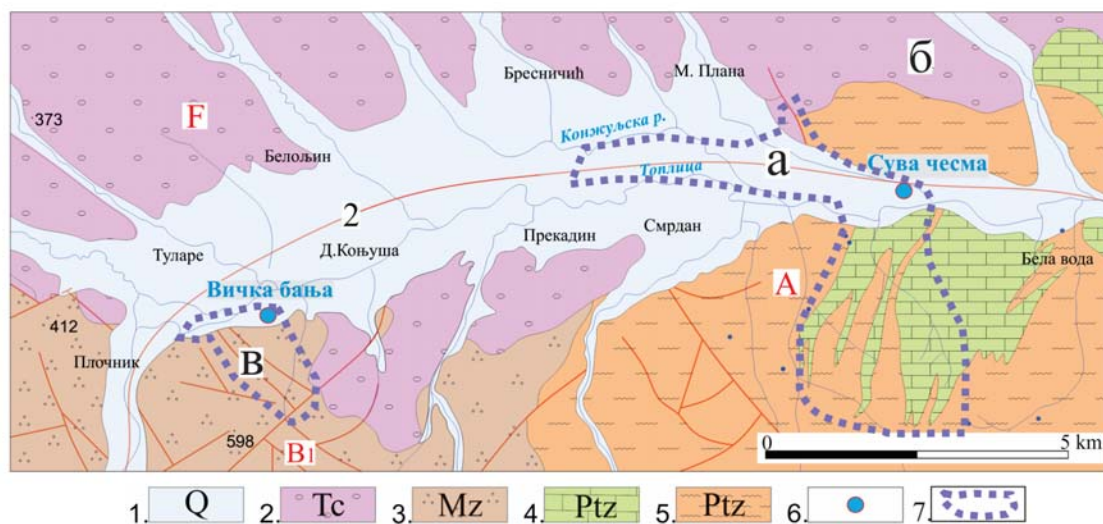
На правцу дубоке хоризонталне топличке раседне зоне (Малешевић и други, 1980), а у домену Лецког вулканогеног масива, јављају се појаве угљокиселе воде Суве чесме и Виче. Аеромагнетним испитивањима утврђено је да се налазе у зони магнетских аномалија. Аномалије су индициране по свој прилици терцијарним магматитима на субвулканско – хипоабисалним дубинама, 500 – 1000 m (Вукашиновић, 2005).

Угљокиселе воде Виче маркирају истоимену раседну зону (слика 16). Истичу у доњем делу десне долинске стране реке Топлице. То је подручје младих паралелних, дијагоналних и трансверзалних гравитационих раседа пружања СЗ – ЈИ и СИ – ЈЗ. Дуж ових структура су релативно спуштени североисточни и северозападни блокови у смеру топличке депресије. Раседне површине дијагоналних разлома делимично су отворене и запуњене дробинским материјалом. Једну овакву површину, на контакту са топличким раседом, искористиле су минералне воде Виче (Малешевић и други, 1980).

Угљокиселе воде Суве Чесме јављају се у алувијалној равници реке Топлице, на њеној левој обали. Укупна издашност изворишне зоне је већа од 0,2 l/s. Температура воде износи 24 °С. Истицање воде је праћено честим гасним еманацијама угљендиоксида и специфичним мирисом на сумпор-водоник.

Активан топлички расед се пружа из Српско – македонске масе према централној вардарској подзони, тако што из правца И – З повија према ЈЗ, а од Куршумлије, кроз централну вардарску подзону. Топлички басен представља котлину испуњену терцијарним и квартарним седиментима. Топлички расед маркирају разматране појаве а по свему и појаве, Магово и Жарево, на његовом ССЗ продужетку на подручју централног вардарског трога (слика 41).





Слика 16. Шематска хидрогеолошка карта области угљокиселих вода Суве Чесме и Вичке бање (геолошка подлога по М. Ракић и други 1965, М. Малешевић и други, 1980)

Легенда: 1. водопропусне незезане квартарне насlage; 2. водопропусне незезане преквартарне насlage; 3. практично водонепропусне стене; 4. водопропусне чврсте карбонатне стене, 5. претежно водонепропусне високо метаморфне стене; 6. појава угљокиселе воде; 7. област прихрањивања угљокиселих вода, претпостављена; А – протерозојски метаморфити Српско-македонске масе, В<sub>1</sub> – сенонски комплекс седимената, F – басен Топлице, а – топлички расед, б – ров Топлице, в – гравитациони раседи Виче.

Геолошку основу области разматраних појава изграђују кристаласти шкриљци. У њима су угљокиселе воде формиране у најнижој серији са кварцитима и мермерима дебљине преко 1000 m и средњој серији са мермерима дебљине преко 1500 m. Осим ових протерозојских шкриљаца, код појаве Вичке бање геолошку основу изграђују и седиментне стене мезозојске старости. Највећи хидрогеолошки значај има поменути серија шкриљаца са мермерима. Захваљујући развијеној пукотинско – карстној порозности, ове стене имају могућност да акумулирају веће резерве подземних вода. Кристаласти шкриљци са мермерима залежу тако дубоко да у одговарајућим геотемпературним условима у домену терцијарних магматита могу да буду изложени термометаморфним процесима из којих се генерише угљендиоксид.

Код Виче, угљокиселе воде су каптиране бунаром у кристаластим шкриљцима на дубини 83 – 107 m. Добијен је самоизлив од 5,5 l/s угљокиселе воде, температуре 21,5 °C. По хемијском саставу вода је  $HCO_3 - Na$  типа, са повишеним садржајем флуора од 16 mg/l и радиоактивних елемената, урана са 1,2 µg/l, радијума 0,32 Bq/l и радона 111,7 Bq/l. Садржај угљендиоксида износи 0,4 g/l, а минерализација воде 4,08 g/l.

Приликом бушења, код угљокиселих вода Суве Чесме, јављао се енорман притисак гаса и воде на прелазу из терцијарних седимената у кристаласте шкриљаце. (Покрајац, 1978). У бушотини дубине 180 m регистровани су притисци од око 10 бара, са количином воде

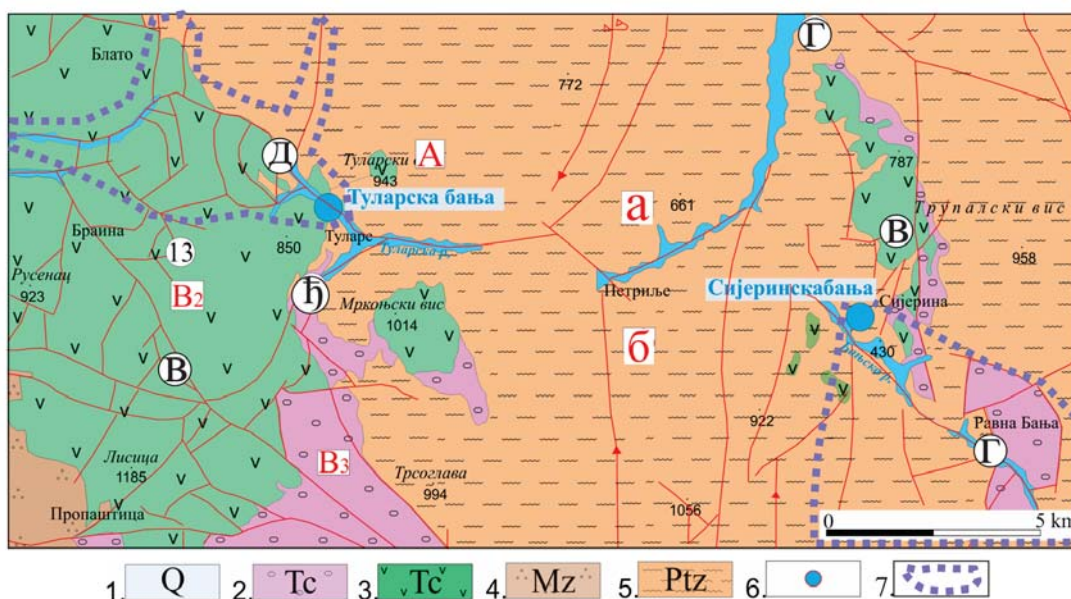
у моменту ерупције од преко 30 l/s (Јоровић, 1981, фон. док.). Испод терцијалних седимената, бушењем је утврђена издан угљокиселе воде у кристаластим шкриљцима са мермерима. Дебљина ових седимената је 95,5 m. По хемијском саставу ове воде су  $HCO_3 - Na$  типа, са садржајем раствореног угљендиоксида од 0,8 g/l, минерализацијом од 4,35 g/l и повишеним садржајем сумпор-водоника 5,6 mg/l.

Прихрањивање и дренажање угљокиселих вода Суве Чесме и Виче одвија се у одређеном делу сливног подручја реке Топлице. С обзиром на то да је истражним бушењем утврђено да терцијарни седименти имају хидрогеолошку функцију баријере, прихрањивање се одвија у подручју распрострањења протерозојских кристаластих шкриљаца и мезозојских седимената. На основу старости угљокиселих вода од 40000 година (Перић и Миливојевић, 1990, фон. док.), могуће брзине и дубине залегања вода, произилази да удаљеност између области храњења и дренажања за ове хидрогеолошке структуре може да износи масимално до 10 km.

Угљокиселе воде Туларске и Сијаринске бање формиране су у активним и дисјунктивним разломним зонама, у геолошкој основи коју изграђују протерозојски кристаласти шкриљци и терцијарни вулканити. Зоне истицања у овим бањама покривене су пропусним алувијалним наносима Туларске и Бањске реке, мале моћности. Угљокиселе воде Туларске бање мармирају туларско – орански расед и обод најмлађе калдере Тулара у Лецком вулканогеном масиву (слика 17). Скоро екваторски постављена дубока тектонска зона прати ток Туларске реке делећи тако два блока, на северни и јужни (Вукановић и други, 1973). Релативна вертикална кретања дуж раседа износе од више стотина до око 700 m.

На изворишту Туларске бање позната су два извора. Извори су мале издашности (< 0,1 l/s) и са температуром воде 13,5 - 14,5 °C. Бушотином дубине 300 m, у хидротермално измењеним шкриљцима и вулканитима (слификованим, пиритисаним) добијен је самоизлив од 2,2 l/s, са температуром воде 25,5 °C (слика 18). Бушотином дубине 110 m, такође у хидротермално измењеним стенама, на 50 m је добијен самоизлив од > 0,1 l/s, угљокиселе воде температуре 19 °C.





Слика 17. Шематска хидрогеолошка карта области угљокиселих вода Туларске и Сијаринске бање (геолошка подлога по М. Вукановић и други, 1982, М. Вукановић и други, 1973)

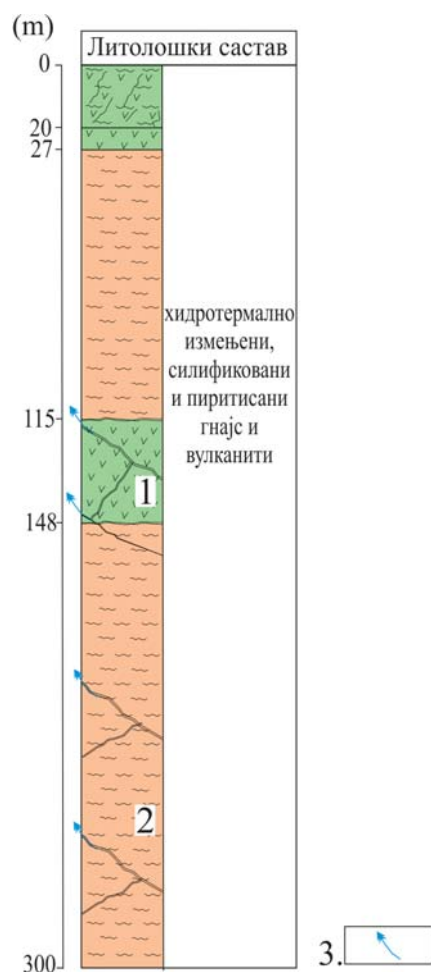
Легенда: 1. водопрпусне неvezане квартарне наслагае; 2. водопрпусне преквартарне кластичне наслагае; 3. водопрпусне чврсте стене; 4. претежно водонепрпусне стене; 5. претежно водонепрпусне високометаморфне стене; 6. појава угљокиселе воде; 7. област прихрањивања угљокиселих вода, претпостављена; А – кристалсти шкриљци, В<sub>2</sub> – туларска калдера, В<sub>3</sub> – терцијарни седименти срезовачког басена, а и б - блокови, в – лецка вулканска област и тупалска маса, г – тупалска дислокација, д - туларско-орлански расед и ђ – медавачки расед.

Угљокиселе воде Сијаринске бање маркирају дубоки тупалски разлом и обод тупалске вулканске масе. Расед дели две структурне јединице, два блока. Кретања по разлому су била интермитентна. У палеогену су отворила пут вулканитима, а затим су настављена у периоду орудњења и пострудном периоду (Вукановић и други, 1973). Ова померања по разлому су ширила зону дробљења у вулканском масиву, при чему су у последњим фазама формиран бројни раседи.

Површинске манифестације тупалске зоне су различите и зависе од карактера стена. У шкриљцима, оне су изражене широком зоном катаклазе и дијафторезе. У вулканитима се запајају по добро дефинисаним зонама кварцних бреча.

Извориште Сијаринске бање чине условно издвојена два изворишта - Доња бања и Горња бања.

На подручју изворишта Доње бање су за потребе водоснабдевања у алувијонима Бањске реке израђени бројни копани бунари дубине до 4 - 4,6 m. Временом је у њима дошло до мешања обичних и угљокиселих вода. Више бунара дубине 9 – 12 m, бушено је кроз вулканите до контакта са шкриљцима, где је најчешће долазило до артеског истицања.



Слика 18. Литолошко – хидрогеолошки профил бушотине ВТ – 1 на изворишту Туларске бање (С. Илић, 1988, фонд. док.ум.)

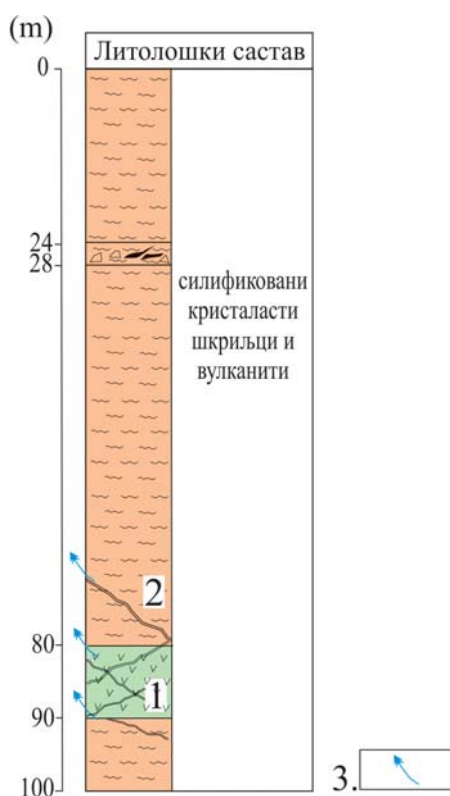
Легенда: 1. водопрпусне чврсте вулканске стене, 2. претежно водонепрпусне високо метаморфне стене; 3. зона истицања угљокиселих вода.

Тако је из бушотине (К+470 m), на левој обали реке, на 9 m дубине, избио гејзир висине 8 m ( $t = 71\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Из бушотине код Главног извора на 12 m избио је водоскок висине 1 m, који је наставио да пулсира на 12-15 минута. У кристалистим шкриљцима са прослојцима бигра, избушен је бунар дубине 80 m, код хотела Гејзир, са наглом појавом угљокиселих вода на 60 m ( $Q_{\text{самоиз.}} = 0,06-0,18\text{ l/s}$  са пулсацијом). Бунар дубине 102 m бушен је кроз вулканите ( $Q = 1,3\text{ l/s}$ ,  $t = 65\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 2011.године измерена  $58\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). У овој бушотини термокаротажом је утврђена температурна инверзија,  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$  у интервалу 15-37 m а  $56\text{ }^{\circ}\text{C}$  на 100 m (слика 19).

На изворишту Горње бање, угљокиселе воде се дренажују на више извора (Јабланица, Здравље и др.) и више плитких бунара (од 4 до 40 m). Најдубља бушотина (В-4) избушена је до 1232 m дубине, кроз шкриљце. Вода се појавила у интервалу 300-360 m, а на дубини 362 m набушена је тектонска зона највеће издашности ( $60\text{ l/s}$ , температуре

77,8 °C). Након што је овај претходни интервал изолован, у интервалу до 1232 m издашност више тектонских зона износила је 30 l/s, са температуром 75 °C.

Угљокиселе воде ове области везане су за поствулкански (пострудни) период (гашења) вулканских активности. Угљокиселе воде су пре свега формиране у дубоким интермитентним и дисјунктивним међублоковским разломним зонама. За ове зоне су биле везане и раније етапе вулканских активности. Угљокиселе воде су бушотинама каптиране у вулканитима, наслагама арагонита, на контакту вулканита и шкриљаца и у отвореним пукотинама јако силификованих шкриљаца.



Слика 19. Литолошко – хидрогеолошко профил бушотине В – 2 на изворишту Сијаринске бање (С. Илић, 1988, фонд. докum.)

Легенда: 1. водопрпусне чврсте вулканске стене, 2. претежно водонепрпусне високо метаморфне стене; 3. зона истицања угљокиселих вода.

Угљокиселе воде Туларске и Сијаринске бање прихрањују се на рачун атмосферских вода (Перић и Миливојевић, 1990, фонд. докum.). Прихрањују се директно и индиректно, преко површинских вода и граничних водоносних средина. Област храњења ових структура у сагласности је са гравитационим сливним подручјима Туларске и Бањске реке. Највеће количине вода инфилтрирају се дуж тектонски ослабљених зона, и то, дуж оних за које су везана истицања угљокиселих вода. Пошто дубоке тектонске структуре прате токове поменутих река јасно је да се најинтензивније

прихрањивање одвија у областима где се пропусне тектонске зоне поклапају и укрштају са површинским токовима.

Угљокиселе воде се дренирају у доњим деловима долињских страна и непосредно у речним коритима Туларске и Бањске реке. То су такође области где се ове линијске хидрогеолошке структуре укрштају са долинама поменутих река. На изворишту Сијаринске бање угљокиселе воде се јављају линијски, долином Бањске реке, на дужини од око 2 km; најчешће у левој, а ређе и у десној обалској страни и непосредно уз речни ток.

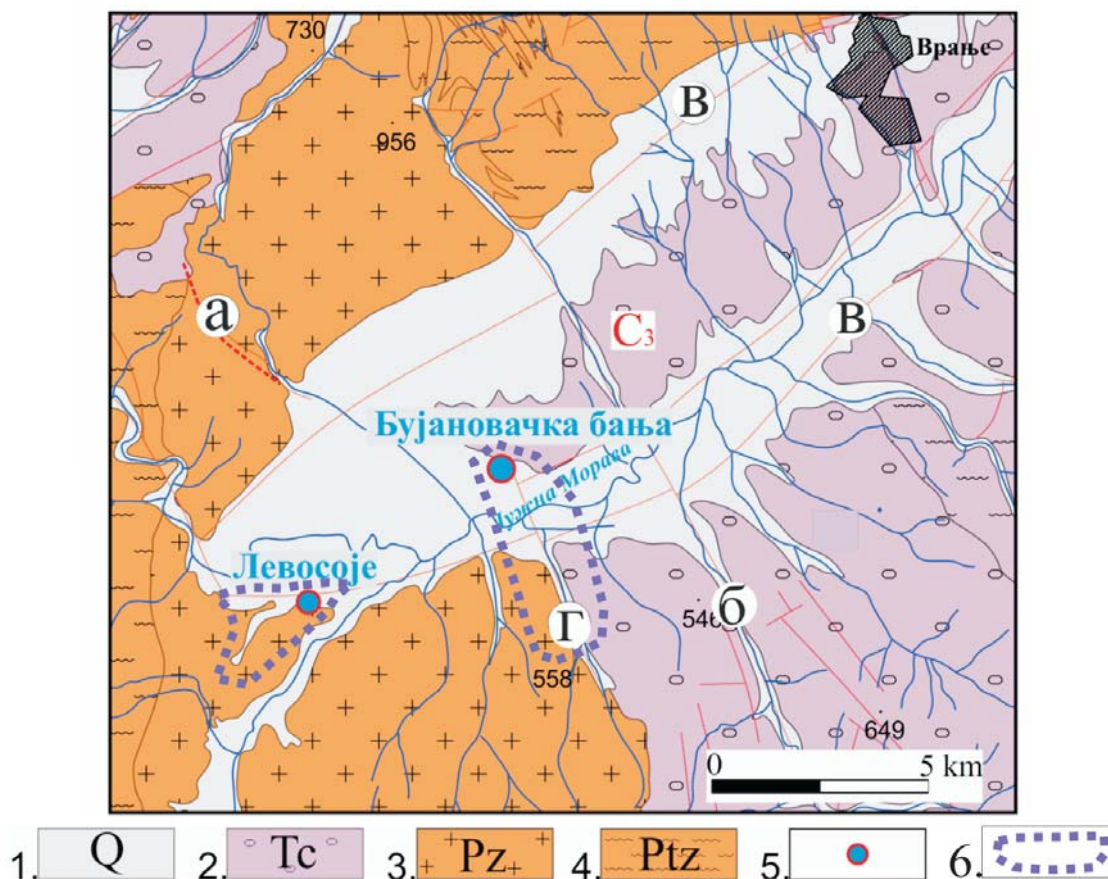
По хемијском саставу угљокиселе воде Туларске бање су  $HCO_3SO_4 - NaCa$  типа, укупне минерализације 5,8 g/l и са рН 6,4. Угљендиоксид се садржи до 1,3 g/l, а од радиоактивних елемената повишен је садржај радијума 0,25 Bq/l. Угљокисела вода Сијаринске бање је  $HCO_3 - Na$  типа, укупне минерализације између 3,6 - 4,8 g/l, рН 6,4 – 8,0 и температуре 25 – 78 °C. Угљендиоксид се садржи до 0,25 - 1,5 g/l, а од радиоактивних елемената на два извора је повишен садржај радона, 51,8 и 92,5 Bq/l.

Закључујемо да удаљеност између области храњења и дренирања ових структура може да износи максимално 10 km, на основу утврђене апсолутне старости угљокиселих вода Сијаринске бање од 40.000 година (Перић и Миливојевић, 1990, фонд. док. док.), њихове могуће брзине кретања и дубине залегања. За ову удаљеност, контуре области храњења су у сагласности са сливним подручјем Бањске реке.

У Сијаринској бањи, наглим ослобађањем угљендиоксида из апсорбованог стања формирају се гасни чепови. Ови чепови условљавају да из бушених водозавата угљокиселе воде истичу у виду водоскока висине до 1 - 8 m, са пулсацијом од 12-15 минута. Након што је завршена дубока бушотина (1232 m) измерен је артечки притисак од 7,4 бара (7,4 m изнад нивоа терена), који је одражавао притисак из интервала дубине испод 360 m. Издашност разломне зоне набушене овом дубоком бушотином до 360 m износила је око 60 l/s, а у интервалу 360 – 1232 m око 22 l/s. Велика издашност разломне зоне у хидротермално измењеним кристалистим шкриљцима и вулканитима указује на њену добру пропусност, на добру хидрауличку везу између области храњења и дренирања, такође и да активна циркулација може да се одвија и до дубине испод 1000 m.

Угљокиселе воде Бујановачке бање и Левосоја јављају се у крајњем југозападном делу јужноморавског тектонског рова (слика 20), односно у зони где овај тектонски ров сече

активна дубока тупалска дислокација (СЗ - ЈИ). Северни наставак ове дислокације маркиран је појавама Сијаринске бање. У палеозојској геолошкој основи (гранитоидни интрузив, шкриљци,) угљокиселе воде су формиране у активним раседним структурама које предиспонирају и тектонски ров и његову блоковску грађу.



Слика 20. Шематска карта хидрогеолошких услова у области угљокиселих вода Бујановачке бање и Левосоја (геолошка подлога по В. Терзин и други, 1977.)

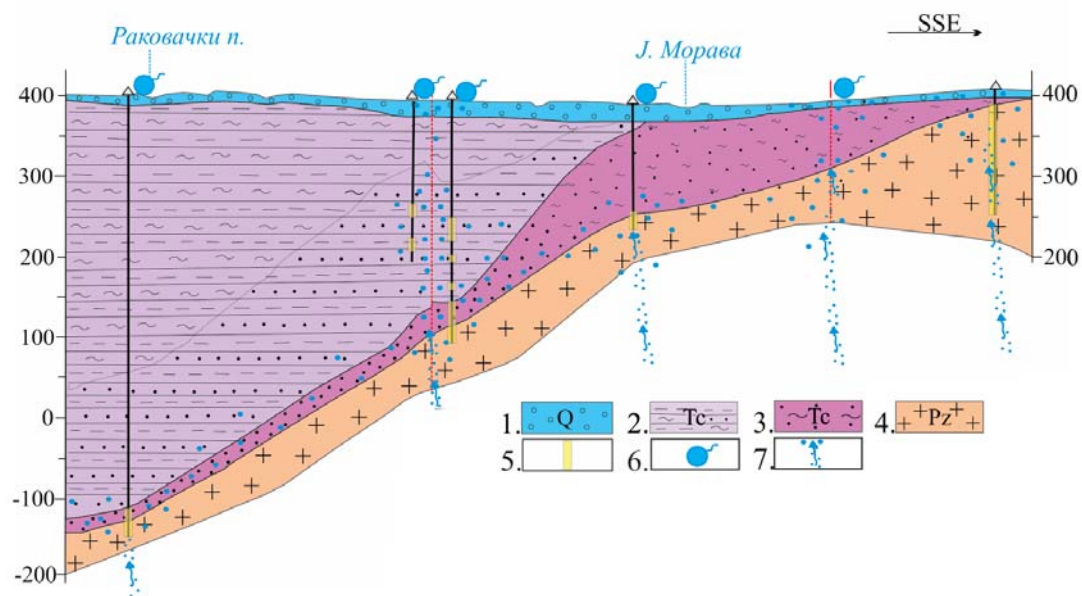
Легенда: 1. водопрпусне неvezане квартарне насlage; 2. водопрпусне неvezане и слабо vezане преквартарне кластичне насlage, 3 и 4. претежно водонепропусне високометаморфне и интрузивне стене; 5. појава угљокиселе воде; 6. област прихрањивања угљокиселих вода, претпостављена; С<sub>3</sub> - јужноморавски тектонски ров, а – тупалска дислокација, б, в и г – трансверзални и дијагонални раседи.

Угљокиселе воде Бујановаче бање први пут су каптиране плитким копаним бунарима у алувијалном наносу. У новије време избушено је више бунара, дубине од 164 до 310 m. Угљокиселе воде су каптиране у терцијарним седиментима, базалном слоју ових седимената и у пукотинским зонама гранитоидних масива (слика 21). Највећа издашност добијена је из базалног хоризонта, у интервалу 78 – 164 m, са самоизливом 10 l/s и температуром воде 41,5 °C.

Прихрањивање угљокиселих вода одвија се на рачун атмосферских падавине које се инфилтрирају директно преко палеозојских стена геолошке основе, и индиректно, преко



површинских токова, комплекса терцијарних и квартарних седимената и других граничних водоносних средина.



Слика 21. Шематски хидрогеолошки профил у области угљокиселих вода Бујановачке бање (С.Тасић, 2006, допуњено)

Легенда: 1. водопропусне невезане квартарне наслагае; 2. слабо водопропусне преквартарне стене; 3. добро водопропусне преквартарнестене; 4. претежно водонепропусне високометаморфне и интрузивне стене; 5 и 6. зона истицања угљокиселе воде у бушотини, односно на површини терена; 7. правац миграције угљендиоксида.

Дренирање угљокиселих вода ове области одвија се преко бунара и више природних извора из гранитоида (0,1 – 1,0 l/s) и терцијарних и квартарних седимената. Извори се јављају по ободу басена на линијским правцима исток - запад и југ-југоисток - северсеверозапад.

Утврђена апсолутна староста угљокиселих вода Бујановачке бање износи око 40.000 година (Перић и Миливојевић, 1990, фонд. докум.). На основу ове старости, брзине кретања и дубине залегања угљокиселих вода, произилази да максимална удаљеност између области храњења и дренирања издани, може да износи око 10 km. За ову удаљеност, контуре области храњења су у сагласности са гравитационим сливним подручјем крајњег ЈЗ дела јужноморавског тектонског рова.

Интензитет инфилтрације атмосферских вода зависи од геолошких услова, пропусности тектонски ослабљених зона и њиховог поклапања са речним долинама. У области прихрањивања на гранитоидном масиву, интензивна инфилтрација воде се одвија дуж активних лонгитудиналних и трансверзалних тектонских структура, за које су везана истицања угљокиселих вода.

Угљокиселе воде су температуре 24,4 - 43 °C, по хемијском саставу  $HCO_3 - Na$  типа, укупне минерализације 4,95 g/l, pH 6,6, са садржајем угљендиоксида 0,99 g/l и флуора 6,6 mg/l. Код појаве Левосоје сличног су хемијског састава, осим нижег садржаја флуора 1,4 mg/l и мало повишених садржаја радиоактивних елемената, радијума 0,18 Bq/l и радона 37 Bq/l.

#### 4.4. Угљокиселе воде Вардарске зоне

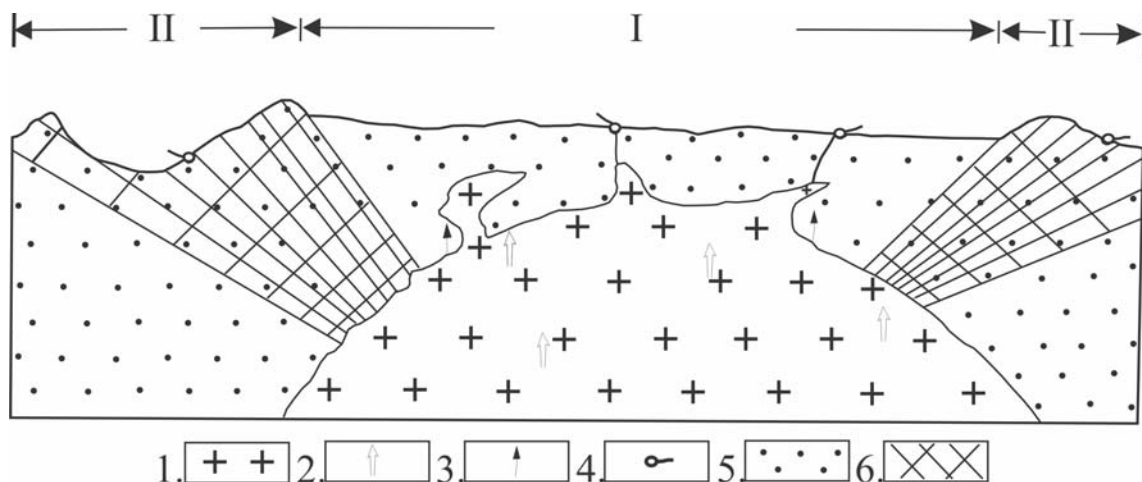
У домену Вардарске зоне јављају се угљокиселе воде влашићко – близанског (Горње Црниљево, Оглађеновац, Јаутина) и брајковачко – букуљског хорст – антиклиноријума (Чибутковица, Брајковац, Крушевица, Оњег, Гараши, Буковичка бања и Рудовци), паланачког и младеновачког терцијарног басена (Паланачки кисељак, Младеновачка бања и др.) и дубоких разломних зона (Врњачка бања, Доњи Левићи, Луковска бања, Клокот бања, Магово, Жарево, Кршумлијска бања, Кисела бања, Гојбуља, Слатина, Љушта, Клокот бања, Житиње и др, Студенички извор, Гатњанска бањица, Кисела вода).

Угљокиселе воде, у овој области, су везане за активне дисјунктивне разломе у домену чврстих масива стена (шкриљаци, ултрамафити, вулканити) и за пропусне слојеве терцијарних и квартарних седимента. Највеће резерве ових вода формиране су у палеозојским карбонатним стенама (Буковичка бања, Врњачка бања) и у чврстим стенским масама пробијеним вулканитима (Куршумлијска бања, Клокот бања). Активне тектонске зоне, на пресеку са дубоким разломима меридијалног правца пружања, карактеришу силификоване и карбонатисане брече (Доњи Левићи, Луковска бања и др.). За ове дубоке разломне зоне везани су вулкански и поствулкански процеси и сулфидна рудна минерализација. Угљокиселе воде Вардарске зоне генетски су везане за вулканизам Букуље, Копаоника, Леца и Клокот бање.

Угљокиселе воде Горњег Црниљева, Оглађеновца и Јаутине јављају се по влашићко – близанском хорст - антиклиноријуму. Распоређене су по куполи антиклиноријума у сагласности са његовом осом пружања. Такав линијски распоред јасно указује на њихову везу са тектонским структурама које су настале обликовањем антиклиналне форме (слика 22).

Истицање угљокиселих вода одвија се из палеозојског ниско метаморфног комплекса, односно из активних тектонских структура у деловима антиклиноријума где се одвија

њихово растезање. Појаве су генерално распоређене у сагласности са правцем пружања антиклиноријума (слика 23).



Слика 22. Шематска зоналност геотермалних вода у подручју магматског интрузива (Вартањан, 1977)

Легенда: 1. тело интрузива, 2. дубински флуиди; 3. метаморфогени флуиди; 4. термални или минерални извори, 5. комплекс стенских маса горњег дела земљине коре; 6. регионалне тектонски ослабљене зоне; I провинција угљокиселих минералних вода; II провинција азотних терми.

Зона дифузног дренарања угљокиселих вода на изворишту Оглађеновца маркира млађу раседну структуру правца пружања СИ – ЈЗ. Ова зона сече старију раседну структуру која се пружа у сагласности са пружањем антиклиноријума. На изворишту Горње Црниљево, зоне дифузног истицања маркирају, такође, млађу раседну структуру правца пружања С – Ј, односно зону њеног пресека са старијом раседном структуром правца пружања И-З (Радановић, 2007, фонд. докум.).

Може се закључити да угљокиселе воде влашићко – близанског хорст антиклиноријума маркирају тектонске структуре које су у сагласности са његовим пружањем, и млађе структуре правца пружања С – Ј и СИ – ЈЗ. Мрежа активних раседа различитих правца пружања, указује на блоковску грађу геолошке основе.

Зоне дренарања угљокиселих вода су прилагођене најнижим формама у рељефу, где су маскиране – екраниране квартарним наносом (al, d) мале моћности (0,5 – 7 m). Квартарне творевине представљају секундарне колекторе ових вода. У односу на раседне структуре геолошке основе, у пропусним квартарним хоризонтима се одвија екстензија минералних вода. На шире распрострањење угљокиселих вода у делувијалном слоју указују више копаних бунара (Радановић, 2007, фонд. докум.).





Слика 23. Шематска хидрогеолошка карта области угљокиселих вода влашићко – близанског хорст – антиклиноријума (геолошка подлога по И. Филиповић и други, 1973)

Легенда: 1. водопрпусне неvezане квартарне стене; 2. водопрпусне неvezане или слабо vezане преквартарне стене; 3. практично водонепрпусне ниско метаморфне стене; 4. појава угљокиселе воде; 5. област прихрањивања угљокиселих вода, претпостављена; А – влашићко – близански хорст антиклиноријум.

На изворишту Горње Црниљево избушено је више бушотина дубине између 200 – 447 m. Најдубља бушотина набушила је делувијалне и неогене седименте (у интервалу 0,0 – 6,5 m) ниско метаморфне шкриљце са прослојцима пешчара (6,5 – 340 m) и пешчаре са прослојцима шкриљаца (340 – 447 m). Бушотине киселе воде су са самоизливом од 0,1 до 0,2 l/s. Хидростатички притисак износи око 8,5 m изнад површине терена. Основна карактеристика серије ниско метаморфних шкриљаца јесте да се са дужином повећава учешће пешчара у односу на шкриљце.

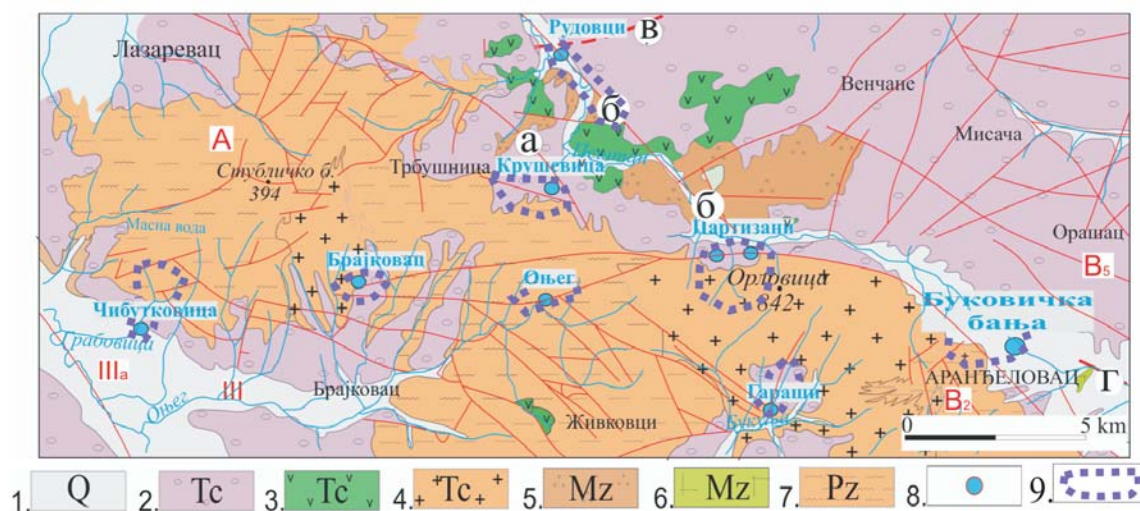
Читава серија ниско метаморфних шкриљаца у склопу терена функционише као хидрогеолошки изолатор. У приповршинском појасу ових стена, захваћених процесима распадања, формирана је врло слаба издан, која се прихрањује атмосферским падавинама (Миловановић, 1980а, фонд. докum.). Геофизичким истраживањима процењено је дебљина ниско метаморфне серије износи 350 – 420 m. Претпоставка је да се испод ове серије налазе метаморфни комплекси већег степена метаморфизма, а самим тим и већих хидрогеолошких могућности за акумулирања угљокиселих вода.

На више бушотина стабилизовано артеско истицање износило је мање од 0,1 до 0,25 l/s. Температура воде од 15,6 до 19 °C, а садржај угљендиоксида од 1,38 до 2,18 g/l. Гасни фактор је износио 0,8 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>. Ерупција гаса при бушењу догодила се у бушотини (GC-2)

на дубини од 154 m (Миловановић, 1979, фонд. докум.). Тада су избиле киселе воде у количини од 8-10 l/s. Након бушења, из ове бушотине је истицала значајна количина гаса, са променљивим режимом, тако да је повремено долазило до смањења и потпуног прекида самоизлива у трајању до 1 минута. У другој бушотини (GC-1) самоизлив, такође, није био континуалан. Повремене бурне ерупције су трајале по 7,5 минута, са прекидима од 8 минута. Висина воденог стуба изнад површине терена износила је 8,5 m.

Области прихрањивања ових угљокиселих вода поклапају се са пружањем тектонских структура у којима су воде формиране. Површински токови углавном су у сагласности са пружањем тих структура, те се на тим деловима највеће прихрањивање одвија инфилтрацијом атмосферских вода преко површинских вода и плитких водоносних хоризоната алувијалних наноса.

У домену брајковачко – букуљског хорст – антиклиноријума познате су појаве Чибутковица, Брајковац, Оњег и Гараши на јужној страни антиклиноријума, Крушевица, Партизани и Буковичка бања на северној страни и у домену кредно – вулканогеног комплекса појава Рудовци (слика 24).

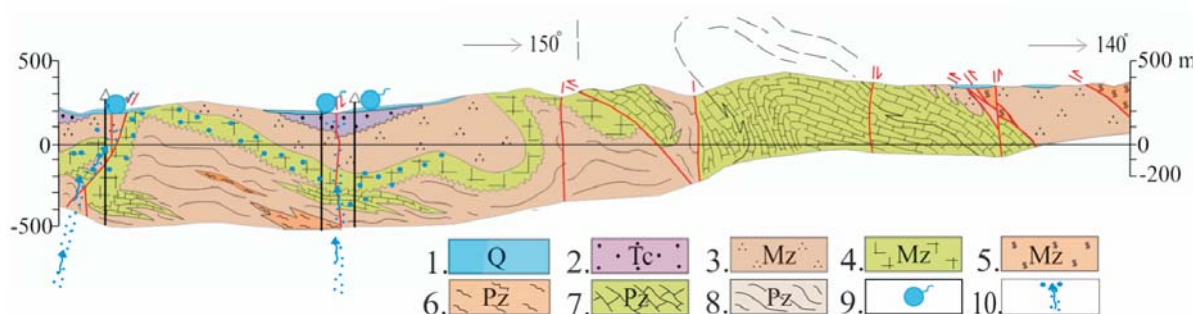


Слика 24. Шематска хидрогеолошка карта угљокиселих вода брајковачко – букуљског хорст антиклиноријума и кредно – вулканогеног комплекса (геолошка подлога по М. Филиповић и други, 1980, М. Филиповић и други, 1978, Т. Брковић и други, 1980, З. Павловић, 1980)

Легенда: 1. водопропусне невезане квартарне стене; 2. водопропусне невезане или слабо везане преквартарне стене; 3. водопропусне чврсте стене; 4 и 7. претежно водонепропусне високометаморфне и интрузивне стене 5. практично водонепропусне стене; 6. водопропусне чврсте карбонатне стене; 8. појава угљокиселе воде; 9. област прихрањивања угљокиселих вода, претпостављена; А – брајковачко-букуљски хорст-антиклиноријум, В<sub>2</sub> и В<sub>5</sub> – други и трећи структурни спрат; Ш – геотектонска јединица Мионица-Брајковац, Ш<sub>а</sub> – мионичко – качерска потолина, а – крушевачки расед, б – колубарско – пештански расед, в – рудовачки расед и г – разломна зона Аранђеловац - Кубршница.

Брајковачко – букуљски хорст антиклиноријум представља наставак влашићко – близанског антиклиноријума. Заједно са угљокиселим водама Паланачког кисељака, Младеновачке Селтерс бање, Наталинаца и Нереснице чине јужну границу Панонског басена. Код брајковачко – букуљског атиклиноријума су у геолошкој основи ерозијом откривени терцијарни гранитоидни интрузиви са контактном метаморфним палеозојским стенама. Угљокиселе воде мартирају маркантне раседне структуре које прате пружање хорст – антиклиноријума. Делимично су деформисане мањим попречним раседима. На подручју овог антиклиноријума издвојено је више већих раседа и бројни су мањи раседи (крушевички, пештански, аранђеловац – кубршнички и други раседи). Геолошка основа целе ове области се карактерише блоковском грађом.

У области Буковичке бање истиче се аранђеловачки расед, који се пружа долином реке Кубршнице – од Буковика до Рисоваче, а даље према ЈИ његово пружање се може претпоставити. Расед је нормалан, гравитациони, са релативним спуштањем блока од 500 m. Попречни раседи пружања СИ – ЈЗ су бројни. Дуж њих су такође померани блокови и тако формирано ровови и хорстови. На тај начин је створена сложена грађа аранђеловачког дела терцијарног басена, подлоге блоковске структуре ( слика 25).



Слика 25. Шематски хидрогеолошки профил угљокиселих вода Буковичке бање (И.

Матић и други, 2008, допуњено)

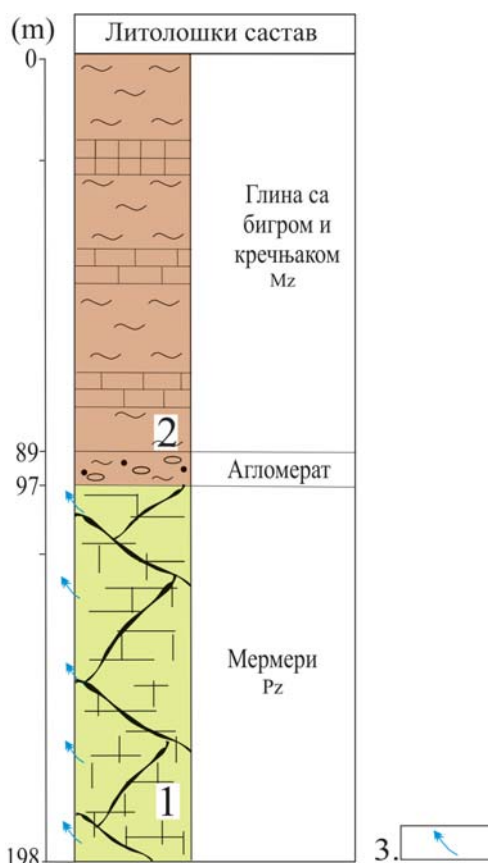
Легенда: 1. водопропусне слабо везане квартарне творевине; 2. водопропусне невезане и слабо везане преквартарне стене; 3 и 8. претежно водонепропусне стене; 4 и 7. водопропусне чврсте карбонатне стене; 5 и 6. претежно водонепропусне високо метаморфне стене; 9. зона истицања угљокиселе воде, 10. правац миграције угљендиоксида.

На подручју истраживања утврђене су веће тектонске структуре: букуљски расед (пружа се долином Пештана и Кубршнице, ободом Букуље, преко Даросаве и Крушевице), јужно-букуљска раседна зона и читав низ попречних раседа. На источном делу аранђеловачке котлине регистрована је раседна зона која је скоро управна на букуљски расед. За ове структуре су везане појаве угљокиселих вода.

У области Буковичке бање, Партизана, Крушевице, Чибутковице и Рудовца избушено је више десетина истражних бушотина, дубине од 30 до 1000 m.

Издашност бунара у Буковичкој бањи креће се од 2,2 до максимално 18 l/s, са температуром воде од 21 до 34 °C. Угљокиселе воде су захваћене у кварцитима, гнајсевима и мигматитима, палеозојским и ретко мезозојским карбонатним стенама (мермерима, мермерисаним кречњацима и др.) и палеозојским високометаморфним и нискометаморфним шкриљцима са кречњацима. Издани ових стена су покривене терцијарним и квартарним седиментима (слике 25 и 26). По хемијском саставу воде су  $HCO_3 - Ca$  типа, минерализације око 0,85 g/l.

На изворишту „Дар Вода“ (Партизани или Даросава) избушени су бунари дубине од 15 до 78 m, са самоизливом од 0,15 до 0,7 l/s и температуром воде од 15 до 16,5 °C. Угљокисела вода је каптирана у пропусним хоризонтима терцијарних седимената (слика 27). По хемијском саставу је  $HCO_3 - Na$  типа, са садржајем угљендиоксида од 0,26 до 1,58 g/l.



Слика 26. Литолошко – хидрогеолошки профил бунара СВ – 5 у Буковичкој бањи (Матић и други, 2008, допуњено).

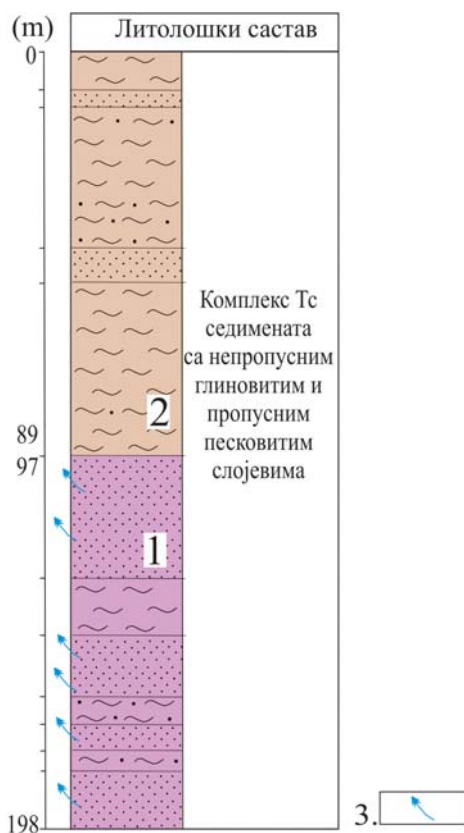
Легенда: 1. водопрпусне чврсте карбонатне стене; 2. претежно водонепропусне стене, са сменом глиновитих и карбонатних слојева; 3. зона истицања угљокиселих вода.

У области Крушевице избушено је више бунара дубине од 37 до 82,4 m, са самоизливом од 0,6 до 2,0 l/s и температуром воде од 16 до 22 °C. На једном бунару и са пулсацијом. По хемијском саставу угљокиселе воде су  $HCO_3 - Ca$  или  $CaMg$  типа и са садржајем



угљендиоксида 0,53-1,29 g/l. На извору Крушевица (0,05 l/s, 14 °C) угљокисела вода је аналогног хемијског састава ( $HCO_3 - Ca$ ) и садржаја угљендиоксида (1,35 g/l).

У селу Рудовци угљокисела вода откривена је истражном бушотином на дубини 102 – 105 m (Кнежевић и други, 1984). До ерупције минералне воде дошло је испод терцијарних и флишних наслага када су набушени кристаласти шкриљци (Протић, 1995). На истој локацији бушотином R-1 (слика 28) дубине 119 m ( $Q = 0,3$  l/s,  $t = 18$  °C) каптиране су минералне воде у палеозојским шкриљцима. По хемијском саставу су  $HCO - Na$  типа, са садржајем угљендиоксида 1,58 g/l, радијума 0,77 Bq/l и минерализацијом од 5,98 g/l.

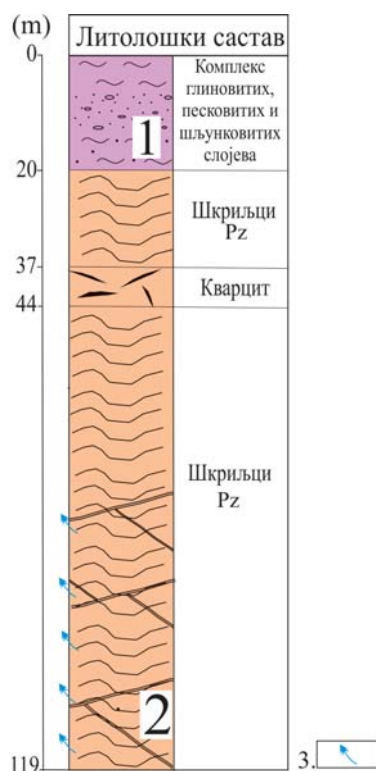


Слика 27. Литолошко - хидрогеолошки профил бунара В-78 на изворишту „Дар вода“ у Даросави (С.Нуховић и И.Ђокић, 2008, допуњено)

Легенда: 1. водопрпусне невезане и слабо везане преквартарне стене; 2. водонепрпусне стене; 3. зона истицања угљокиселих вода.

Код Чибутковице избушене су бушотине дубине 1002,8 m ( $Ѓb-1$ ) и 50 m ( $Ѓb-2$ ) (Миловановић, 1996). Готово целокупан самоизлив на бушотини, од 4 - 4,5 l/s, формира се из интервала са дубине од око 50 m. Угљокисела вода температуре 17-18 °C је  $HCO_3 - Na$  типа. У дубљим деловима бушотине температура воде достиже 48 °C, а издашност средине се значајно смањује са 4 – 4,5 на око 0,5 l/s. Најважнију хидрогеолошку улогу

имају јаче тектонизирани зоне, раседне зоне, веће жице, слојеви и сочива кварцита у кристаластим шкриљцима (Миловановић, 1996, фонд. док. док.).



Слика 28. Литолошко - хидрогеолошки профил бунара R-1 у Рудовцима (Д. Протић, 1980, допуњено)

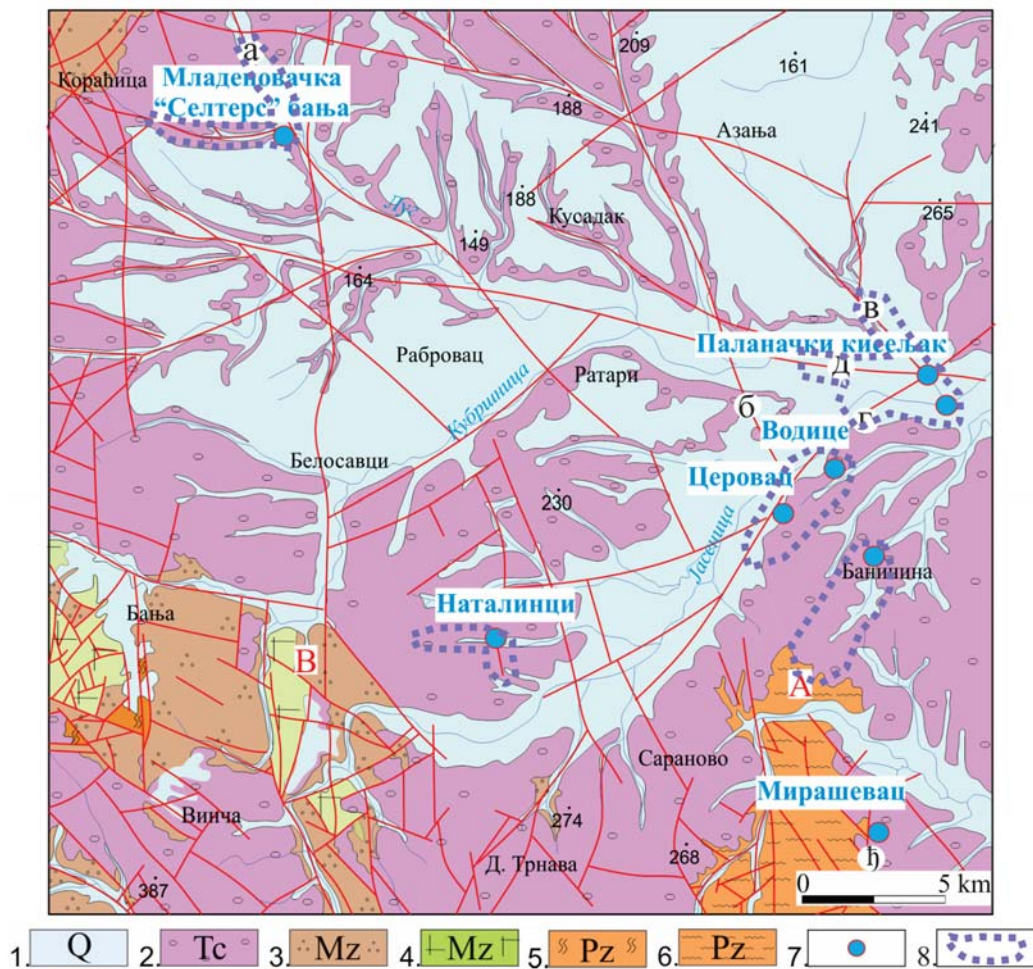
Легенда: 1. водопрпусне невезане и слабо везане преквартарне стене; 2. претежно водонепрпусне високо метаморфне стене; 3. зона истицања угљокиселих вода.

Код угљокиселих вода Оњег, Брајковац и Гараши нису вршена бушења. Појава Оњег налази се на ободу букуљског гранитоида у палеозојским шкриљцима, појава Брајковац у контактної зони кристаластих шкриљаца и кречњака ( $K_2$ ) и појава Гараши у ерозијом откривеном делу гранитоида Букуље. Угљокисела вода Гараши маркира млађу раседну структуру којом је предиспониран површински ток Речица. Извори су издашности од 0,01 до 0,03 l/s. Температура воде се креће од 16 до 23 °C, а садржај угљендиоксида од 0,75 до 1,23 g/l. По хемијском саставу ове воде су  $HCO_3 - NaCaMg$ ,  $CaNaMg$  или  $NaCa$  типа, са повишеним садржајем радионуклида, урана 5,1  $\mu\text{g/l}$ , радијума 0,72 Bq/l и радона 195 Bq/l.

На основу утврђене старости угљокиселих вода од 25.000 до 40.000 година (Матић и други, 2008, фонд. док. док.) и могуће брзине њиховог кретања и дубине залегања, закључује се да удаљеност између области храњења и дренажа за формиране хидрогеолошке структуре може да износи до максимално 5 – 10 km. Контуре области храњења су у сагласности са тектонским структурама за које су везане угљокиселе воде.

Паланачки и младеповачки басени у домену којих се јављају угљокиселе воде чине јужни обод Панонског басена.

Угљокиселе воде паланачког басена маркірају велики разлом који се пружа (СИ-ЈЗ) од Наталинаца према Смедеревској Паланци, долином реке Јасенице (Брковић и други, 1980). Највећа количина ових вода лежи у близини пресека овог раседа и раседне зоне Иванча – Смедеревска Паланка (И-3), која прати ток реке Кубршнице (слика 29). У овој области се издвајају два раседа који су веома карактеристична и јасно уочљиви на терену (Милојевић, 1964).



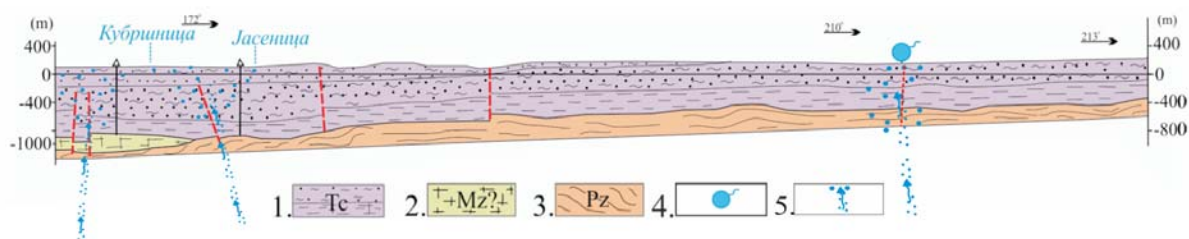
Слика 29. Шематска хидрогеолошка карта области угљокиселих вода младеповачког и паланачког терцијарног басена (геолошка подлога по З. Павловић, 1980, Т. Брковић и други, 1980)

Легенда: 1. водопропусне неvezане квартарне наслагае; 2. водопропусне неvezане преквартарне наслагае; 3. практично водонепропусне стене; 4. водопропусне чврсте карбонатне стене; 5 и 6. претежно водонепропусне високометаморфне стене; 7. појава угљокиселе воде; 8. област прихрањивања угљокиселих вода, претпостављена; А – комплекс шкриљаца; В – мезозојски седименти; а – лушко-топчидерски расед, б – орашко-церовачки расед, в – расед Врчин – Умчари - С. Паланка, г – Јасеница – Трнава, д – В. Иванча – С. Паланка љ – разломна зона Милатовац - Бадњевац.

У области младеновачког басена угљокиселе воде маркирају маркантну лушко – топчидерску раседну структуру (слика 29). Дислокациона зона је велике дужине и дубине. Дуж ње се пробијају гасови тј. угљена киселина која се раствара у води и концентрише у лежишта минералних вода (Милојевић, 1964).

Постоји неизвесност у погледу узрочника геомагнетне аномалије у области Паланачког кисељака, јер су на читавом простору распрострањени искључиво терцијарни и квартарни седименти, практично немагнетичне стене (Вукашиновић, 2005). С обзиром на опште структурне карактеристике ширег региона и чињеницу да овај терен представља прекривен потонули део блоковске масе, произилази да је аномално поље условљено суперпонованим утицајем магнетичних стена кристалина. Дубина узрочника приближно варира од 0,1 до 1,6 km. Ово су дубине које приближно одговарају дубинама палеорелефа.

На подручју „Паланачког кисељака“ избушено је више плитких и дубоких бушотина. У плитким водоносним хоризонтима алувијона и терцијарних седимената, констатно је опадала минерализација због експлоатације која је била већа од природног обнављања резерви. На основу резултата бушења 57 плитких сонди утврђено је да се плитке издани угљокиселих вода пружају по правцу ССЗ - ЈИ (правац Јасеничке реке) у дужини око 500 m (Пећинар, 1964). Два плитка бунара која се највише користе, дубине до 12,3 m, издашности су око 4 l/s. Друга два су дубине 75 и 85 m.

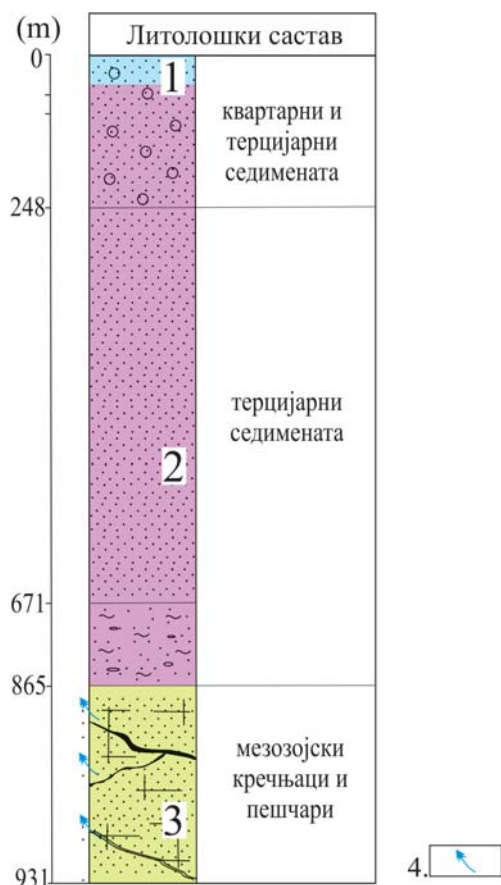


Слика 30. Шематски хидрогеолошки профил области угљокиселих вода Паланачког басена (геолошка подлога по З. Павловић, 1980)

Легенда: 1. водопропусне неvezане преквартарне стене, 2. водопропусне чврсте карбонатне стене, 3. претежно водонепропусне високо метаморфне стене, 4. зона истицања угљокиселе воде: 5. правац миграције угљендиоксида.

Терцијарни седименти пробушени су са две дубоке бушотине. Бушотином дубине 931 m, угљокиселе воде су каптиране у карбонатним доломитичним стенама (слике 30 и 31). У терцијарним седиментима је утврђено неколико артеских средина, на дубинама 250–273 m (26,7 °C), 390–396 m (28 °C), 522-525 m (36 °C). Издашност артеске бушотине износила је око 2 l/s, са притиском од 3,8 бара.





Слика 31. Литолошко – хидрогеолошки профил бушотине РК-1Н (М. Вукићевић и Т. Пајчић, 2009, допуњено)

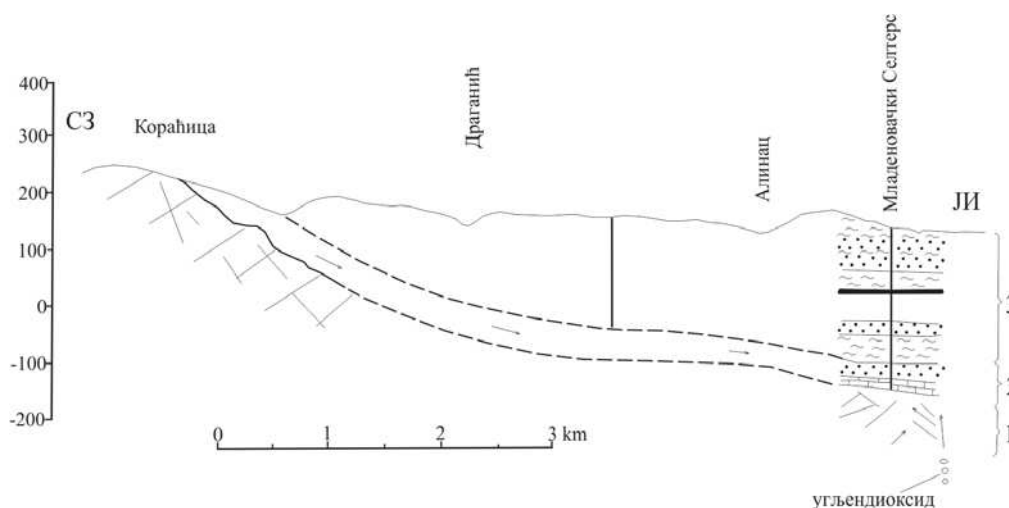
Легенда: 1. водопрпусне неvezане квартарне наслаге, 2. водопрпусне неvezане и слабо vezане преквартарне наслаге, 3. водопрпусне чврсте карбонатне стене, 4. зона истицања угљокиселих вода.

По хемијском саставу минерална вода је  $HCO_3Cl - Na$  типа, са садржајем угљендиоксида 0,84 g/l, радијума 0,37 Bq/l и минерализацијом 8,1 g/l. Друга дубока бушотина дубине 997 m је изолована испод 700 m дубине, а минералне воде су каптиране у терцијарним седиментима у интервалу 677-688 m и 641 – 619 m. Кристалести шкриљци набушени су на дубини 916 m (слика 30). Вода је температуре 38 °C и сличног хемијског састава као и прва поменута бушотина.

Угљокиселе воде Паланачког кисељака су локализоване уз обод великог артеског басена, где се у вертикалном пресеку више пута смењују водопрпусне и водонепрпусне стене. Кроз геолошку основу залежу линијске хидрогеолошке структуре. У вертикалном пресеку басена се задржава хидрохемијска зоналност, типична за такве структуре (Протић, 1995). У површинској зони су  $HCO_3 - CaMg$  воде, а у дубљим нивоима прелазе у  $HCO_3(Cl) - Na$  тип воде.

Младеновачка „Селтерс“ бања налази се у долини Великог Луга. Откривена је 1898. године случајно, при бушењу бунара на 239 m дубине. Издашност бушотине била је 1,3 l/s, а температура воде 31,5 °C. Терцијарни седименти су дебљине око 238 – 276 m. У подини су мезозојски седименти (флишне творевине доње креде), који су широко откривени западно од бање у рејону Космаја. Представљени су углавном лапорцима и пешчарима, док су веће масе кречњака регистроване у интервалу 750 – 820 m дубине. Угљокисела вода је  $HCO_3Cl - Na$  тип, сланог укуса, укупне минерализације 7,3 g/l и рН 6,9. Садржај угљендиоксида износи 0,34 g/l, радијум је повишен и износи 0,52 Bq/l. Квалитет воде током времена је осцилирао, али се битно није мењао.

Издашност бушотине је током времена опадала: 1953. године 0,4 l/s; 1955. – 0,32 l/s; 1977. – 0,13 l/s (Милојевић, 1964). Коначни хемијски састав угљокиселе воде формирају у сарматским стенама (слика 32).



Слика 32. Геолошки профил преко Младеновачког Селтерса на коме је приказано порекло воде (Н. Милојевић, 1964.)

Легенда: 1. кредни кречњааци; 2. вероватно сарматске наслаге; 3. панонски слојеви; стрелица указује на правац кретања подземних вода и гаса (стрелица са кружићима при дну).

Бушотином дубине 816,4 m (IB-1) угљокисела вода је каптирана у интервалу флишне серије 613 – 816 m дубине. Добијен је флукутирајући самоизлив у трајању од 2 - 3 дана, да би затим дошло до прекида изливања у трајању од 7 – 10 дана. Температура воде износила је 48 – 50 °C и била је сличног састава као и до тада експлоатисана вода. Бушотином дубине 1150 m (IB-2), добијен је повишен садржај метана.

Угљокисела минерална вода Наталинаца јавља се у долини потока Трешљенац (Протић, 1995). Издашност извора је 0,15 l/s, а температура воде 13,5 °C. Вода је  $HCO_3 - CaMg$  типа, укупне минерализације 0,95 g/l. Код извора је избушена бушотина дубине 300 m.

До дубине 122 m кроз терцијарне седименте, а затим кроз хетерогене стене горњекредног флиша (Миловановић, 1991, фонд. докум.). Дубље од 68 m стенска маса је практично безводна.

У областима паланачког и младеновачког басена терцијарни и квартарни седименти покривају геолошку основу целе области. Протерозојски шкриљаци Српско – македонске масе изграђују геолошку основу Паланачког кисељака, а мезозојски седименти области Младеновачког „Селтерса“ и Наталинаца. Угљокиселе воде су формиране у дубоким разломним зонама кроз чврсте масиве стена, као и у слојевима, хоризонтима и комплексима терцијарних и квартарних седиментата.

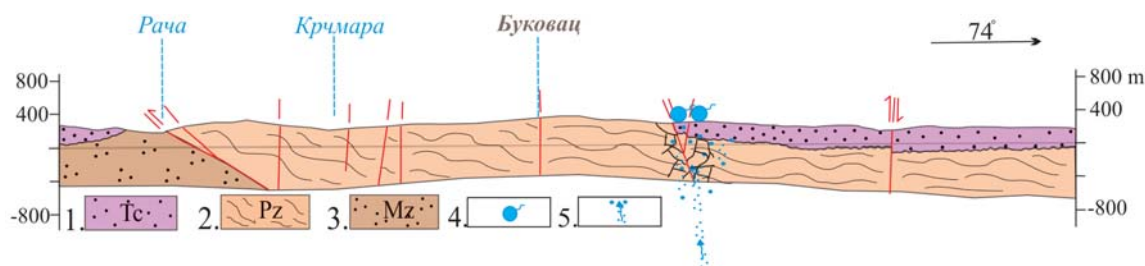
Прихрањивање угљокиселих вода паланачког и младеновачког басена одвија се на рачун атмосферских падавина. Оне се инфилтрирају директно или индиректно из површинских токова. Директно у стенама геолошке основе инфилтрирају се у областима Ђурђева, Космаја и Букуље

Утврђене су старости угљокиселих вода, и то 19.300 година за Селтерс воде и 19.100 година за воде Паланачког кисељака (Перић и Миливојевић, 1990, фонд. докум.). На основу ових старости могућих брзина кретања и дубине залегања подземних вода, удаљеност између области храњења и дренарања може да износи до 3-4 km за формиране хидрогеолошке структуре. Ова удаљеност приближно одговара удаљености откривене протерозојске и мезозојске геолошке основе у односу на зоне дренарања минералних вода.

Угљокиселе воде Мирашевца су откривене случајно, истражном бушотином дубине 55 m. Овом бушотином су набушени терцијарни седименти и протерозојски шкриљци. Ове угљокиселе воде су формиране у специфичним хидрогеохемијским условима. По хемијском саставу су  $SO_4 - CaMg$  типа и једине су тог типа на територији Србије ( $CO_2 = 0,24 \text{ g/l}$ ,  $t = 13 \text{ }^\circ C$ ,  $pH = 155 \text{ Bq/l}$ ,  $Fe = 25 \text{ mg/l}$ ). Осим поменуте, избушене су још две плитке бушотине којима је повећана количина минералне воде на 1,0 l/s.

Угљокисела вода Мирашевца формирана је у протерозојској геолошкој основи између хорстовске структуре Ђурђево и рововске структуре Велике Мораве (слике 30 и 33). Кретања између ових структура вршена су по разломној зони Милатовац – Бадњевац (слика 9). Она представља дубоку дисјунктивну тектонску структуру. Разломну зону чине системи кратких раседа, дуж којих је део терцијарног басена релативно спуштен

(слика 33). Претпоставља се да се наставља и даље, према Смедеревској Паланци. Геолошка основа је покривена терцијарним седиментима јужноморавског рова.



Слика 33. Шематски хидрогеолошки профил области угљокиселих вода Мирашевац (Т. Брковић и други, 1980, допуњено)

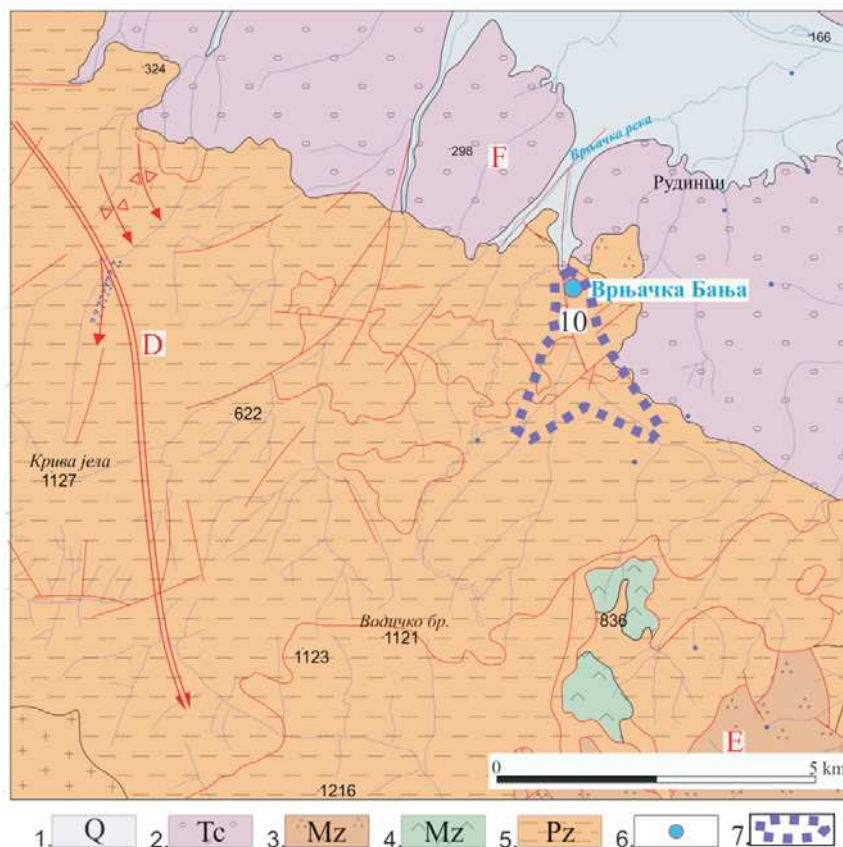
Легенда: 1. водопропусне незезане преквартарне наслагe; 2. претежно водонепропусне високометаморфне стене; 3. претежно водонепропусне стене; 4. зона истицања угљокиселих вода; 5. правац миграције угљендиоксида.

На североисточном крилу копаоничко-жељинског антиклиноријума, а у ободу западноморавског рова јављају се угљокиселе воде Врњачке Бање (слика 34). Ужу област ових минералних вода секу две крупне тектонске дислокације: Врњачка Бања – Плеш – Радманово, правца пружања С - Ј и Велуђе-врњачка дислокација, правца пружања СЗ - ЈИ (Миловановић и други, 1986, фонд. докum.). Системи раседа ове две дислокације секу се у Врњачкој Бањи, где су маркиране изворима минералних и термалних вода.

Област Врњачке Бање карактерише се интензивном тектоником као и сложеним тектонским односима. Терен је блоковски, издељен на четири тектонске јединице које су међусобно одвојене са три главна раседа. Главне раседне зоне су формиране у долинама Врњачке и Липовачке реке, док је трећа, раседна зона Језеро - Слатина, управна на две претходне зоне. Заједничка одлика све три раседне зоне је субвертикални пад равни раседања.

У Врњачкој Бањи детаљна хидрогеолошка истраживања су вршена на извориштима: Топли извор, Слатина, Језеро, Снежник, Борјак и Бели извор. Уочава се линијски распоред свих изворишта, што указује на њихову везу са тектонским структурама.

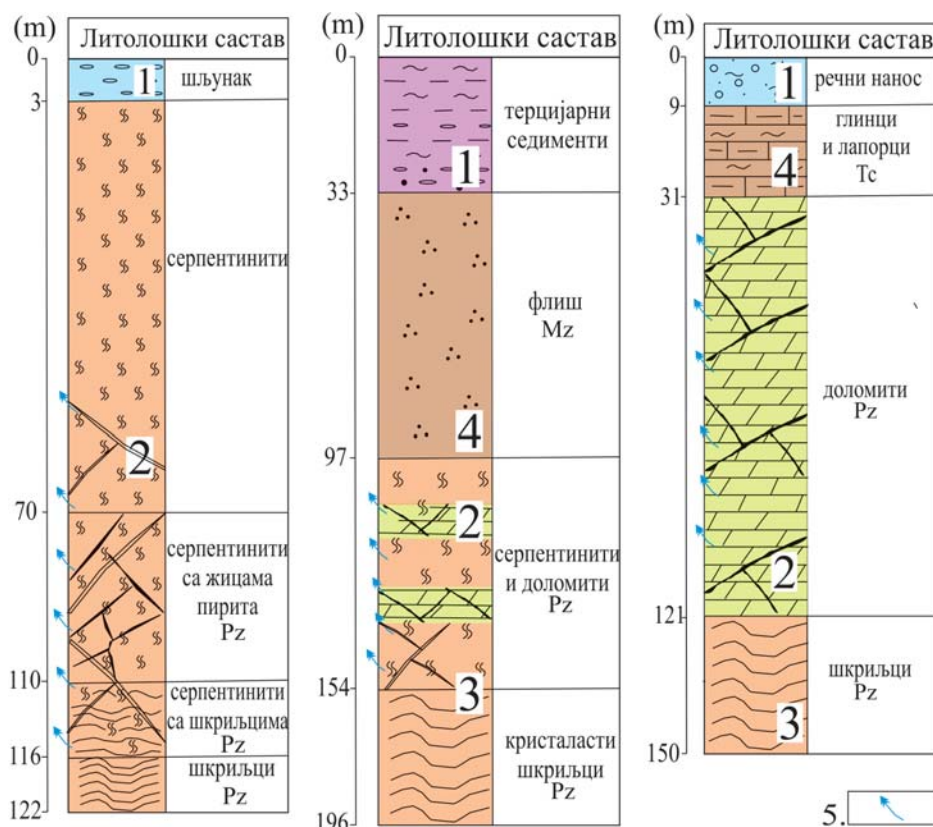
На изворишту Топли извор избушено је више бушотина дубине од 122 до 300 m. Каптиране водоносне зоне се карактеришу интервалима испуцалих карбонатних стена (доломита), серпентинита и шкриљаца, у којима је развијена пукотинска и пукотинско – карстна порозност (слика 35).



Слика 34. Шематска хидрогеолошка карта области угљокиселих вода Врњачке бање (геолошка подлога по М. Урошевић и други, 1973)

Легенда: 1. водопропусне неvezане квартарне наслагe; 2. водопропусне неvezане преквартарне наслагe; 3. практично водонепропусне стене; 4. водопропусне чврсте стене, 5. претежно водонепропусне високометаморфне и интрузивне стене; 6. појава угљокиселе воде; 7. област прихрањивања угљокиселих вода, претпостављена; D – копаоничко – жељински антиклиноријум; F – западно – моравски ров; E – расинско – топлички синклиноријум, 10 – разломна зона Врњачка бања-Плеш-Радманово.

У повлати ових стена су непропусне терцијарне или мезозојске седиментне стене или серпентинити, а у подини су свим сондама набушени шкриљци. Утврђено је да су све бушотине у међусобној хидрауличкој вези. Каптирани интервали се налазе у раседним зонама хидротермално измењених стена. Системи минералних вода су са субартеским притиском, на око 3,0 m од површине терена. Температура воде износила је 34 – 35 °C. На основу осматрања режима издашности и хемијског састава закључено је: да је температура воде релативно стабилна, да издашност објекта има неуједначене промене (месечне, сезонске и годишње), да су по интензитету те промене сличне режиму падавина и да су хемијске особине вода релативно стабилне (Миловановић и други, 1986, фонд. док.ум.). Издашност осматраног објекта се креће у интервалу 4,1 – 9,85 l/s. Угљокисела вода је  $HCO_3 - NaMgCa$  типа, минерализације 1,77 g/l и са садржајем угљендиоксида 0,9 g/l.



Слика 35. Литолошко – хидрогеолошки профили бунара на изворишту „Топли извор“ (Б. Миловановић, 1986., фонд. докум.)

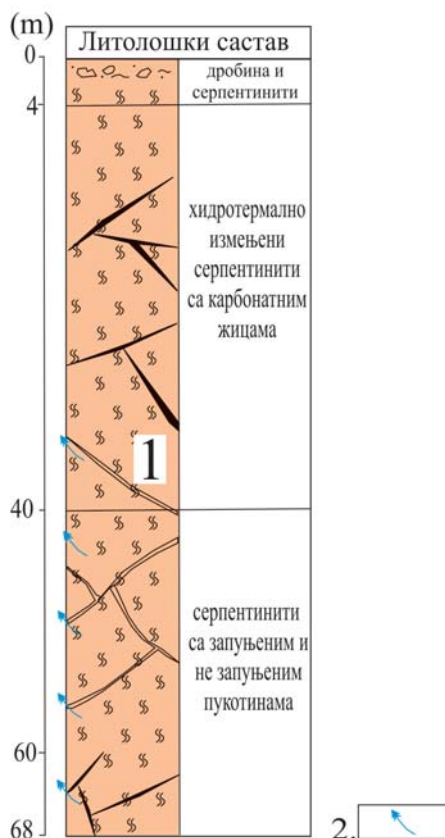
Легенда: 1. водопрпусне незване преквартарне насlage; 2. водопрпусне чврсте карбонатне стене; 3. претежно водонепрпусне високо метаморфне стене; 4. практично водонепрпусне стене; 5. зона истицања угљокиселих вода.

На изворишту Снежник у току бушења констатовано је да су међусобно повезани системи пукотина и каверни, којима се воде крећу узлазно навише. Дешавало се да се на извору Снежник и Топли извор нагло повећава издашност (и до три пута). Тиме је доказана повезаност бушотина у серпентинитима, на десној обали Врњачке реке. Продор површинских вода у извор Снежник константована је тестирањем поменутих бушотина и хемијским анализама вода. На основу осматрања режима издашности и хемијског састава на бунару (слика 36), закључено је да су температура и хемијски састав воде релативно стабилни (17,0-17,2) и готово исти као на ранијим каптираним изворима.

Такође, закључено је да је издашност објекта променљива и у корелацији са падавинама, али са далеко мањим променама него на раније каптираним изворима (Миловановић и други, 1986, фонд. докум.). Издашност осматраног објекта се креће у интервалу 0,6–1,2 l/s. Угљокисела вода је по хемијском саставу  $HCO_3 - NaMgCa$  типа, минерализације 1,27 g/l, садржајем угљендиоксида 0,93 g/l и температуром 17 °C. Од радиоактивних елемената повишен је садржај радијума 0,24 Bq/l (Протић, 1995).



Бушеним водозахватима на изворишту Снежник, каптиране су угљокиселе воде у тектонизираним и значајно измењеним ултрамафитима. Набушене су различите литолошке средине, хидротермално измењени серпентинити, серпентинити са пукотинама запуњеним магнезитом ( $MgCO_3$ ), са силификованим листовенитима и кварцним жицама и сл. Квартарни седименти су мале дебљине (2-10 m). Они покривају разломну зону у којој су формиране угљокиселе воде.



Слика 36. Литолошко – хидрогеолошки профил бунара на изворишту Снежник (Б. Миловановић, 1986., фонд. докум.)

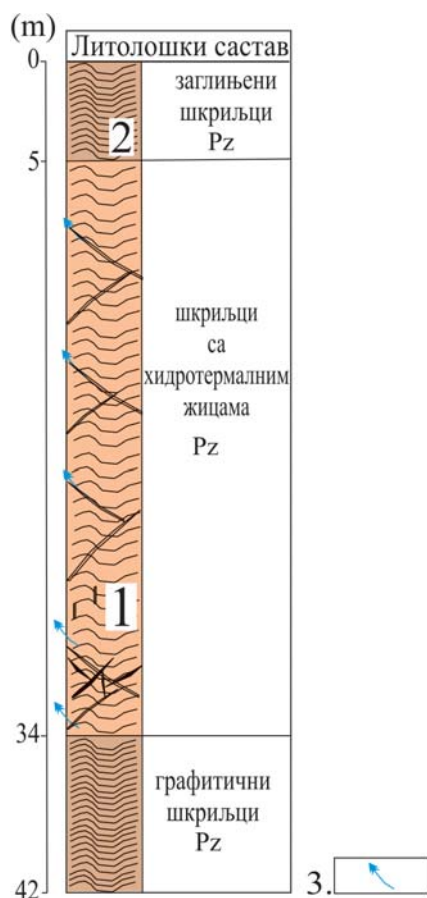
Легенда: 1. претежно водонепропусне високо метаморфне стене; 2. зона истицања угљокиселих вода.

На изворишту Слатина избушено је више бушотина дубине од 20 до 44 m (слика 37).

Угљокисела вода се дренира из пукотинских система раседне зоне у оквиру серицитских шкриљаца слабијих филтрационих карактеристика. Шкриљци су распаднути и мале акумулативне способности, па су због тога и издашности објеката мале.

Издашност изворишта се креће од 0,18 l/s до 0,36 l/s, а температура воде варира у интервалу 9,6 – 14,5 °C. Иако долази до промене у хемијском саставу садржаја основних компоненти, нема промена основног типа минералне воде. Минерална вода је  $HCO_3$  –  $NaCaMg$  типа, минерализације 2,31 g/l, са садржајем угљендиоксида 1,5 g/l и

температуром 13 °C. Ово су најхладније минералне воде на подручју Врњачке Бање и уједно са највишом минерализацијом. Хемијски састав је стабилан и незнатно варира под утицајем атмосферских падавина.



Слика 37. Литолошко – хидрогеолошки профил бунара на изворишту Слатина

(Б. Миловановић, 1986., фонд. док.ум.)

Легенда: 1. претежно водонепропусне високо метаморфне стене, 2. практично водонепропусне стене; 3. зона истицања угљокиселих вода.

На изворишту Језеро избушени су водозахвати дубине 260 и 302 m (слика 38).

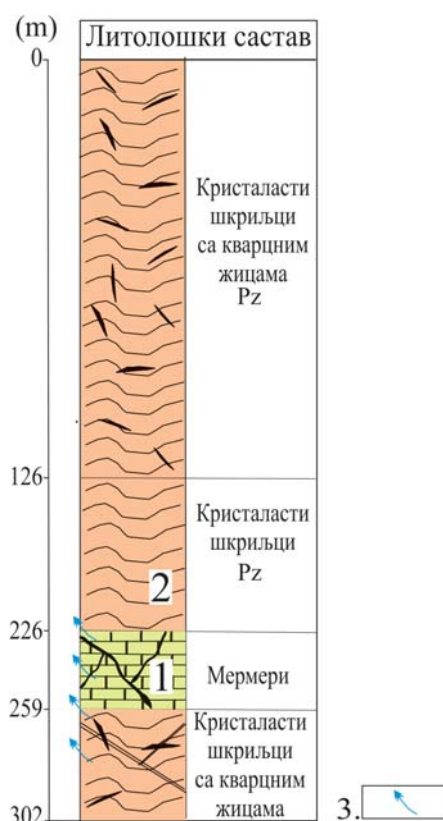
При бушењу бушотине, на 17,5 m примећена је већа количина гаса и констатован је самоизлив. Каптиране су водоносне средине у мермерима и палеозојским шкриљцима, у интервалима дубина 190 – 250 m и 225 – 300 m. У повлати карбонатних стена је серија шкриљаца, изломљена и јако измењена.

Експлоатација се врши самоизливом, а утврђене резерве у минимуму износе 1,25 l/s. Минералне воде имају релативно стабилан режим температуре, гасног и хемијског састава и бактериолошке исправности. На излазу цеви ослобађа се угљендиоксид у гасној фази око 1,2 g/l. Вредност рН варира у границама 6,38 – 6,65, а у релативно уским



границама варирају и основне компоненте. Минерална вода је  $HCO_3 - NaCaMg$  типа, минерализације 2,2 g/l, са садржајем угљендиоксида 1,1 g/l и температуром од 25 °C.

У сливу Липовачке реке избушена је геотермална бушотина дубине 505 m на локалитету Бели извор, а у сливу Врњачке реке на локалитету Борјак избушен је бунар дубине 175 m. Бушотина на локалитету Бели извор бушена је кроз кристаласте шкриљце и на самоизливу је добијено 0,6 l/s угљокиселе воде, температуре 29,5 °C и минерализације 3,73 g/l (слична изворишту Слатина).

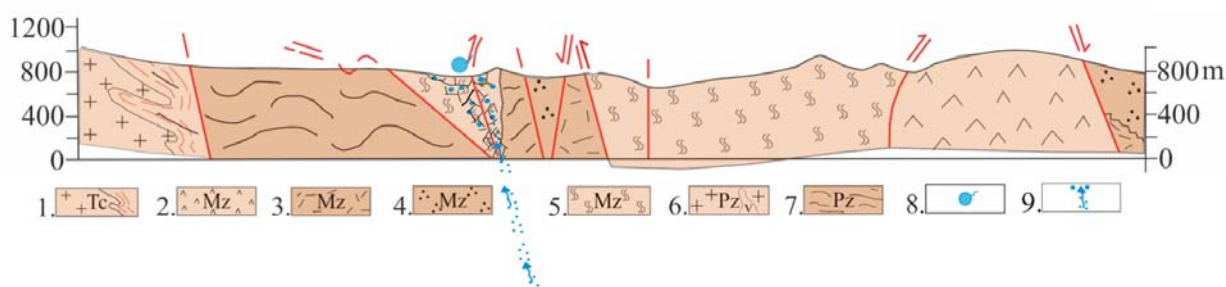


Слика 38. Литолошко – хидрогеолошки профил бунара на изворишту Језеро(Б. Миловановић, 1986., фонд. док. док.)

Легенда: 1. водопрпусне чврсте карбонатне стене, 2. претежно водонепрпусне високо метаморфне стене; 3. зона истицања угљокиселих вода.

Геолошку основу уже области Врњачке Бање изграђују палеозојски шкриљци са мермерима, кварцитима и серпентинити, а у источном делу изворишта и мезозојски седименти. Хидрогеолошке структуре угљокиселих вода су раседне зоне, у којима су ове стене тектонизирани, хидротермално измењене и карстификоване (карбонатне стене). Генерално, ова водоносна зона залеже према истоку под углом од 45°. У ширем подручју, геолошку основу пробијају терцијарне вулканске и интрузивне гранитоидне стене (слика 39). Процењена дубина палеозојског метаморфног комплекса геолошке основе је до 2 km.

Хидрогеолошке структуре угљокиселих вода Врњачке Бање залежу у границама сливних подручја Врњачке и Липовачке реке. Прихрањивање, дренарање и обнављање угљокиселих вода одвија се у границама сливних подручја ових река. Геолошку основу изграђују претежно непропусне, спорадично чврсте карбонатне и непропусне стене, те су ови хидрогеолошки процеси везани за линијске зоне предиспониране дубоким дисјунктивним тектонским структурама. На ужем подручју Врњачке Бање, где се укрштају раседне структуре различитих временских активности и праваца пружања, формиран су сложени и веома повољни хидрогеолошки услови за акумулирање угљокиселих вода. Осим тектонских чинилаца, овој повољности доприноси значајно учешће карбонатних стена у геолошкој основи.



Слика 39. Шематски хидрогеолошки профил области угљокиселих вода Врњачке Бање (М. Урошевић и други, 1973., допуњено)

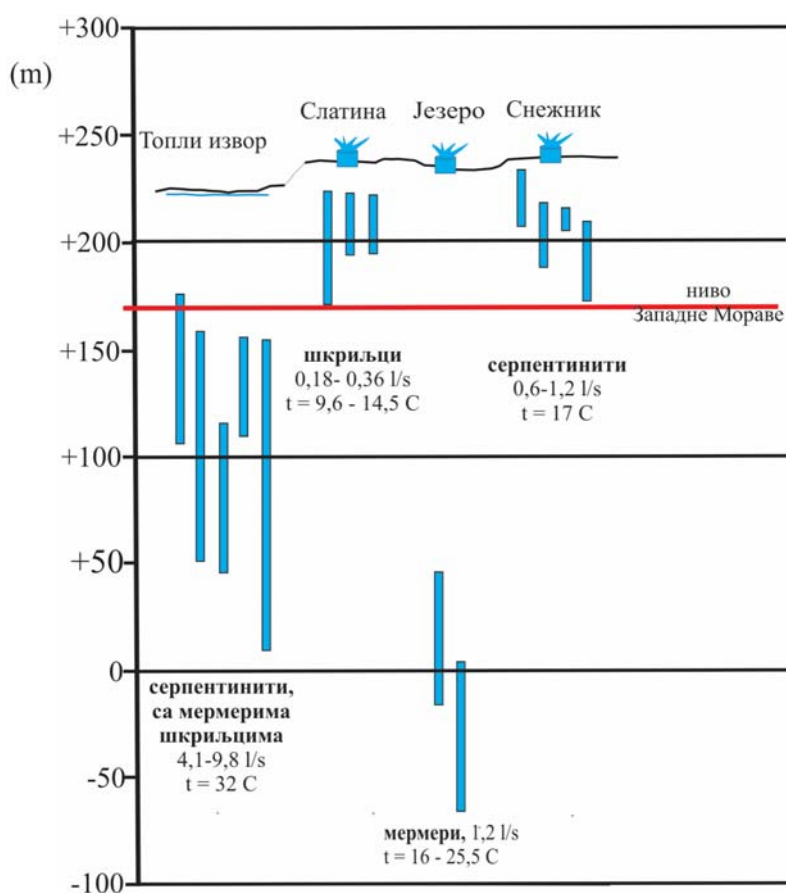
Легенда: 1, 2, 5, 6. претежно водонепропусне интрузивне и високо метаморфне стене, 3, 4 и 7. практично водонепропусне стене; 8. зона истицања угљокиселих вода; 9. правац миграције угљендиоксида.

Апсолутна старост угљокиселих вода Снежника износи  $30000 \pm 1700$  година (Перић и Миливојевић, 1990, фонд. док. док.). Ово значи да се кружење инфилтрационих вода у хидрогеолошким структурама одвија у периоду утврђене апсолутне старости, од момента инфилтрације до момента истицања. Кружење вода у артеским басенима одвија се милионима и десетинама милиона година (Посохов, 1969), из чега произилази, да су минералне воде Врњачке Бање знатно млађе, што важи и за остале разматране минералне воде Србије. Ако се узме у обзир могућа брзина кретања ових вода, максимална удаљеност између области храњења и дренарања ових структура може да износи до 5 km.

Опитима тестирања и режимских осматрања на бунарима, утврђена је хидрауличка веза површинских вода и каптираних система минералних вода. Такође, хидрауличка веза је утврђена између суседних водозахвата и изворишта (на пример између Снежника и Топлог извора). Резултати режимских осматрања на поменутих извориштима показали су да су издашност, температура и хемијски састав зависе од режима сезонских и

дневних климатских промена, као и од режима површинских токова. Ови резултати јасно указују на близину и добру хидрауличку везу између области храђења и зона дренарања, која се преко хидрогеолошких структура остварује на различитим дубинама.

На бунарима у извориштима Врњачке Бање су каптиране угљокиселе воде на различитим дубинама, у којима владају различити хидродинамички услови у зависности од пропусности, хипсометријског положаја према доминантаном дренарајућем базису и др. (слика 40). Запажа се добра водопрпусност литолошких средина испод нивоа Западне Мораве, која омогућава њихову добру хидрауличку везу према областима храђења и дренарања. Такође условљава и активне процесе водозамене и у деловима пукотинских система испод нивоа регионалног ерозионог базиса.

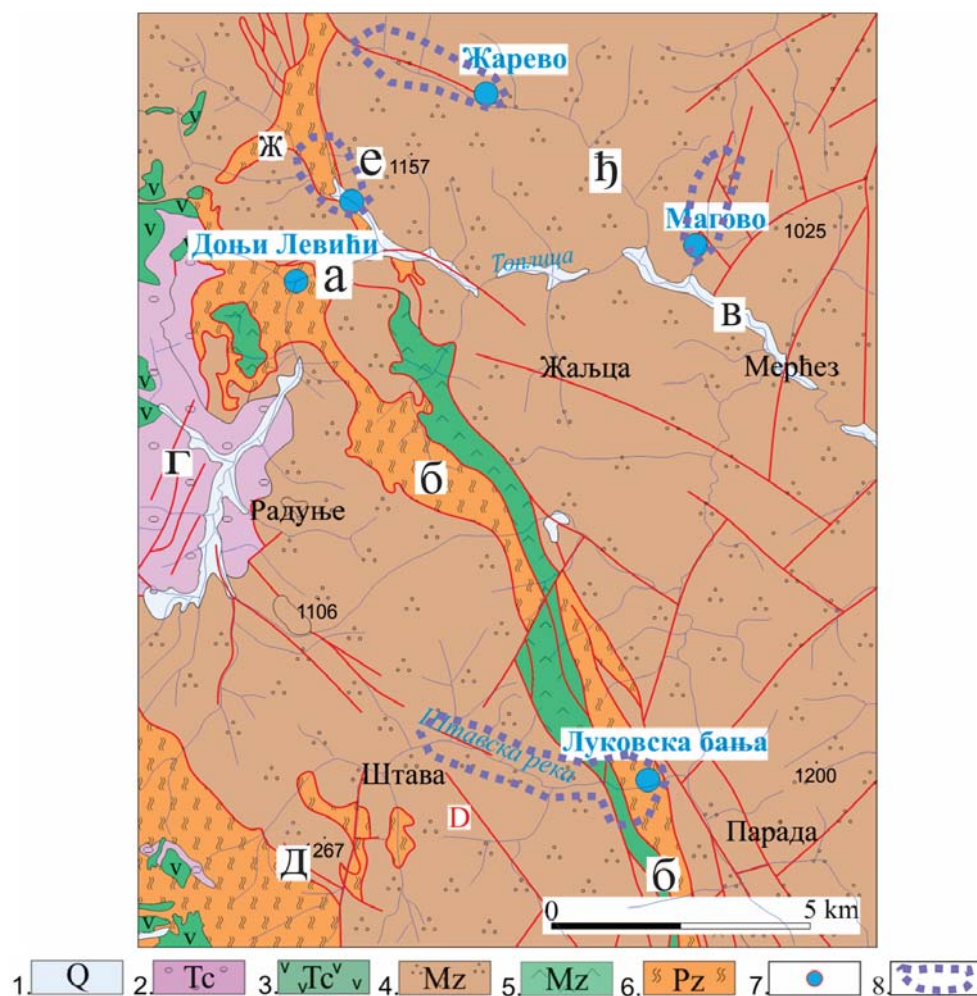


Слика 40. Шематски приказ хипсометријског положаја каптираних зона истицања угљокиселих вода у банарима за област Врњачке Бање

Испод нивоа доминантног дренарајућег базиса каптиране су угљокиселе воде у литолошкој средини са развијеном пукотинско – карстном порозношћу (у тектонизираним мермерима, серпентинитима и шкриљцима са мермерима). Изнад тог нивоа, каптиране су угљокиселе воде у тектонизираним шкриљцима и серпентинитима слабије пропусности. Ова разлика у водопрпусности се испољава и издашношћу

бунара, од 1,2 до 9,8 l/s у пукотинско – карстним изданима до 0,18 до 1,2 l/s у пукотинским.

Хладне угљокиселе минералне воде Магово и Жарево се јављају на правцу пружања дубоке неотектонске Топличке раседне зоне (слика 41). Односно на делу ове структуре, где се претпоставља њено продужење од Куршумлије кроз комплекс седимената централног вардарског трога. Овај трог се одликује интензивним тектонским сужењем.



Слика 41. Шематска хидрогеолошка карта области угљокиселих вода Жарева, Магова, Луковске бање и Доњих Левића (М. Урошевић и други, 1973; М. Малешевић и други, 1980)

Легенда: 1. водопропусне невезане квартарне наслаге; 2. водопропусне невезане и слабо везане преквартарне наслаге; 3 и 5. водопропусне чврсте стене, 4. практично водонепропусне стене, 6. претежно водонепропусне високометаморфне стене, 7. појава угљокиселе воде; 8. област прихрањивања угљокиселих вода, претпостављена; Д – екстерна вардарска подзона; а – разломна зона Војетина; б – дубоки разлом Пlesh – Радманово (Мургулски); в – активни топлички разлом; г – блажевска потоплина; д – дислокациона зона; ж – преврнута антиклинала; з – жељинско – копаонички антиклиноријум; ж – расинско – топлички синклиноријум.

Инверзан положај седимената констатован је у подручју Мерџеза где је образована преврнута антиклинала, у домену у ком се јављају угљокиселе воде. Гравитационим

раседима пружања СЗ – ЈИ и ССИ – ЈЈЗ антиклинала је пресечена и доведена у тектонски контакт са барем – аптским седиментима. Из претходног се запажа да је комплекс мезозојских седимената у областима ових угљокиселих вода тектонски веома оштећен и измешан.

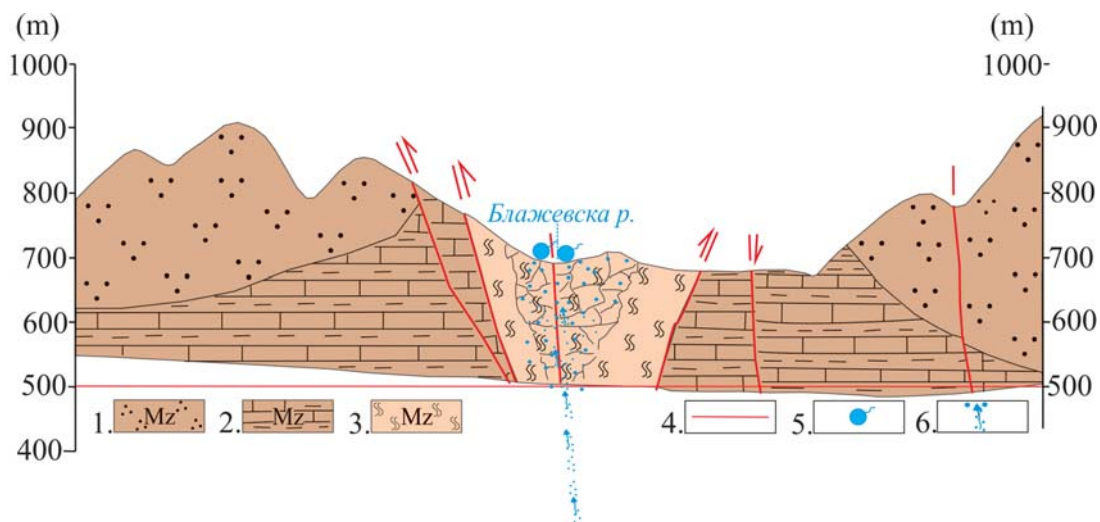
Геолошку основу области разматраних појава изграђују седименти мезозојске старости дебљине преко 1500 m. Моћан комплекс ових седимената припада хидрогеолошкој категорији претежно непропусних стена, са изменом кластичних или кластичних и карбонатних стена. У таквом комплексу, са честим литолошким сменама, угљокиселе воде могу да буду формиране у тектонским и литолошким дисконтинуитетима.

Угљокиселе воде Жарева и Магова (13 – 15 °С) дренирају се преко артеских бушотина у нивоу мањих потока (леве притоке Топлице). Целокупно порекло угљокиселих вода је атмосферско. Инфилтрирају се директно или индиректно, кроз тектонски ослабљене зоне. Угљокисела вода Жарева је  $HCO_3 - CaMg$  типа, укупне минерализације 1,76 – 2,41 g/l, са садржајем угљендиоксида од 1,2 – 1,8 g/l и рН 6,4. За појаву Магово она је  $HCO_3 - Na$  типа, укупне минерализације 5,2 g/l, са садржајем угљендиоксида од 1,4 g/l и рН 6,5.

Максимална дубина залегања угљокиселих вода, односно зоне у којој се одвија највећа количинска измена угљокиселих вода, одређена је дубином залегања и пропусношћу разломних зона, као и њиховим хипсометријским односом према регионалном дренирајућем базису. Доминантан дренирајући базис представља ниво реке Топлице, и то, на излазном профилу ове реке са комплексом седимената централног вардарског трога. Између нивоа регионалног дренирајућег базиса (од око 500 m), и нивоа истицања угљокиселих вода (од 600 – 780 m), формирана је хидродинамичка зона. У овој зони активна циркулација може да се одвија до преко 100 m дубине за хидрогеолошки систем Магова, односно до преко 180 m за Жарево. Запажа се да угљокиселе воде Магова имају већу дубину циркулације у односу на ниво регионалног ерозионог базиса, и у том погледу нешто већу температуру воде, од 15 °С, у односу на појаву Жарева са температуром воде до 13 °С.

Угљокиселе воде Доњих Левића маркирају зону пресека дубоке мургулске разломне зоне и војетинске активне раседне зоне дубоког залегања. Мургулски разлом припада познатој дубокој дислокационој зони Врњачка бања – Плеш – Радманово. На ССЗ продужетку, ову дислокациону зону дужине преко 100 km, маркирају угљокиселе воде Врњачке бање, а на ЈЈИ, Луковске, Киселе и Клокот бање. На источном продужетку разломне зоне Војетина јављају се угљокиселе воде Магова и Жарева, па се може

претпоставити да она практично представља наставак Топличке разломне зоне, за коју су везане угљокиселе воде Сува Чесма и Вича. У овој области се сучељавају бројни раседи који се везују за терцијарне и квартарне тектонске активности. Сви они су више пута обнављани, а све долине и речице, чак и мањих потока, тектонски су предиспониране (Марковић, 1988).



Слика 42. Шематски хидрогеолошки профил области угљокиселих вода Доњих левића (С. Крстић, 1991б, фонд. докум., допуњено)

Легенда: 1 и 2. практично водонепропусне стене; 3. претежно водонепропусне високо метаморфне стене; 4. ниво регионалног дренарајућег базиса; 5. зона истицања угљокиселих вода; 6. правац миграције угљендиоксида..

У области Доњих Левића, избушено је више бушотина дубина од 40 до 132,0 m, за потребе експлоатације угљокиселих вода. Одмах испод седимената речне терасе набушини су ултрамафити до дубине од 61 до 98 m (Крстић, 1991, фонд. докум.). Основна стена најчешће је серпентинисана силификована бреча испресецана бројним пукотинама запуњеним калцитом и кварцом (слика 42). Чести су и кавернозни и шупљикави интервали. При завршетку бушотине дубине 40 m регистрована је угљокисела вода температуре 18,8 °C, са самоизливом 1,8 l/s. Временом се количина на самоизливу значајно смањила.

Термалне угљокиселе минералне воде Луковске бање јављају се у уској дубокој долини Штавске реке. Уска долина (клисура) представља тектонску депресију, накнадно моделирану речном ерозијом и денудацијом, са надморском висином 680 – 690 m. Угљокиселе воде су локализоване по контакту серпентинита, односно хидрокарцита и кречњака. Бигар и једињења гвожђа одлажу дуж раседа по коме истичу. Уже подручје изграђују серпентинити и творевине дијабаз рожне формације. Источно и западно од издужене мургулске разломне зоне широко су распрострањени комплекси мезозојских



флишних седимената. Долина Штавске реке је предиспонирана пружањем активне раседне структуре, правца пружања И – 3. Термалне угљокиселе воде се јављају на простору где ова структура сече мургулску разломни зону..

У доњој и горњој Луковској бањи избушено је више бушотина, дубине углавном до 200 m, осим једне која је дубине 870 m. Издашност на самоизливу износила је од 4,6 до 16,6 l/s, са температуром воде 64 °C. Хемијски састав воде указује на релативно дуже задржавање термалних угљокиселих вода у кречњачким аквиферима и интеракцију воде са серпентинитом (јон  $Mg^{2+}$ ) и вулканитима ( $H_2S$ ,  $As$  и др.) (Протић, 1995).

Угљокиселе воде Доњих Левића и Луковске бање дренирају се из тектонских бреча претежно серпентинитског и карбонатног састава (слике 42 и 43), са блоковима различите крупноће и облика. Хидротермални раствори који су циркулисали дуж раседних структура вршили су хидротермалне измене на основним стенама и одлагали карбонатне, силикатне и сулфидне минерале по пукотинама и прслинама. Појаве ових вода могу се сматрати заосталим манифестацијама терцијарног вулканизма у области Копаоника. Пuteви миграције угљендиоксида, са дубина његовог генерисања, предиспонирани су активним и дисјуктивним тектонским структурама. На разматраној области путеви миграције угљендиоксида представљају војетински разлом и раседна структура штавске реке.

Геолошку основу ужих области разматраних угљокиселих вода изграђују стене дубоке мургулске раседне зоне: ултрамафити, мезозојски седименти и магматити дијабаз рожначке формације и палеозојски шкриљци ниског степена кристалинитета.

Угљокиселе воде Доњих Левића извиру у горњем сливу реке Топлице, у сливу Блажевске реке и реке Качаруше, а Луковске бање у сливу Штавске реке која, такође, припада сливу реке Топлице. Гравитациона сливна подручја ових река могу да се сматрају и границама области прихрањивања угљокиселих вода. Сложени геолошко – тектонски услови у овом подручју условљавају и сложеност контура зона инфилтрације атмосферских вода.

У области Доњих Левића угљокиселе воде се дренирају на десној обалској страни Блажевске реке, преко артеске бушотине издашности 1,6 l/s, чија је температуром воде 20,5 °C. На левој обалској страни реке Качаруше воде се дренирају преко две артеске бушотине издашности мање од 0,001 l/s, са температуром воде око 18 °C.

На изворишту Луковске бање угљокиселе воде се дренирају дуж линијске зоне на дужини око 400 m. Већа количина ових термалних вода се дренира преко извора који се јављају на левој и десној обалској страни реке и у самом кориту, док се знатно мања количина вода дренира преко више артеских бушотина. Издашност појединих извора износи од 0,01 до 8,0 l/s, са температуром воде 38-56 °C, док је издашност артеских бушотина од 0,2 до 3,5 l/s, а температура воде 45,2 – 63,1 °C. Хидростатички притисак на бунарима већи је од 0,5 – 1,0 бара (5-10 m изнад површине терена). По ранијим мерењима у Луковској бањи, укупна издашност термалних угљокиселих вода целе зоне износила је око 71 l/s (Миловановић, 1980), а по новим мерењима на свим регистрованим изворима и бунарима она износи до 20 l/s (Маринковић, 2011, фонд.докум.).

Утврђена апсолутна старост угљокиселих вода Доњих Левића износи до 50 година (Крстић, 1991, фонд. докум.), а Луковске бање од  $24.500 \pm 900$  година (Перић и Миливојевић, 1990, фонд. докум.). На основу старости, као и њихове могуће брзине и дубине залегања, удаљеност између области храњења и дренирања угљокиселих вода, може да износи максимално до 1 km за Доње Левиће, односно до 5 km за Луковску бању. Контуре области храњења су у сагласности са сливним подручјима површинских токова који граде слив Блажевске реке, реке Качаруше и Штавске реке.

Ниво регионалног дренирајућег базиса, који представља река Топлица на ушћу са Штавском реком, за област угљокиселих вода Луковске бање је на око 500 m надморске висине. Преко природних извора хидрогеолошке структуре ових вода се дренирају у интервалу надморске висине 650 – 754 m, а бунарима су каптиране до нивоа 450 – 550 m надморске висине. Запажа се да се највећа количинска измена угљокиселих вода одвија до нивоа регионалног дренирајућег базиса.

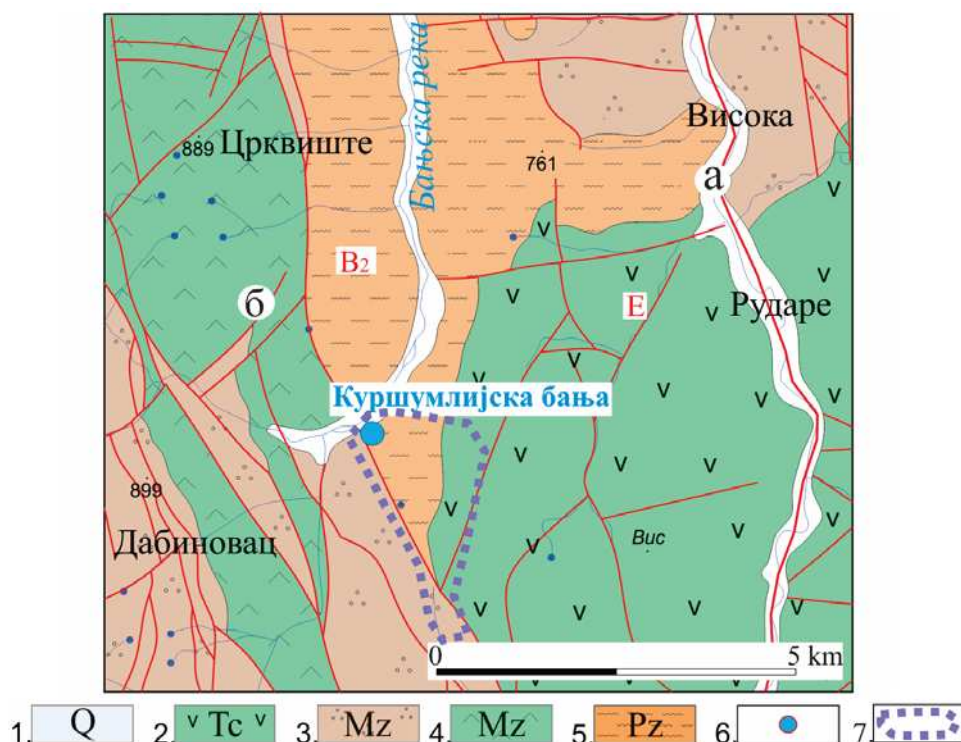
Угљокиселе воде Куршумлијске бање маркирају дубоку разломну зону Преполца (слика 43) на којој се сучељавају Вардарска зона и Српско-македонска маса. Хидрогеолошка структура угљокиселих вода залеже у зону контакта терцијарног Лецког вулканогеног масива, протерозојских кристалистих шкриљаца Бањске реке и мезозојских стена вардарског трога.

У ужем подручју бање избушено је више бушотина, којима је доказано да се транзит термалних вода до алувијалног наноса врши кроз веома порозну жицу андезита (Симић и други, 1996). У току бушења кроз андезите, регистроване су каверне и губици исплаке. Бушотинама дубине 168,5 m и 75,7 m набушене су терцијарне седиментно –



вулканске наслага моћности 40 – 50 m, а максимални приливи угљокиселих вода били су у базалном делу ових наслага. Бушотином кроз вулканске стене, захваћене су угљокиселе воде температуре 68 °С, у интервалу дубине 108 – 170 m. Издашност бунара износила је 20 l/s. Природни извори у бањи су пресушили. Геохемијски прорачуни на бази хемијског састава термоминералне воде индицирају некарбонатне аквифере. То упућује на претпоставку да су угљокиселе воде формиране у домену вулканогеног масива на истоку. Произилази да је формирање угљокиселих вода везано за дубоку разломну зону Преполца и пробоје младих вулканских стена.

Геолошку основу уже области Куршумлијске бање изграђују протерозојски кристаласти шкриљци Бањске реке, мезозојски седименти и вулканити преполачке зоне као и терцијарни вулканити и вулcano-седименте творевине (слика 43). Литостратиграфске јединице које покривају ове чврсте стене су квартарни седименти мале моћности.



Слика 43. Шематска хидрогеолошка карта области угљокиселих вода Куршумлијске бање (геолошка подлога по М. Малешевић и други, 1980)

Легенда: 1. водопрпусне невезане квартарне наслага; 2 и 4.. водопрпусне чврсте магматске стене, 3. практично водонепрпусне стене; 5. претежно водонепрпусне високометаморфне стене; 6. појава угљокиселе воде; 7. област прихрањивања угљокиселих вода, претпостављена; В<sub>2</sub> – кристаласти шкриљци Бањске реке, Е – лецки вулкански масив, а - дубока разломна зона Косаничке реке, б – дубока разломна зона Преполца.

Куршумлијска бања се налази у горњем сливу Бањске реке, десне притоке реке Топлице, чине је Доња бања и Горња бања. Доња бања је смештна у дну котлине код ушћа две мање реке које граде Бањску реку, а Горња бања, на левој нижој и блаже

нагнутој долињској страни Бањске реке, на речним терасама 6-14 m релативне висине. Угљокиселе воде температуре од 37 до 68 °C истичу у нивоу уске долине (+442 m надморске висине) са стрмим и релативно стрмим долињским странама. Укупна издашност бунара износи између 20 и 30 l/s.

По хемијском саставу угљокиселе воде су  $HCO_3 - Na$  типа, укупне минерализације 3,12 g/l, рН 7,1, са садржајем угљендиоксида до 0,4 g/l. У овим водама постоји повишен садржај сумпорводоника, до 4,0 mg/l.

Порекло угљокиселих вода је атмосферско. На основу утврђене апсолутне старости од  $24.000 \pm 900$  година (Перић и Миливојевић, 1990, фонд. док.ум.), утврђених брзина кретања и дубине залегања угљокиселих вода, закључује се да удаљеност између области храњења и дренажања угљокиселих вода може да износи максимално до 5 km. Прихрањивање се одвија у границама сливног подручја Бањске реке.

За област Куршумлијске бање, може се претпоставити да регионални дренажући базис представља ниво реке Топлице у подручју ушћа са Бањском реком. Између овог нивоа, на око 300 m надморске висине, и нивоа дренажања угљокиселих вода, формирана је хидродинамичка зона моћности веће од 120 m. Бунарима су каптиране угљокиселе воде на дубини до 200 m, што значи да се активна циркулација ових вода одвија испод нивоа регионалног дренажућег базиса. Циркулација је условљени пре свега добром пропусношћу вулканско – тектонских структура (добром хидрауличком везом између области храњења и дренажања).

У области Куршумлијске бање угљокиселе воде су формиране у базалном хоризонту терцијарних седиментно – вулканских стена и у разломној зони кроз шкриљце пробијене вулканитима.

Угљокиселе воде Киселе бање јављају се у зони укрштања дубоког интермитентног преполачког раседа са граштитчком дислокацијом (слика 44). Североисточни продужетак преполачког раседа маркирају угљокиселе воде Куршумлијске бање. Северозападни продужетак граштитчке дислокације маркирају угљокиселе воде Луковске бање, Доњих Левића и Врњачке бање, а југоисточни Клокот бање. Формирање граштитчке дислокације било је праћено хидротермалним растворима који су се кретали по овој дислокацији и били богати угљеном киселином (Вукановић, 1982). Кисела бања се налази на јужном ободу подујевског терцијарног басена. Угљокиселе воде истичу на два термална извора температуре 27 и 39,5 °C, и један хладни са температуром 14 °C.

На основу ученог линијског распореда појава Сијаринске бање – Туларске бање – Киселе воде – Гојбуље – Слатине - Љуште, по правцу И – З и запажања да постоје аналогни хидрохемијски услови код ових појава, могуће је претпоставити да се налазе на правцу једне активне разломне зоне. У домену вулканогеног масива Леца, таква структура би представљала продужетак дубоког дисјунктивног неотектонског туларско – оранског раседа, који се са Киселом бањом спаја преко Батлавске реке и јужне границе Подујевске потолине.



Слика 44. Шематска хидрогеолошких карта области угљокиселих вода Киселе бање, Гојбуље, Слатине и Љуште (геолошка основа по П. Богдановић и други, 1982, М. Вукановић и други, 1982).

Легенда: 1. водопрпусне невезане квартарне стене; 2. водопрпусне невезане или слабо везане преквартарне стене; 3. водопрпусне чврсте магматске стене; 4. практично водонепрпусне стене; 5. водопрпусне чврсте карбонатне стене; 6, 7 и 8. претежно водонепрпусне високометаморфне стене; 9. појава угљокиселе воде; 10. област прихрањивања угљокиселих вода, претпостављена; С<sub>1</sub> – косовски терцијарни басен; С<sub>2</sub> – терцијарни басен Подујева; D<sub>1</sub> – блок мезозојског комплекса; D<sub>2</sub> – терцијарни вулкански комплекс Копаоника; а – граштитичка дислокација, б – гравитациони расед; в – козаревски расед; г – козаревска антиклинала; д – ситнички расед; ђ- преполачки расед.

Угљокиселе воде се дренају на нивоу 560 m надморске висине. У односу на ниво регионалног дренајућег базиса, који овде представља ниво реке Лаб, истичу свега неколико десетина метара изнад. Из апсорбованог у слободно стање угљендиоксид се ослобађа практично у нивоу реке Лаб, што подстиче на веома активну циркулацију до тог нивоа. Повишена температура угљокиселих вода (39,5 °C), указује да угљокисела вода залеже више стотина метара испод нивоа регионалног дренајућег базиса.

Угљокиселе воде се прихрањују на рачун атмосферских вода. Област храњења се поклапа са гравитационим сливним подручјем река у чијем сливу се јављају угљокиселе воде.

Хладни извор угљокиселе воде (14 °C) издашности је 0,01 l/s. По хемијском саставу вода је  $HCO_3 - MgNaCa$  типа, укупне минерализације 1,14 g/l и рН 6,3. Термални извори

(27 и 39,5 °C) укупне издашности су до 1 l/s. По хемијском саставу ова вода је  $HCO_3 - NaMg$  типа, укупне минерализације 1,87 g/l, са садржајем угљендиоксида 0,77 g/l и са повишеним садржајем радијума 0,24 Bq/l.

Геолошку основу уже области Киселе бање изграђују мезозојски седименти, ултрамафити и палеозојски кристаласти шкриљци Копаоника, као и стене представљене терцијарним вулканитима (слика 44). У таквим условима угљокиселе воде могу да буду формиране у дубоким активним и дисјунктивним разломним зонама.

Угљокиселе воде Гојбуље и Слатине формиране су на прелазу између ров структуре косовског басена и антикиналне структуре Трепче (слика 44). Појаве маркирају и мање тектонске структуре правца пружања СИ – ЈЗ, којима су предиспонирани речни токови реке Проданче и Трстене (десне притоке Ситнице).

Најближа маркантна раседна структура јесте Ситнички расед који пролази долином Ситнице и Ибра, по правцу пружања СЗ – ЈИ. То је гравитациони расед који је био активан пре и после доњег миоцена. Дуж овог раседа постоје хидротермално промењене стене са слабијом минерализацијом. Као што је раније констатовано, линијски распоред појава Сијеринска бања – Туларска бања – Кисела вода – Гојбуља – Слатина - Љушта, може да указује на њихову припадност једној младој регионалној разломној зони, генералног правца пружања И – З. Ова тектонска структура би представљала продужетак активног дубоког и дисјунктивног туларско – орланског раседа, преко вулканогеног масива Леца.

Геолошку основу уже области угљокиселих вода Гојбуље и Слатине изграђују палеозојски кристаласти шкриљци са мермерима и терцијарни вулканити Копаоника. Дебљина слојева коју чине кристаласти шкриљци са мермерима износи до до 600 m. Ове стене су у долинама покривене квартарним седиментима.

Угљокиселе воде Слатине појављују се из метаморфита, на контакту са терцијарним седиментима (19 °C), док су угљокиселе воде Гојбуље откривене копаним бунаром у вулканским стенама (14 °C). Угљокиселе воде ове области прихрањују се на рачун атмосферских падавина које се инфилтрирају кроз тектонски ослабљене зоне у кристаласте шкриљце и вулканите, у границама сливних подручја реке Проданче и Трстене.

По хемијском саставу, угљокиселе воде Слатине и Гојбуље су  $HCO_3 - Na$  или  $NaCa$  типа, укупне минерализације од 2,19 до 2,71 g/l, рН 6,3, са садржајем угљендиоксида од

0,88 до 1,12 g/l, повишеним садржајем радона од 20 до 75,8 Bq/l и мало повишеним радијума 0,16 Bq/l и урана од 1 до 3,5 µg/l.

Угљокиселе воде Љуште јављају се на ободу хорст структуре косовског басена запуњеног терцијарним седиментима (слика 44). Формиране су у активној тектонској структури на пресеку са дубоким козаревским разломом меридијалног правца пружања. Дисјунктивна активност разломних зона условљена је неотектонским активностима козаревског раседа и косовске ров структуре. Козаревски расед је део зворничког дубинског раседа или зворничког шава, на коме су избиле велике масе офиолита и миоценских вулканита, док је у току доњег сенона дошло до стварања меланжа (Богдановић, 1978).

Угљокиселе воде Љуште истичу на десној долињској страни истоименог потока, на контакту серпентинита и мезозојских седимената. Издашност извора је око 0,01 l/s (Протић, 1995). Област прихрањивања ових вода у сагласности је са сливним подручјем потока. Инфилтрација атмосферских вода се одвија у области веома сложене геолошко – тектонске грађе којом се карактерише зона козаревског лабилног раседа и истоимене јако деформисане антиклиналне структуре изграђене од меланжа мезозојских стена.

Угљокисела вода, температуре 14,5 °C, по хемијском саставу је  $HCO_3 - NaMg$  типа, укупне минерализације 3,77 g/l, рН 6,7, са садржајем угљендиоксида 0,48 g/l и мало повишеним садржајем  $Ra$  0,19 Bq/l.

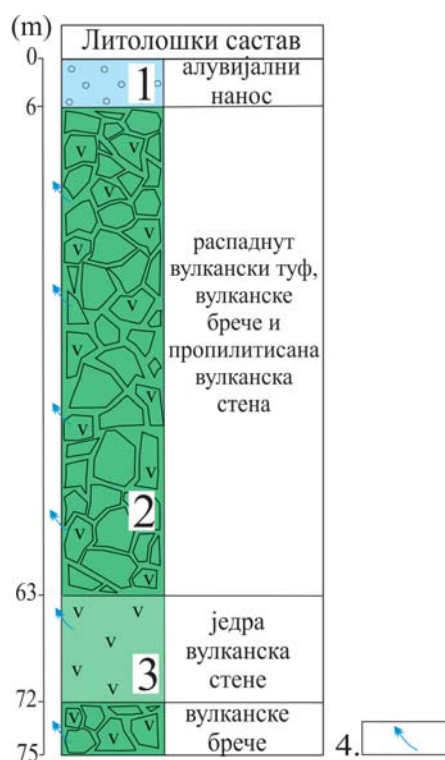
Граштитчка дислокација припада познатој дубокој разломној зони Врњачка бања - Плеш – Радманово. На њој се у домену терцијарних вулканита јављају угљокиселе воде Клокот бање, Житиња, Баланца, Понеша, Гумништа, Носаља и Могила. Угљокиселе воде су везане за уздужне дислокације правца пружања СЗ – ЈИ (слика 46), дуж којих се одвијао вулканизам клокотског вулканогеног комплекса. Такође су везане и за попречне раседне системе по којима је формирана тектонска депресија (Миловановић, 1985, фонд. док. док.). Литостратиграфски и структурно-тектонски односи у овој области коначно су обликовани реверсним лонгитудиналним раседима, попречним гравитационим раседима (по којима је спуштен тектонски ров) и вулканским пробојима трахита.

Геолошку основу уже области изграђују палеозојски шкриљци са мермерима и гранитоидима, мезозојски седименти и магматити (габро, дијабази) и терцијарни

вулканити. Ове чврсте стене су покривене терцијарним и квартарним седиментима биначко – моравског тектонског рова.

У ужој околини Клокот бање избушено је више бушотина. Најдубљом бушотином (S-4), дубине 75 m, каптиране су угљокиселе воде у трахитима и трахитским бречама (10 l/s, 32 °C) (слика 45).

Хидрогеохемијске карактеристике угљокиселих вода индицирају да су кречњаци главни аквифери, који се у басену налазе на већој дубини, што је констатовано на основу вредности коефицијента  $Mg/Ca$  0,49 и повишеног садржаја  $Ca^{2+}$  (150 mg/l) (Протић, 1995). Исти аутор је констатовано да постоји веза и са вулканитима, на основу повишеног садржаја силиције (126 mg/l) у неким бушотинама.



Слика 45. Литолошко – хидрогеолошки профил бушотине у Клокот бањи

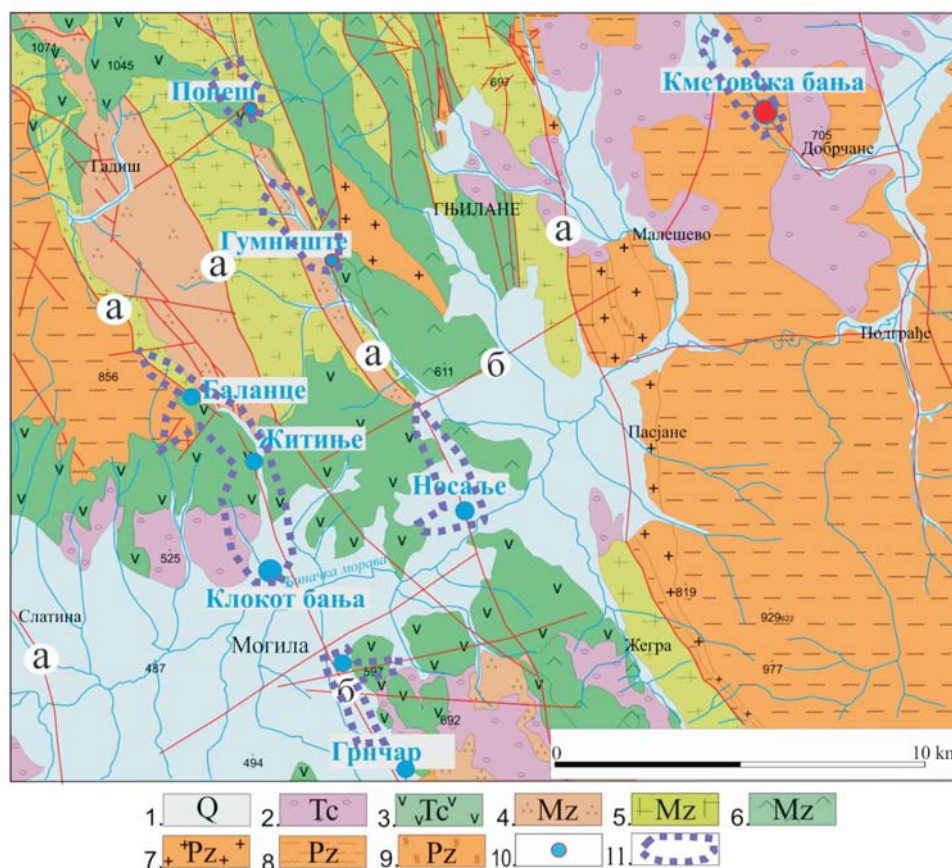
Легенда: 1. водопропусне неvezане квартарне стене; 2. добро водопропусне вулканске стене; 3. слабо водопропусне чврсте вулканске стене; 4. зона истицања угљокиселих вода.

Код појаве Житиње ( $Q = 0,3$  l/s,  $t = 20,5$  °C), избушена је бушотина дубине 200 m (Филиповић и други, 1980), кроз трахите и карбонатне стене (мермере) у оквиру шкриљаца. Издашност од 15 l/s временом је смањена, а температура воде 28,1 °C. Ужу околину изграђују терцијарни вулканити са већим масама одложеног бигра.

Ужу околину појаве Понеш ( $Q = 0,03$  l/s,  $t = 13$  °C) и Гумниште ( $Q = 0,05$  l/s,  $t = 11$  °C) изграђују палеозојски шкриљци са мермерима и калкшистима, као и мезозојски



седименти, а откривене су и масе гранитоида (Протић, 1995). Околину Клокот бање, изграђују палеозојски шкриљци који су прекривени мезозојским седиментима, терцијарним вулканитима и квартарним творевинама. У бањи постоји неколико природних извора ( $t = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) са дифузним истицањима на већем простору у алувијалном наносу (Леко и други, 1922). Појава Баланце ( $Q = 0,05\text{ l/s}$ ,  $t = 11\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) јавља се из шкриљаца, а јужније широко распрострањење имају терцијарни вулканити. Околину појаве Носаље ( $Q = 0,2\text{ l/s}$ ,  $t = 13\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) изграђују терцијарни вулканити, а појаве Грнчар ( $Q = 0,2\text{ l/s}$ ,  $t = 11\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) палеозојски шкриљци и терцијарни вулканити.



Слика 46. Шематска хидрогеолошка карта области угљокиселих вода Клокот бање, Баланца, Житиња, Носаља, Грнчара и Кметовске бање (геолошка основа по А. Павић и други, 1983)

Легенда: 1. водопропусне неvezане квартарне кластичне насlage; 2. водопропусне неvezане и слабо vezане преквартарне кластичне насlage, 3 и 6. водопропусне чврсте стене, 4. практично водонепропусне стене, 5. водопропусне чврсте карбонатне стене, 7, 8 и 9. претежно водонепропусне високометаморфне и интрузивне стене; 10. појава угљокиселе вода, 11. област прихрањивања угљокиселих вода, претпостављена; а – реверсни раседи; б – попречни гравитациони раседи.

Угљокиселе воде Клокот бање и других разматраних појава јављају се у горњем сливу Биначке Мораве, односно у гравитационом сливном подручју биначко – моравског тектонског рова. Област прихрањивања ових вода у сагласности је са сливним

подручјима мањих површинских токова у чијим сливовима се оне и јављају (Житињска река, Грнчарица и др. ).

Дренирање угљокиселе воде Клокот бање одвија се у широкој тектонској потолини на 483 m надморске висине, из слојева и хоризоната угљокиселих вода формираних у квартарним седиментима. Бушотинама су каптиране угљокиселе воде у домену вулканских стена екранираних алувијалним наносом (10 l/s). Код појаве Житиње, угљокиселе воде се дренирају на извору издашности 0,3 l/s (20,5 °C), и преко бушотине дубине 200 m издашности мање од 15 l/s (28,1 °C). Остале разматране појаве, које се јављају на 475 – 620 m наморске висине, дренирају се преко извора мале издашности, мање од 0,05 до 0,2 l/s, са температуром воде до 11 – 13 °C.

Угљокиселе воде Клокот бање и других разматраних појава су по хемијском саставу најчешће  $HCO_3 - Na$ , ретко  $Ca$  или  $Mg$  типа, укупне минерализације до 3,15-5,12 g/l, pH 6,4-6,7, са садржајем угљендиоксида до 1,05-1,57 g/l и често са повишеним садржајем радиоактивних елемената, урана од 1 до 4  $\mu\text{g/l}$ , радијума од 0,18 до 0,24 Bq/l или радона од 24 до 196 Bq/l.

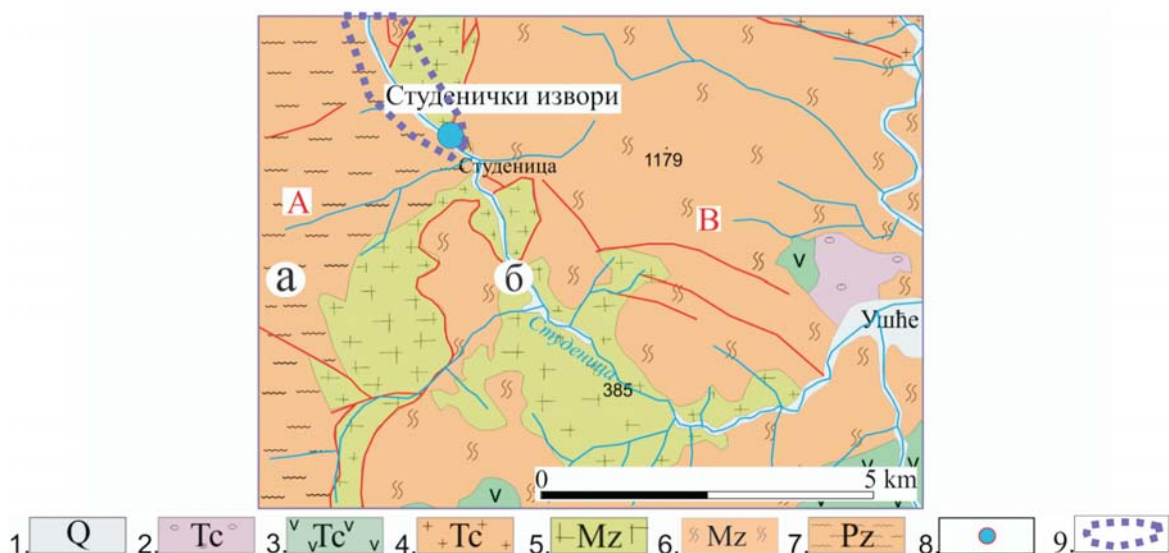
За област разматраних угљокиселих вода регионални дренирајући базис, на 450 m надморске висине, представља ниво реке Биначке Мораве на излазном профилу из тектонске потолине. Између овог нивоа и нивоа дренирања угљокиселих вода, формирана хидродинамичка зона моћности је од 25 до 175 m.

Угљокиселе воде Кметовске бање јављају се дуж трасе раседа и пукотина у метаморфитима који изграђују основу терена. Постоји већи број извора, од којих је главни (Кисела вода) каптиран (1,0 l/s, 27 °C) (Марковић, 1980, фонд. докум.). Низводније, у домену басена Стрезовице, постоје плитки копани бунари са хладном водом. Зона у којој се јављају угљокиселе воде маркира раседну структуру између гњиланске потолине и басена Стрезовице (слика 46).

Истицања угљокиселих вода везана су за тектонске структуре које залежу кроз кристаласте шкриљце са значајним учешћем карбонатних стена. Дренирају се у виду разбијеног изворишта у долини истоимене реке, на око 540 m надморске висине. Главни извор је „Кисела вода“, са температуром воде 27 °C и издашности 1,0 l/s. Низводније од овог изворишта, угљокиселе воде су каптиране плитким копаним бунарима. По хемијском саставу су  $HCO_3 - CaMg$  типа, укупне минерализације 2,77 g/l и pH 6,3.



Угљокиселе воде Студеничког извора маркирају истоимени разлом који граничи ултрамафутски комплекс са моноклиналом Радочела и Чемерна (слика 47). Геолошку основу уже околине изграђују палеозојски кристаласти шкриљци са мермерима, ултрамафитима, мезозојским седиментима и терцијарним вулканитима и гранитоидима. Дуж разлома, пружања ЗСЗ – ИЈИ, јављају се већи пробоји вулканита (Урошевић и други, 1973). Блок Чемерна изграђен је од кристаластих шкриљаца и мањих гранитних тела, који као целина представљају кровинске делове гранитоидног плутона. Јужније, у истакнутим деловима рељефа Голије, ерозијом је откривен гранитоид. Везу угљокиселих вода са гранитоидним интрузивом потврђује и висок садржај радијума од 1,4 Вq/l и повишен садржај радона 40,1 Вq/l. Ултрамафитски комплекс са суседним формацијама готово увек је у тектонском контакту, а у самом комплексу тектонским процесима је створена шкриљавост и веће руптурне форме.



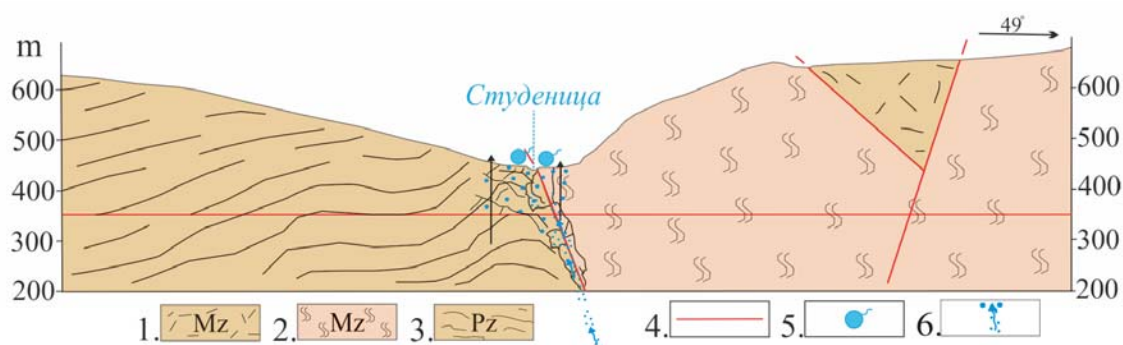
Слика 47. Шематска хидрогеолошка карта области угљокиселих вода Студеничког извора (геолошка основа по М. Урошевић и други, 1973)

Легенда: 1. водопрпусне невезане квартарне кластичне наслаге. 2. водопрпусне невезане и слабо везане преквартарне наслаге, 3. водопрпусне чврсте стене 4, 6 и 7. претежно водонепрпусне високометаморфне и интрузивне стене; 5. водопрпусне чврсте карбонатне стене, 8. појава угљокиселих вода; 9. област прихрањивања угљокиселих вода, претпостављена; А – палеозојски шкриљци моноклинала Радочела и Чемерна; В – ултрамафитски комплекс; а – блок Чемерна; б – разлом Студенице.

Код два природна извора (0,5 l/s, 16 °C) избушено је више бушотина дубине до 141 m, кроз серпентините и мермере (Крстић, 1989, фонд. док.ум.). Каптирана је угљокисела вода температуре 18 °C.

Угљокиселе воде су формиране у домену међублоковске разломне зоне реке Студенице, у којој се смеђују серпентинитске и карбонатне стене у различитом степену испуцалости. Квартарне творевине су мале дебљине.

Разломна зона Студенице представља међублоковску тектонску структуру, дуж које су вршена хоризонтална кретања (500 m). Да се ради о дубокој активној и међублоковској разломној зони могуће је закључити на основу појаве вулканита на ЗСЗ продужетку разломне зоне, а повишена радиоактивност указује на везу угљокиселих вода са гранитоидима. Саме појаве угљендиоксида у разломној зони је такође један од индикатора дубоке активности. Исто тако, хемијски тип воде ( $HCO_3 - Na$ ) и низак садржај магнезијума, указују да се коначно формирање хемијског састава ових вода не одвија у контакту са серпентинитима који изграђују источни блок (слика 48).



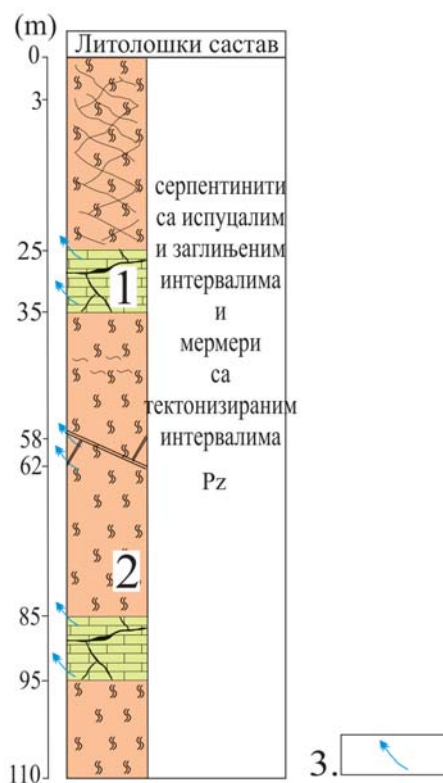
Слика 48. Шематски хидрогеолошки профил области угљокиселих вода Студенице (В. Чанић, 2009., фонд. докум., допуњено)

Легенда: 1 и 3. практично водонепропусне стене; 2. претежно водонепропусне високометаморфне и интрузивне стене; 4. ниво регионалног дренарајућег базиса; 5. зона истицања угљокиселих вода; 6. правац миграције угљендиоксида.

Прихрањивање угљокиселих вода одвија се првенствено дуж тектонски ослабљених линијских зона. Атмосферске падавине се инфилтрирају директно и индиректно преко површинских токова. Контуре области прихрањивања су у сагласности са гравитационим сливним подручјем реке Студенице. Дренарање ових хидрогеолошких структура одвија се дифузно у линијским зонама, тамо где разломна зона сече долину реке Студенице. Вештачки се дренарање одвија преко бунара из серпентинитских и карбонатних испуцалих стена, на интервалу дубине 25 – 107 m, односно 425 – 343 m надморске висине (слике 48 и 49).

Хладна угљокисела вода Студенице је  $HCO_3 - Na$  типа, укупне минерализације 2,51-2,58 g/l и рН 6,5. Угљендиоксид се садржи до 0,92 g/l, а од радиоактивних елемената повишен је садржај радијума 1,4 Bq/l и мало повишен радон 40,7 Bq/l.

За хидрогеолошке структуре разматраних угљокиселих вода регионални дренажући базис представља река Ибар, на 350 m надморске висине. Угљокиселе воде се дренажују у интервалу дубине 450 - 343 m надморске висине. Овај интервал дренажања, у односу на ниво регионалног дренажућег базиса, припада хидродинамичкој зони у којој постоје услови за одвијање активне циркулације угљокиселих вода. Међутим, слаба издашност извора и набушених пукотинских система указују да постоје већи хидраулички отпори између области храњења и дренажања, и самим тим, да се у том погледу не може очекивати да се активна циркулација у овим структурама одвија до веће дубине.



Слика 49. Литолошко – хидрогеолошки профил бушотине Б–3 на изворишту угљокиселих вода Студенице (В. Чанић, 2009., фонд. докум., допуњено)

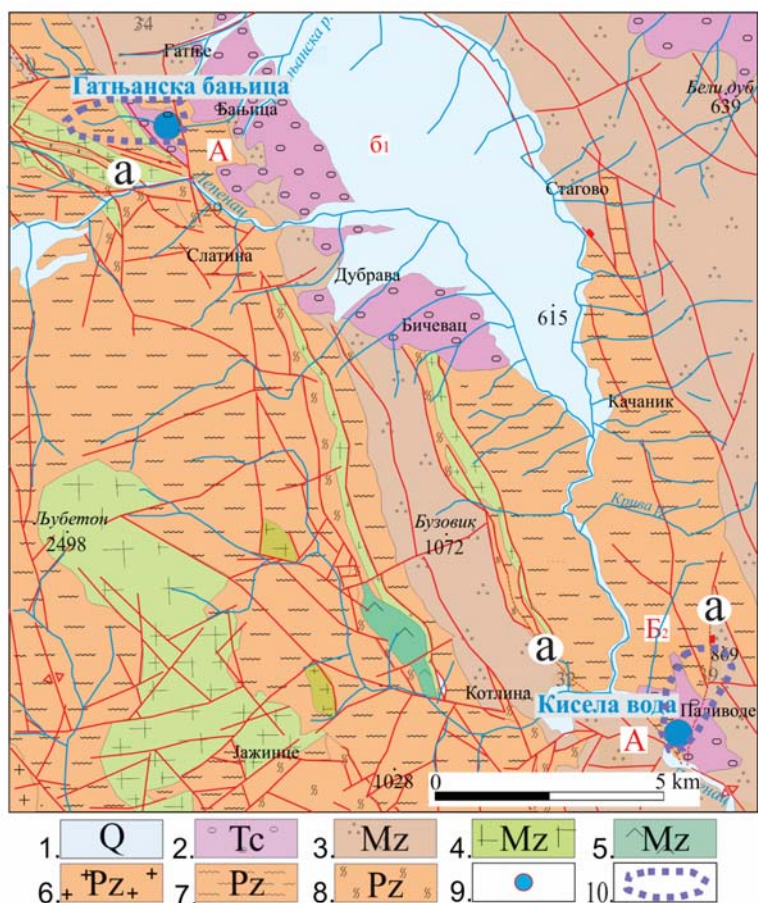
Легенда: 1. водопропусне чврсте карбонатне стене; 2. претежно водонепропусне високо метаморфне стене; 3. зона истицања угљокиселих вода.

Угљокиселе воде код Гатњанске бањица (0,1 l/s, 9 °C) и Киселе воде (0,6 l/s, 15 °C) (као и Поклек) маркирају дубоку Дринско – ивањичку разломну зону (СЗ - ЈИ), која чини границу са Вардарском зоном. Формирање угљокиселих вода везано је за дубоку разломну зону Дринско – ивањичког елемента и међублоковске тектонске структуре у ободу Косовског басена и блока мезозојских метаморфита Качаничке зоне (слика 50).

Метаморфни комплекс геолошке основе у овом подручју је тектонски јако деформисан раседима, навлакама и набирањима. Дуж разломне зоне су изнесени серпентинити или

су преко кредних творевина навучени метаморфити. Угљокиселе воде истичу из палеозојских метаморфита (Протић, 1995). Чврсте стене геолошке основе покривају преквартарне и квартарне наслаге.

Угљокиселе воде Гатњанске бањице дренажу се из палеозојских метаморфита у изворишној зони истоимене реке, а Киселе воде такође из метаморфита у левој обали реке Лепенац (слика 51). Порекло угљокиселих вода је атмосферско.



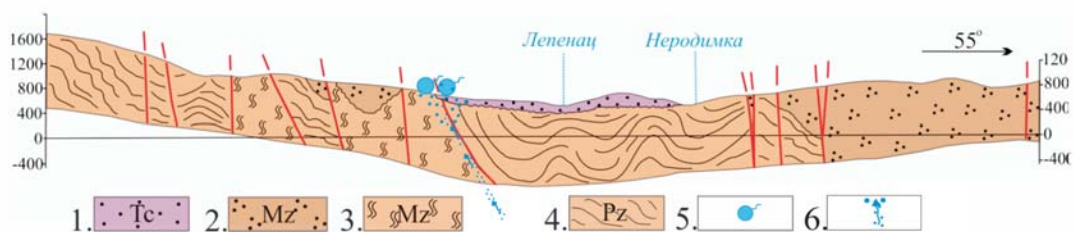
Слика 50. Шематска хидрогеолошка карта области угљокиселих вода Гатњанске бањице и Киселе воде (геолошка основа по А. Павик и други, 1985)

Легенда: 1. водопусне неvezане квартарне наслаге, 2. водопусне слабо vezане и неvezане преквартарне наслаге; 3. практично водонепропусне стене; 4. пропусне чврсте карбонатне стене, 5. водопусне чврсте стене; 6, 7 и 8 претежно водонепропусне високометаморфне и интрузивне стене, 9. појава угљокиселе воде; 10. област прихрањивања угљокиселих вода, претпостављена. А – Шарска област;, Б<sub>2</sub> – Качаничка зона, б<sub>1</sub> – косовски басен; а – разломна зона.

По хемијском саставу угљокиселе воде су  $HCO_3 - Ca$ , односно  $MgCa$  типа, укупне минерализације 2,54-3,94 g/l, рН 6,4 - 6,6 са садржајем угљендиоксида до 0,53 - 1,76 g/l и мало повишеним садржајем урана до 1,2-2,0  $\mu$ g/l. Угљокиселе воде Гатњанске бањице са температуром воде од 9 °C припадају најхладнијим угљокиселим водама Србије.



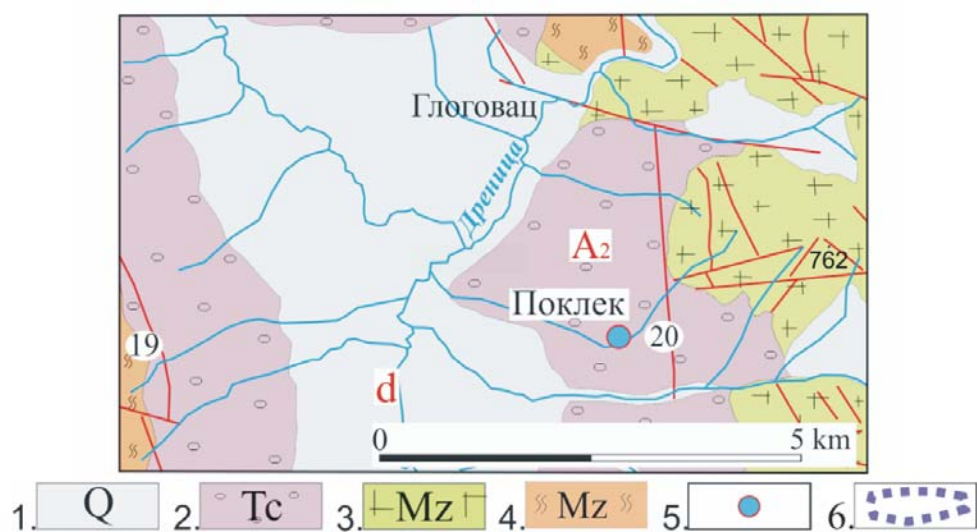
Мала издашност хидрогеолошких структура, 0,1 – 0,6 l/s, указује на њихову слабу пропусност и на слабу хидрауличке везе између области храњења и дренажања. Ако се узму у обзир и температуре угљокиселих вода (9 – 15 °C), јасно је да се дубина активне циркулације може очекивати до највише 100 – 150 m дубине.



Слика 51. Шематски хидрогеолошки профил области угљокиселих вода Гатњанске бањице (геолошка основа по А. Павик и други, 1985)

Легенда: 1. водопропусне слабо везане и неvezане преквартарне стене; 2. практично водонепропусне стене; 3 и 4. претежно водонепропусне високометаморфне стене; 5. зона истицања угљокиселих вода; 6. правац миграције угљендиоксида.

Угљокиселе воде код Поклека (1,0 l/s, 13,5 °C) маркирају глоговачку раседну зону која сече обод Дреничког басена (слика 52). Ову велику разломну зону пресеца више млађих тектонских структура правца пружања приближно И -З. Минерална вода се појављује на контакту мезозојских седимената и палеозојских шкриљаца.



Слика 52. Шематска хидрогеолошка карта области угљокиселих вода код Поклека (геолошка основа по Ч. Лончаревић, 1980)

Легенда: 1. водопропусне неvezане квартарне наслагае; 2. водопропусне слабо везане и неvezане преквартарне наслагае; 3. прупусне чврсте карбонатне стене 4. претежно непропусне високометаморфне стене; 5. појава угљокиселе воде; 6. област прихрањивања угљокиселих вода, претпостављена; A<sub>2</sub> – Вардарска зона; d – дренички басен; 19 – биначка раседна зона; 20 – глоговачка раседна зона.

Геолошку основу уже области изграђују ултрамафити, мезозојске карбонатне и друге седиментне стене. Покривају их терцијарне и квартарне творевине дреничког седиментог басена.

Угљокиселе воде су везане за тектонску структуру која ограничава басен Дренице. Мрежа раседних структура у овој области карактерише блоковску грађу геолошке основе.

Угљокиселе воде се прихрађују на рачун атмосферних падавина, које се директно инфилтрирају на подручју откривене геолошке основе дуж ослабљених разломних зона. Индиректно се инфилтрирају преко површинских токова и граничних водоносних средина. Воде су хладне, са температуром 13,5 °С. Дренирају се у долини реке Дренице, на контакту терцијарних седимената са палеозојским шкриљцима (Протић, 1995). Извор је издашности 1,0 l/s. Контуре области прихрађивања су по свему у сагласности са гравитационим сливним подручјем реке Дренице.

По хемијском саставу угљокисела вода је  $HCO_3 - Mg$  типа, укупне минерализације 3,9 g/l, рН 6,4, са садржајем угљендиоксида до 1,57 g/l и повишеним садржајем радијума 0,23 Bq/l.

#### **4.5. Угљокиселе воде Дринско – ивањичког елемента**

У домену геотектонске јединице Дринско – ивањичког елемента, угљокиселе минералне воде се јављају у планинској области Голије (Рајчиновића бања, Дежева, Слатински кисељак и Прилички кисељак). Распрострањене су у сагласности са меридијалним пружањем ове геотектонске јединице. Ове угљокиселе воде су генетски везане за терцијарни магматизам (вулканите, гранитоидне интрузиве), кристаласте шкриљце са карбонатним стенама и активне тектонске структуре (слика 53). По хемијском саставу су  $HCO_3 - Na$  типа, са температуром од 12 до 42 °С, са садржајем угљендиоксида од 0,88 до 1,5 g/l. Минерализација ових вода је од 3,0 до 8,18 g/l, одликују се повишеним садржајем сумпорводоника до 9,7 mg/l и радиоактивних елемената урана до 1,3-1,7 g/l, радијума до 0,67 – 1,18 Bq/l и радона до 37 - 210 Bq/l. Издашност извора и бушотина је мала, од мање од 0,1 до максимално 0,2 l/s.

Угљокиселе воде Рајчиновића бање, Дежеве и Слатинског кисељака маркирају раседне структуре (СЗ – ЈИ, СИ - ЈЗ) којима су предиспонирани површински токови у горњем сливу реке Рашке (слика 53). Шире посматрано, налазе се на правцу регионалне разломне зоне Јошевик – Бањска бања – Новопазарска бања – Дежева.

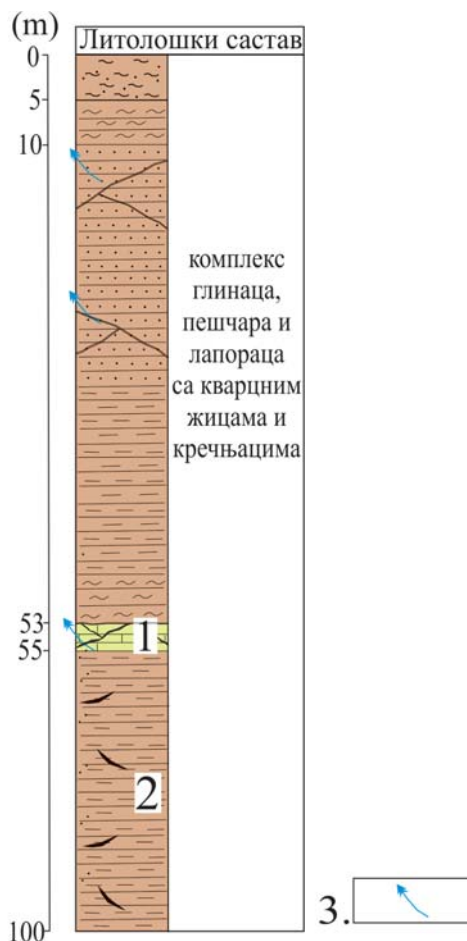


Слика 53. Шематска хидрогеолошких карта области угљокиселих вода Рајчиновића бање, Слатине и Дежеве (геолошка подлога по С. Мојиловић и други, 1980)

Легенда: 1. водопропусне невезане квартарне насlage, 2. водопропусне чврсте стене 3. практично водонепропусне стене; 4. водопропусне чврсте карбонатне стене; 5. претежно водонепропусне високометаморфне стене; 6. појава угљокиселе воде; 7. област прихрањивања угљокиселих вода, претпостављена; А<sub>1</sub> – палеозојске и мезозојске творевине, А<sub>2</sub> – горњи комплекс мезозојских и терцијарних стена, А<sub>3</sub> – мезозојске карбонатне стене.

У рејону Дежеве (локалност Врановина) избушене су две бушотине дубине до 100 m, кроз комплекс глинаца, пешчара и лапораца са кварцним жицама и кречњацима (слике 54 и 55). Извор и самоизлив из бушотине издашности су мање од 0,1 l/s. Воде су хладне са температуром до 12 - 13 °C.

Угљокисела вода Слатинског кисељака (0,03 l/s, 13 °C) извире из пукотина кристалстих шкриљаца Дринско-ивањичког елемента, у северном подножју Врачевца (1042 mпv) (Протић, 1995). Код овог извора постоји бушотина дубине 100 m са самоизливом од 0,04 l/s. Бушотина је изведена кроз графитичне шкриљце са интеркалацијама кварцита (Ђаловић и Керановић, 1986, фонд. докум.).

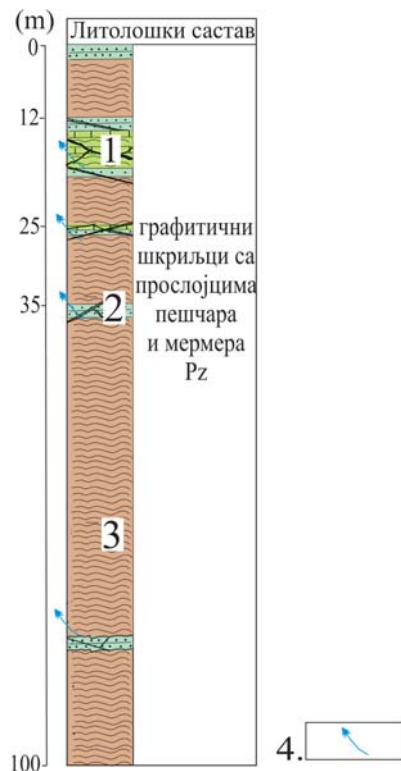


Слика 54. Литолошко – хидрогеолошки профил бушотине ВВ– 1 на локалности Врановине (П.Ђаловић и М.Керановић, 1986, допуњено)

Легенда: 1. водопропусне чврсте карбонатне стене; 2, практично водонепропусне ниско метаморфне стене; 3. зона истицања угљокиселих вода.

Угљокиселе воде Рајчиновића бање, термалне и хладне, налазе се у граничној зони Дринско-ивањичког елемента и Вардарске зоне. Ови извори су сличног хемијског састава, што дозвољава да се претпостави да воде порекло из исте хидрогеолошке структуре (Протић, 1995). Угљокиселе воде се дренирају у долини истоименог потока, преко извора и бушених водазахвата. Са више плитких бушотина, којима су каптиране угљокиселе воде у мезозојским седиментима, постигнута је укупна издашност од 1,9 l/s, а најбољи резултати су постигнути бушотином издашности 1,44 l/s и температуром воде од 40,3 °С.





Слика 55. Литолошко – хидрогеолошки профил бушотине Rb– 7 у Рајчиновића бањи (П.Ђаловић, 1986, допуњено)

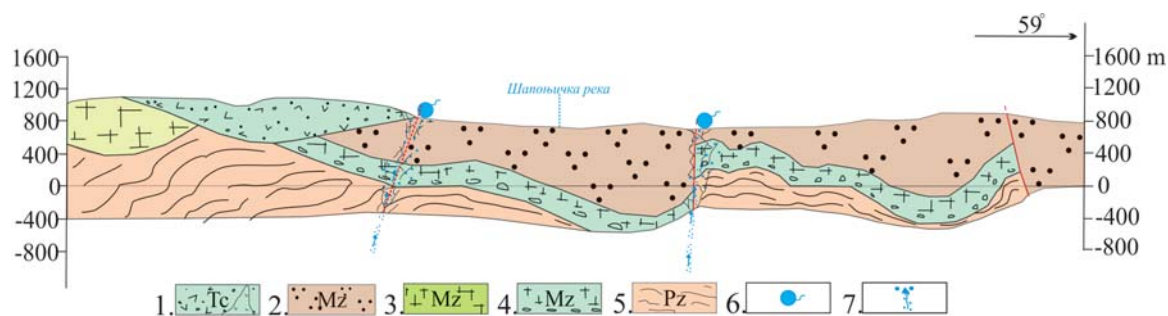
Легенда: 1. водопропусне чврсте карбонатне стене, 2. водопропусне чврсте стене, 3, практично водонепропусне ниско метаморфне стене; 4. зона истицања угљокиселих вода.

Геолошку основу уже околине извора изграђује комплекс мезозојских седимената и палеозојских кристаластих шкриљаца које граничи раседна структура и терцијарне вулканске стене (слика 56). Температура угљокиселих вода из бушотина износи до 38-42 °C. Бушотинама дубине до 350 m пробушен је комплекс мезозојских седимената (флиша) до подине коју изграђују кристаласти шкриљаци (Протић и Ђаловић, 1979, фонд. докum.). У оквиру мезозојских седимената не могу се очекивати значајније издани термоминаралних вода (Протић, 1995).

Угљокиселе воде су везане за тектонске структуре које залежу у геолошку основу коју изграђује терцијарни вулканогени комплекс и палеозојски метаморфни комплекс са мермерима. Повлату ових стена чини комплекс мезозојских седиментата. На одређеној дубини очекује се присуство терцијарног гранитоидног интрузива Голије. Квартарни седименти су мале дебљине.

Угљокиселе воде се прихрањују на рачун атмосферских падавина. Области прихрањивања су у сагласности са сливним подручјима река у чијим сливовима се јављају угљокиселе воде.

Може се закључити да су хидрогеолошке структуре разматраних угљокиселих вода слабе пропусности, да између области храњења и дренажа постоје велики хидраулички отпори и да све то условљава мање дубине до којих се одвија активна количинска измена.



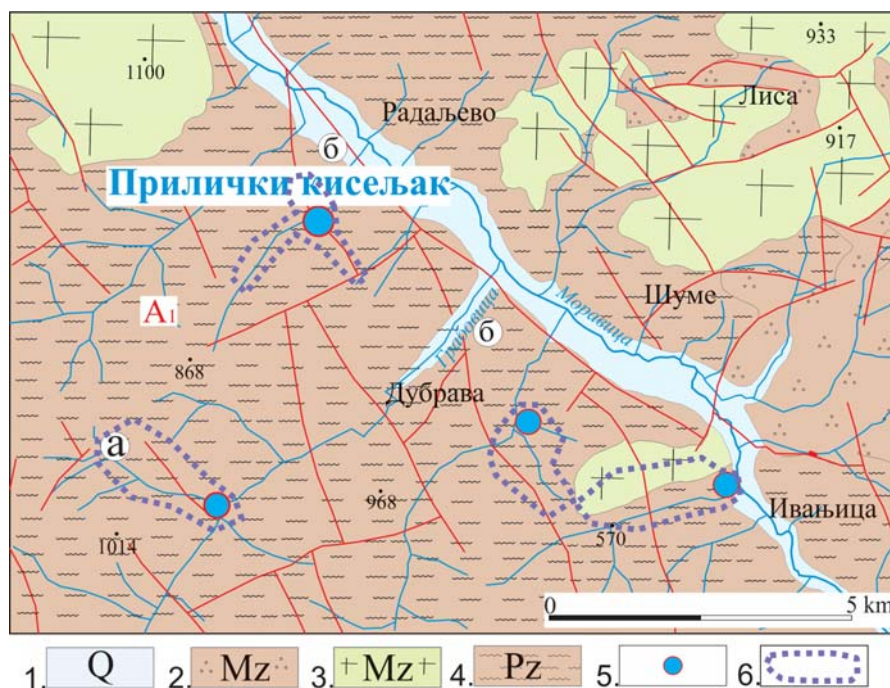
Слика 56. Шематски хидрогеолошки профил области угљокиселих вода Дежеве и Рајчиновић бање (геолошка подлога по С. Мојсиловић, 1980).

Легенда: 1 и 4. водопропусне чврсте стене, 2. практично водонепропусне стене, 3. водопропусне чврсте карбонатне стене, 5. претежно водонепропусне високометаморфне стене; 6. зона истицања угљокиселих вода; 7. правец миграције угљендиоксида.

Угљокиселе минералне воде Приличког кисељака јављају се на простору изграђеном од палеозојских шкриљаца Дринско – ивањичког елемента. Осим главног извора познати су извори Буковице, Церовца и извор у обали Моравице код Ивањице. Извори су издашности до 0,2 l/s са температуром воде од 12 – 16 °C (Протић, 1995). У оквиру широке разломне зоне Моравице (Брковић и други, 1977) угљокиселе воде маркирају раседне структуре мањих размера.

Геолошку основу ужег простора ових угљокиселих вода изграђују палеозојски шкриљци и мезозојски седименти, који судуж речних долина покривени квартарним наслагама (слика 57).

Шездесетих година прошлог века, у области Приличког кисељака, избушена је бушотина дубине 43 m, а седамдесетх још 5 бушотина, дубине 50 – 200 m (Вилимоновић, 1980). Већина бушотина је имала самоизлив, издашности до 0,2 l/s. На периферији Ивањице, у Ратковцу, осамдесетих година је избушена бушотина дубине 240 m са самоизливом од 0,15 l/s. По подацима Д.Протића (1995), истражне бушотине су у целини бушене кроз палеозојске кристаласте шкриљце Дринско-ивањичког елемента. Исти аутор сматра да истраживањима нису постигнути задовољавајући резултати, али да се у дубљим нивоима могу очекивати аквифери у мермерима и калкшистима.



Слика 57. Шематска хидрогеолошка карта области угљокиселих вода Приличког кисељака (геолошка подлога по Т. Брковић и други, 1977).

Легенда: 1. водопропусне невезане квартарне насlage; 2 и 4. практично водонепропусне стене; 3. водопропусне чврсте карбонатне стене 5. појава угљокиселе воде; 6. област прихрањивања угљокиселих вода, претпостављена; А<sub>1</sub> – кристалисти шкриљци Дринско-ивањичког елемента; а – југозападно крило антиформе Ивањице; б – разломна зона Моравице.

Угљокиселе воде су везане за дубоку и широку разломну зону Моравице која залеже у палеозојске кристаласте шкриљце. На ширину ове разломне зоне указује распрострањење извора угљокиселих вода, а на дубоко залегање- указује појава угљендиоксида.

Угљокиселе воде Приличког кисељака и других поменутих извора, јављају се у сливу реке Моравице и њених мањих левих притока. Прихрањују се на рачун атмосферских падавина, директно и индиректно преко површинских токова. С обзиром на то да геолошку основу изграђују претежно непропусне стене, инфилтрација атмосферских вода се одвија дуж тектонски ослабљених зона које су маркиране угљокиселим водама. Дренарање угљокиселих вода одвија се преко извора и бунара мале издашности, до 0,2 l/s. Њихова укупна издашност са самоизливом не прелази 1,0 l/s.

Бунари су у целини бушени кроз шкриљце. Угљокиселе воде се дренарају на надморској висини изнад 500 m. Регионални дренарајући базис се налази на око 400 m и представља ниво реке Моравице на излазном профилу ниско метаморфних шкриљаца. Тако је формирана хидродинамичка зона, моћности веће од 100 m, у којој постоје услови за активне процесе циркулације угљокиселих вода.

#### 4.6. Угљокиселе воде Офиолитског појаса

Угљокиселе воде ове геотектонске јединице (Дубово, Пећка бања и Дечански кисељак) формиране су у домену мезозојских и палеозојских стена на ободу метохијске потолине запуњене терцијарним и квартарним седиментима. Везане су за активне тектонске структуре које условљавају блоковску грађу геолошке основе ове области (Станић и други, 1994). По хемијском саставу, угљокиселе минералне воде Дубова, Пећке бање и Дечанског кисељака су  $HCO_3 - NaCaMg$  или  $CaMg$  типа, укупне минерализације до 1,45 – 2,04 g/l, рН 6,3 – 6,8, са садржајем угљендиоксида 0,49 – 0,84 g/l, повишеним садржајем радијума 0,37 Bq/l (Пећка б.) и мало повишеним садржајем урана 3,8  $\mu$ g/l.

Угљокиселе воде код Дубова (0,02 l/s, t = 14 °C), Пећке бање (> 4 l/s, t = 11-48 °C) и Дечанског кисељака (укупно 30 l/s) маркирају раседне структуре у западном ободу метохијске тектонске потолине (слика 58). Истражним бушотинама су у овој области регистровани елементи руптурне тектонике и констатовани блокови знатног померања (Мојсиловић и Баклаић, 1981). Дубоку метохијску котлину ограничавају активне тектонске структуре.



Слика 58. Шематска хидрогеолошка карта области угљокиселих вода Дубова и Пећке бање (геолошка основа по С. Мојсиловић и Д. Баклаић, 1984)

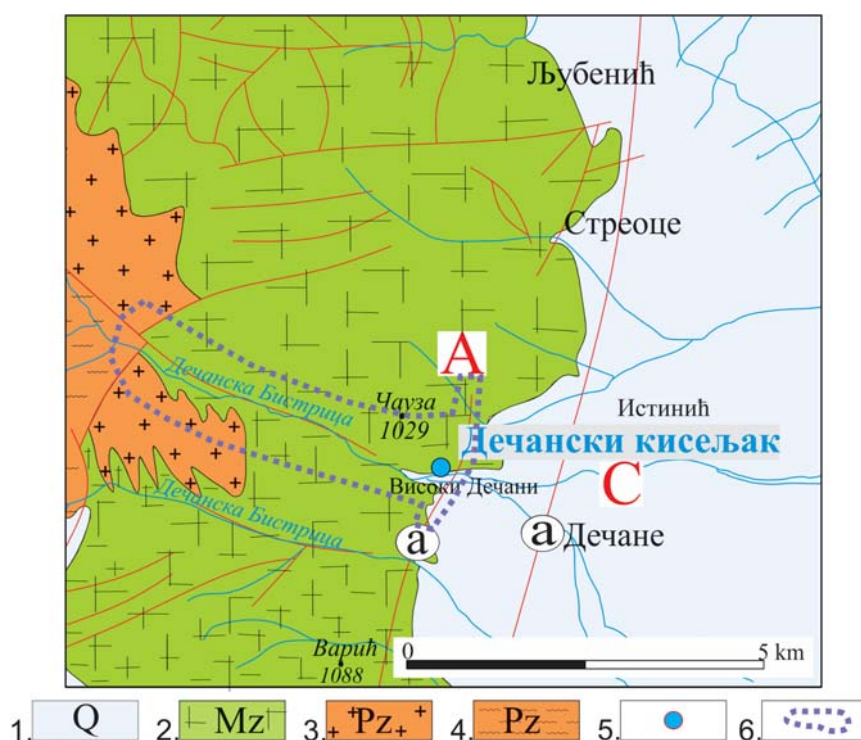
Легенда: 1. водопрпусне невезане квартарне наслаге; 2. водопрпусне слабо везане и невезане преквартарне наслаге; 3. водопрпусне чврсте карбонатне стене 4. појава угљокиселе воде; 5. област прихрањивања угљокиселих вода, претпостављена; С – мезозојски седименти; D – метохијска тектонска потолоина.



У пределу минералних извора Дубово постоје изданци мезозојских седимената који су заступљени и по ободу басена. Узвишење Јесени је по свему настало утискивањем извесне масе магматита, услед чега је формирано аномално геотермално поље и омогућен развој термоминералних процеса (Протић, 1995). Угљокиселе воде Дечана појављују се на контакту терцијарних седимената метохијског басена и хетерогених мезозојских седимената. У подини ових стена залежу палеозојски шкриљци. Код извора Дечана избушено је више плитких бушотина и једна дубока, дубине 300 m, из које истиче 2,0 l/s воде температуре 12,5 °C.

У Пећкој бањи постоји више извора који истичу дуж већег раседа на кречњачком узвишењу. Расед је уочљив на дужини око 1 km, а извори су са температурам воде 48 °C, 23-27 °C и 11 °C. Око извора је обарањем калцијум-карбоната настала велика наслага бигровитог кречњака, а касније бигра и оникса.

Геолошку основу изграђују палеозојски шкриљци и серпентинити и мезозојски гранити и седименти (слике 58 и 59). Покривају их преквартарне и квартарне насlage.



Слика 59. Шематска хидрогеолошка карта области угљокиселих вода Дечанског кисељака (геолошка основа по Р. Антонијевић и други, 1968)

Легенда: 1. водопропусне неvezане квартарне насlage; 2. водопропусне чврсте карбонатне стене 3 и 4. претежно водонепропусне високометаморфне и интрузивне стене; 5. појава угљокиселе воде; 6. област прихрањивања угљокиселих вода, претпостављена; А – тектонска јединица Проклетија; С – метохијска депресија; а – раседне структуре.

Угљокиселе воде су везане за активне и дисјунктивне тектонске структуре у геолошкој основи мезозојских седимената и палеозојских шкриљаца. Дуж ових раседа одвија се кретање блоковских структура метоксијског басена.

У овом западном ободу метоксијске котлине, угљокиселе воде се прихрањују атмосферским падавинама, директно и индиректно преко површинских токова и граничних водоносних средина.

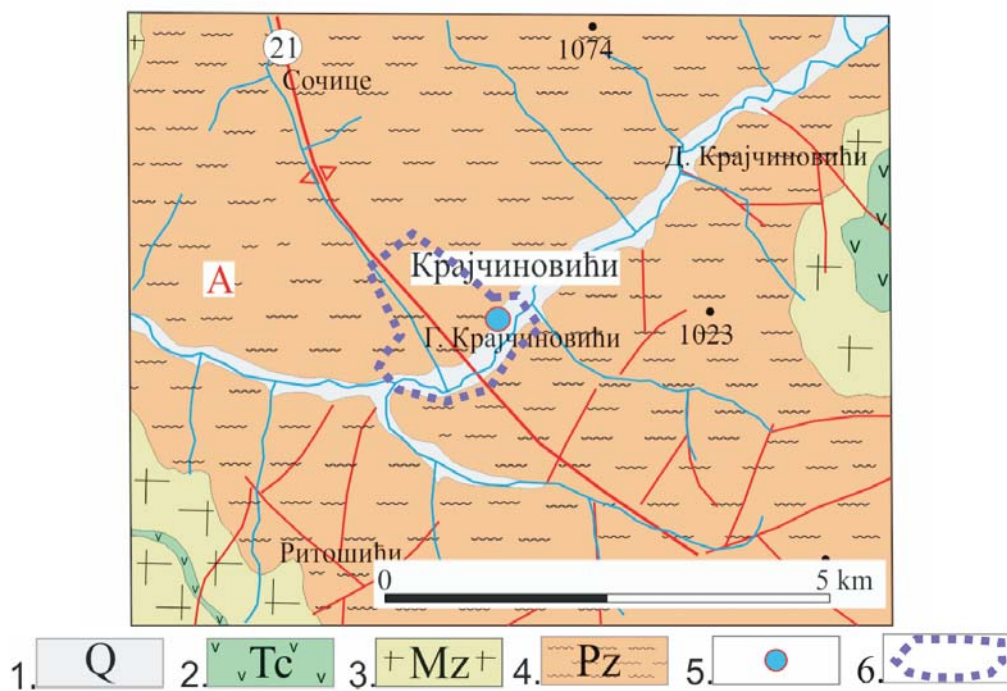
Угљокиселе минералне воде код Дечана дренирају се на контакту терцијарних седимената метоксијског басена и хетерогених мезозојских седимената. У Пећкој бањи дуж раседа на дужини од 1 km термалне воде истичу под притиском у виду гејзира са доста угљендиоксида. Прихрањивање се одвија на надморској висини 500 – 645 m. У односу на ниво регионалног дренирајућег базиса од 400 m, који представља река Бели Дрим, формирана је хидродинамичка зона моћности до 100 – 245 m. У овој зони се могу очекивати активни процеси циркулације угљокиселих вода.

#### **4.7. Угљокиселе воде Истично – дурмиторског блока (Дурмиторски блок)**

У оквиру ове геотектонске јединице, на територији Србије се јављају угљокиселе воде Крајчиновића. Дренирају се у виду пиштевина из палеозојских шкриљаца на куполи антиклиноријума Јавора (слика 60). Угљокиселе воде су везане за тектонске структуре које су настале обликовањем антиклиноријума. Издашност главног извора је 0,01 l/s, са температуром воде 15 °C (Протић, 1995).

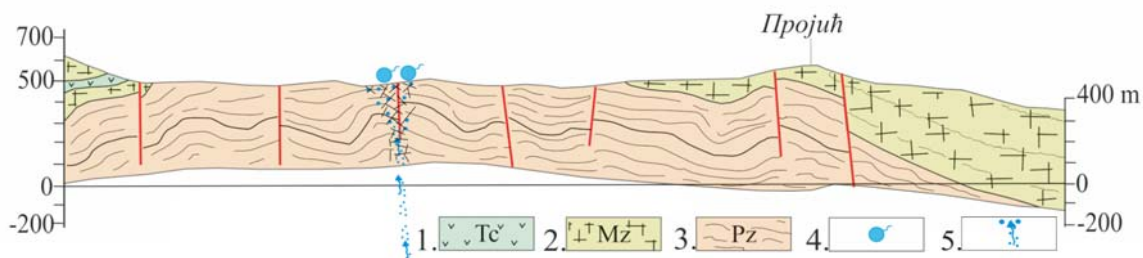
По хемијском саставу, угљокисела минерална вода је  $HCO_3 - Na$  типа, укупне минерализације 2,63 g/l и рН 6,4, са садржајем угљендиоксида до 1,14 g/l и повишеним садржајем радијума од 0,38 Bq/l. Повишен садржај радијума по свему указује на присуство гранитоидног интузива на одређеној дубини, а његов се утицај испољава на хемијски састав угљокиселих вода.

У домену антиклиноријума Јаворја угљокиселе воде су формиране аналогно влашићко – близанском хорс – антиклиноријуму. Зоне истицања мармирају тектонске структуре настале обликовањем антиклиноријума (слика 61). Пружају се сагласно његовом пружању и управно на њега (СЗ – ЈИ и СИ – ЈЗ).



Слика 60. Шематска хидрогеолошка карта области угљокиселих вода Јаворја (геолошка основа по М. Марковић и М. Пајовић, 1980)

Легенда: 1. водопрпусне неvezане квартарне насlage, 2. водопрпусне чврсте стене, 3. водопрпусне чврсте карбонатне стене, 4. претежно водонепропусне високо метаморфне стене, 5. појава угљокиселе воде; 6. област прихрањивања угљокиселих вода, претпостављена; А – Дурмиторска тектонска јединица, 21- антиклина Јаворја.



Слика 61. Шематски хидрогеолошки профил угљокиселих вода области антиклина Јаворја (геолошка основа по М. Марковић и М. Пајовић, 1980)

Легенда: 1. прупусне чврсте стене; 2. пропусне чврсте карбонатне стене; 3. претежно непропусне високометаморфне стене; 4. зона истицања угљокиселих вода; 5. правац миграције угљендиоксида.

Прихрањивање ових угљокиселих вода одвија се на рачун атмосферских падавина. Кроз претежно непропусне кристаласте шкриљце оне се инфилтрају кроз активне и дисјунктивне тектонске структуре. Дренарају се дифузно, дуж линијских зона. Укупна издашност ових зона је мала, свега 0,01 l/s.

**5. ФИЗИЧКО – ХЕМИЈСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ  
УГЉОКИСЕЛИХ ВОДА**

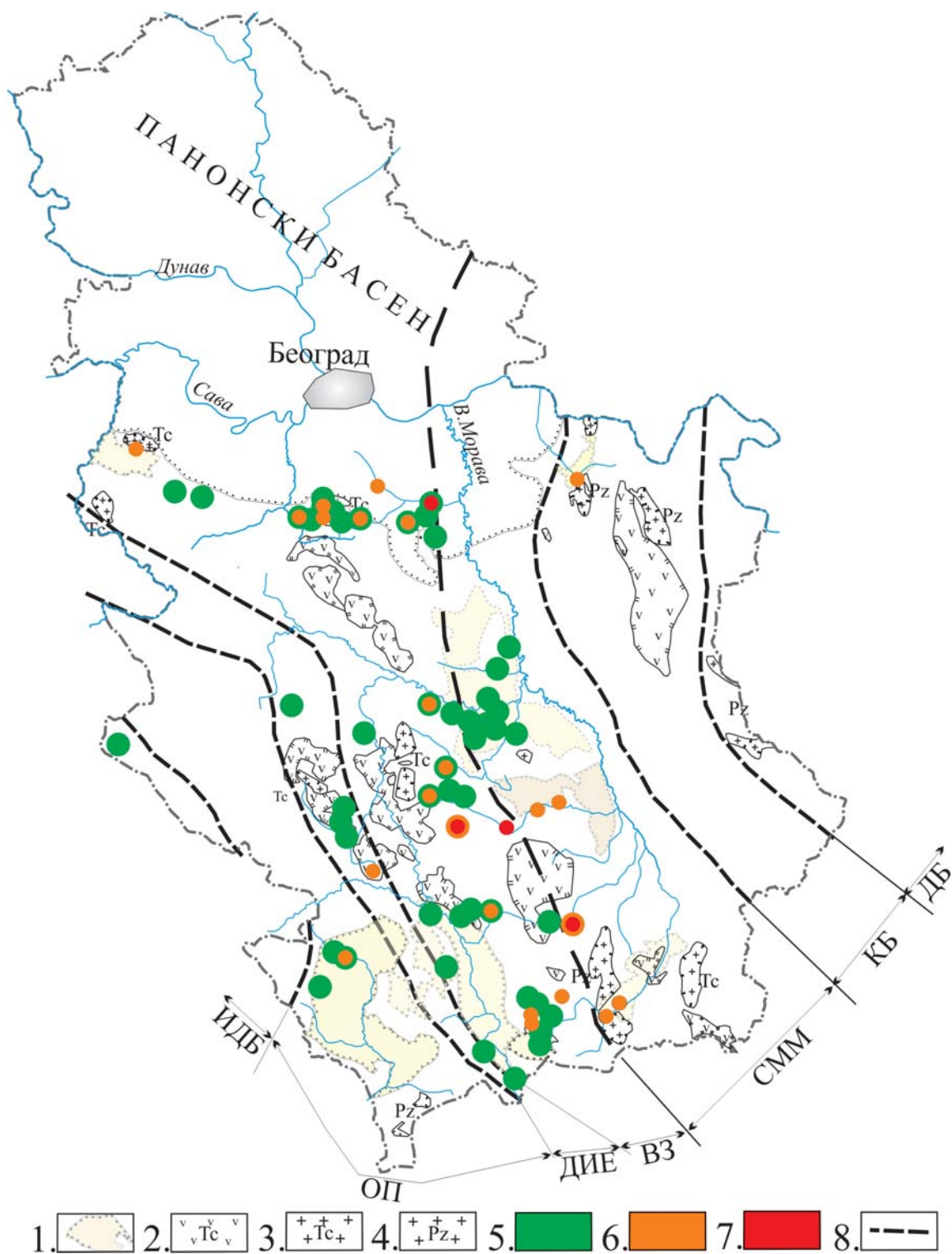


## 5.1. Физичке особине, рН вредност и оксидационо - редукциони потенцијал

Основне физичке особине које карактеришу угљокиселе минералне воде су температура, укус, мирис и боја. Познато је да су ове воде киселкастог укуса, металичног мириса и бистре боје. Температура угљокиселих вода Србије је у интервалу од 9 °С (воде Гатњанске бањице у области Шар –планине), до 79 °С (воде у Сијаринској бањи на бушеном водозахвату). Од укупног броја регистрованих појава ових вода на територији Србије, око 44 % су хладне са температуром до 15 °С, око 12 % имају температуру у интервалу 15-20 °С, око 32 % у интервалу 20 – 50 °С и код 12 % појава она је већа од 50 °С (слика 62).

Температура угљокиселих вода може да указује на дубину са које воде доспевају. Ниске температуре хладних угљокиселих вода (6 – 14 °С) са малим амплитудама колебања могу да указују на то да воде долазе са дубине мање од 100 m (Чудаева и Чудаев, 2005). Произилази да се за више од 40 % појава на територији Србије, са температуром вода испод 14 °С, може очекивати да доспевају са дубине мање од 100 m. Код више појава са хладном угљокиселом водом на изворима (Чибутковица, Оглађеновац, Буковичка бања, Паланачки кисељак и др.), бушеним водозахватима је добијена термална вода на дубинама од сто до више стотина метара. Количина је била различита, мања или већа од оне која се дренирала на површини као хладна. Из претходног произилази да хидрогеолошке структуре ових угљокиселих вода залежу до различитих дубина и да се у њима до одређених дубина (од 100 до преко 1000 m) одвија различита количинска измена угљокиселих вода. На пример, на изворишту Буковичке бање, на већој дубини су захваћене веће количине термалне воде, а на изворишту Чибутковице мање количине термалне воде од оне која се дренира до 100 m дубине.

У угљокиселим водама Србије рН вредност је у интервалу од 5,7 до 7,1. То су воде са слабо киселом до неутралном реакцијом. Вредност оксидационо-редукционог потенцијала (Eh) за ове воде је од +180 до -200 mV. Из зависности оксидационо – редукционих (Eh) и рН вредности, запажа се да ове воде одражавају средину претежно изоловану од атмосфере, јер су све тачке груписане између линије „средине изоловане од атмосфере“ и „међупросторне средине“ (слика 63).

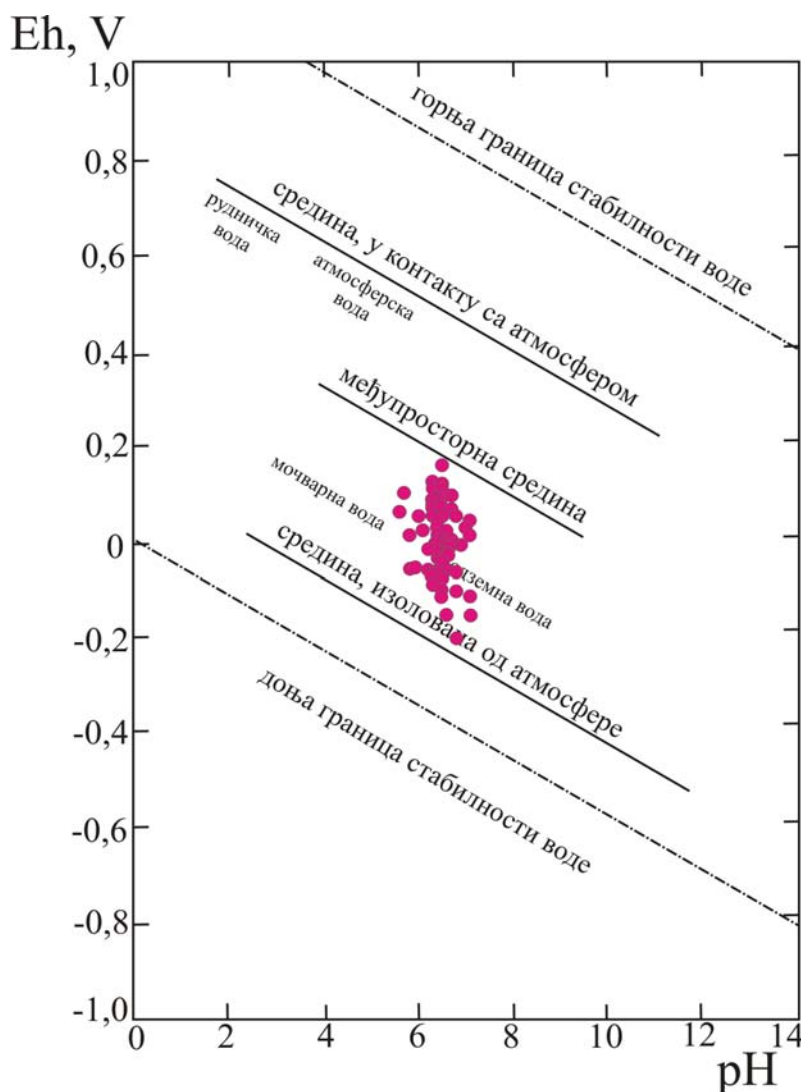


Слика 62. Шематски приказ температура угљокиселих вода Србије

Легенда: 1. седиментни басен; 2. терцијарни вулканити; 3. терцијарни гранитоидни интрузиви; 4. палеозојски гранитоидни интрузиви; 5. хладне угљокиселе воде са температуром до 20 °С; 6. термалне угљокиселе воде са температурама 20 – 50 °С; 7. термалне угљокиселе воде са температуром преко 50 °С; 8. граница геоструктурне јединице.

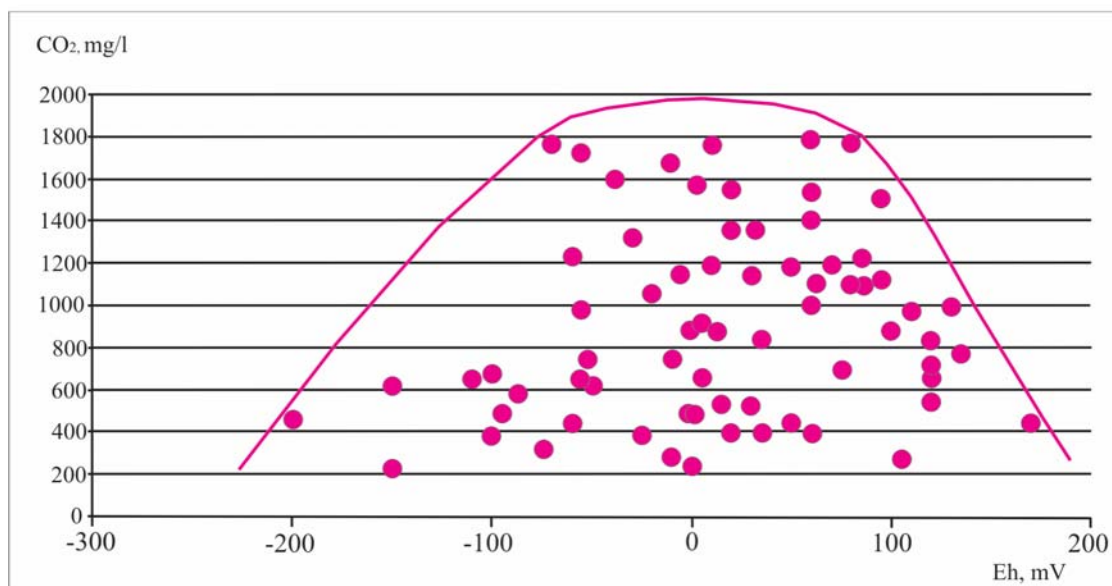
Подземне воде хидрогеолошких структура угљокиселих вода одражавају њихове дубинске геохемијске услове. На основу оксидационо – редукционог потенцијала и рН вредности у дубинским деловима ових структура владају претежно прелазни оксидационо –

редукциони геохемијски услови. Атмосферски оксидациони утицај остварује се у приповршинском појасу (водоносни хоризонти квартарних и терцијарних седимента).



Слика 63. Геохемијски услови у хидрогеолошким структурама угљокиселих вода Србије (О. А. Алекин 1970, допуњено).

Између оксидационо – редукционог потенцијала и садржаја угљендиоксида не постоји уочљива зависност (слика 64). Запажа се да су максимални садржаји овог гаса изражени у пределу вредности  $Eh \pm 100 \text{ mV}$ , односно у пределу прелазних оксидационо – редукционих услова.

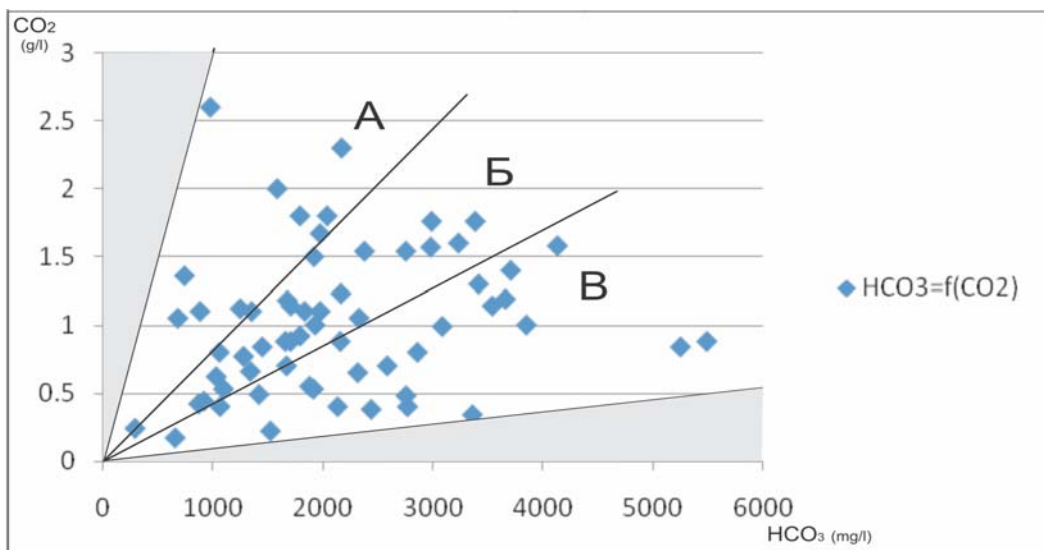


Слика 64. Дијаграм зависности оксидационо – редукционог потенцијала ( $Eh$ ) и садржаја угљендиоксида у угљокиселим водама Србије

## 5.2. Главне компоненте

Главне компоненте (макрокомпоненте) одређују како хемијски тип угљокиселих минералних вода тако и главна својства, и чине основни део њиховог минералног састава. На територији Србије маломинерализоване воде су угљокиселе воде Читлука (0,49 g/l) и Наталинаца (0,95 g/l), средње минерализоване су воде Буковичке бање (5,02 g/l), Паланачког кисељака (бушотина 8,11 g/l), Приличког кисељака (6,6 g/l), Слатинског кисељака (8,18 g/l), Магова (5,2 g/l), Житиња (5,12 g/l), Грнчара (5,21 g/l), Селтерса (7,3 g/l), Рајчиновић бање (хладан извор 5,63 g/l) и Туларске бање (5,8 g/l). Повећане минерализације, од 1,03 до 4,95 g/l су угљокиселе воде осталих 54 појава.

У природним водама које не садрже угљендиоксид, због слабе растворљивости карбоната калцијума, постоји ниска концентрација хидрокарбонатних и карбонатних јона – мања од 1000 mg/l (слика 65). Садржај овог јона испод 1000 mg/l код угљокиселих вода Србије забележен је на свега 7 појава: Оглађеновац, Церовац, Мирашевац, Нересница, Својиново, Орашје и Бела вода. Садржај хидрокарбонатног јона у осталим појавама је преко 1000 mg/l (24 појаве), преко 2000 mg/l (16), преко 3000 mg/l (10), преко 4000 mg/l (1) и преко 5000 mg/l (2).



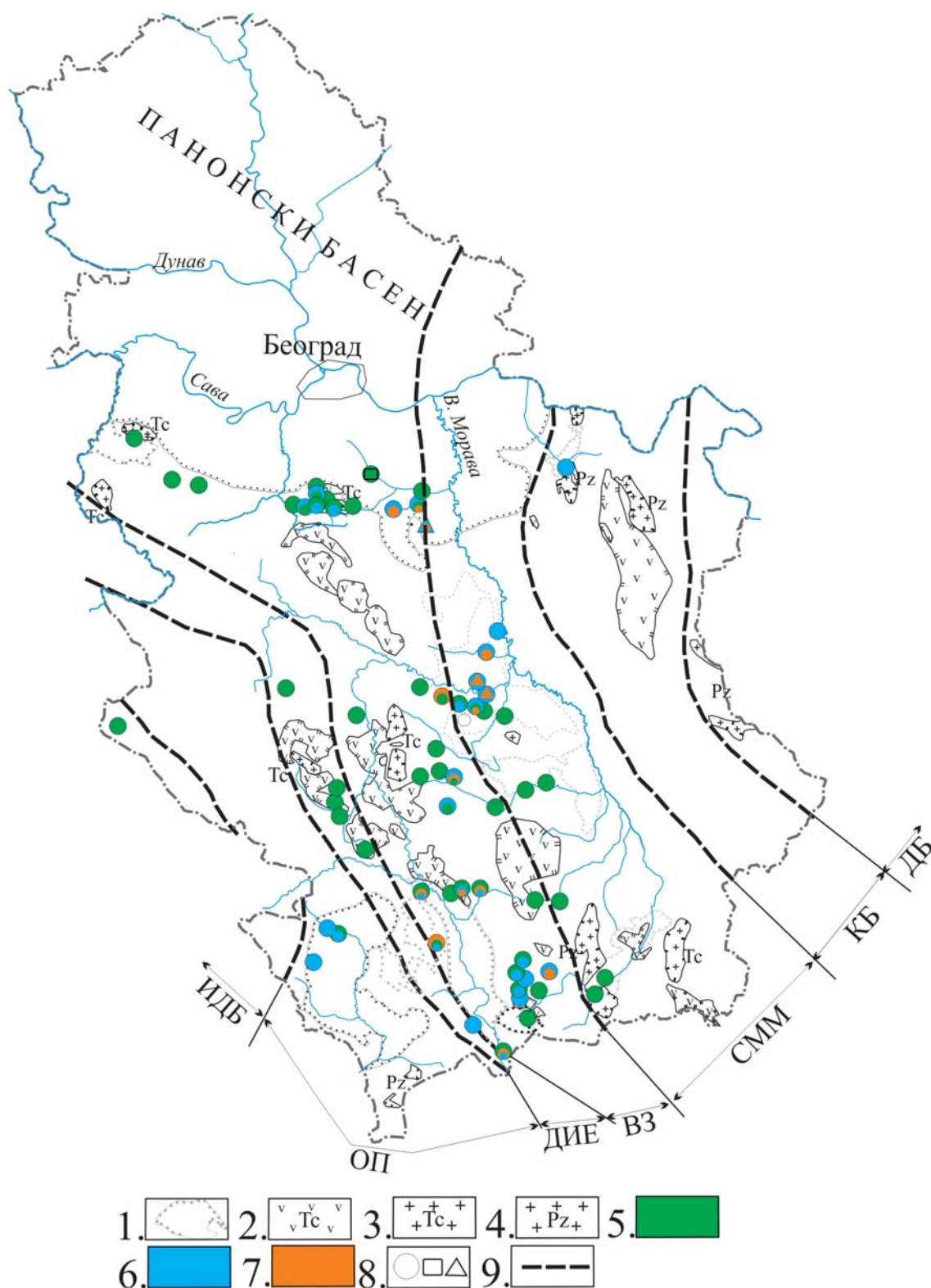
Слика 65. Дијаграм зависности садржаја угљендиоксида и хидрокарбоната у угљокиселим водама Србије

Легенда: А – поље релативно малог садржаја карбоната у стенама (10 појава); Б – поље сразмерно повећаног садржаја угљендиоксида и хидрокарбоната, у односу на садржај карбоната (30 појава); В – поље већег садржаја карбоната у стенама (25 појава).

Висок садржај  $\text{HCO}_3^-$  јона у највећем броју појава резултат је повишеног садржаја угљендиоксида и процеса растварања минерала карбоната  $\text{Ca}^{2+}$  и /или/  $\text{Mg}^{2+}$ . Појаве код којих је, и поред повишеног садржаја угљендиоксида, низак садржај  $\text{HCO}_3^-$  јона, су резултат малог садржаја карбоната у стенама.

Међу анјонима, у макрокомпонентном садржају угљокиселих вода Србије доминира  $\text{HCO}_3^-$  јон, осим код појаве Мирашевац која је  $\text{SO}_4^{2-}$  типа (слика 66). У анјонском садржају са хидрокарбонатима се ретко у повишеним концентрацијама јављају  $\text{SO}_4^{2-}$ , а још ређе  $\text{Cl}^-$  јон. Тако је на три појаве формиран  $\text{HCO}_3\text{SO}_4$ , а на једној  $\text{HCO}_3\text{Cl}$  тип.

У истим минералним водама, међу катјонима доминира јон  $\text{Na}^+$  у 65,6 % појава,  $\text{Ca}^{2+}$  у 30 % и  $\text{Mg}^{2+}$  у свега 4,4 % појава (слика 67). Чистог  $\text{HCO}_3\text{-Na}$  типа су минералне воде на 34 појаве и  $\text{HCO}_3\text{-Ca}$  типа на 8 појава. Код 22 појаве (32 %) катјонски садржај чини мешавина два или три катјона. На пример,  $\text{NaCa}$  (7 појава),  $\text{CaNa}$  (3),  $\text{CaNaMg}$  (2),  $\text{CaMg}$  (6),  $\text{MgNa}$  (1),  $\text{CaMgNa}$  (1),  $\text{NaMgCa}$  (2),  $\text{NaCaMg}$  (1),  $\text{MgNaCa}$  (1) и  $\text{MgCaNa}$  (1).

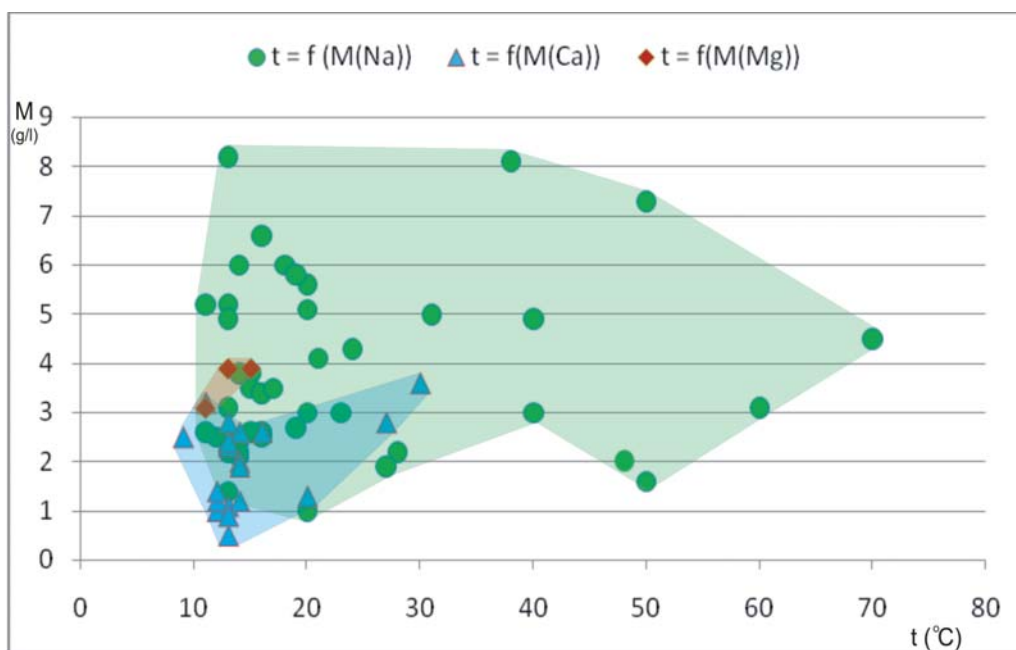


Слика 66. Шематски приказ садржаја главних компоненти у угљокиселим водама

Србије

Легенда: 1. терцијарни седиментни басен; 2. терцијарни вулканити; 3. терцијарни гранити; 4. палеозојски гранитоиди; 5. Na тип воде; 6. Ca тип воде; 7. Mg тип воде; 8. тип воде: круг -  $\text{HCO}_3$ , квадрат -  $\text{Cl}$ , троугао -  $\text{SO}_4$ ; 9. граница геотектонске јединице.





Слика 67. Дијаграм зависности садржаја основних катјона од температуре

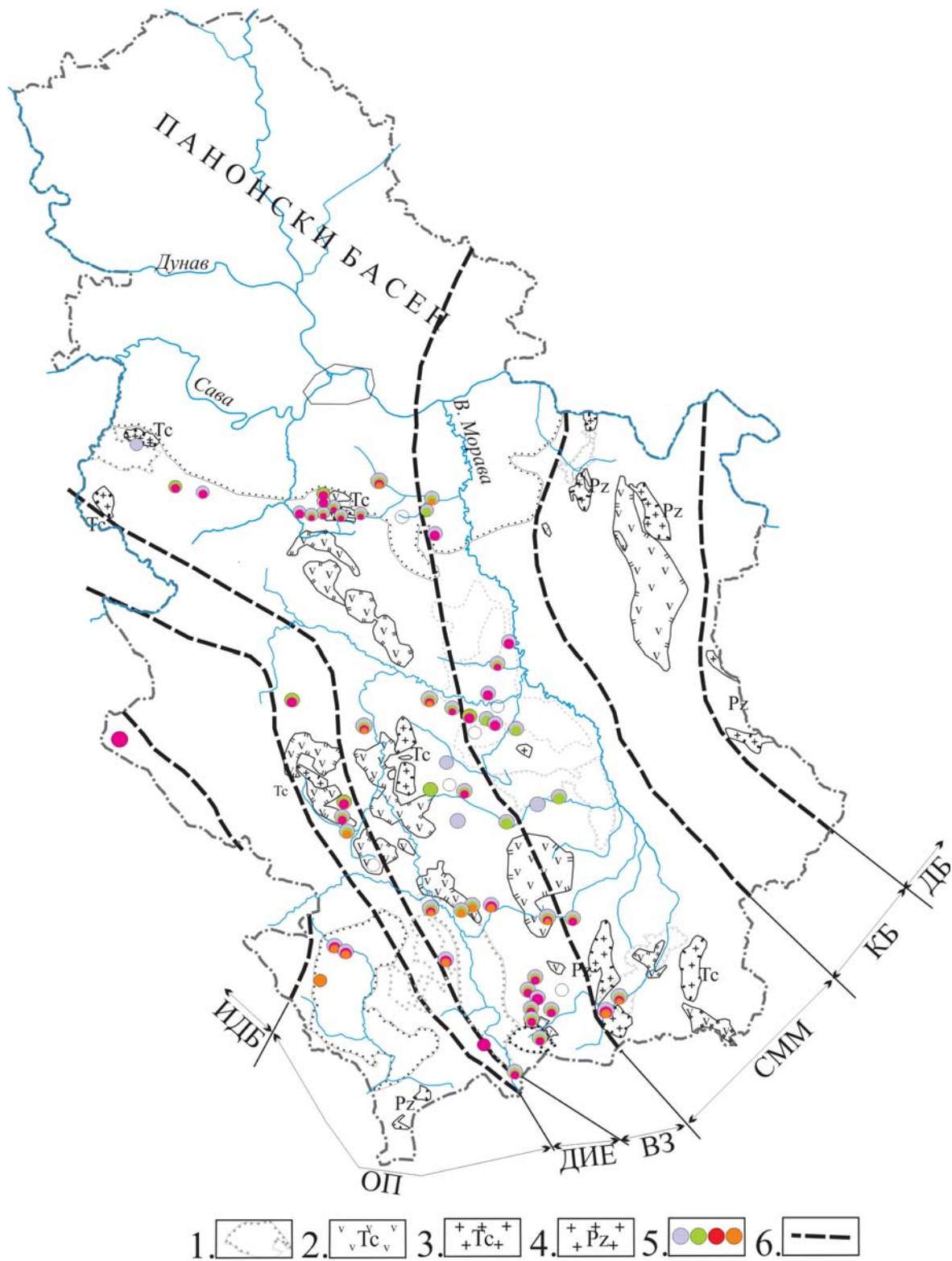
Легенда: зелено поље – доминантног садржаја  $Na$ ; плаво –  $Ca$ ; браон –  $Mg$ .

На основу минералног састава терцијарних и палеозојских магматита, палеозојских и протерозојских шкриљаца, ултрамафита и мезозојских, терцијарних и квартарних седимената (стене доминантне у геолошко – структурном склопу области угљокиселих вода), произилази да јон  $Na^+$  води порекло из алкалних фелдспата, плагиокласа (албита) и амфибола из магматита и шкриљаца. Јон  $Ca^{2+}$  води порекло из плагиокласа (анортита) и карбоната. А јон  $Mg^{2+}$  из оливина, пироксена и лискуна ултрамафита и шкриљаца.

Запажа се да натријум доминира у широком дијапазону температура и минерализације и да су доминантни садржаји калцијума и магнезијума везани за, условно речено, ниже температуре, до  $30\text{ }^{\circ}C$  и минерализацију до  $4\text{ g/l}$  (слика 67).

### 5.3 Споредне компоненте

Споредне компоненте,  $K$ ,  $Si$ ,  $Fe$ ,  $Al$ ,  $P$  и микрокомпоненте, у земљиној кори су широко распрострањене. У одређеним условима могу да услове формирање специфичних типова угљокиселих вода, дајући им тако одређена карактеристична својства. Угљокиселе воде Србије имају често повишене концентрације  $SiO_2$ ,  $K$  и  $Fe$ , ретко  $Al$  (слика 68), а само на једној појави Паланачког кисељака забележен је повишен садржај фосфора.



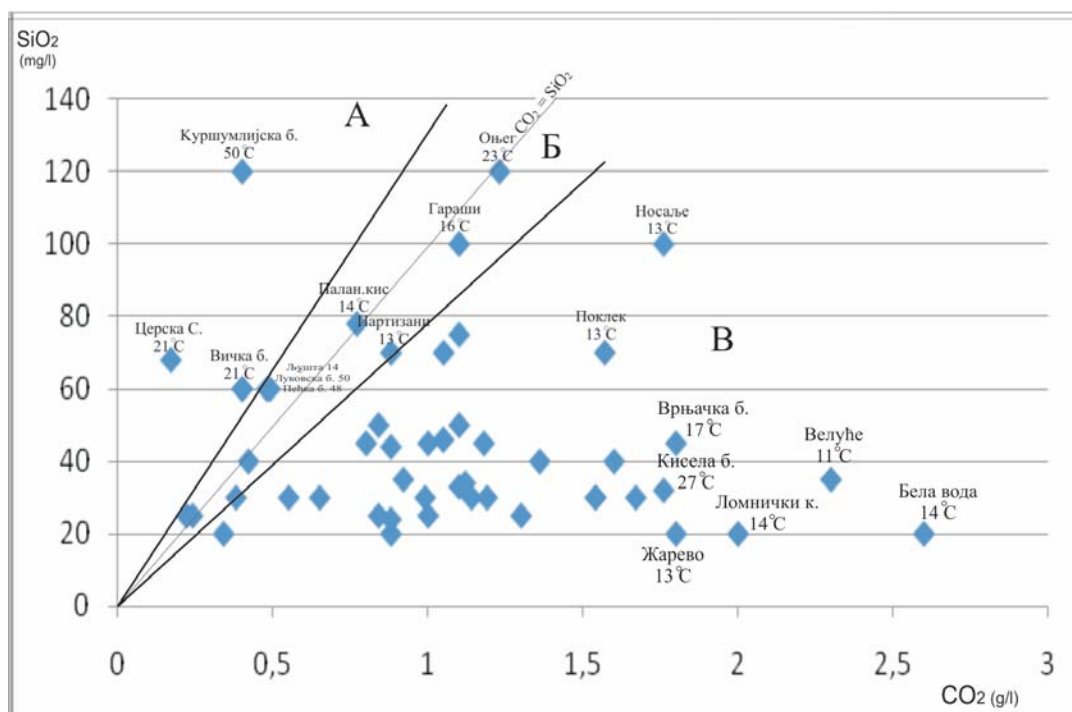
Слика 68. Шематски приказ садржаја споредних компоненти у угљокиселим водама Србије

Легенда: 1. терцијарни седиментни басен; 2. терцијарни вулканити; 3. терцијарни гранити; 4. палеозојски гранитоиди; 5. повишен садржај у води:  $SiO_2 > 20 \text{ mg/l}$  (љубичаста);  $K > 20 \text{ mg/l}$  (зелена);  $Fe > 3 \text{ mg/l}$  (црвена) и  $Al > 1 \text{ mg/l}$  (наранџаста); 6. граница геотектонске јединице.



Садржај  $SiO_2$  за преко 80 % појава се налази у интервалу 20 – 120 mg/l,  $K$  за преко 60 % у интервалу 12 – 81,9 mg/l,  $Fe$  за преко 63 % у интервалу 1 – 66 mg/l и  $Al$  за преко 20 % појава у интервалу 1 – 50,8 mg/l.

Код угљокиселих вода Србије за 57 % појава садржај  $SiO_2$  се налази у границама 20 – 50 mg/l, за 12 % појава у границама 50 - 100 mg/l и за 7 % појава садржај износи преко 100 mg/l. За 12 % појава садржај  $SiO_2$  износи до 20 mg/l. Садржај силицијума у подземним водама зависи од стабилности и степена разлагања силикатних минерала стена. При одсуству силиката у стени, вода има веома низак садржај силицијума (Браунлоу, 1984). Може се закључити да највећи број разматраних минералних вода свој коначан хемијски састав формира у стенама сиромашним силицијумом (слика 69)



Слика 69. Дијаграм зависности садржаја  $SiO_2$  и  $CO_2$  за угљокиселе воде Србије

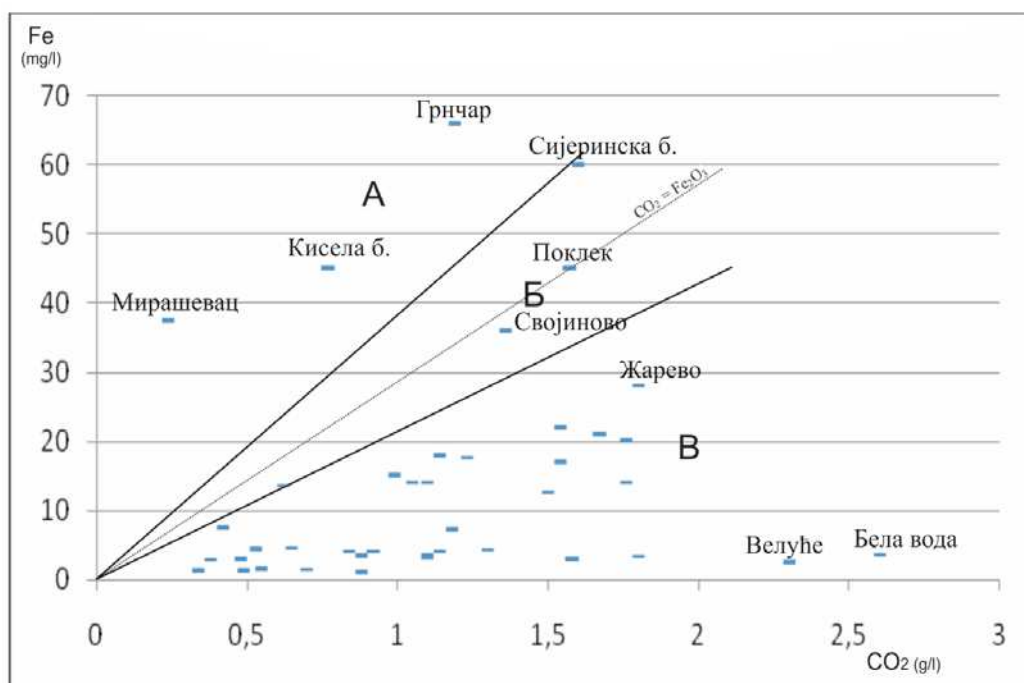
Легенда: А – поље у коме се са повећањем садржаја угљендиоксида повећава садржај  $SiO_2$  изнад линије сразмере, што значи да до повећаног садржаја силицијума долази због повшене температуре и да је литолошка средина богата силикатима;

Б – поље у коме се налазе појаве код којих се са повећањем садржаја угљендиоксида сразмерно повећава и садржај  $SiO_2$ ; В – поље у коме са повећањем садржаја угљендиоксида испод сразмерног повећава садржај  $SiO_2$ , што значи да у литолошко-минералошкој средини силикати имају мање учешће и да су воде ниже температуре.

Повишене садржаје силицијума ( и повишене температуре) имају појаве Гараши, Оњег, Куршумлијска бања и Носаље, а резултат су повишеног садржаја силиката у стенама.

У угљокиселим водама Србије повишен садржај  $P$  од 240  $\mu\text{g/l}$  утврђен је само у једној појави Паланачког кисељака. У истој води постоји и повишен садржај  $Al_2O_3$  50,8 mg/l,

$SiO_2$  75 mg/l и  $K$  60 mg/l. Повишене концентрације овог елемента везана су за магматизам и биогену миграцију, а најинтензивнија миграција се одвија у јако киселим водама. Повишен садржај алуминијума констатован је у свега 25 % појава, са концентрацијама од 1 до 50,8 mg/l. Повишен садржај гвожђа констатован је у 63 % појава, са концентрацијама од 1 до 66 mg/l, и у 34 % појава са садржајем до 1 mg/l.

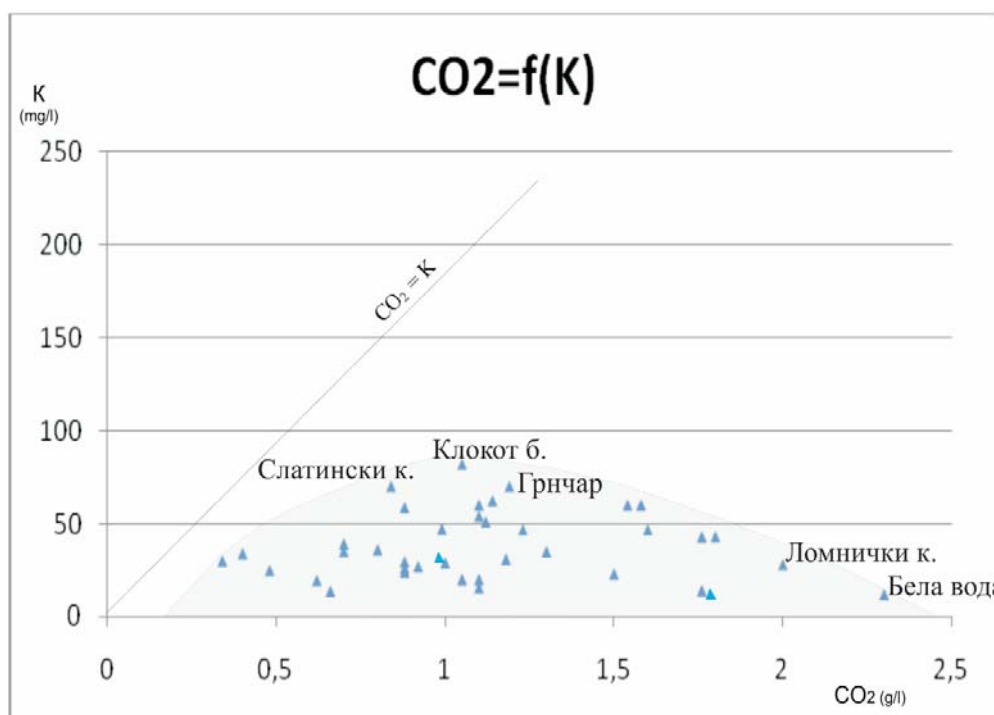


Слика 70. Дијаграм зависности садржаја  $CO_2$  и  $Fe_2O_3$  за угљокиселе воде Србије

Легенда: А – поље у коме са повећањем садржаја угљендиоксида долази до повећања садржај  $Fe_2O_3$  изнад линије сразмере, што говори о повишаном садржају гвожђа у литолошкој средини; Б – појаве код којих се са повећањем садржаја угљендиоксида приближно сразмерно повећава и садржај гвожђа. В – поље у коме са повећањем садржаја угљендиоксида садржај гвожђа пада испод линије сразмере, што говори о нижим садржајима гвожђа у литолошкој средини.

На дијаграму зависности садржаја угљендиоксида и гвожђа (слика 70) запажа се да су максималне концентрације гвожђа везане за интервал садржаја угљендиоксида 1–2 g/l.

Повишен садржај калијума констатован је у 60 % појава, са концентрацијама од 12 до 66 mg/l и у 40 % појава са садржајем до 12 mg/l. Овај елемент је у магматским процесима аналоган са натријумом. Оба елемента су везана за киселе стене у којима се калијум нагомилава у минерале фелдспате и лискуне. У базичним и ултрабазичним стенама калијума је мало.



Слика 71. Дијаграм зависности садржаја  $CO_2$  и  $K$  за угљокиселе воде Србије

На дијаграму зависности садржаја угљендиоксида и  $K$  (слика 71) запажа се да су максималне концентрације  $K$  везане за интервал садржаја угљендиоксида 0,8 – 1,2 g/l.

У микрокомпонентном садржају угљокиселих вода Србије се у повишеним концентрацијама врло често налазе  $Cs$ ,  $Rb$ ,  $Sr$ ,  $Li$ ,  $Mn$ ,  $B$  и  $F$ . У мањем броју појава, налазе се  $Ba$ ,  $As$ ,  $Ni$ ,  $Co$ ,  $Cr$ ,  $Pb$  и  $J$  у мало повишеним концентрацијама. Повишена смеша микроелемената у овим водама највише одговара изоморфном садржају елемената који је заступљен у минералима протерозојских и палеозојских кристаластих шкриљаца и терцијарним гранитоидним стенама (Папић и други, 2012). Главни процеси формирања хемијског састава угљокиселих вода у овим стенама су процеси излуживања хидролизом и угљокиселински процеси (табела 3). За карбонатне стене, главни процеси формирања су процеси растварања. Осим поменутих комплекса стена, значајно су заступљени вулканити, стене дијабаз рожне формације, мезозојски и кенозојски седименти и ултрамафити. У минералима ових стена изоморфно су садржани готово исти елементи. У односу на групу елемената  $Na$ ,  $K$ ,  $Rb$ ,  $Cs$ ,  $N$ ,  $Cl$ ,  $Br$ ,  $J$ , који су покретљиви у водама било ког састава (Перелман, 1989) запажа се да је највећи број тих елемената у разматраним угљокиселим водама доминантан међу главним и споредним компонентама.

Табела 3. Доминантни процеси формирања хемијског састава угљокиселих вода

Основни литолошки комплекс	Доминан. минерални састав	Хемијска формула основних минерала	Изоморфни садржај	Доминантни процес разлагања минерала
Кристалести шкриљци	фелдспати	$Na-CaAlSi_3O_8$ $KAlSi_3O_8$ $NaKAlSi_3O_8$	$K, Ba, Sr,$ $Na, Fe, Rb, Cs$	хидролиза
	амфиболи	$NaCa_2(MgFeAl)_3SiAl_8O_{22}(OH)_2$	$Mn, K, Ti$	хидролиза
	пироксени	$Ca(MgFeAl)(SiAl)_2O_6$	$Ti, Mn$	хидролиза
	оливин	$(MgFe)_2SiO_4$	$Ni, Co$	угљокиселински
	лискуни (мусковит и биотит)	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$ $K(MgFe)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	$F, Na, Fe, Mg, Li, Na,$ $Cr, F$	хидролиза
	хлорит	$(MgFeAl)_6(AlSi)_4O_{10}(OH)_8$	$Ni, Cr$	хидролиза
	кварц	$SiO_2$	-	практично нерастворљив
	дистен	$Al_2SiO_5$	$Fe, Ca, Mg, Ti, Na, K$	угљокиселински
	стауrolит	$Fe_2Al_9O_6(SiO_4)_4(OH)_2$	$Mn$	хидролиза
	калцит	$CaCO_3$	$Mg, Fe, Mn, Sr, Zn, Ni$	угљокиселински
Ултрамафити	доломит	$(CaMg)CO_3$	$Ni, Co, Fe, Mn, Zn$	угљокиселински
	графит	$C$	-	оксидација
	оливин	$(MgFe)_2SiO_4$	$Ni, Co$	угљокиселински
Дијабаз рожна формација: седименти	енстатит	$MgSiO_3$	$Ni, Ca, Mn, Al, Fe$	угљокиселински
	хромит	$FeCr_2O_4$	$Mg, Al, Zn$	растварање
Дијабаз рожна формација: магматити (габро, дијабази и спилити и др.)	карбонати	$CaCO_3$	-	угљокиселински
	силикати	минерали еродованих стена у палеосливу	-	хидролиза угљокиселински
	плагиоклас	$Na-CaAlSi_3O_8$	$K, Ba, Sr, Fe$	хидролиза
	пироксен	$Ca(MgFeAl)(SiAl)_2O_6$	$Ti, Mn$	хидролиза
	хлорит	$(MgFeAl)_6(AlSi)_4O_{10}(OH)_8$	$Ni, Cr$	хидролиза
	кварц	$SiO_2$	-	практично нерастворљив
Разне седиментне стене мезозојске и кенозојске старости	епидот	$Ca_2(AlFe)_3Si_3O_{12}(OH)$	$Mn, TR, Mg, U, Th$	хидролиза
	сфен	$CaTiSiO_2(OH)$	$TR, Th, Nb, Zr, Fe,$ $Al, Mn$	угљокиселински
Терцијарни гранитоиди	карбонати	$CaCO_3$	-	угљокиселински
	силикати	минерали еродованих стена у палеосливу	-	хидролиза угљокиселински
	кварц	$SiO_2$	-	практично нерастворљив
	андезин	$Na-CaAlSi_3O_8$	$K, Ba, Sr, Fe$	хидролиза
	ортоклас	$KAlSi_3O_8$	$Na, Ba, Fe$	хидролиза
	микроклин	$KAlSi_3O_8$	$Rb, Cs, Na$	хидролиза
	биотит	$K(MgFe)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	$Na, Cr, F$	хидролиза
	хорнбленда	$NaCa_2(MgFeAl)_3SiAl_8O_{22}(OH)_2$	$Mn, K, Ti$	хидролиза
	сфен	$CaTiSiO_2(OH)$	$TR, Th, Nb, Zr, Fe,$ $Al, Mn$	угљокиселински
	апатит	$Ca_5(PO_4)_3(FCIOH)$	$TR, U, Mg, Fe, Al,$ $CO_3$	хидролиза
Терцијарни вулкани	циркон	$ZrSiO_4$	$Hf, Th, U, H_2O, TR$	угљокиселински
	магнетит	$MnO(OH)$	$SiO_2, Fe_2O_3, Al_2O_3$	растварање
	кварц	$SiO_2$	-	практично нерастворљив
Терцијарни вулкани	санидин	$NaKAlSi_3O_8$	-	хидролиза
	андезин	$Na-CaAlSi_3O_8$	$K, Ba, Sr, Fe$	хидролиза

биотит	$K(MgFe)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	<i>Na, Cr, F</i>	хидролиза
хорнбленда	$NaCa_2(MgFeAl)_3SiAl_8O_{22}(OH)_2$	<i>Mn, K, Ti</i>	хидролиза
аугит	$Ca(MgFeAl)(SiAl)_2O_6$	<i>Ti, Mn</i>	хидролиза

Из микрокомпонентног садржаја угљокиселих вода Србије произилази да се са повишеним и мало повишеним концентрацијама у највећем броју појава налазе манган (у 98 % појава), стронцијум (97 %), литијум (83 %), бор (82 %), цезијум (67 %), флуор (65 %), рубидијум (54 %) и хром (52 %). Сви ови елементи, осим бора, заступњени су у доминантним минералима кристалстих шкриљаца и минералима киселих магматских стенама-.

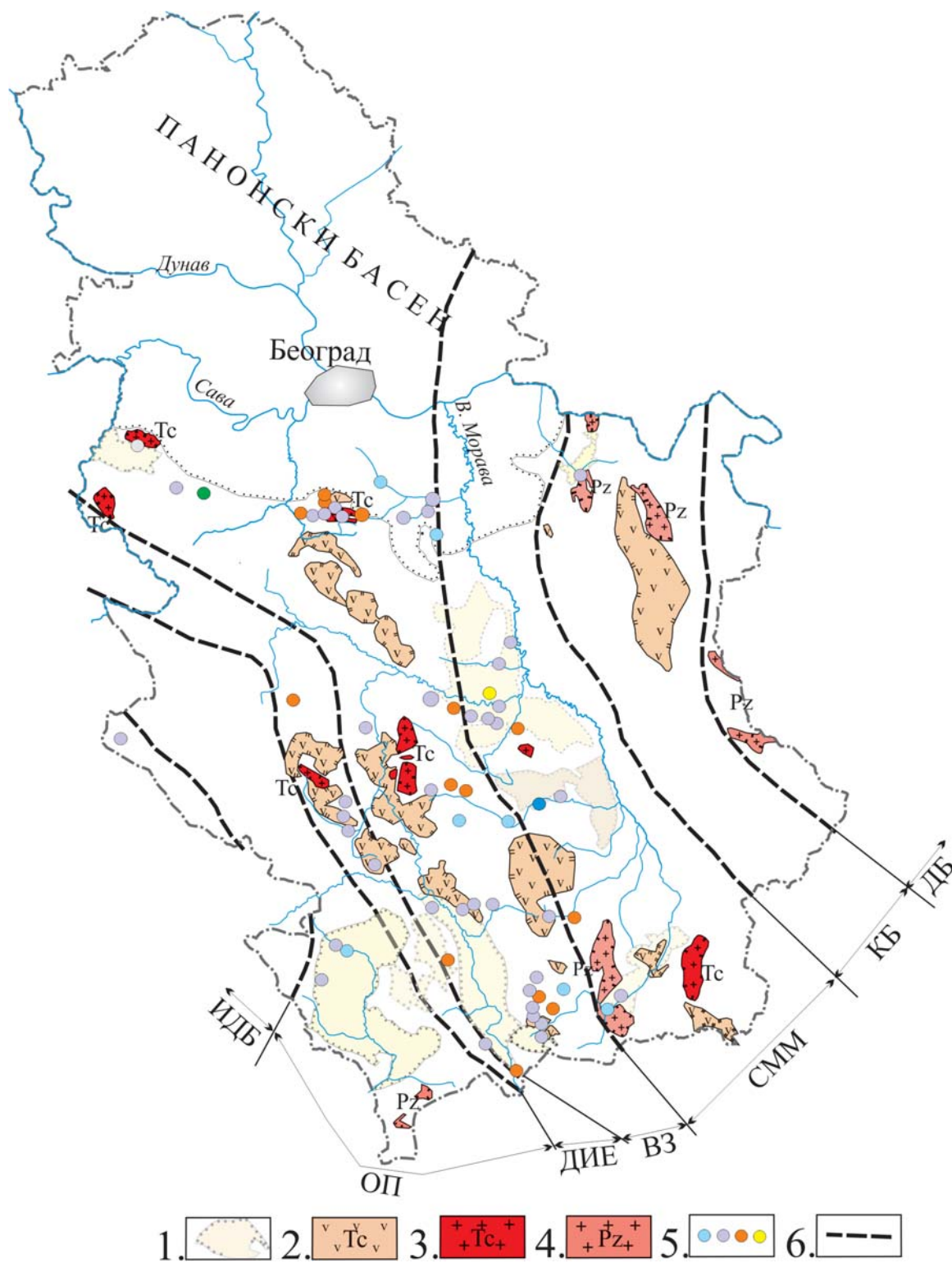
#### 5.4. Гасни састав и гасни фактор

У угљокиселим водама се често у подређеним количинама, у односу на угљендиоксид, налазе и гасови: кисеоник, сумпор-водоник, радон и други гасови (*He, Ar*).

У литосфери Србије, на основу садржаја угљендиоксида, слабо угљокиселим водама припада око 66 % познатих појава (0,5 – 1,4 g/l  $CO_2$ ), око 33 % припада угљокиселим водама средње концентрације (1,4 – 2,5 g/l  $CO_2$ ) и свега око 1 % припада угљокиселим водама „јаке“ концентрације (> 2,5 g/l  $CO_2$ ) (слика 72). Концентрације  $CO_2$  од 250 до 500 mg/l имају угљокиселе воде на око 12 % појава. Ове воде имају слаб балнеолошки утицај.

Садржај гасова  $O_2$  и  $H_2S$ , и однос  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ , могу да послуже за дефинисање оксидационо – редуccionих услова у хидрогеолошким структурама угљокиселих вода (табела 4). Из дате табеле се види да у хидрогеолошким структурама литосфере Србије доминирају прелазни оксидационо – редуccionи геохемијски услови, а у мањем обиму владају или оксидациони или чисто редуccionи услови.

По правилу, дубоки геохемијски процеси, одвијају се у условима одсуства слободног кисеоника. Познато је да се, након инфилтрације у подземље, садржај слободног кисеоника постепено смањује са дубином. Ово умањење количине кисеоника одвија се на рачун трошења кисеоника у оксидационим процесима. Тако се може говорити о постојању неке доње границе присуства кисеоника, односно о постојању „кисеоничне површине“. То је граница изнад које се одвијају првенствено процеси оксидације а испод процеси редуccionије (Токарев и Шћербаков, 1956). На основу садржаја кисеоника у угљокиселим водама Србије (табела 4) произилази да хидрогеолошке структуре залежу изнад и испод нивоа тзв. „кисеоничне површине“.



Слика 72. Шематски приказ садржаја угљендиоксида у угљокиселим водама Србије

Легенда: 1. терцијарни седиментни басен; 2. терцијарни вулканити; 3. терцијарни гранити; 4. палеозојски гранитоиди; 5. садржај угљендиоксида између 250 – 500 mg/l (светло плава), 500 – 1400 mg/l (љубичаста), 1400 – 2500 mg/l (наранџаста) и преко 2500 mg/l (жута); 6. граница геотектонске јединице.

Из претходног се може закључити да се атмосферска вода од момента инфилтрације у подземље до појаве на површини релативно дуго задржава. И хидрогеолошке структуре ових вода не могу бити изложене директном атмосферском утицају. Код ових структура, у којима владају оксидациони услови, највероватније долази до мешања дубоких угљокиселих вода са подземним водама из приповршинске зоне.

Табела 4. *Геохемијски услови у структурама угљокиселих вода Србије* (Токарев и Шћербаков, 1956, допуњено)

Оксидационо-редукциони потенцијал	Геохемијски критеријуми и % учешће структура угљокиселих вода					
	$O_2$ (mg/l)	Структ. угљок. вода %	$H_2S$ (mg/l)	Структ. угљок. вода %	Коефици. $Fe^{2+}/Fe^{3+}$	Структ. угљок. вода %
оксидациони (више од +250 mV)	3,5 -14 и више	<b>24</b>	нема	<b>8</b>	< 0,1	<b>12</b>
оксидационо-редукциони (од +250 до 0)	< 3,5	<b>63</b>	< 7,0	<b>92</b>	0,1-10,0	<b>40</b>
редукциони:						
-нормално редукциони (од 0 до -150)	нема	<b>13</b>	7 - 105	<b>0</b>	> 10	<b>48</b>
-јако редукциони (од 150 до -350)	нема		105-2000 и више		$\infty$	

Од свих минералних вода, угљокиселе воде се карактеришу највећом засићености гасом. Тако се гасни фактор ових вода мења у границама 1,5 – 4,6, а изузетно достиже  $18 \text{ m}^3/\text{m}^3$  и више (Драгишић, 1997). Висока засићеност гасом условљава пулсирајући режим при истицању или експлоатацији. У угљокиселим водама Чибутковице гасни фактор је износио од 1,4 до  $1,52 \text{ m}^3/\text{m}^3$ , а Горњег Црниљева  $0,8 \text{ m}^3/\text{m}^3$ .

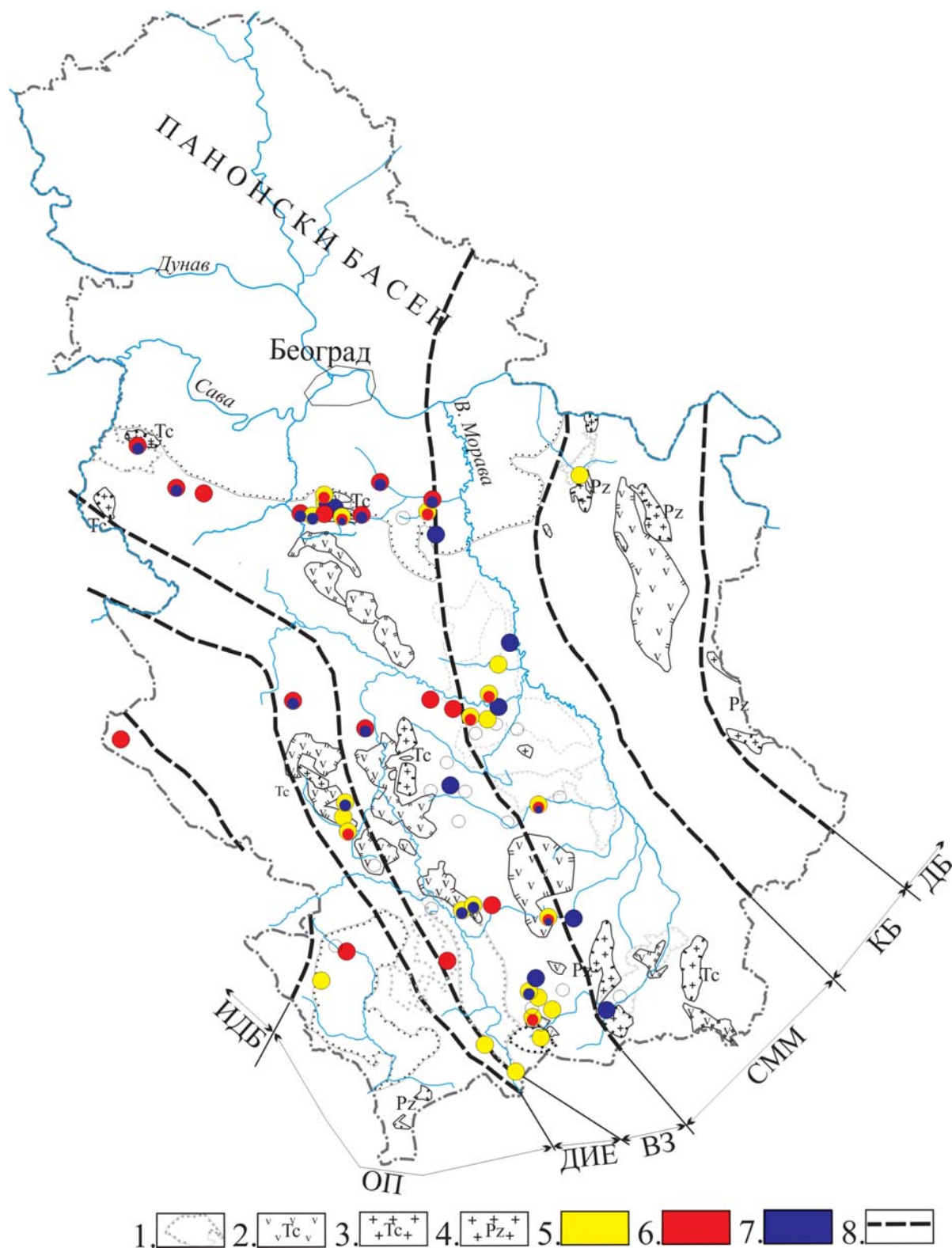
## 5.5 Радиоактивност

Са аспекта радиоактивности угљокиселих минералних вода Србије, разматран је садржај  $U$ ,  $Ra$  и  $Rn$ . Код више од 38 % појава садржај  $U$  је био већи од  $1 \mu\text{g/l}$ , а максималан  $6,3 \mu\text{g/l}$  на појави Носаље. Затим, код више од 43 % појава садржај  $Ra$  је био већи од  $0,2 \text{ Bq/l}$ , а максималан  $1,4 \text{ Bq/l}$  на појави Студенички извор. И код више од 40 % појава садржај  $Rn$  је био већи од  $20 \text{ Bq/l}$ . Из претходног се може констатовати да се у повишеним концентрацијама веома често налазе  $Ra$  и  $Rn$ , а да се уран ретко налази у повишеним концентрацијама, преко  $1 \mu\text{g/l}$  (слика 73).

Уран је изузетно мигративан и способан да се појављује у најразноврснијим геолошким срединама, и тиме се разликује готово од свих других метала (Евсева и Перелман, 1962). Највише га има у киселим интрузивним стенама. Елементи радијум и радон су



нераздвојни део геохемије урана. Ако је уран карактеристичан елемент оксидационих услова, радијум је насупротив томе карактеристичан елемент редукционих услова.



Слика 73. Шематски приказ садржаја радионуклида у угљокиселим водама Србије

Легенда: 1. терцијарни седиментни басен; 2. терцијарни вулканити; 3. терцијарни гранити; 4. палеозојски гранитоиди; 5. садржај  $U > 1 \mu\text{g/l}$  (жута); 6. садржај  $Ra > 0,2 \text{ Bq/l}$  (црвена); 7. садржај  $Rn > 20 \text{ Bq/l}$  (плава); 8. граница геотектонске јединице.



Повишене концентрације  $Ra$  и  $Rn$ , у разматраним угљокиселим водама, првенствено су везане за терцијарне гранитоидне стене. Изнад максимално дозвољених концентрација (МДК) у водама за пиће, радијум се налази у угљокиселим водама Студеничког извора (1,4 Вq/l) и Рајчиновића бање (1,18 Вq/l), док се радон налази у више од 70 % појава изнад МДК.

## **6. ХИДРОГЕОЛОШКЕ СТРУКТУРЕ**

## 6.1. Хидрогеолошке структуре угљокиселих минералних вода

Регионалне и локалне хидрогеолошке структуре могу да буду формиране у домену два типа геолошких средина: а) магматске, метаморфне и чврсте, масивне седиментне стене различитог степена испуцалости, односно карстификованости; б) седиментне стене, првенствено растресите и полувезане које образују геолошка тела у виду слојева (Драгишић, 1997).

а) Једна иста чврста стенска маса може у једном свом делу бити водоносник, а у другом безводна. У њима су угљокиселе воде везане за пропусне тектонске разломе који залежу до различитих дубина. Зоне испуцалости или карстификованости, образоване у овим стенама, различите су по форми и размери у плану и профилу. У масивима ових чврстих стена могуће је разматрати водоносност испуцалих или карстификованих зона, тј. разломних структура.

Локална зона или разлом угљокиселих вода представља област чврстих стенских маса, у оквиру којих је развијен одговарајући локални систем водоносних, једнородних литогенетских, тектонских или пукотинских распадања. Регионална зона или разлом угљокиселих вода представља по површини распрострањења постојан систем локалних испуцалих или карстификованих зона, односно разлома, који се карактеришу општошћу формирања и кретања угљокиселих вода.

б) Код растреситих, полувезаних и делимично чврстих седиментних стена, основне хидрогеолошке структуре су: слој, хоризонт и комплекс, док су структуре регионалног карактера представљене хидрогеолошким басенима.

Слој угљокиселе воде представља слој стене који карактерише једнородност литофацијалног састава, постојаност у плану и профилу и једнородност филтрационих својстава и издашности. Хоризонт угљокиселе воде представља један или више водоносних слојева који залежу између водонепропусних слојева. Комплекс угљокиселих вода представља неколико водоносних хоризоната, који су одвојени слабопропусним или водонепропусним стенама. Хидрогеолошки басен представља свеукупност водоносних, водонепропусних и релативно водонепропусних хоризоната или комплекса. Једна од битних карактеристика хидрогеолошких басена јесте да се они често налазе потпуно или делимично испод локалних ерозионих базиса, са дренарањем угљокиселих вода које се остварује у значајном степену у границама структура.

Хидрогеолошким структурама угљокиселих минералних вода могу се сматрати целине повезаних порозних геолошких средина засићених угљокиселим водама у простору између области храњења, зона мешања инфилтрационих вода и угљендиоксида, и зона дренажања.

У литосфери Србије, хидрогеолошке структуре угљокиселих вода формиране су у чврстим стенским масама геолошке основе, као и у растреситим, полувезаним и делимично везаним „екранирајућим“ стенама.

Разломна зона је основна хидрогеолошка структура у чврстим стенским масама геолошке основе. Акумулирање и кретање угљокиселих вода генерално се одвија дуж пукотинских система у домену разлома. Угљокиселе воде се у неким геолошким срединама са спорадичним учешћем карбоната и кварцита или са пробојима вулканита, акумулирају и у литолошким дисконтинуитетима. У разломним зонама са карбонатним стенама, заступљена је и карстна порозност, која условљава формирање већих резерви угљокиселих вода.

Разломне зоне угљокиселих вода, које залежу у чврстим стенама геолошке основе, „екраниране“ су растреситим, полувезаним и делимично чврстим седиментним стенама. Основне хидрогеолошке структуре угљокиселих вода у овим екранирајућим седиментним стенама су слој и хоризонт. Када је разломна зона „екранирана“ седиментима веће моћности, као што је то случај код угљокиселих вода Паланачког кисељака, могу да се формирају водоносни комплекси угљокиселих вода.

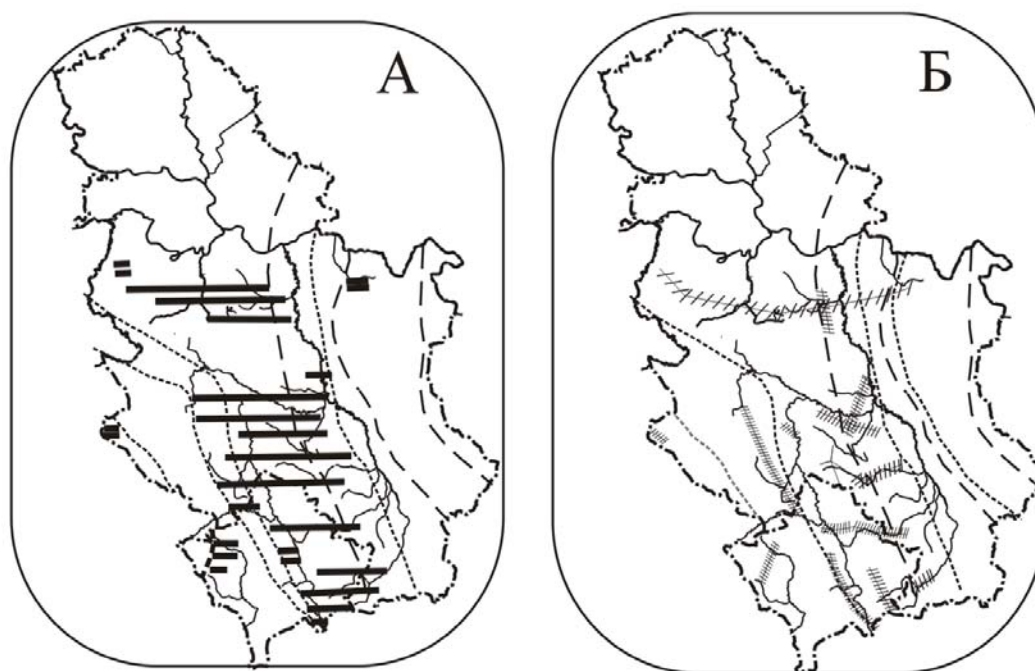
## **6.2. Распрострањење**

Распрострањење хидрогеолошких структура угљокиселих вода у односу на познате геотектонске јединице територије Србије (Димитријевић, 1982 и 1985) приказано је на сликама 2 и 74. Може се видети, да се око 57 % појава јавља на подручју Вардарске зоне, 26 % на подручју Гнајсног комплекса Српско – македонске масе, 10 % на подручју Дринско – ивањичког елемента, 4 % на подручју Офиолтског појаса и по 1 % на подручју Источно-дурмиторског блока односно Карпато – балканида. Више од 90 % појава јавља се у домену Вардарске зоне и маргинама суседних геотектонских (зона) јединица.

На основу распрострањења хидрогеолошких структура угљокиселих вода, произилази да је ослобађање угљендиоксида везано за делове литосфере Србије који припадају Вардарској зони. При кретању према површини, дистрибуција овог гаса у граничне

тектонске јединице се врши преко младих тектонских зона. На примеру Western Eger Rift дистрибуција угљендиоксида из дубине литосфере према површини врши се по тзв. Y – структурама (Weinlich et al., 2003). У нашем случају, хидрогеолошке структуре угљокиселих вода су по свему коренито везане за дубоке делове литосфере у домену Вардарске зоне. Правци пружања младих (дисјунктивних) тектонских структура, којима угљендиоксид мигрира, добро се уочавају у појасу између Вардарске зоне и Српско – македонске масе.

На слици 74 Б, шематски су приказани уочени линијски правци маркирани угљокиселим водама. Већина тектонских разлома је водонепропусна, а њихова највећа водопрпусност је утврђена у мобилним деловима Земљине коре, а посебно у деловима њеног растезања (Степанов, 1989). Тако произилази да су уочени линијски правци у литосфери Србије, по свему, правци дисјунктивних неотектонских кретања. То су, такође, канали предиспонирани за миграцију угљедиоксида из дубоких делова литосфере према површини, али и отворене структуре за слободну инфилтрацију атмосферских и површинских вода.



Слика 74. Шематски приказ А) подручје распрострањења угљокиселих вода и Б) уочених линијских распореда појава

На основу уочених линијски распоређених угљокиселих вода на територији Србије, произилази да би дистрибуција ових вода из дубоких делова литосфере могла да се одвија у тектонским структурама правца пружања приближно северозапад – југоисток, исток – запад и североисток – југозапад. Такође, запажа се да су бројне појаве

груписане по јужном ободу Панонског басена. То указује на могућу везу угљокиселих вода са тектонским структурама формираним каскадним спуштањем овог басена и упоредним издизањем влашићко – букуљског антиклиноријума и других структура.

Распрострањење хидрогеолошких структура угљокиселих вода везано је за Вардарску зону, која се карактерише сложеном геолошко – тектонском грађом и терцијарним магматизмом. Угљокиселе воде нису регистроване на источном, југоисточном, северном и на широком подручју западне Србије.

### **6.3. Прихрањивање и дренажање**

На основу изотопског састава, утврђено је да су угљокиселе воде Србије атмосферског (инфилтрационог) порекла (Перић и Миливојевић, 1990, фонд. док.ум.). Прихрањивање угљокиселих вода одвија се инфилтрационим путем, на рачун атмосферских падавина. Инфилтрација падавина се одвија дуж тектонски ослабљених зона, директно или индиректно преко површинских токова, акумулација и граничних водоносних структура и хоризоната. Евентуално учешће вода другог порекла (мантијског, седиментног), може да постоји само у безначајно малим количинама.

У литосфери Србије, формирање угљокиселих вода везано је за дубоке разломне зоне. Пошто су прилагођене овим линијским зонама, јасно је да и контуре њихових области храњења морају да имају издужене овалне облике. Код ових хидрогеолошких структура, које су покривене пропусним седиментима, ширина контура области храњења зависе од распрострањења и пропусности тих седимената.

Хидрогеолошке структуре угљокиселих вода су по карактеру истицања узлазног – артеског типа. Извори узлазног типа припадају како слојним тако и пукотинским водоносним системима (Богомолов, 1975). Дренажање ових структура на површину може бити условљено хидростатичким притиском, притиском гаса или водене паре. Извори који истичу под притиском паре дејствују периодично, јер притисак водене паре на одређеној дубини расте постепено док не достигне снагу довољну да потисне водени стуб. Код артеских басена углавном су истраживана истицања угљокиселих вода која се испољавају на површини. Она скривена тешко се уочавају и веома мало су истражена.

Пијезометарски ниво, код хидрогеолошких структура угљокиселих вода, може да буде на већој висини од теоретског статичког нивоа. Ово је могуће захваљујући притиску гаса ослобођеног из апсорпционог стања, који својим ширењем утиче на повећање притиска.

За литосферу Србије, теоретска, доња граница залегања хидрогеолошких структура угљокиселих вода износи до 2 – 3 km дубине (Маринковић и други, 2013).

Путеви миграције угљендиоксида из дубоких делова литосфере до површине земље су предиспонирани дубоким разломним зонама. На том путу према површини, угљендиоксид засићује подземне воде разбијених пукотинских система у различитим литостратиграфским јединицама. У приповршинском појасу количина акумулираних вода засићених угљендиоксидом се значајно повећава. Највеће количине угљокиселих вода у геолошкој основи су акумулиране у карбонатним стенама и масивима са младим вулканским пробојима. Код квартарних и терцијарних седимената стена то се односи на пропусне хоризонте. Тако се, угљокиселе воде из дубоких делова литосфере према површини постепено прилагођавају водоносним структурама веће екстензије.

Дренирање угљокиселих вода се по правилу одвија у доњим деловима речних долина, дифузно кроз неvezане седименте и линијски – дуж тектонских зона геолошке основе. Места истицања угљокиселих вода су у дубоким клисурама (Луковска бања, Куршумлијска бања и др.), релативно широким долинама (Сува чесма, Бујановачка бања, Чибутковица, Паланачки кисељак и др.) или у плитким долинама на куполама антиклиноријума (Крајчиновићи, Горње Црниљево, Оглађеновац).

Дубоке и релативно дубоке хидрогеолошке структуре угљокиселих вода представљају средине са сложенем дистрибуцијом порозних пукотинских система. На различитим нивоима, ове структуре су у различитој мери хидраулички повезане са бочним пропусним тектонским дисконтинуитетима. Кроз тако сложене системе, угљендиоксид се на путу према површини дистрибуира по мрежи пукотина веома неуједначног и неправилног распрострањења. Генерално, привилеговани линијски добро пропусни делови тектонских структура (по једном или по више праваца) имају функцију дренажног геолошког тела, за све хидраулички повезане водоносне средине на различитим нивоима.

#### **6.4. Удаљеност области храњења**

Основни вид храњења угљокиселих вода је инфилтрациони. Атмосферске воде се инфилтрирају директно кроз пропусне разломне зоне и индиректно преко граничних аквифера, површинских токова и акумулација. Контуре области храњења су овалног издуженог облика, прилагођене линијском пружању пропусних разломних зона.



Интензитет прихрањивања и удаљеност области храњења зависе пре свега од интензитета и учесталости падавина, као и од порозности и пространства пропусних разломних зона у којима су формиране угљокиселе воде. Важан фактор прихрањивања може да представља и однос ових структура према граничним водоносницима и геоморфологији терена.

Старост угљокиселих вода Србије за појаву Чибутковица износи 28.800 година, Паланачки киселњак 19.100, Велуће 22.000, Врњачка бања 30.000, Вичка бања и Бујановачка бања 40.000, Сува чесма 28.800, Рајчиновић бања 29.600, Луковска бања 24.500, Куршумлијска бања 24.000, Селтерс 13.900 година (Перић и Миливојевић, 1990, фонд. док.ум.). На основу повишеног садржаја ТС јединица угљокиселе воде Доњих Левића су старости мање од 50 година (Крстић, 1991, фонд. док.ум.).

Удаљености области храњења могу се проценити на основу познате старости, просечне брзине кретања вода (од момента инфилтрације до момента појављивања на изворима), и познате дубине залегања хидрогеолошких структура.

Хидрогеолошке структуре угљокиселих минералних вода највећим делом залежу у протерозојским и палеозојским кристаластим шкриљцима. У изломљеним кристаластим шкриљцима, брзина кретања подземних вода може да износи од  $n \cdot 10^{-8}$  до  $n \cdot 10^{-4}$  m/s и за компактне кристаласте шкриљце од  $n \cdot 10^{-13}$  до  $n \cdot 10^{-10}$  m/s (Драгишић, 1997). У хидродинамичкој зони веома успорених процеса водозамене, подземне воде могу да се крећу брзином од 1,5 до  $6 \cdot 10^{-9}$  m/s. Из претходног је могуће усвојити минималну просечну брзину угљокиселих минералних вода која одговара брзини кретања вода у изломљеним кристаластим шкриљцима од  $1,1 \cdot 10^{-8}$  m/s. За старост вода од 13.900 година (Селтерс) дужина пута који прелази атмосферска вода од момента инфилтрације до момента појављивања на извору износи око 4,4 km. За старост вода 24.000 година та путања износи око 7,6 km, за 30.000 година око 9,5 km и за 40.000 година 12,6 km. Ако се узме у обзир максимална могућа дубина залегања угљокиселих вода у литосфери Србије, од 2.500 m (Маринковић и други, 2013), онда удаљеност области храњења могу да износе од мање од 1 до 10 km. Ова удаљеност је изражена по пружању пропусних тектонских структура.

### **6.5. Дубина залегања угљокиселих вода**

При разматрању дубине залегања угљокиселих вода у литосфери Србије, пошло се од претпоставке да она мора бити условљена размером и порозности дубоких тектонских

структура (Weinlich et al, 2003; Xiaoyong et al, 2008) и дужином генерисања угљендиоксида.

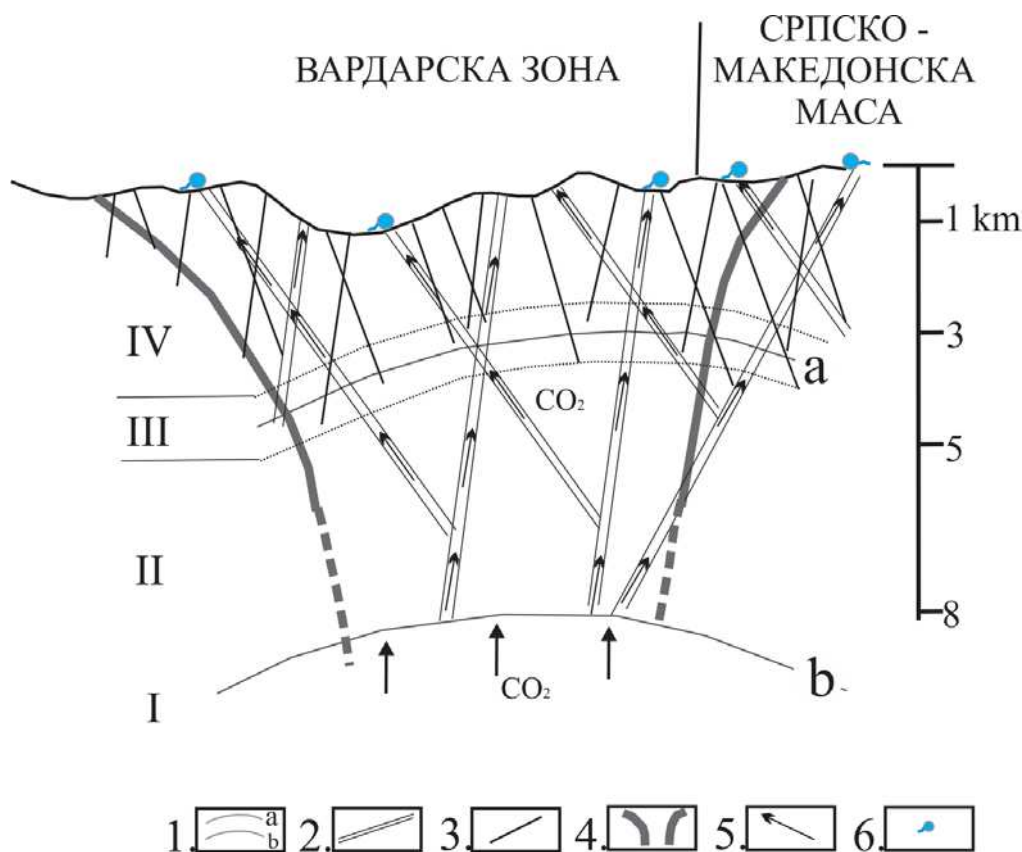
Генерисање угљендиоксида у литосфери Србије одвија се из процеса температурне трансформације доломита и калцита, испод 3 km дубине. Од ове дубине, концентрација гаса у порозним тектонским структурама се поступно повећава. Исто тако, поступно се повећава и густина тектонских дисконтинуитета и општа порозност комплекса стена. Услед повећања порозности, угљендиоксид се дистрибуира по све широј мрежи тектонских дисконтинуитета (слика 75). Произилази, да у профилу литосфере Србије (конкретно у домену Вардарске зоне), мора да постоји зоналност у погледу густине и интензитета тектонских структура, па самим тим и у погледу порозности.

При миграцији дубоким тектонским структурама навише, угљендиоксид се дистрибуира активним и дисјунктивним тектонским дисконтинуитетима. На примеру Western Eger Rift, дистрибуција CO<sub>2</sub> се одвија са дубине испод 15 km по тзв. Y – структурама, које условљавају формирање „CO<sub>2</sub> слободне зоне“ на површини терена (Weinlich et al, 2003). С обзиром на то да је за литосферу Србије закључено да угљендиоксид доспева са знатно мањих дубина, формирање ових слободних зона је могуће у знатно ужим размерама.

Инфилтрационе воде до већих дубина могу да продиру само по активним и дисјунктивним разломним зонама. Исте структуре омогућавају и миграцију угљендиоксида из дубоких делова литосфере – испод 3 km дубине. Ранији закључци да се у домену Вардарске зоне одвија најобимније генерисање угљендиоксида и схватање из истраживања о гасном протоку у Western Eger Rift структури (Weinlich et al, 2003.), послужили су за израду шематског профила дубине залегања и зоналности хидрогеолошких структура у овом делу литосфере Србије (слика 75).

На слици је приказано да се угљендиоксид генерише у зонама I и II, да у зони III долази до мешања инфилтрационих вода и угљендиоксида и да се зона IV издваја као зона залегања угљокиселих вода. На путу кретања CO<sub>2</sub> према површини, и на одређеној дубини до које доспевају инфилтрационе воде, долази до мешања (засићења) подземних вода угљендиоксидом. Логично да се, теоретски, управо та дубина мешања може сматрати дужином залегања угљокиселих вода. Са повећањем дубине се смањује порозност литосфере, а са друге стране повећава се концентрација угљендиоксида у разломним зонама. Закључујемо да са повећањем дубине постаји и отежано продирање

инфилтрационих вода. Тако се, по свему, и зона мешања тј. zasiћења подземних вода угљендиоксидом (зона III) налази изнад зоне генерисања.



Слика 75. Шематски приказ дубине залегања угљокиселих вода у литосфери Србије

Легенда: 1. граница (а) испод које су температуре преко 150 °C и граница (б) испод које су температуре преко 360 °C; 2. дубоки тектонски дисконтинуитети; 3. релативно дубоки тектонски дисконтинуитети; 4. претпостављене границе залегања Вардарске зоне; 5. правац кретања угљендиоксида; 6. појава угљокиселе воде.

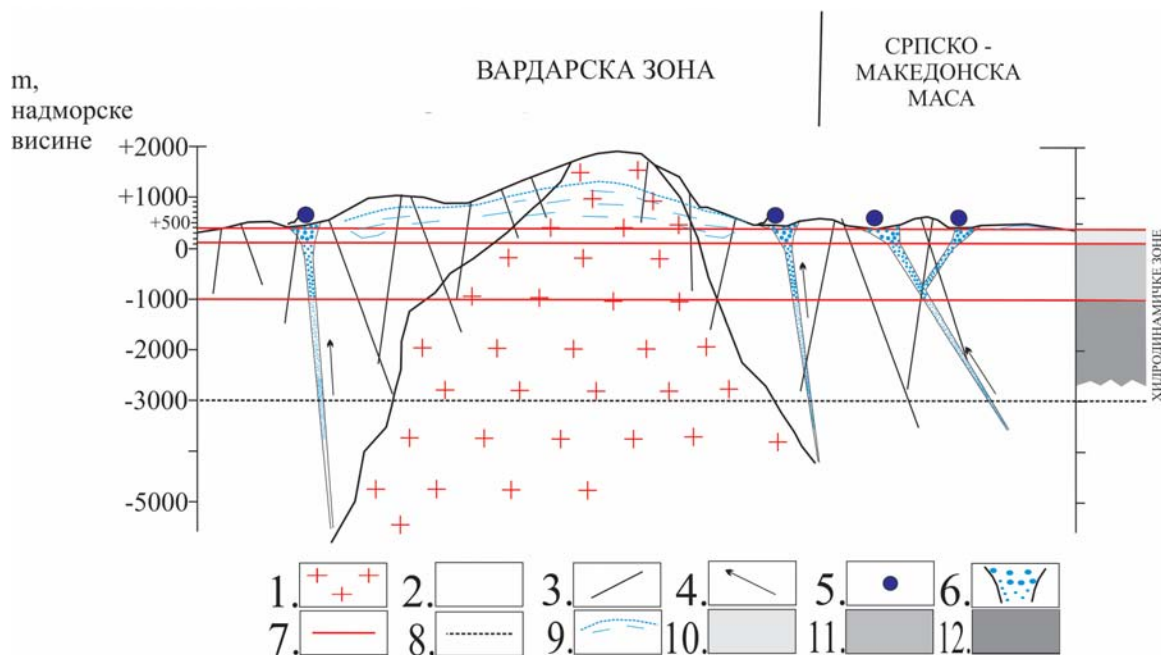
I – зона генерисања угљендиоксида из графита и карбоната; II – зона генерисања угљендиоксида из карбоната; III – зона мешања инфилтрационих вода и угљендиоксида; IV- зона залегања угљокиселих вода.

Могуће је закључити да угљокиселе воде, у литосфери Србије могу да залежу максимално до 2 – 3 km дубине. Међутим, ако се узме у обзир да је утврђена старост ових вода од 18 до 40 хиљада година (Перић и Миливојевић, 1990, фонд. док. док.), и ако се узме у обзир њихова брзина кретања, произилази да до дубине 2 – 3 km воде не могу да учествују у количинској измени, за утврђену старост. Произилази да је дубина активних процеса водозамене (у хидрогеолошким структурама ових вода) знатно мања и да је условљена са више фактора. Зависи од пропусти хидрогеолошке структуре, од дубине и степена остварене хидрауличке везе између области храњења и дренарања као и од хипсометријског односа са регионалним дренарајућим базисима.

## 6.6. Хидродинамички услови

Одређени хипсометријски делови (зоне) хидрогеолошких структура угљокиселих вода могу да се разликују по брзини кретања вода, интензитету водозамене и карактеру миграционих процеса угљендиоксида и других гасова и материја. Основни фактори који могу да одређују хидродинамичку зоналност у овим структурама су: хипсометријски однос области савременог храњења и дренарања, затим, геолошка грађа области, водопрпусност и степен хидрауличке везе између области храњења и зоне денирања. Такође, и разлике у густини и температури угљокиселе воде и њихова отвореност према површини могу да утичу на хидродинамичку зоналност.

Претпоставља се да хидродинамичку зоналност могу да условљавају: ниво дренарања угљокиселих вода, ниво регионалног дренарајућег базиса и ниво минималне дубине генерисања угљендиоксида (слика 76).



Слика 76. Шематски приказ хидродинамичке зоналности у хидрогеолошким структурама угљокиселих вода Србије

Легенда: 1. гранитоидни интрузив; 2. седиментне и метаморфне стене; 3. релативно дубока тектонска структура; 4. смер кретања угљокиселих вода; 5. појава угљокиселих вода на површини терена; 6. разломна зона; 7. теоретске, односно претпостављене границе хидродинамичких зона; 8. максимална дубина залегања угљокиселих вода; 9. водоносна средина са гравитационим кретањем подземних вода; хидродинамичке зоне - 10. зона активне циркулације; 11. зона успорених процеса водозамене; 12. зона веома успорених процеса водозамене.

Хидродинамичка зоналност у структурама угљокиселих вода може се посматрати од нивоа дренарања до дубине залегања ових вода. Теоретска максимална дубина залегања

угљокиселих вода за литосферу Србије је процењена на 2 – 2,5 km дубине (Маринковић и други, 2013).

На основу утврђене старости угљокиселих вода Србије (Перић и Миливојевић, 1990, фонд. докум.), њихове могуће брзине кретања у хидрогеолошким структурама и максималне дубине залегања, произилази да се главна количинска измена угљокиселих вода може очекивати до максимално 2 km дубине. Са дубљим залегањем, старост угљокиселих вода била би далеко већа.

Кретање термалних вода у разломима одвија се сходно закономерностима конвективног преноса топлоте. Условљено је хидростатичким притисцима у областима храњења, као и разликом густине термалних вода (загрејаних на већим дубинама) и хладних вода у приповршинским деловима хидрогеолошких структура (Степанов, 1989). У стабилним системима, при конвективном преносу топлоте, упоредно са узлазним кретањима термалних вода, формирају се и силазни пукотинско – жичних токови. Силазни токови су формирано од области храњења до дубине њиховог засићења угљендиоксидом и примања топлоте. Кретање ових угљокиселих термоминералних раствора након формирања се усмерава узлазно.

Хидродинамичка зона интензивних процеса водозамене просечно залеже до дубине корита великих речних токова. Карактеристика подземних вода у овој зони је релативно велика брзина кретања и усмереност ка речним токовима или површинским акумулацијама. Водозамена се врши у периоду до 100 година. Јасно је да за старост угљокиселих вода која се мери десетинама хиљада година, издвајање ове зоне у датом смислу није могуће. Међутим, чињеница је да се у структурама угљокиселих вода до одређене дубине, без обзира на старост, остварује активна количинска измена. То се дешава јер се прихрањивање одвија из дубоких делова система и граничних водоносних средина на различитим нивоима. Дубина залегања ове зоне може да зависи највише од пропусности геолошких структура и од степена остварене хидрауличке везе између области храњења и дренирања.

Пошто се угљокиселе воде дренирају узлазно у нивоу речних долина, на дубину активне циркулације могу да имају утицај хипсометријски нижи већи речни токови. На територији Србије, тај хипсометријски однос између хидрогеолошких структура угљокиселих вода и регионалних дренирајућих базиса расте од северних појава, где износи од 50 до 150 m, према јужним планинским областима где може да износи и више од 300 m.

Теоретски, зона успорених процеса водозамене, залеже на дубинама испод зоне активне циркулације угљокиселих вода. У хидрогеолошким структурама, поред осталих поментих фактора, ове зоне могу да буду контролисане нивоима највећих речних токова (Дунав, Колубара, Велика Морава, Западна Морава, Јужна Морава, Топлица, Ибар, Бистрица и Бели Дрим). У поређењу са зоном активне циркулације, кретање угљокиселих вода у овој зони је врло споро. Потпуна водозамена врши се у трајању од 100 до 100 милиона година. Претпоставља се да је у њој молекуларна дифузија угљендиоксида доминантнија од конвективне која је условљена кретањем угљокиселе воде.

Зона веома успорених процеса водозамене теоретски залеже на дубинама већим од 1000 m. Природна брзина кретања подземних вода је веома мала (0,05 – 0,1 m/год). Практично нема услова за обнављање природних резерви подземних вода. Карактеришу је високе температуре и притисци. У њој се претпоставља искључиво дифузно кретање угљендиоксида.

Из зоне веома успорених процеса водозамене угљендиоксид доспева кроз процесе дифузне миграције са безначајно малим количинама подземних вода. У хидродинамичкој зони успорених, а посебно веома успорених процеса водозамене, израженији су процеси дифузне миграције овог гаса, док је у хидродинамичкој зони активне циркулације изражена конвективна миграција угљендиоксида.

Могуће је закључити да у хидрогеолошким структурама угљокиселих вода постоји зоналност у погледу брзине и количинске измене угљендиоксида и воде. Дакле, у зони веома успорених процеса водозамене количинска измена је на страни угљендиоксида. У приповршинским условима активне циркулације угљендиоксид и вода имају усаглашену брзину. У овим структурама не може да се очекује зона у којој би брзина кретања и количинска измена у систему били на страни воде.

### **6.7. Тектонске (разломне) зоне**

Тектонске зоне у којима се формирају угљокиселе воде највећим делом су везане за Вардарску зону. Угљендиоксид се из домена ове геотектонске јединице, младим разломним зонама дубоког залегања дистрибуира према суседним зонама (Српско – македонска маса и Дринско – ивањички елемент). Доминантани правци пружања ових дубоких разлома су северозапад – југоисток, исток – запад и североисток – југозапад. У домену Офиолитског појаса се јавља неколико појава, а по једна и у домену Карпато

балканида и Источно – дурмиторске геотектонске јединице. Без обзира на њихову удаљеност, запажа се да су, осим код задње поменуте, и оне у вези са централном области распрострањења у структурно – тектонском погледу.

Јасно се запажа да је и распрострањење терцијарних магматита аналогно појавама угљокиселих вода, централно везано за Вардарску зону, и са дистрибуцијом ка суседним геотектонским јединицама (слика 77).

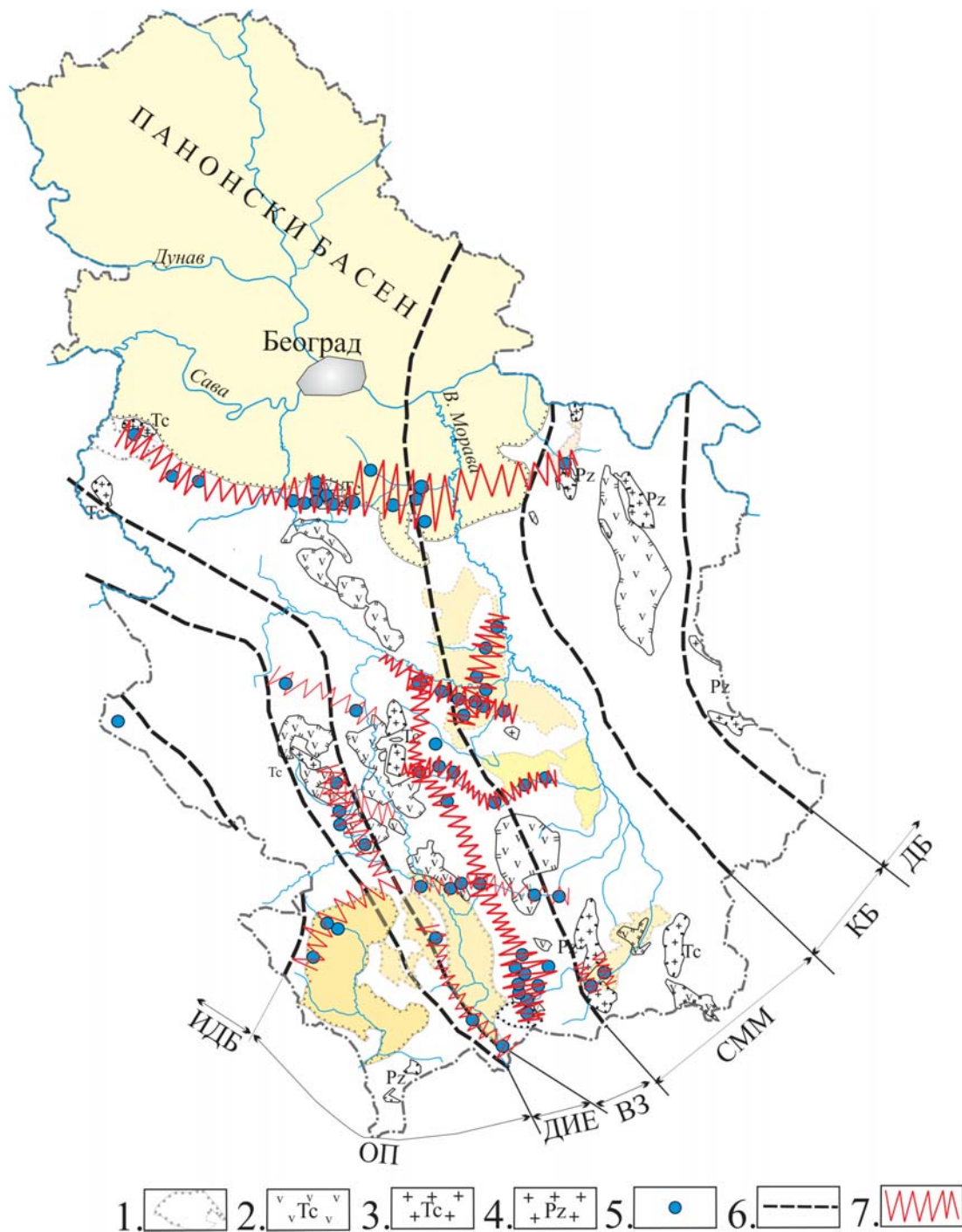
Дубоки разломи меридијалног пружања, којима су путеви отворени вулканским продорима, маркирани су и појавама угљокиселих вода. Ови разломи углавном чине и границе геотектонских јединица (Вукашиновић, 2005). У хидрогеолошком погледу, ови дубоки разломи нису пропусни, тако да се њихова веза са угљокиселим водама може сматрати индиректном. М.Миливојевић (1989.) је овом централном зоном, меридијалног пружања, издвојио подручје са повишеним геотемпературним условима у литосфери Србије.

Произилази да угљокиселе воде маркирају дубоке разломне зоне за које су везане вулканске и поствулканске активности. Ови разломи нису пропусни и не могу се сматрати структурама угљокиселих вода. То су по свему активне и дисјунктивне међублоковске тектонске структуре, са пратећим отвореним пукотинама, пукотинско-карстним системима и литолошким дисконтинуитетима.

Генерално посматрано, геолошку основу подручја распрострањења угљокиселих вода Србије карактеришу навлачне структуре и блоковска грађа, са блоковима различите величине и облика (Сегон et al, 1999). Међублоковски разломи су различите размере – ширине, дужине пружања, дубине залегања и неотектонске активности.

Угљокиселе воде на територији Србије, се јављају по ободу терцијарних басена (Панонски, Кучевски, Крушевачи, Косовско – метохијски, Јужно-моравски рова и др.), у области терцијарних магматита (Сијаринска бања, Клокот бања, Гараши, Брајковац и др.) или у дубоким клисурастим долинама у планинским областима Голије и Копаоника (Куршумлијска бања, Луковска бања, Студенички извор и др.).



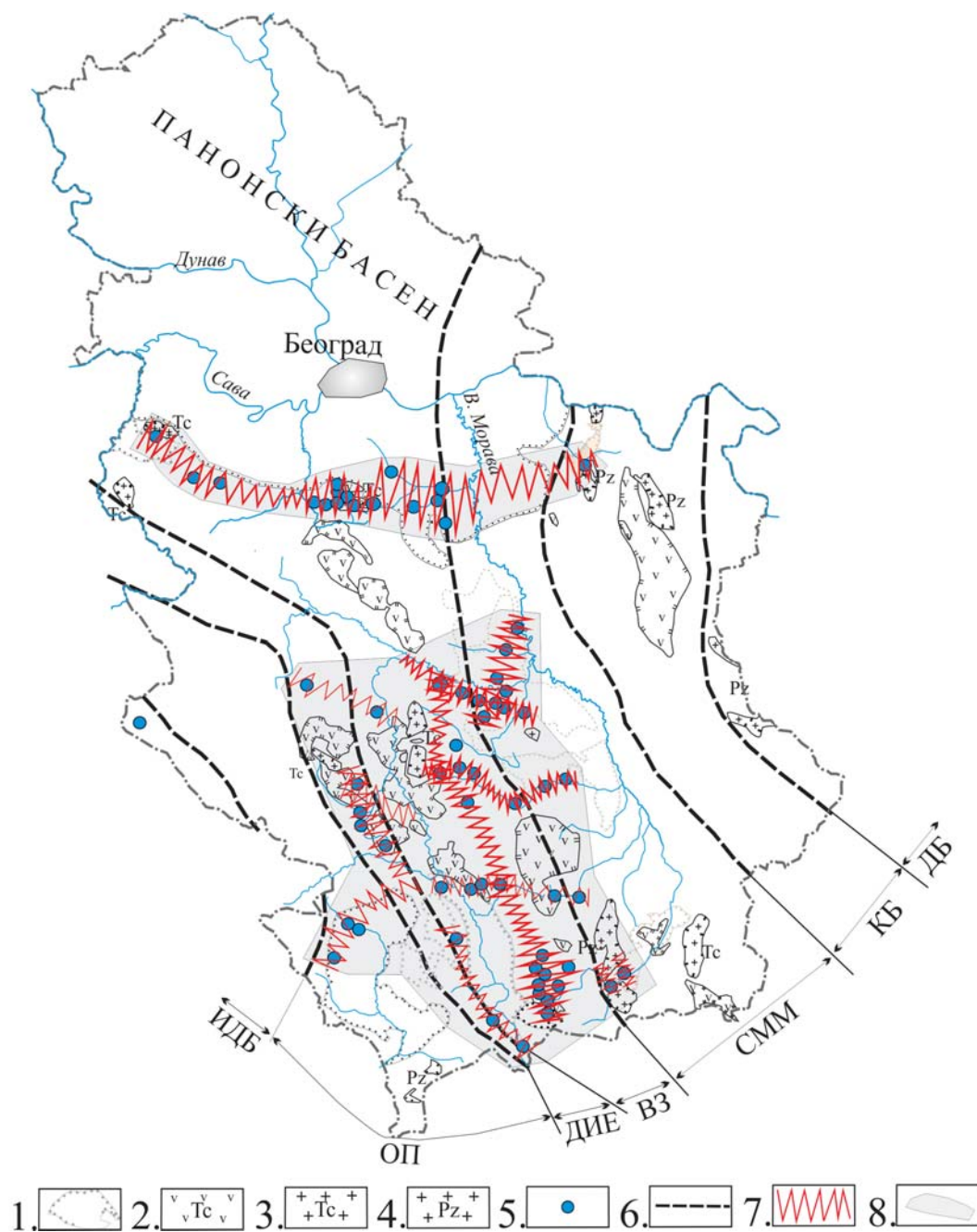


Слика 77. Шематски приказ регионалних тектонских структура на територији Србије маркиране угљокиселим водама

Легенда: 1. терцијарни седиментни басен; 2. терцијарни вулканити; 3. терцијарни гранитоид; 4. палеозојски гранитоид; 5. појава угљокиселе воде; 6. граница геотектонске јединице; 7. линијска регионална тектонска структура маркирана угљокиселим водама.

Линијски правци, који су маркирани угљокиселим водама, чине сплет тектонских структура различитих праваца пружања. Шире посматрано, све оне су распрострањене у ограниченим просторима, као резултат истих геотектонских активности. На територији Србије се запажају две јасно одвојене широке зоне у којима су груписане угљокиселе

воде. Прва је распрострањена у појасу око јужног обода Панонског басена, а друга у централном јужном делу територије Србије (слика 78).



Слика 78. Шематски приказ зона у којима су груписане угљокиселе минералне воде Србије

Легенда: 1. терцијарни седиментни басен; 2. терцијарни вулканити; 3. терцијарни гранитоид; 4. палеозојски гранитоид; 5. појава угљокиселе воде; 6. граница геотектонске јединице; 7. линијска тектонска структура маркирана угљокиселим водама; 8. зоне у којима су груписане појаве угљокиселих вода.

**Прва зона.** Распрострањена је око јужног обода Панонског басена. Формирана је у широком појасу линијског пружања, на правцу запад – исток. Од терцијарних гранитоида Цера, преко влашићко -букуљског хорст антиклиноријума и Аранђеловачко-

младеновачко-паланачког басена, до терцијарног басен Кучева са палеозојским гранитоидом. Дубоке разломне зоне ове области, у којима су формиране угљокиселе воде, су настале активним каскадним спуштањем крупних блокова према Панонском басену и Јужноморавском тектонском рову. Вероватно и утискивањем гранитних интрузива у језгра поменутих хорст антиклиноријума. Јужни обод Панонског басена се карактерише блоковском грађом. Угљокиселе воде су формиране у дисјунктивним међублоковским тектонским структурама, на делу где их покривају квартарни и терцијарни седименти.

Јужни обод Панонског басена има сложену геолошко – тектонску грађу. Изграђују га кристаласти шкриљци са гранитоидима и вулканитима и чврсте и растресите седиментне стене. Цео простор прожимају активне тектонске структуре дубоког залегања, које су маркиране бројним појавама угљокиселих вода. Формиране хорст антиклиналне структуре и повишени садржаји радионуклеида у угљокиселим водама (углавном *Ra* и *Rn*), указују на велико пространство терцијарних гранита дуж ове зоне. Код Нереснице, где је утиснут палеозојски гранитоид, садржај радионуклеида у овим водама је низак. Без обзира на сву геолошку сложеност, запажа се да је за ову зону заједничко појава терцијарног вулканизма и угљокиселих вода. Произилази да су фактори формирања угљокиселих вода јужног обода Панонског басена терцијарни магматизам, активне тектонске структуре и повишени геотемпературни услови.

**Друга зона.** Јасно се издваја по распрострањењу угљокиселих вода у централном јужном делу Србије. Највећим делом припада планинским и међупланинским областима Копаоника, Голије, Шар- планине, Јухора и других мањих планина. У овој зони налази се више од 45 појава, што износи више од 70 % од свих познатих на територији Србије. Угљокиселе воде су груписане линијски, на регионалним тектонским структурама (слика 77). Из ранијих разматрања, утврђено је да се ове воде јављају на познатим дубинским разломима и млађим разломним зонама дубоког залегања. На пример, угљокиселе воде мартирају познати дубински разлом Врњачка бања – Плеш – Радманово (Вукашиновић, 2005) и познате разломне зоне дубоког залегања: Топличка, Војетинска, Моравичка, Студеничка и др.

У овој зони запажа се више регионалних линијских праваца на којима су груписане угљокиселе воде.

На подручју западноморавско – крушевачко – поморавског басена, ове воде мартирају два линијска правца, североисток – југозапад (Својиново – Орашје – Бела вода – Читлук

– Велика Врбица) и северозапад – југоисток (Врњачка бања – Велуће – Црнишава – Велика Врбица – Жабаре – Ломнички кисељак) (слика 77). Пошто су ова два регионална правца формирана у зони хорстова и ровова екранираних терцијарним седиментима, претпоставља се да угљокиселе воде указују на правце дисјунктивних сучељавања крупних блокова.

Дуж Топличке разломне зоне јављају се угљокиселе воде Суве Чесме, Виче, Жарева и Магова. У продужетку зоне у правцу запада, на разломној зони Војетина је појава Доњих Левића. На првом поменутом разлому се сучељавају блокови са хоризонталним кретањима, док су за разлом Војетина везани продори вулканита Копаоника. Угљокиселе воде су формиране у зонама пресека ових разлома са млађим тектонским структурама. На пример, на пресеку разломне зоне Војетина и дубинског разлома Врњачка бања – Плеш – Радманово истичу угљокиселе воде Доњих Левића.

На правцу северозапад – југоисток распоређене су угљокиселе воде Приличког кисељака, Студеничког извора и Бруса (са повишеним садржајем угљендиоксида). Овај линијски правац сече превој између Жељинског и Копаоничког гранитоида. Угљокиселе воде су формиране у међублоковским разломним зонама Моравице и Студенице.

Угљокиселе воде Дежеве и Рајчиновића бање такође се јављају на млађој разломној зони правца пружања северозапад – југоисток. На југоисточном продужетку, у области Рогозне, јављају се термоминералне воде Новопазарске бање, бање Бањске и Јошевика (све са повишеним садржајем угљендиоксида) (Маринковић, 2012, фонд. док. док.). Угљокиселе воде су формиране у области терцијарних магматита Голије, у активним дисјунктивним регионалним разломним зонама на којима се сучељавају крупне блоковске структуре. Дуж ове планинске области, угљокиселе воде су распрострањене линијски у сагласности са меридијалним пружањем кристалстих шкриљаца Дринско – ивањичког елемента и киселих терцијарних магматита.

Дуж претпостављене рецентне разломне зоне, генералног правца пружања запад – исток, јављају се у линијском низу угљокиселе воде Дечана, Пећке бање, Дубова, Љуште, Слатине, Гојбуље, Киселе бање, Туларске бање и Сијаринске бање. Овај низ појава угљокиселих вода највећим делом окружује северну страну Косовско – метохијске депресије, слично угљокиселим водама које окружује јужни обод Панонског басена. Туларска и Сијаринска бања се налазе на источном продужетку овог низа у области терцијарног вулканизма. На западном крају ове линијске зоне, на северном ободу Косовско – метохијског терцијарног басена, јављају се угљокиселе воде Дубова,

Пећке бање и Дечана. Оне маркирају активне дисјунктивне раседне структуре у зони хорстова и ровова, које покривају терцијарни седименти Метохијског басена.

Запажа се да угљокиселе воде маркирају дубинске разломе (Вукашиновић, 2010). То су, разлом који разграничава Дринско - ивањички елемент и Офиолитски појас, централни дубински разлом кроз Вардарску зону (Врњачка Бања – Плеш – Радманово) и дубински разлом који разграничава Српско-македонску масу и Вардарску зону.

Тектонске структуре маркиране угљокиселим водама по ободу Косовско – метохијског басена су настале генералним понирањем крупних блокова у домену овог басена. У области Лецког андезитског масива угљокиселе воде су формиране у тектонским структурама које су резултат поствулканских активности. Ове међублоковске разломне зоне маркирају угљокиселе воде Туларске и Сијаринске бање.

Угљокиселе воде Клокот бање и Бујановачке бање јављају се у области укрштања дубинских разлома и мањих активних тектонских ров структура, запуњених терцијарним седиментима. Угљокиселе воде Клокот бање (Понеш, Гумниште, Баланце и др.) везане су за терцијарне вулканите у зони укрштања дубоког разлома и биначко – моравског тектонског рова. У области Бујановачке бање, угљокиселе воде јављају се у зони укрштања дубинског разлома (тупалска дислокација) и раседних структура које обликују јужноморавски тектонски ров. Дубински разлом прати терцијарни вулканизам са рудним појавама. Тектонски покрети који су условили стварање дубоких разлома и вулканску активност, били су активни и у рудној и пострудној фази вулканских активности. Угљокиселе воде су формиране у разломним зонама насталим у овој пострудној фази.

За дубинске разломе меридијалног правца пружања везане су и младе магматске активности праћене орудњењима (Вукашиновић, 2005 и 2010). Ове дубинске разломе маркирају бројне појаве угљокиселих вода. За разлом Зворник – Повлен – Чачак – Рашка – Голеш везане су велике масе киселих магматита Рогозне, Голије и Копаоника. У домену овог разлома формиране су угљокиселе воде области Голије (Прилички кисељак, Рајчиновић бања, Слатински кисељак и др.). А на његовом јужном продужетку и угљокиселе воде области Шар планине (Поклек, Гатњанска бањица и Кисела вода). За дубоки разлом Фрушка Гора – Ковачица – Брзеће - Гњилане, везане су терцијарне магматске активности праћене бројним орудњењима од Клокот бање до Космаја (Барајева). Означен је као централни дубински разлом Вардарске зоне. Маркирају га угљокиселе воде Младеновачке Селтерс бање, Врњачке бање, Доњих Левића, Луковске

бање и Киселе бање. Дубински разлом Иланца – Крагујевац – Крушевац – Прешево, карактерише се местимичним појавама терцијарних магматита и узима се за границу Српско-македонске масе и Вардарске зоне. Маркирају га угљокиселе воде Паланачког кисељака, Велућа, Црнишаве, Туларске бање, Сијеринске бање и Бујановачке бање. Све угљокиселе воде формиране су на пресеку дубинских разлома са млађим тектонским структурама.

Највећи број појава угљокиселих вода Србије везан је за зоне укрштања дубинских разлома меридијалног правца пружања и млађих попречних разлома дубоког залегања. Пошто су дубоки разломи непропусни, јасно је да су угљокиселе воде формиране у овим млађим активним раседима дубоког залегања. Међублоковске разломне зоне, у којима се формирају угљокиселе воде, су активне и дисјуктивне. Распрострањене су у домену терцијарних басена и тектонских ровова, као и у планинским областима које се карактеришу крупном блоковском грађом.

Формирање угљокиселих вода не зависи само од карактера тектонских дисконтинуитета, већ и од литолошког састава геолошке основе, хидрогеолошке функције квартарних и терцијарних седимената као и од других структурних услова конкретне области.

## **6.8. Структурно – геолошко услови**

Угљокиселе воде Србије су формиране у разломним зонама, највећим (кореним) делом или у целини залежу у домену чврстих стенских маса геолошке основе. Мањи део ових вода формиран је у слојевима и хоризонтима екранирајућих квартарних и терцијарних седимената. Издашност разломних зона зависи, углавном, од степена кристалинитета метаморфита, квантитативног учешћа карбонатних и силикатних стена и обима вулканских пробоја.

Терцијарни седименти могу да имају функцију хидрогеолошких баријера или да представљају секундарне издани угљокиселих вода. Зоне дифузног дренажа угљокиселих вода јављају се углавном на местима исклињавања седиментних стена, на ободу басена или на хорст блоковским структурама унутар басена. Ређи је случај да се угљокиселе воде дренажују из терцијарних седимената веће моћности (Паланачки кисељак, Ломнички кисељак и др.).

Квартарни и терцијарни седименти су непропусни, слабопропусни или пропусни. Без обзира на пропусност, ове стене онемогућавају да се угљендиоксид, који до површине доспева дубоким разломним зонама, интензивно ослобађа у атмосферу. Формирање издани угљокиселих вода у пропусним срединама геолошке основе е је примарно, а у домену пропусних слојева и хоризоната „екранирајућих“ седимената или у њиховом базалном слоју је секундарно. Угљендиоксид се у пропусним хоризонтима (Ломнички кисељак, Беле воде, Паланачки кисељак и др.) и већим масама пропусних карбонатних стена (Нересница, Буковичка бања и др.) апсорбује подземним водама. Истовремено се дифузно шири, прилагођавајући се правцима боље пропусности. Управо на местима где су ове структуре отворене према површини, јављају се дифузна истицања угљокиселих вода.

Геолошку основу у областима угљокиселих вода Србије изграђују претежно кристаласти шкриљци са магматитима. Код мањег броја појава (Селтерс, Нересница, Вича, Магово, Жарево, Рајчиновића бања и др.) изграђују је и комплекси чврстих седимената. У области термалних угљокиселих вода (Сијаринска бања, Доњи Левићи и др.) чврсте стене геолошке основе прожете су вулканским стенама, а оне су у фази младих поствулканских процеса значајно хидротермално измењене. Оне стене које су претрпеле процесе силификације, као што је то случај код Сијеринске и Туларске бање, знатно су боље пропусности у односу на исте неизмењене стене.

Издани угљокиселих вода се на путу према површини поступно шире, и то у срединама веће пропусности. То значи да се у приповршинском појасу активне циркулације формирају издани ширег распрострањења, него у појасу доводних разломних зона. У зависности од геометрије пропусних геолошких структура, оне су различитог пространства и облика. Угљокиселе воде највеће пространство достижу у пропусним слојевима и хоризонтима у домену невезаних седимената. У чврстим стенским масама геолошке основе, најшире пространство имају у разломним зонама кроз карбонате стене и кристаласте шкриљце са пробојима вулканита.

У литосфери Србије, угљокиселе воде залежу кроз масиве чврстих стена геолошке основе (са квартарним седиментима или без квартарним седимената), или кроз чврсте стене геолошке основе покривене моћним комплексом седимената (табела 6). Са тог становишта могу се издвојити угљокиселе воде које су формиране:

1. У масивима чврстих стена геолошке основе, без слоја квартарног наноса или са формираним плитким „екранирајућим“ слојем квартарног наноса. Укупна количина



ових вода износи преко 90 l/s. Термалне воде (од 20 до 79 °C) учествују са око 80 l/s, а хладне (од 12 до 20 °C) са око 10 l/s. Издашност појединих извора (изворишних зона) и бунара креће се од мање од 0,1 до преко 10 l/s. Највећу издашност имају бунари који каптирају угљокиселе воде формиране у разломним зонама кроз кристаласте шкриљце прожете вулканитима. Припадају им угљокиселе воде Сијаринске, Куршумлијске, Луковске и Клокот бање.

Најмању издашност, од 0,01 до 0,2 l/s, имају извори и бунари који дренирају угљокиселе воде из разломних зона кристалистих шкриљца ниског степена кристалинитета. Ове стене могу да буду без учешћа карбонатних и силикатних стена, или са малим (спорадичним) учешћем карбонатних и силикатних стена. Угљокиселе воде су хладне, са температуром од 13 до 18 °C (у бунару). Припадају им угљокиселе воде Влашићко – близанског хорст антиклиноријума и разломне зоне Моравице. Код ових разломних зона очекује се мања дубина залегања зоне активне циркулације. На то указује температура вода, чињеница да су бунари од 447 m дубине мале издашности, и појава пулсације. Појава пулсације указује на мањи прилив подземних вода у односу на количину угљендиоксида који доспева из дубине. Зоне дифузног истицања угљокиселих вода су прекривене плитким екранирајућим слојем квартарних наслага.

2. У масивима чврстих стена геолошке основе покривене моћним комплексима квартарних и терцијарних седимената. Укупна количина ових вода износи преко 70 l/s. Термалне воде (од 20 до 52 °C) учествују са око 60 l/s, а хладне (од 10 до 20 °C) са око 10 l/s. Издашност појединих извора и бунара креће се од 0,1 до 10 l/s. Највеће издашности су бунара који каптирају угљокиселе воде у домену карбонатних стена екранираних комплексом седимената (Буковичка бања, Врњачка бања и Нересница).

Најмању издашност, мању од 0,02 l/s, имају извори и бунари који дренирају угљокиселе воде чврстих стена геолошке основе без учешћа карбонатних стена (Крушевица, Партизани, Дубово и др.). Угљокиселе воде ових структура су хладне, са температуром вода од 13 до 18 °C.

Из претходног произилази да је укупна издашност хидрогеолошких структура угљокиселих вода у литосфери Србије већа од 180 l/s. Термалне угљокиселе воде имају удела са чак ~ 90 %, а хладне са свега ~ 10 %.

Табела 5. Геолошко – хидрогеолошки услови у областима угљокиселих вода Србије

Геолошка средина кроз коју залежу хидрогеолошке структуре	Хидрогеолошке категорије литостратиграфских јединица	Тектонске структуре маркиране угљокиселим водама	Појаве	Укупна издашност (l/s)
I. Масивне стене геолошке основе, без слоја квартарних седимената или са плитким слојем квартарних седимената	1.1. Практични непропусни <i>Pz</i> комплекси стена. Са дубином поступно прелазе у претежно непропусни комплекс високо метаморфних стена.  – Без учешћа или са малим учешћем карбонатних стена	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Тектонске структуре на Влашићко – близанском хорст атиклиноријуму</li> <li>•Разломна зона Моравице – тектонска зона сучељавања крупних блокова</li> </ul>	Горње Црниљево, Оглађеновац, Јаутина Прилички кисељак	2-2,5
	1.2. Претежно непропусни <i>Ptz</i> или <i>Pz</i> комплекси високо метаморфних стена са откривеним или претпостављеним постојањем <i>Tc</i> интрузива.  – Без учешћа или са мањим учешћем карбонатних или /и вулканских стена.	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Разломна зона Студенице</li> <li>•Међублоковске тектонске структуре у зони хорстова и ровова</li> <li>•Тектонске структуре у домену Брајковачко - букуљског хорст атиклиноријума</li> <li>•Зона укрштања дубоког разлома Врњачка бања – Плеш – Радманово и младе разломне зоне Војетина</li> <li>•Зона укрштања дубоког разлома Врњачка бања – Плеш – Радманово и младе разломне зоне</li> <li>•Зона укрштања дубоке Дринско – ивањичке разломне зоне и младе тектонске структуре</li> <li>•Тектонске структуре на атиклинали Јаворја</li> </ul>	Студенички и више других извора Својиново, Орашје, Велуђе, Слатина, Гојбуља, Љушта и др. Чибутковица, Оњег, Брајковац, Гараши Доњи Левићи Врњачка бања (Језеро, Слатина, Снежник) Гатњанска бањица, Кисела вода, Поклек Крајчиновићи	10-15,0
	1.3. Претежно непропусне стене <i>Mz</i> комплекса са сменом кластичних или кластичних и карбонатних стена. У подини су <i>Ptz</i> или <i>Pz</i> претежно непропусни комплекси високо метаморфних стена са <i>Tc</i> или <i>Pz</i> интрузивима.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Тектонске структуре у домену терцијарног магматизма Голије</li> <li>•Интермитентна разломна зона Топлице</li> </ul>	Дежева, Рајчиновића бања, Слатина и др. Вича, Магово, Жарево	до 10,0

	– Без учешћа или са малим учешћем карбонатних стена			
	1.4. Претежно непропусне стене <i>Ptz</i> или <i>Pz</i> комплекса стена. Са пробојима вулканита и углавном са хидротермално измењеним основним стенама.	• Активне међублоковске тектонске структуре у ободу Лецког андезитског масива – Тупалски и Туларско-орлански дубоки разломи. • Дубока разломна зона Преполца у ободу Лецког андезитског масива	Сијеринска бања, Туларска бања. Куршумлијска бања	> 50
	– Без учешћа или са малим учешћем карбонатних стена.	• Зона укрштања дубоког разлома Врњачка бања – Плеш – Радманово и младе разломне зоне • Активне тектонске структуре у домену Биначко-моравског тектонског рова - на ЈИ продужетку дубоке разломне зоне Врњачка бања – Плеш – Радманово	Луковска бања Клокот бање и појава северно од ње (Баланце, Гумниште и др.)	
2. Масивне стене геолошке основе, покривене моћним комплексима квартарних и терцијарних седимената	2.1. Геолошка основа: претежно непропусне <i>Ptz</i> или <i>Pz</i> комплекс стена. – Без или са малим учешћем карбонатних стена. Комплекс седиментних стена: са функцијом хидрогеолошке баријере.	• Активне међублоковске тектонске структуре у домену Брајковачко – букуљског хорст антиклиноријума	Рудовци	0,3
	2.2. Геолошка основа: претежно непропусне <i>Ptz</i> или <i>Pz</i> комплекс стена. – Без или са малим учешћем карбонатних стена. Комплекс седиментних стена: са прупусним и непропусним слојевима, или /и са пропусним базалним слојем.	• Активне међублоковске тектонске структуре у домену Брајковачко – букуљског хорст антиклиноријума • Међублоковске тектонске структуре у домену моравског тектонског рова • Активне међублоковске тектонске структуре у зони хорстова и ровова • Међублоковске тектонске структуре у зони хорстова и ровова	Бковичка бања, Крушевица Бујановачка бања Паланачки кисељак, Наталинци и друге појаве Ломнички кисељак, Беле воде, Читлук, Црнишава, Велика врбица, Жабаре	> 30

<p>2.3. Геолошка основа: претежно непропусне <i>Mz</i> стене са сменом кластичних или кластичних и карбонатних стена, и са <i>Pz</i> комплексом стена у подини.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Активне међублоковске тектонске структуре у домену Брајковачко – букуљског хорст антиклиноријума</li> </ul>	<p>Дар вода (Партизани)</p>	<p>&gt; 5</p>
<p>– Без учешћа или са малим учешћем карбонатних стена. Комплекс седиментних стена: са пропусним и непропусним слојевима.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Активне међублоковске тектонске структуре у зони хорстова и ровова</li> </ul>	<p>„Селтерс“ Младеновац</p>	
<p>2.4. Геолошка основа: претежно непропусне <i>Mz</i> стене са сменом кластичних или кластичних и карбонатних стена и <i>Pz</i> комплексом у подини.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Активне међублоковске тектонске структуре у домену Брајковачко – букуљског хорст антиклиноријума</li> </ul>	<p>Буковичка бања</p>	<p>&gt; 50</p>
<p>– Са значајним учешћем карбонатних стена. Комплекс седиментних стена: са функцијом хидрогеолошке баријере.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Активне тектонске структуре у домену дубоке разломне зоне Врњачка бања – Плеш - Радманово</li> </ul>	<p>Врњачка бања (Топли извор)</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Међублоковске активне тектонске структуре у зони хорстова и ровова - на ободу Метохијске и Дреничке потолине</li> </ul>	<p>Дубово, Пења бања, Дечански кисељак</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Активне међублоковске тектонске структуре у ободу Кучевског басена</li> </ul>	<p>Нересница</p>	

Више температуре угљокиселих вода могу да буду резултат њихове дубоке циркулације или плитког залегања геотемпературних аномалија (када и дубина активне циркулације може да буде мања). Из датих разлога, угљокиселе воде највиших температура јављају се у разломним зонама терцијарних вулканских области. Ове термалне угљокиселе воде формиране су у домену Лецког андезитског масива (Куршумлијска, Сијаринска и Туларска бања), Копачичког вулканогеног масива (Луковска бања) и трахитских вулканогених стена код Клокот бање. Угљокиселе воде ових вулканских области представљају поствулканске, односно пострудне процесе најмлађих вулканских активности. Угљокиселе воде са повишеним температурама су везане непосредно за вулканска тела и дубоке разломне зоне.

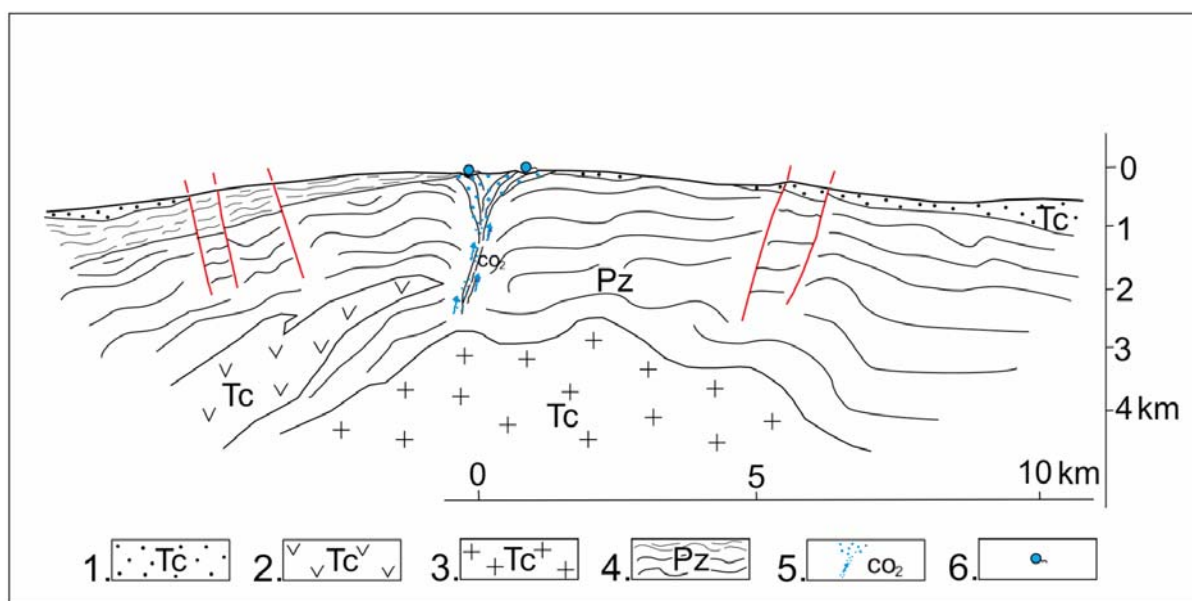
### **6.9. Типови хидрогеолошких структура угљокиселих вода**

На шематској хидрогеохемијској карти термалних вода Европе (Басков и Суриков, 1989) део територије Србије припада провинцији наборних брдско – планинских делова са појавама младог магматизма. У овој провинцији се формирају алкалне и слабо киселе и азотне, претежно хидрокарбонатне и хлоридне воде.

У литосфери Србије угљокиселе воде су генерално формиране у међублоковским активним и дисјунктивним тектонским структурама, дубоким разломним зонама и тектонским структурама дубоког залегања. Геолошка основа, у којој залежу ове структуре, карактерише се блоковском грађом, са хорст и ров блоковским структурама различитих размера и различитог опсега позитивног и негативног кретања. Јасно се запажа да су угљокиселе воде везане за прелазне зоне између крупних блокова или хорст и ров структура запуњених седиментима.

На територији Србије угљокиселе воде су формиране у брдско – планинском подручју, ког карактеришу појаве младог магматизма и геолошка основа блоковске грађе. У овом подручју, хидрогеолошке структуре залежу у ниским међупланинским котлинама запуњеним терцијарним седиментима или дубоким клисурастим долинама планинских области. На основу тектонско – геолошких услова у којима су формиране, разликују се следеће хидрогеолошке структуре угљокиселих вода:

**I** Разломне зоне угљокиселих вода настале обликовањем купола антиклинала или хорстантиклинала (слика 79). Покривене су плитким слојем квартарних седимената. Припадају им угљокиселе воде влашићко – близанско хорстантиклиноријума и антиклинале Јаворја.



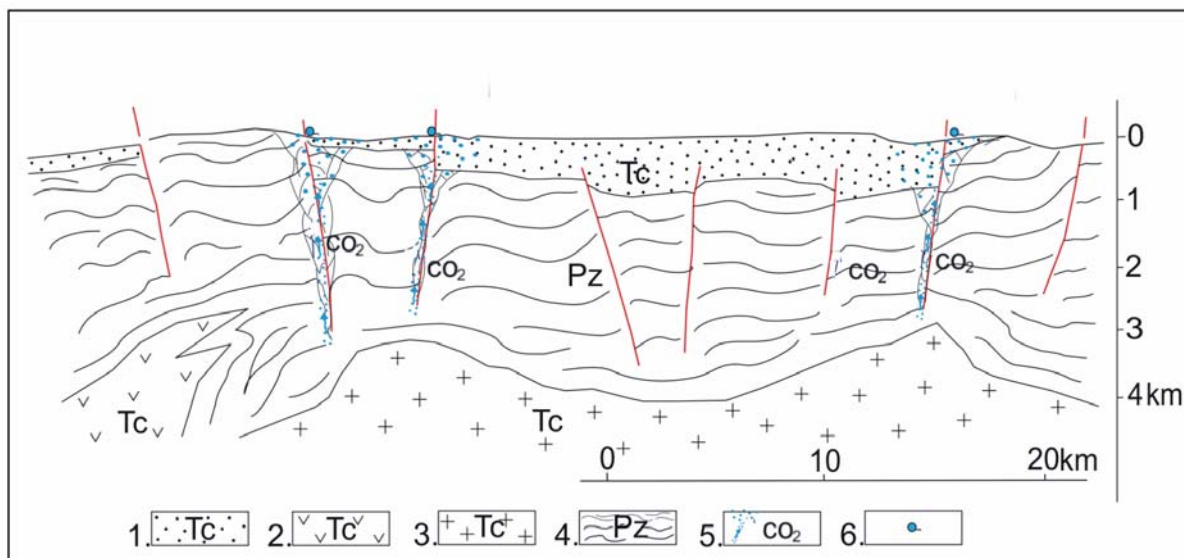
Слика 79. Шематски профил хидрогеолошких структура угљокиселих вода које су настале обликовањем купола антиклинала или хорстантиклинала

Легенда: 1. терцијарни седименти, 2. терцијарни пробоји вулканита, 3. терцијарни гранитоидни интрузив, 4. палеозојски комплекс шкриљаца, 5. правац миграције угљендиоксида, 6. појава угљокиселих вода.

Хидрогеолошке структуре овог типа су мале издашности, залежу у геолошкој основи изграђеној од кристаластих шкриљаца који су екранирани седиментима мале моћности. Седименти су одложени у плитким долинама са благим долинским странама. У језгру антиклиналних форми очекује се гранитоидни интрузив који је условио обликовање (хорст)антиклиналне форме, а у угљокиселим водама је повишен садржај радиоактивних елемената ( $Ra$ ,  $Rn$ ).

**II** Разломне зоне угљокиселих вода у зонама хорстова и ровова, покривене терцијарним седиментима (слика 80). Овој групи припадају угљокиселе воде ниских међупланинских котлина и ровова запуњених терцијарним седиментима. Појаве угљокиселих вода се налазе у јужном ободу панонског басена, у домену крушевачког и косовско – метохијског басена и, јужноморавског и биначкоморавског тектонског рова. Овај тип хидрогеолошких структура је мале издашности, и тада су угљокиселе воде формиране у пукотинским системима кристаластих шкриљаца без учешћа карбонатних стена (или са малим учешћем карбонатних стена). Издани имају веће издашности у геолошкој средини са већим учешћем карбонатних стена. Као и када су угљокиселе воде формиране у пропусним слојевима и хоризонтима „екранирајућих“ комплекса седимената и пропусним базалним хоризонтима тих комплекса. Повишен садржај

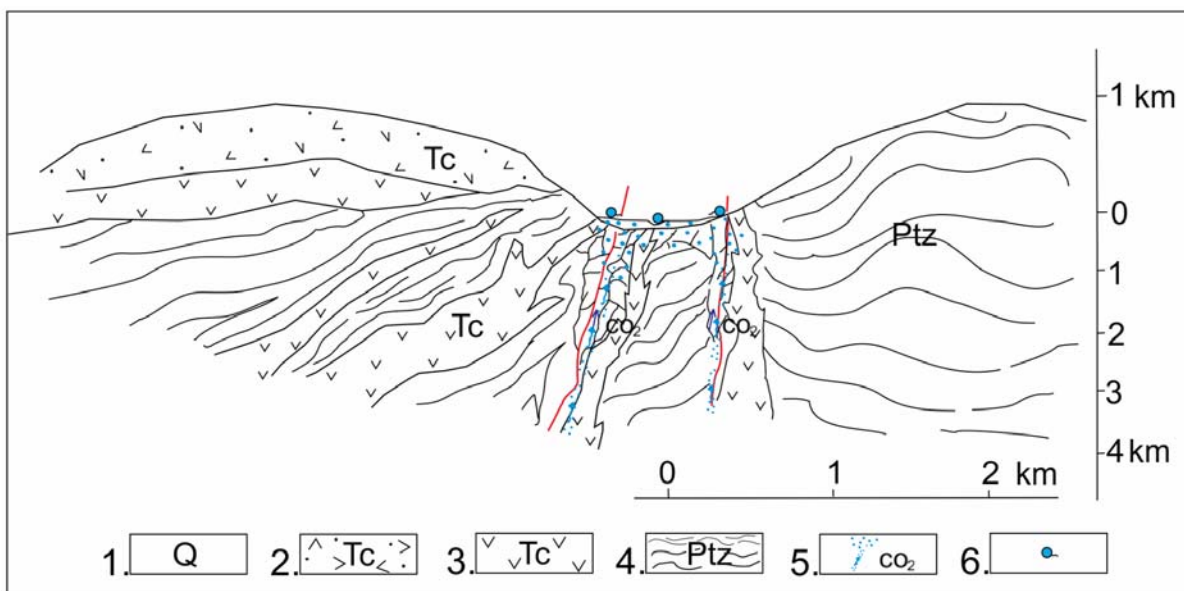
радиоактивних елемената, најчешће радијума и радона, указује на присуство гранитоидног интрузива на одређеној дубини.



Слика 80. Шематски профил хидрогеолошких структура угљокиселих вода у зонама хорстова и ровова екранираних терцијарним седиментима.

Легенда: 1. терцијарни седименти, 2. терцијарни пробоји вулканита, 3. терцијарни гранитоидни интрузив, 4. палеозојски комплекс шкриљаца, 5. правац миграције угљендиоксида, 6. појава угљокиселих вода

III Разломне зоне угљокиселих вода у зони сучељавања крупних блокова ниских планинских области (слике 81 и 82).



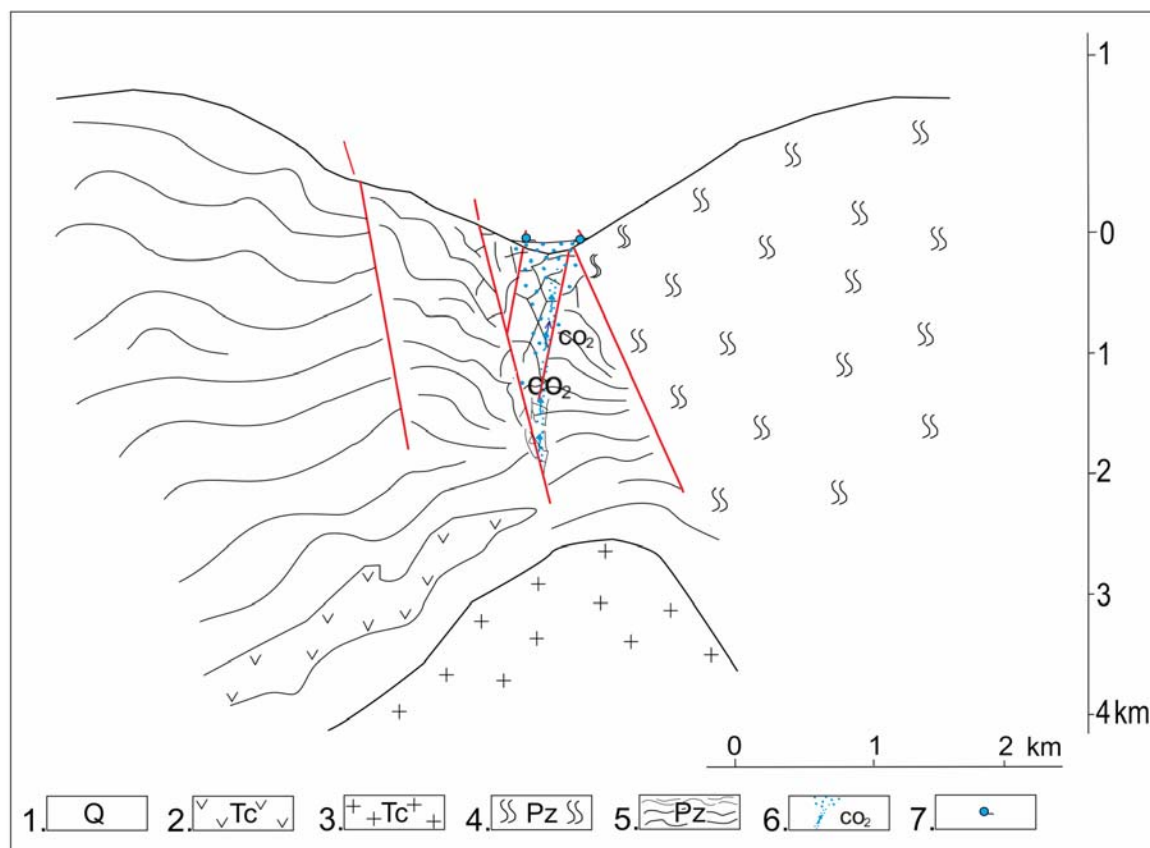
Слика 81. Шематски профил хидрогеолошких структура угљокиселих вода у зони сучељавања крупних блокова ниских планинских области.

Легенда: 1. квартарни седименти, 2. терцијарни вулканогени седименти, 3. терцијарни пробоји вулканита, 4. протерозојски кристаласти шкриљци, 5. правац миграције угљендиоксида, 6. појава угљокиселих вода



Овај тип хидрогеолошких структура налази се у ниским планинским областима, које су покривене квартарним седиментима мале моћности. Покривајући седименти веће моћности могу да постоје у ниским међупланинским долинама (Сува Чесма).

Угљокиселе воде су формиране у међублоковским разломним зонама. Формиране су кроз силификоване кристаласте шкриљце прожете вулканитима или у разломним зонама на којима се сучељавају крупни блокови различитог литолошког састава. Акумулирање и кретање се одвија у отвореним пукотинским или пукотинско-карстним система, са литолошким дисконтинуитетима. Појава дисконтинуитета је условљена спорадичним појавама кварцита и карбоната у кристаластим шкриљцима. Такође, акумулирање и кретање се одвија и код пробоја вулканских стена у силификованим кристаластим шкриљцима. Повишен садржај радиоактивних елемената, најчешће радијума и радона, указује на присуство гранитоидног интрузива на одређеној дубини.



Слика 82. Шематски профил хидрогеолошких структура у зони сучељавања крупних блокова ниских планинских области.

Легенда: 1. квартарни седименти, 2. терцијарни пробоји вулканита, 3. терцијарни гранитоидни интрузив, 4. ултрамафити, 5. палеозојски кристалести шкриљци, 6. правац миграције угљендиоксида, 7. појава угљокиселих вода

## **7. ПОТЕНЦИЈАЛ УГЉОКИСЕЛИХ ВОДА ЛИТОСФЕРЕ СРБИЈЕ**

## 7.1. Потенцијал угљокиселих вода

Угљокиселе минералне воде се користе као освежавајуће, у балнеологији, за производњу угљендиоксида и у спортско – рекреативне и енергетске сврхе. На енергетски потенцијал указује чињеница да од укупне количине разматраних ресурса, термалне воде учествују са преко 90 %.

Потенцијал угљокиселих вода одређен је количином воде, садржајем  $CO_2$ , температуром, микрокомпонентним садржајем, садржајем радиоактивних елемената и другим физичко – хемијским параметрима. Ове воде се употребљавају највише као флаширане, за балнеолошке и спортско – рекреативне потребе (табела 6). Експлоатација угљендиоксида вршена ја на изворишту Клокот бање. На извориштима Суве Чесме, Буковичке бање, Врњачке бање и Сијеринске бање, вршена су одређена истраживања која су указивала на могућност експлоатације овог гаса. На пример, на одређеним дубинама код Врњачке и Буковичке бање утврђена је већа количина угљендиоксида него на изливу (Пећинар, 1959).

Табела 6. Употреба угљокиселих минералних вода Србије

Угљокиселе воде	t °C	Ранија и /или/ садашња употреба
Горње Црниљево, Оглађеновац, Чибутковица, ,9 - 48 Гараши, Оњег, Брајковац, Крушевица, Рудовци, Церовац, Водице, Мирашевац, Својиново, Читлук, Велика Врбица, Жабаре, Жаревци, Мрмош (Велуће), Црнишава, Студенички извори, Прилички кисељак, Крајчиновићи, Дежева, Слатински кисељак, Бање, Мур, Доњи Левићи, Жарево, Магово, Сува чесма, Кисела бања, Гојбуља, Слатина, Љушта, Дубово, Дечани, Поклек, Понеш, Гумниште, Кметовска бања, Наталинци, Житиње, Баланце, Носаље, Грнчар, Гатњанска бањица, Кисела вода		не
Младеновачка „Селтерс“ бања („Српски Емс“)	31-52	балнеотерапеутска, пакована, спортско-рекреативна
Нересница		пакована („Дубока“)
Партизани	13-18	пакована („Дар Вода“)
Ломнички кисељак	14	балнеотерапеутска, пакована („Девет Југовића“), спортско-рекреативна
Паланачки кисељак	14-55	балнеотерапеутска, пакована („Карађорђе“), спортско-рекреативна
Буковичка бања	14-34	Пакована („Књаз Милош“), балнеолошка
Орашје	13	пакована („Соко“)
Бела Вода		пакована

Велуће	11-23	пакована („Мивела“)
Врњачка бања (Снежник, топли извор, Слатина, Језеро, Бели извор, Руђинци)	14-31	балнеотерапеутска, пакована („Врњци“), спортско-рекреативна
Вичка бања (Топлички кисељак)	21	балнеолошка пакована („Милан Топлица“)
Пећка бања	11-48	балнеолошка
Бујановачка бања	24-43	балнеолошка, пакована („Хеба“, „Би Вода“)
Клокот бања	30-32	балнеолошка, пакована („Клокотска кисела вода“), производња $CO_2$

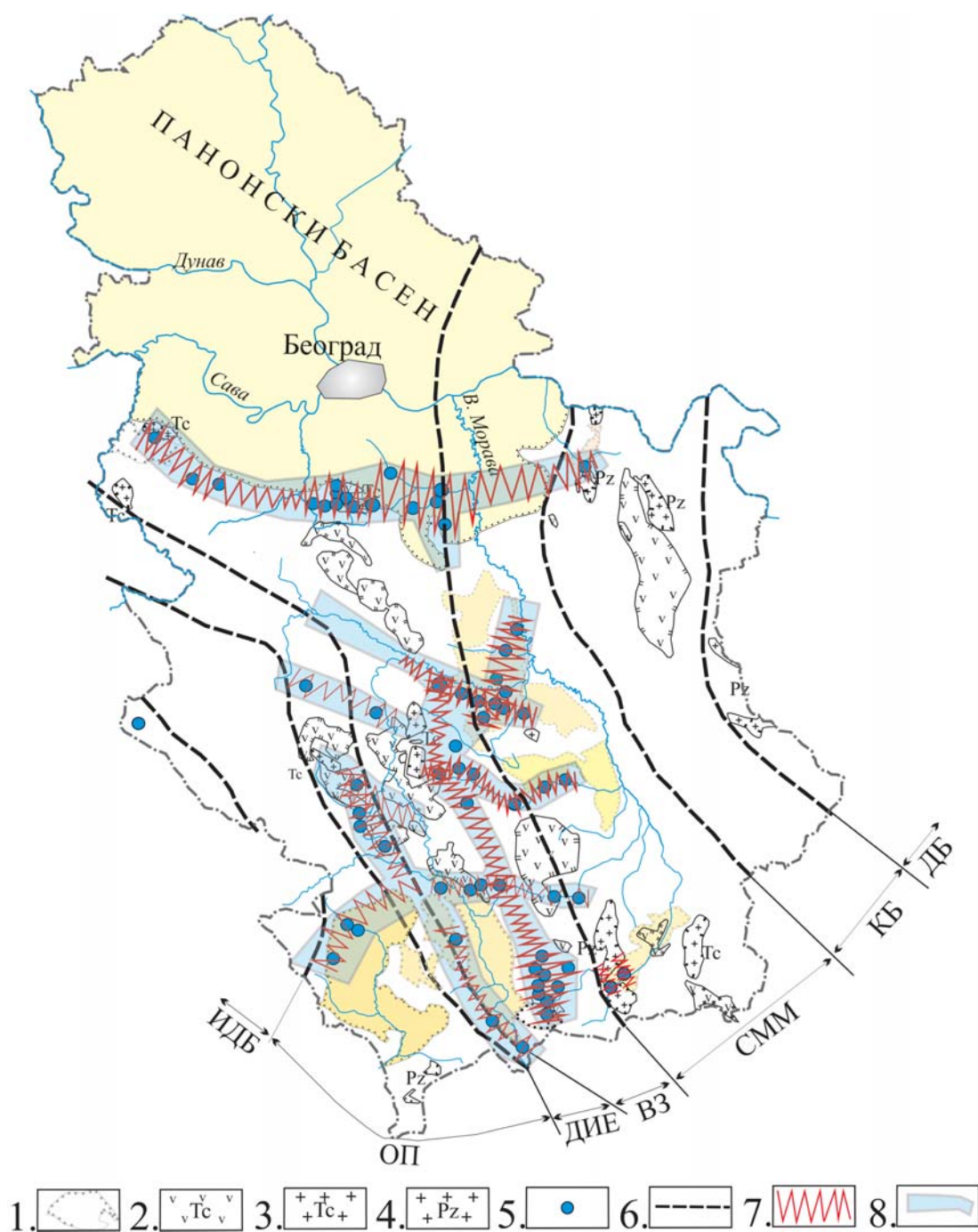
## 7.2. Потенцијал хидрогеолошких структура

Хидрогеолошке структуре термалних угљокиселих вода акумулирају и дренирају знатно веће количине овог ресурса у односу на ове структуре хладних вода. Највеће резерве угљокиселих вода су формиране у разломним зонама, које залежу у геолошкој средини са развијеном пукотинско – карстном порозношћу, као и у вулканско – тектонској средини са системима отворених пукотина и пропусних литолошких дисконтинуитета (спољни контакти вулканита). Бунарима се готово увек каптирају угљокиселе воде веће температуре (Буковичка бања, Паланачки кисељак, Чибутковица, Луковска бања и др.). Произилази да се и код осталих извора са хладном водом, термалне воде могу очекивати на дубинама испод 100 – 300 m.

Распрострањење ресурса термалних и хладних угљокиселих вода везано је за дубоке разломне зоне у домену геотектонске јединице Вардарске зоне (слика 83). За њу су везане и најобимније активности терцијарног магматизма. С обзиром на то да су се магматске активности одвијале дубоким разломним зонама, јасно је да је распрострањење угљокиселих вода просторно условљено и распрострањењем ових тектонских структура. Произилази да активни дубоки разломи залежу у делове литосфере у којима владају повишени геотемпературни услови, па је и очекивано велико количинско учешће термалних вода.

У литосфери Србије, угљокиселе воде су просторно везане за магматске процесе. Температура ових вода зависи од дубине на којој се одвија њихова највећа активна количинска измена и од непосредне удаљености од магматских тела. Такође, зависи и од временске дистанце у односу на магматске активности. Угљокиселе воде и хидротермална рудна минерализација су поствулканске појаве. Ако узмемо у обзир да хидротермални процеси потпуно запуњавају пукотине и прслине рудним минералима, онда се може закључити да се савремена циркулација угљокиселих вода одвија

тектонским дисконтинуитетима формираним у пострудној фази. За угљокиселе воде се онда може рећи да припадају процесима везаним за пострудну фазу вулканских активности.



Слика 83. Шематски приказ екстраполованих и интерполованих подручја перспективних за изналажење скривених угљокиселих вода у литосфери Србије

Легенда: 1. терцијарни седиментни басен; 2. терцијарни вулканити; 3. терцијарни гранитоид; 4. палеозојски гранитоид; 5. појава угљокиселе воде; 6. граница геотектонске јединице односно зоне; 7. линијска тектонска структура маркирана угљокиселим водама; 8. подручје перспективно за проналажење угљокиселих вода.

Може се закључити, да потенцијал угљокиселих минералних вода није значајан само у смислу расположивих водних ресурса, већ и у смислу геотермалног потенцијала геолошких структура у домену којих су формиране. Исто тако, у областима формираних угљокиселих вода могу се очекивати и појаве рудне минерализације.

У квантитативном и квалитативном погледу, ресурси угљокиселих вода зависе од структурно – геолошких, (нео)тектонских, литолошких, хидродинамичких и геотемпературних услова у областима њиховог формирања.

### **7.3. Могућност изналажење нових ресурса**

Хидрогеолошки потенцијал литосфере Србије за изналажење нових ресурса угљокиселих вода може да се посматра у смислу могућности повећања издашности постојећих изворишта, као и у смислу дефинисања подручја перспективних за откривање скривених угљокиселих вода (које се не испољавају на површини терена).

На основу постигнутих сазнања из ранијих разматрања, хидрогеолошке структуре угљокиселих вода у литосфери Србије могу да залежу до максималних 2 – 2,5 km дубине. Главна количинска измена у њима може да се очекује до око 1,0 km дубине. У квантитативном погледу, главним резервама конкретног изворишта могу се сматрати оне које могу да се захвате до дубине активне циркулације угљокиселих вода. Ова дубина одређује дубину бунара.

У литосфери Србије распрострањење угљокиселих вода везано је за линијске тектонске зоне различите ширине и дужине пружања. Ове тектонске структуре су по правилу међублоковске и дисјуктивне. На јужном ободу Панонског басена формирана је једна широка линијска зона полукружног облика. Код угљокиселих вода Букуље и Паланачког кисељака њена ширина износи преко 10 km. Једна широка пространа зона угљокиселих вода може да се оконтуре у централном јужном делу Србије. У њој постоје линијске тектонске структуре маркиране угљокиселим водама. На пример, зона слична оној по јужном ободу Панонског басена, запажа се по ободу Косовско – метохијског басена. Једина појава која не може да се повеже са линијским структурама уоченим у овим зонама је појава Крајчиновићи.

Из предходног јасно произилази да хидрогеолошки потенцијал литосфере Србије треба да се дефинише у граница поменутих зона распрострањења угљокиселих вода, на уоченим линијским правцима маркираних појавама (слика 83). Досадашња истраживања најчешће су била везана за угљокиселе воде које су се испољавале на

површини терена. Међутим, бушотинама су откривене и оне које нису биле на површини. То се односи на појаве „Селтерс“ Младеновац и Мирашевац, код којих су угљокиселе воде набушене, случајно, испод комплекса терцијарних седимената. Ова констатација је веома важна, јер доказује постојање таквих скривених хидрогеолошких структура угљокиселих вода и истиче реалне могућности да се врше даља истраживања на издвојеним перспективним подручјима.

Угљокиселе воде везане су за активне међублоковске дисјуктивне разломе. По пружању ових разлома, маркираних појавама угљокиселих вода, могу да се екстраполују и интерполују подручја која су перспективна за проналажење нових скривених структура ових вода (слика 83). Делови ових линијских структура су откривени или покривени седиментима мале моћности. Ове структуре су у тим подручјима отворене за инфилтрацију атмосферских падавина и ослобађање угљендиоксида у атмосферу. У вези са тим, јасно је да се скривене угљокиселе воде могу очекивати у деловима линијских структура или ширих зона где су покривене моћним комплексима седимената. Овај закључак сасвим потврђује и чињеница да су угљокиселе минералне воде „Селтерс“ бање и Мирашевац управо откривене испод екранирајућих моћних комплекса терцијарних седимената.

На основу претходних разматрања било је могуће у простору литосфере Србијешематски приказати екстраполована и интерполована подручја перспективна за изналажење нових ресурса угљокиселих минералних вода (слика 83).



## **8. ЗАКЉУЧАК**

Докторском дисертацијом су први пут разматране угљокиселе воде на целој територији Србије. Основни циљ је био да се дефинишу хидрогеолошки услови формирања угљокиселих вода. Ови услови произилазе из сложене везе која постоји између неотектонских, геолошких, геохемијских, геотемпературних и хидрогеолошких услова. Дисертација даје значајан допринос теорији формирања угљокиселих вода, генези угљендиоксида, дубини залегања угљокиселих вода. Дисертација има допринос у подизању нивоа сазнања о генетској вези између угљокиселих вода и младих магматских активности и неотектонских структура, као и о условима прихрањивања, акумулирања, истицања и обнављања резерви угљокиселих вода.

Угљокиселе минералне воде Србије се налазе у границама широко распрострањене провинције која обухвата подручје Балканског полуострва, Алпа, Карпата, Динарида и Великог Кавказа. Генерално, ова регија је наборна брдско – планинска област са појавама младог магматизма,.

Више од 90 % хидрогеолошких структура угљокиселих вода формирано је у границама геотектонске јединице Вардарске зоне са маргинама њој суседних јединица.

Угљеник из угљендиоксида и хидрокарбоната, води порекло из хидротермалне фазе младих магматских активности. Угљендиоксид се генерише из термометаморфних (хемијских) процеса на дубинама већим од 3 km. Матични супстрат угљеника су карбонати (доломит, калцит) у протерозојским, палеозојским и мезозојским комплексима стена.

Доминантни фактори формирања угљокиселих вода су терцијарне магматске активности, неотектонске дисјунктивне структуре, геотемпературни, геохемијски и хидрогеолошки услови.

Максимална дубина залегања хидрогеолошких структура угљокиселих минералних вода може да се очекује до 3 km дубине.

Угљокиселе воде су хидрокарбонатно – натријумског типа, ређе калцијумског и веома ретко магнезијумског типа. Најчешће су средње минерализоване, од 1,03 до 4,95 g/l.

Доминантни процеси формирања основног састава и микрокомпонентног садржаја угљокиселих вода су процеси излуживања алумосиликата и силиката, и процеси растварања карбоната. Повишени су садржаји мангана, стронцијума, литијума, бора, цезијума, флуора, рубидијума и хлора. Сви ови елементи, осим бора, налазе се у

доминантним минералима кристалстих шкриљаца и минералима киселих магматских стена. Повишен садржај микроелемената је резултат агресивног својства угљокиселе воде широког распрострањења минерала и процеса излуживања и растварања. Арсен, флуор, бор и други елементи, указују на везу угљокиселих вода са терцијарним вулканским процесима. Уран, радијум и радон указују на везу са терцијарним гранитоидним интрузивима.

У хидрогеолошким структурама угљокиселих минералних вода Србије владају претежно прелазни оксидационо – редукциони геохемијски услови. Знатно су ређи чисто оксидациони или редукциони услови.

Угљокиселе минералне воде у геолошкој основи чврстих стена су формиране у активним дубоким и дисјуктивним међублоковским тектонским структурама, са пратећим пукотинама и литолошким дисконтинуитетима. Дренажу се дифузно у зонама линијског пружања, на пресеку разломних зона са најнижим речним долинама у датој области. Контуре области прихрањивања су прилагођене линијским правцима, имају издужене овалне облике и могу да буду удаљене од 1 до 5 km, а максимално до 15 km од зоне дренажања.

На територији Србије уочени су линијски правци маркирани појавама угљокиселих вода, али и две јасно одвојене широке зоне у које су груписане појаве. Прва зона је распрострањена линијски око јужног обода Панонског басена, а друга у кругу централног јужног дела територије Србије.

Зона активне циркулације може да буде формирана у домену познате хидродинамичке зоне успорених процеса водозамене, од нивоа дренажања угљокиселих вода до максимално 1 km дубине.

Резерве угљокиселих вода и дубина до које се одвија њихова активна циркулација, зависе од степена кристалинитета метаморфита, квантитативног учешћа карбонатних стена, обима вулканских пробоја и литолошких дисконтинуитета. Такође, на резерве и на дубину залегања утиче и пропусност разломних зона у којима су оне формиране, степен хидрауличке везе између области храњења и дренажања и њихов хипсометријски положај у односу на ниво регионалног дренажућег базиса.

Разломне зоне угљокиселих минералних вода залежу кроз комплексе стена геолошке основе покривене седиментима различите дебљине (од моћних терцијарних комплекса до танких слојева квартарних седимената).

Непропусне, слабопропусне или пропусне квартарне и терцијарне литосратиграфске јединице онемогућавају да се угљендиоксид (који до површине доспева дубоким разломним зонама), интензивно ослобађа у атмосферу. Испод ових стена, угљендиоксид засићује подземне воде примарно и секундарно. Примарно засићење угљендиоксидом се одвија у пропусним срединама геолошке основе, а секундарно засићење се одвија у домену пропусних хоризоната или у базалним слојевима.

Укупна количина расположивих угљокиселих минералних вода литосфере Србије већа је од 180 l/s. Термалне угљокиселе воде имају удела са чак ~ 90 %, у односу на хладне, које учествују са свега ~ 10 %.

Највеће издашности имају разломне зоне у карбонатним стенама које су покривене моћним слојевима седимената (Буковичка бања, Врњачка Бања и Нересница) и међублоковске разломне зоне у силификованим кристаластим шкриљцима са пробојима вулканита (Сијеринска, Куршумлијска и Клокот бања).

Разломне зоне мале издашности, до 0,01 до 0,2 l/s, залежу кроз кристаласте шкриљце ниског степена кристалинитета, без учешћа или са малим (спорадичним) учешћем карбонатних и силикатних стена. Угљокиселе воде су хладне са температуром од 13 до 18 °C.

Воде са највећом температуром везане су непосредно за вулканска тела и активне разломне зоне. Данашњи термални системи угљокиселих вода циркулишу отвореним пукотинама и прслинама које су настале у пострудној најмлађој фази вулканских активности.

Геолошка основа, у областима формираних угљокиселих минералних вода литосфере Србије, генерално се карактерише блоковском грађом, са хорстовским и рововским тектонским структурама различите величине, облика и размере кретања. Угљокиселе воде су генерално формиране у међублоковским активним и дисјунктивним тектонским структурама.

Основне хидрогеолошке структуре угљокиселих вода су: 1. Разломне зоне настале обликовањем купола антиклинала и хорстантиклинала, покривене плитким слојем квартарних седимената; 2. Разломне зоне у зонама хорстова и ровова, покривене терцијарним седиментима мањих басена; 3. Разломне зоне у зони сучељавања крупних блокова ниских планинских области, покривене плитким слојем квартарних седимената.

Разломне зоне највећег хидрогеолошког потенцијала залежу кроз геолошку основу са развијеном пукотинско – карстном порозношћу и кроз силификоване шкриљце прожете вулканитима.

Велико учешће термалних вода (преко 90 % од укупне количине разматраних ресурса), указује да оне, осим балнеолошког, могу представљати и веома значајан енергетски потенцијал.

Хидрогеолошке структуре угљокиселих минералних вода, поред расположивих водних ресурса, одликују се и геотермалним потенцијалом.

Перспективна подручја за истраживање нових скривених ресурса угљокиселих минералних вода издвојена су у границама ширих зона њиховог распрострањења. Таква места су издвојена дуж екстраполованих и интерполованих подручја на линијски израженим правцима разломних зона, који су маркирани угљокиселим водама. Скривене угљокиселе воде се могу очекивати на деловима линијских структура угљокиселих вода покривених моћним комплексима седимената.

## **ЛИТЕРАТУРА**

## **Објављени радови:**

**Аверев В.В., 1966:** Хидротермални процеси у вулканским областима и њихова веза са магматским активностима // Савремени вулканизам. Тр. II всесоюз. вулканол. совещ., 3-17 сент. М.. Наука. Т.И.С. (стр. 118-126)

**Алекин О.А., 1970:** *Основи гидрохимије*. Гидрометеиздат, Ленинград.(стр. 444)

**Антонијевић Р., 1968:** Тумач за лист Пећ и Кукес, Основне геолошке карте 1:100.000. Београд.

**Анђелковић М., 1988:** Геологија Југославије. Универзитет у Београду, Београд. (стр. 690)

**Басков Е.А. и Суриков С.Н., 1989:** *Гидротермы Земли*. Ленинградское отделение, „Недра“ Ленинград.

**Богомоллов Г.В., 1975:** *Гидрогеология с основами инженерной геологии*. „Висшая школа“, Москва.

**Богдановић П., 1978:** Српско – македонска маса (родопска) (границе, геолошки састав и тектонска припадност). Весник (геологија). Књига XXXV/XXXVI. Серија А. Завод за геолошка и геофизичка истраживања (Institut de recherché geologiques et geophysiques). Београд. (стр. 141 - 151)

**Богдановић П., 1978:** Тумач за лист Косовска Митровица, Основне геолошке карте 1:100.000. Београд.

**Браунлоу А.Х., 1984:** Геохемија. Московски Универзитет, Москва.

**Брковић Т., Малешевић М., Урошевић М., Трифуновић С., Радовановић З., Димитријевић М. и Димитријевић М.Н., 1977:** Тумач за лист Ивањица, Основне геолошке карте 1:100.000. Београд.

**Брковић Т., Радовановић З. и Павловић З., 1980:** Тумач за лист Крагујевац, Основне геолошке карте 1:100.000. Београд.

**Варгањан Г.С., 1977:** *Месторожденија углекислих вод горно-складчатих регионов*. „Недра“, Москва.

- Вукашиновић С., 2005:** Аномално магнетско поље и геолошка грађа Републике Србије. Геоинститут – Београд. Београд.
- Вукашиновић С., 2010:** Тумач карте, Приказ и интерпретација аеромагнетске карте Републике Србије, 1:100000. Министарство животне средине и просторног планирања, Београд.
- Вукановић М., Димитријевић М., Димитријевић М., Карајичић Љ., Рајчевић Д. и Пејчић М., 1982:** Тумач за лист Подујево, Основне геолошке карте 1:100.000. Београд.
- Вукановић М., Карајичић Љ., Димитријевић М., Можина А., Гагић Н. и Јевремовић М., 1973:** Тумач за лист Лесковац, Основне геолошке карте 1:100.000. Београд.
- Вукановић М., Димитријевић М., Димитријевић М.Н., Крајнић М. и Ракић М.О., 1977:** Тумач за лист Врање, Основне геолошке карте 1:100.000. Београд.
- Димитријевић М. Д., 1982:** Динариди – један поглед на тектонику. Весник (геологија). Књига XL. Серија А. Том XL. *YU ISSN 0514-5961. UDK: 55.001.* Завод за геолошка и геофизичка истраживања. Београд. (стр. 113-147)
- Димитријевић М.Д., 1995:** Геологија Југославије. Геоинститут, Београд. (стр. 205)
- Долић Д., Каленић М., Марковић Б., Димитријевић М., Радоичић Р. и Лончаревић Ч., 1981:** Тумач за лист Параћин, Основне геолошке карте 1:100.000. Београд.
- Драгишић В., 1997:** Општа хидрогеологија. Универзитет у Београду. Београд.
- Дривер Дж., 1985:** (превод) *Геохимия природных вод.* „Мир“, Москва.
- Евсева Л.С. и Перелман А.И., 1962:** *Геохимия урана в зоне гипергенеза.* Госатомиздат, Москва.
- Иванов В.В. и Невраев Г.А., 1964:** *Классификация подземных минеральных вод СССР и некоторых вод других стран.* Амаинистарство здравоохранения СССР централный институт курортологии и физиотерапии.
- Каленић М. и Хаџи – Вуковић М., 1973:** Основна геолошка карта 1: 100000, лист Кучево. Београд.



**Каленић М., Хаџи – Вуковић М., Долић Д., Лончаревић Ч. и Ракић М.О., 1973:** Тумач Основне геолошке карте 1:100000, лист Кучево. Београд.

**Карцев А.И., Шугрин В.П., 1964:** *Геохемическије методе истраживања при појскама нефти и гаса.* Издањество «Недра» Москва.

**Кнежевић В., Радовановић Р., Белаћевић Г. и Петровић Ж., 1984:** Појаве и лежишта минерално – угљокиселе воде у Колубарском басену и залеђу и њихов геолошко – економски значај. Зборник радова саветовања «Геолошка истраживања у привр. и прост. Развоју Београда», 2, Београд.

**Коротков А.И., 1983:** *Гидрогеохемическији анализи, при регионалних геолошеских и хидрогеолошеских истраживањима,* Недра, Ленинградскоје одељење, Ленинград.(стр. 231)

**Леко М.Т., Шчербаков А., Јоксимовић, 1922:** Лековите воде и климатска места у Краљевини Срба, Хрвата и Словенаца (са балнеолошеском картом). Мин. нар. здравља, Београд.

**Лончаревић Ч., 1980:** Тумач за лист Ораховац, Основне геолошке карте 1:100.000. Београд.

**Малешевић М., Вукановић М., Обрадовић З., Димитријевић М., Брковић Т., Стефановић М., Станисављевић Р., Јовановић О., Трифуновић С., Карајичић Љ., Јовановић М. и Павловић З., 1980:** Тумач за лист Куршумлија, Основне геолошке карте 1:100.000. Београд.

**Маринковић Г., Папић П., Стојковић Ј. и Драгићић В., 2012:** Фактори формирања система угљокиселих минералних вода Србије. Зборник радова, XIV српски симпозијум о хидрогеологији, Златибор.

**Маринковић Г., Папић П., Стојковић Ј. и Драгићић В., 2012:** *Factors contributing to the formation of carbonated mineral water systems in Serbia.* Геолошки анализи Балк. пол. LXXIII, Београд. (pp 117 - 124)

**Миливојевић М., 1989:** *Assessment of geothermal resources of Serbia.* Докторска теза, Рударско – геолошки факултет, Универзитет у Београду. Београд.

- Милојевић Н., 1964:** Минералне воде Србије. Хидрогеологија угљокиселих вода. Младеновачка, Паланачка и Ломничка кисела вода. Геолошки анали Балканског полуострва, XXXI, Београд.
- Мирковић М. и Пајовић М., 1980:** Тумач за лист Пљевља, Основне геолошке карте 1:100.000. Београд.
- Мојсиловић С. и Баклајић Д., 1984:** Тумач за лист Рожаје, Основне геолошке карте 1:100.000. Београд.
- Мојсиловић С., Филиповић И., Аврамовић В., Пејовић Д., Томић Р., Баклајић Д., Ђоковић И. и Навала М., 1975:** Тумач за лист Ваљево, Основне геолошке карте 1:100.000. Београд.
- Мојсиловић С., Баклајић Д. и Ђоковић И., 1980:** Тумач за лист Сијеница, Основне геолошке карте 1:100.000. Београд.
- Овчиников А.М., 1970:** *Гидрогеохимия*, Недра, Москва.
- Omoto H. and Raj R.O., 1982:** *monografija (pod redakcijom H.L. Barnsa). Геохимия гидротермальных рудных месторождений*. Издательство „Мир“ Москва.(пп.444)
- Папић П., Ђоковић И., Стојковић Ј., Јовић В., Маринковић Г. и Никић З., 2012:** *The impact of geology on the migration of fluorides in mineral waters of the Bukulja and Brajkovac pluton area, Serbia*. Геолошки анали Балк. пол. LXXIII , Београд. (pp 109 - 116)
- Павик А., Каровик Ј. и Менковић Љ., 1985:** Тумач за лист Качаник, Основне геолошке карте 1:100.000. Београд.
- Павловић З., 1980:** Тумач за лист Смедерево, Основне геолошке карте 1:100.000. Београд.
- Patrick M.L.J., White E.D., 1968:** *Origin of CO<sub>2</sub> inthe Salton Sea Geothermal Sistem, Southeastern California, USA*. Intern. Geol. Congress. Prague.
- Перелман А.И., 1989:** *Геохимия*. Высшая школа, Москва.
- Пећинар М., 1959:** Проблеми при коришћењу угљокиселих минералних вода. Институт за водопривреду „Јарослав Черни“. Београд.

- Питјева К.Е., 1978:** *Гидрогеохимия*. Московский Университет, Москва.
- Поповић Р., 1995:** Геохемијска и металогенетска еволуција моравског масива у премезозојском времену. Радови Геоинститута, Књига 31. *BIBLID 0537-846X (1995)*, 31, p. 267-284. *UDK 550.4+553.07*. Београд. (стр. 267 - 284)
- Поповић Р., 2002:** Међусобни односи гнајсног и зеленог комплекса у моравском масиву. Радови Геоинститута, Књига 37. *BIBLID 0537-846X (2002)*, 37, p. 67-72. *UDK 551.1 (497.11)*. Београд.
- Посохов Е.В., 1969:** *Формирование химического состава подземных вод*. Гидрометеорологическое издательство, Ленинград.
- Протић Д., Ђаловић П., 1979:** Термоминералне воде Рајчиновића бање. Радови Геоинститута, 13, Београд.
- Протић Д., 1995:** Минералне и термалне воде Србије (посебно издање, књига 17). Београд: Геоинститут.
- Ракић М., Димитријевић М., Терзин В., Цветковић Д. и Петровић В., 1965:** Тумач за лист Ниш, Основне геолошке карте 1:100.000. Београд.
- Ракић М., Хаџи-Вуковић М., Димитријевић М., Каленић М. и Марковић В., 1976:** Тумач за лист Крушевац, Основне геолошке карте 1:100.000. Београд.
- Степанов В.М., 1989:** *Введение в структурную гидрогеологию*, Москва.(стр. 230)
- Симић М., Миливојевић М., Мартиновић М. и Папић П., 1996:** Хидрогеотерални систем Куршумлијске бање (Србија). Геолошки анали Балканског полуострва. Београд.
- Стојадиновић Д., 2004:** Водни потенцијали крушевачке области. Посебна издања. Задужбина Андрејевић, Београд.
- Токарев А.Н. и Щербаков А.В., 1956:** *Радиогеология*. Госгеолтохиздат, Москва.
- Урошевић М., Павловић З., Клисић М., Малешевић М., Стефановић М., Марковић О. и Трифуновић С., 1973:** Тумач за лист Врњци, Основне геолошке карте 1:100.000. Београд.

**Урошевић М., Павловић З., Клисић М., Карамата С., Малешевић М., Стефановић М., Марковић О. и Трифуновић С., 1973:** Тумач за лист Нови Пазар, Основне геолошке карте 1:100.000. Београд.

**Филиповић И., Гагић Н., Родин В. и Аврамовић В., 1973:** Тумач за лист Владимирци, Основне геолошке карте 1:100.000. Београд.

**Филиповић И., Радин В., Павловић З., Марковић Б., Милићевић М. и Атин В., 1980:** Тумач за лист Обреновац, Основне геолошке карте 1:100.000. Београд.

**Филиповић И., Марковић Б., Павловић З., Радин В. и Марковић О., 1978:** Тумач за лист Горњи Милановац, Основне геолошке карте 1:100.000. Београд.

**Филиповић Б., Димитријевић Н., Миловановић Б. и Матић И., 1980:** Прилог познавању термоминералних вода шире околине Клокот бање. Зборник реф. 6. југ. симпозијум о хидрог. и инж. геол., 1, Нови Сад.

**Ceron C.J., Pulido-Bosch A. and Bakalowicz M., 1999:** *Application of Principal Components Analysis to the study of CO<sub>2</sub>-rich thermomineral waters in the aquifer system of Alto Guadalentin (Spain).* Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques, 44(6), Department of Geology, University of Huelva, E-21819 Huelva, Spain. (pp. 929-942)

**Чудаева В.А. и Чудаев О.В., 2005:** *Минералные воды Дальнего Востока и их микроэлементный состав.* Вестник, ДВО РАН. 2005. №3. Владивосток.

**Xiaoyong Y., Deliang L., Yongjian C. i Jinxing D., 2008:** *Calculation of the CO<sub>2</sub> Degassing during Contact Metamorphism and Its Geological Significance: The Model and Example from the Shuanshan Area of the South Tan-Lu Fault Belt.* Acta Geologica sinica. Vol. 82 No. 3 (pp. 562 – 576)

**Weinlich H. F., Brauer K., Kampf H., Strauch G., Tesar J. and Weise M. S., 2003:** *Gas Flux and Tectonic Structure in the Western Eger Rift, Karlovy Vary – Oberpfalz and Oberfranken, Bavaria.* Geolines 15.

#### **Фондовски материјал:**

**Велимоновић Ј., 1980:** Хидрогеолошка истраживања угљокиселе воде на подручју Прилике-Ивањица (прва етапа, II фазе). Републички фонд за геолошка истраживања, Београд.

- Вукићевић М. и Пајчић Т., 2009:** Други елаборат о резервама и квалитету термоминералне воде из бунара *PK-1H* са изворишта Паланчки Кисељак код Смедеревске Паланке. Фонд „Геофизика – ИНГ д.о.о.“, Београд.
- Вукићевић М., 2005:** Елаборат о резервама минералне воде бунара *BV-1* у насељу Бела Вода код Крушевца. Фонд „Геофизика – ИНГ д.о.о.“, Београд
- Ђаловић П. и Керановић М., 1986:** Извештај основна хидрогеолошка истраживања термалне воде у Слатини код Новог Пазара. Републички фонд за геолошка истраживања, Београд.
- Ђаловић П. и Керановић М., 1986:** Хидрогеолошка истраживања угљокиселе воде Вранова код Дежеве (Нови Пазар). Републички фонд за геолошка истраживања, Београд.
- Ђаловић П., 1986:** Извештај – Хидрогеолошка истраживања угљокиселе воде Рајчиновића бање код Новог Пазара. Републички фонд за геолошка истраживања, Београд.
- Ђаловић П., 1991:** Извештај о изради истражно – опитне бушотине *BN – 3/90-150 m* у Орашју. Републички фонд за геолошка истраживања, Београд.
- Илић С., 1988:** Хидрогеолошке карактеристике термоминералних вода шире околине Сијеринске бање и Тулара, дипломски рад. Фонд Рударско – геолошког факултета, Београд.
- Јоровић Б., 1981:** Извештај о стању истражних радова на локалитету Суве чесме са даном 4.12.1981. Фонд Геолошког завода Србије, Београд.
- Крстић С., 1989:** Минералне, термалне и термоминералне воде региона Краљево. Републички фонд за геолошка истраживања, Београд.
- Крстић С., 1991а:** Елаборат о резервама угљокиселе термоминералне воде у налазишту Судимља код Блажева со Брус. Републички фонд за геолошка истраживања, Београд.
- Крстић С., 1991б:** Хидрогеолошка истраживања угљокиселе термоминералне воде у Качаруши, СО Брус (год. извештај). Републички фонд за геолошка истраживања, Београд.

- Лазић М., 2008:** Обновљени елаборат о резервама угљокиселих вода са изворишта Мивела у Велућу (СО Трстеник). Фонд Рударско – геолошког факултета, Београд.
- Маринковић Г., 2011:** Годишњи извештај за Студију хидрогеотермална потенцијалност терцијарних вулканогених комплекса Рогозне и Копаоника. Фонд Геолошког завода Србије, Београд.
- Маринковић Г., 2012:** Годишњи извештај за Студију хидрогеотермална потенцијалност терцијарних вулканогених комплекса Рогозне и Копаоника. Фонд Геолошког завода Србије, Београд.
- Марковић М., 1980:** Регионални руптурни склоп ширег подручја Слатине према анализи сателитских сканограма. Републички фонд за геолошка истраживања, Београд.
- Марковић М., 1988:** Фотогеолошка испитивања руптурног склопа у ширем подручју Блажевске и Ђерекарске реке. Рударско- геолошки факултет, Београд.
- Матић И., Белаћевић Г. и Вујасиновић С., 2008:** Елаборат о резервама слабоминералних вода на експлоатационом пољу „Бања“. Фонд Рударско – геолошког факултета, Београд.
- Миловановић Б., 1979:** Извештај о резултатима I фазе истраживања минералне воде у Горњем Црниљеву код Осечине. Фонд Геолошког завода Србије. Београд.
- Миловановић Б., 1980а:** Извештај о истраживању минералних вода у Оглађеновцу. Анекс извештају о истраживању минералних вода у Оглађеновцу. Републички фонд за геолошка истраживања, Београд.
- Миловановић Б., 1980б:** Извештај друге фазе основних хидрогеолошких истраживања у Луковској бањи. Републички фонд за геолошка истраживања, Београд.
- Миловановић Б., 1980в:** Извештај о истраживању минералних вода у Оглађеновцу, Републички фонд за геолошка истраживања, Београд.
- Миловановић Б., 1985:** Студија услова и могућности добијања геотермалне енергије у подручју Клокот бање – САП Косово. Фонд Геолошког завода Србије. Београд.
- Миловановић Б. и други, 1986:** Елаборат о резервама минералних и термоминералних вода Врњачке Бање. Фонд Геолошког завода Србије, Београд.

**Миловановић Б., 1991:** Извештај о извођењу прве етапе истражних бушотина *Nt-1* у Наталинцима код Тополе. Републички фонд за геолошка истраживања, Београд.

**Миловановић Б., 1996:** Елаборат минералне воде Чибутковице код Лазаревца. Републички фонд за геолошка истраживања, Београд.

**Нуховић С. и Ђокић И., 2008:** Елаборат о резервама минералних вода изворишта „Дар вода“ у Даросави (општина Аранђеловац). Фонд РДФ, Београд.

**Перић Ј. и Миливојевић М, 1990:** Студија Геотермална потенцијалност територије СР Србије ван територија САП, I оцена, Рударско – геолошки факултет, ООУР – Група за хидрогеологију, Лабораторија за геотермалну енергију. Републички друштвени фонд за геолошка истраживања, Београд.

**Покрајац С., 1978:** Основна хидрогеолошка истраживања уже локалности Суве Чесме и Виче код Прокупља. Фонд Геолошког завода Србије. Београд.

**Поповић С., 2005:** Елаборат о резервама термоминералне воде експлоатационог бунара КБ-2 у изворишту Кисела вода у Нересници код Кучева. Фонд Концем „Бамби“, Пожаревац.

**Протић Д., 1980:** Анализа и критичка оцена досадашњих истраживања минералних, термалних и термоминералних вода, процена потенцијалности, могућности коришћења и програми даљих истраживања на територији града Београда. Фонд Геолошког завода Србије. Београд.

**Радановић Ј., 2007:** (дипломски рад) Минералне воде у Горњем Црниљеву. Фонд Рударско – геолошког факултета. Београд.

**Стојадиновић Д., 1989:** Извештај о хидрогеолошким истраживањима минерално-гасних вода подручја Бела Вода (II фаза). Републички фонд за геолошка истраживања, Београд.

**Чанић В., 2009:** II Елаборат о резервама минералних вода у Студеници (бунар В – 3/86). Фонд Гецо – инжењеринг, Београд.

**Сајтови:**

**РЕГИОН,** инфопортал бронирования путевок, 2013.

[www.regionkmv.ru/resorts/ess\\_springs.html](http://www.regionkmv.ru/resorts/ess_springs.html)

**Туристичка организација Србије, 2013.**

[www.srbija.travel/destinacije/banje-i-klimatska-mesta](http://www.srbija.travel/destinacije/banje-i-klimatska-mesta)



## БИОГРАФИЈА

Горан Маринковић је рођен 28.10.1960. године у Београду у општини Савски венац. Средње стручно образовање стекао је у средњој геолошкој школи у Београду 1979.године. Радни однос засновао је исте године у Заводу за геологију Института за бакар у Бору. На Рударско – геолошки факултет, Смер за хидрогеологију уписао се 1986. године. Дипломирао је 1994.године са оценом 8 на дипломском испиту. По дипломирању наставио је рад у истом институту на пословима инжењера хидрогеологије, све до 01.07.2001.године када је засновао радни однос у Геоинституту - Београд. Данашњем Геолошком заводу Србије. Стручни испит је положио 2000.године. Тренутно има положај начелника одељења хидрогеологије, у звању високог саветника.

Последипломске студије је уписао 1995. године на Смеру за Хидрогеологију. Након одбране магистарске тезе „Хидрогеохемијске карактеристике лежишта урана Шумадије“ 14.09.2007. године, стекао је академско звање магистра техничких наука - области регионалне хидрогеологије, смер хидрогеохемија. У научно звање истраживач сарадник изабран је 2008.године.

У периоду 1979 – 2001.година, био је активно укључен у процесе комплексних геолошких, геохемијских и хидрогеолошких истраживања лежишта бакра на подручју „Тимочке еруптивне области“. Од фазе прелиминарних истраживања (литогеохемијских и др.), истражног бушења, израде подземних истражних радова, до фазе предемплоатационих истраживања и експлоатације лежишта (Велики Кривељ, Церово и др.). Такође је био укључен и на истраживањима лежишта кречњака (Заграђе, Кривељски камен), угља (Вршка чука), пешчара (Рготина) и злата (Благојев камен, Грабова река). Захваљујући стеченом искуству, на последипломским студијама се определио за област регионалне хидрогеологије и хидрогеохемије. У овом периоду учествовао је и на бројним стручним и истраживачким пословима хидрогеологије, којима су решавани проблеми из области рудничке хидрогеологије, хидрохемије, инжењерске геологије, водоснабдевања и екологије. На свим овим пословима био је ангажован у својству аутора, коаутора, сарадника или надзорног органа

инвеститора (РТБ- Бор, Институт за бакар – Бор, ЈП општине Бор или Републичког фонда за геолошка истраживања).

Од 2002.године, у Геоинституту – Београд, па Геолошком институту Србије и, данас, Геолошком заводу Србије, био је ангажован на бројним пројектима основних хидрогеолошких истраживања од фундаменталног и стратешког значаја за Републику Србију и детаљних за потребе различитих корисника. Аутор је листа и Тумача ОХГК Нови Пазар, размере 1:100000 и више студија и елабората.

Вишегодишњим радом стекао је огромно искуство у практичном и теоретском смислу из више специјализованих области геологије. Првенствено то се односи на геолошке области: рудних лежишта, хидрогеологије, хидрохемије и геохемије. То потврђује његов рад на хидрогеолошкој проблематици различитих лежишта, са површинском и подземном експлоатацијом (бабра и злата у вулканским и метаморфним стенама, урана у гранитоидима и седиментним басенима, зеолита у вулcano-седиментима, олова у комплексима метаморфита и др.). У оквиру више пројеката, изводио је различита истраживања на гранитоидним масивима Букуље, Копаоника и др., вулканским масивима источне Србије, Рогозне, Копаоника и др., кристаластим шкриљцима Вардарске зоне, Српско – македонске масе, Дринско – ивањичког елемента и др.

У протеклом периоду објавио је више стручних, прегледних и научних ауторских и коауторских радова. Аутор, коаутор или сарадник био је на више од сто фондовских радова. Данас ради на пројектима израде ОХГК 1:100000, пројектима истраживања термоминералних вода и хидрогеохемијских истраживања.

Користи се руским језиком, а од рачунарских програма ради у *Wordu*, *Excelu* *CorelDrawu*.

Прилог 1.

## Изјава о ауторству

Потписани-а \_\_\_\_\_ Горан Маринковић \_\_\_\_\_

број индекса \_\_\_\_\_ Г 296 \_\_\_\_\_

### Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

\_\_\_\_\_ Хидрогеолошки услови формирања угљокиселих минералних вода Србије \_\_\_\_\_

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис докторанда

У Београду, \_\_\_\_\_ јануар, 2014. године

\_\_\_\_\_  
*T. Marinović*

Прилог 2.

## Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Горан Маринковић

Број индекса Г 296

Студијски програм хидрогеологија

Наслов рада Хидрогеолошки услови формирања угљокиселих минералних  
вода Србије

Ментор Др Петар Папић, ред.проф.

Потписани/а Мр Горан Маринковић, дипл.инж.геол.

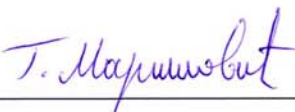
Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис докторанда

У Београду, јануар, 2014.године



**Прилог 3.**

## **Изјава о коришћењу**

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

---

Хидрогеолошки услови формирања угљокиселих минералних вода Србије

---

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство

Ауторство - некомерцијално

3. Ауторство – некомерцијално – без прераде

4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима

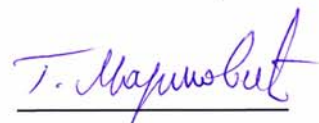
5. Ауторство – без прераде

6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

**Потпис докторанда**

У Београду,    јануар, 2014. године



T. Marinković