

САЊА МУСТАФИЋ¹
ПРЕДРАГ МАНОЈЛОВИЋ
МИРОЉУБ МИЛИНЧИЋ

**МИНЕРАЛИЗАЦИЈА ПОВРШИНСКИХ ВОДА
У СЛИВУ ВИСОЧИЦЕ
-прилог за предеоно-еколошку анализу-**

Извод: Слив је просторно и функционално, јасно дефинисана и релевантна хидролошка, геоморфолошка и еколошка предеона целина. Зато он најчешће представља основну геопросторну јединицу генерисања, праћења и проучавања многобројних физичко-географских и гео-еколошких појава и процеса. Једна од најзначајнијих компоненти геопростора на нивоу слива манифестује се кроз стање и квалитет површинских вода. С тога би прихватање системског приступа у проучавању минерализације површинских вода потпомогло дубље разумевање процеса у сложеном системском окружењу какав је слив. Као полигон такве врсте истраживачког приступа слив Височице одабран је из неколико разлога. Највиши специфични отицаји на простору источне Србије, хетероген геолошки састав терена, скоро потпуно одсуство утицаја антропогеног фактора на стање животне средине, као и постојање водне акумулације Завој омогућило је сагледавање вредности растворених минералних материја површинских вода као предеоно-еколошке компоненте геопростора.

Кључне речи: растворене минералне материје, површинске воде, специфични отицаји, геологија, екологија, Височица, Источна Србија.

Увод

У географској литератури често се истичу ставови да се истраживање воде не може издвојити из синтетичних истраживања географске средине, пејзажа и укупне екологије простора (Ракићевић Т., 1961; Горский Н.Н., 1962; Зеремски М., 1964; Лазаревић Р., 1965, Риђановић Ј., 1968; Милинчић М., 2004, 2009. Милинчић М. Јовановић Б., 2008. и други). Универзална покретљивост воде, осим квантитативне димензије кружења и квалитативних процеса њеног пречишћавања, најзначајнији је агенс морфогенезе, односно ремоделовања површинске и подземне морфологије простора. Пантић Н, (1984) овакав утицај воде (механички и хемијски), у току геолошког времена, уважава за одлучујући фактор трансформације „лица“ Земље. Слив је основна просторна јединица, последица и узрок, деловања ових сложених процеса, а минерализација површинских вода најсталнија и најтрајнија компонента – фактор и

¹ **мр Сања Мустафић**, асистент, Универзитет у Београду – Географски факултет, Студенски трг 3/3, Београд

др Предраг Манојловић, редовни професор, Универзитет у Београду – Географски факултет, Студенски трг 3/3, Београд

др Мирољуб А. Милинчић, доцент, Универзитет у Београду – Географски факултет, Студенски трг 3/3, Београд

Рад представља резултате истраживања у оквиру пројекта 146005 које финансира Министарство науке и технолошког развоја Републике Србије

модификатор његовог формирања – успостављања никад достижене равнотеже (еквилибријума) слива.

Иако компонента неживе природе вода (не рачунајући физички и хемијски везану воду), захваљујући својим својствима (покретљивост, раствор и растварач), представља интегративни фактор слива, пејзажа и екосистема. Она непрекидним кретањем у сливу повезује и одржава абиотичке и биотичке, природне и друштвене компоненте система. Заправо, слив није само систем за производњу воде већ и физички и хемијски циклус протока воде кроз његове физичке, биолошке и социјалне системе. Тако се, истовремено утиче и на кретање, квалитет и дистрибуцију „плаве“ воде (површинске и подземне) и „зелене“, односно воде у биосферној компоненти слива – креће се у свим равнима, па и вертикално навише (транспирација). Зато квантитативни и квалитативни показатељи стања воде у сливу представљају резултат констелације сложеног системског окружења ендогених и егзогених, абиотичких и биотичких, природних и друштвених појава и процеса. У том смислу минерализација површинских вода представља најреалнији и најрепрезентативнији показатељ предеоно-еколошке анализе и стања екосистема који егзистира у сливу и његовом геопросторном окружењу.

Слив као предеоно-еколошка јединица

Слив је најчешће, просторно и функционално, јасно дефинисана и релевантна хидролошка, геоморфолошка и еколошка предеона целина. Зато он представља основну геопросторну јединицу генерисања, праћења и проучавања многобројних физичко-географских, гео-еколошких и других појава и процеса. Својим морфоструктурама, висинском рашчлањеношћу и морфоскулптурама представља фактор и(ли) модификатор многобројних природних и социо-економских обележја геопростора. Зато, без обзира колико је слив „изразито велик“ и(ли) „изразито мали“ он је пре свега „изразито сложен“ – анизотропан и непоновиљив, са немерљиво великим бројем потенцијалних променљивих и међузависних. За слив као територијални полигон истраживања залажу се Јовановић С. П, оснивач реалне геоморфологије, и Марковић Ђ. Ј. Речни сливови су за Марковић Ђ. Ј., (1988) идеални полигони за систематско просторно-синтетичко проучавање рељефа, односно сложене морфогенетске, геотектонске, палеоклиматске, геохронолошке и друге проблеме.

У просторним опсервацијама екологије, сливови су – за релативно кратак временски период – од једног у обиљу функционалних појмова постали најприсутнији модел за истраживање екосистема (Bormann & Likens, 1979). Такође, постали су и најпрепоручљивија територијална јединица за управљање водним ресурсима и планирање простора. Европска конвенција (1992) о заштити и коришћењу међународних водених токова и међународних језера (ЕСПУТВ) речни слив експлицитно узима за јединствену еколошку јединицу (према: Jägerskog A., and Phillips D., 2006).

Слив и минерализација површинских вода

Слив је полазни полигон генерисања и праћења (проучавања) минерализације површинских вода. Еволуција и динамика слива, па и минерализација површинских вода, зависи од еволуције и коеволуције њених абиотичких и биотичких, природних и антропогених компоненти, односно од одржавања већег броја крхких равнотежа са серијом сложених процеса између њих. Карактер појава и динамику процеса у њему детерминишу многобројне унутрашње, али и поједине екстерне компоненте елементарног окружења ендогеног и егзогеног порекла.

Због опште присутности, континуираности и кумулативног ефекта у простору проучавање минерализације површинских вода је једно од централних питања савремене геоморфологије и геоекологије. Карактерише га изразит интердисциплинарни карактер и потреба све дубљих веза са општом теоријом система. Интердисциплинарност истраживања превазилази интеграцију чињеница и идеја и отвара перспективу новог начина идентификовања, дефинисања, анализе, интерпретације и реалног тумачења минерализације површинских вода и њиховог узрочно-последичног доприноса укупним процесима у сливу. Заправо, оваква истраживања отварају низ нових питања перцепције и методолошког или епистемиолошког карактера сазнајног процеса. Овде се пре свега има у виду још увек недовољно јасно онтолошко првенство објеката и онтолошка подређеност процеса код сложених механизма који утичу на минерализацију површинских вода. Такође, перцепција минерализације површинских вода као сложене појавне компоненте геопростора позитивно удаљава географију, посебно геоморфологију, од традиционалних метода директног посматрања и приближава је аналитичкој квантификацији, већ дуго прихваћеној у физици и хемији. Заправо, гносеолошки смисао назначаног проблема је неколико деценија у центру пажње нове београдске квантитативне геоморфолошке школе, али је његова епистемиолошка основа кроз серију радова (Манојловић П., 1992, 1993, 2002; Драгићевић С., 2002, 2007; Драгићевић С., Манојловић П., Мустафић С. 2003; Мустафић С. 2006) унапређена како у смислу системског приступа, тако и броја укључених и моделованих варијабли. Управо је прихватање системског приступа (знатна интегративна и хеуристичка могућност) у проучавању минерализације површинских вода потпомогло дубље разумевање ових процеса у сложеном системском окружењу какав је слив.

Слив Височице као полигон за ову врсту истраживања одабран је из више разлога. Како је вредност минерализације вода под директним утицајем водности слива и петролошко литолошког комплекса, овај слив се показао као интересантан, пре свега због *највиших специфичних отицаја* на простору источне Србије (Манојловић П., Живковић Н., 1997; Мустафић С., 2006). *Хетероген геолошки састав* терена омогућио је просторно сагледавање дистрибуције минерализације вода са аспекта различитих типова стена. С друге стране, интеракцијом физичко-географских карактеристика брдско-планинских простора и дуготрајног ефекта баријерности међудржавне границе погранични планински, простор Источне Србије одликује процес доминантне стагнације и дезинтеграције насеобинског, популационог и привредног пејзажа (Милинчић М., 2009; Мустафић С., 2007). Истовремено, овакви услови су на најзначајнијем делу планинских простора, процесима динамичке хомеостазе, омогућили проградацију стања основних природних елемената животне средине. Ово се нарочито повољно одразило на стање водних ресурса, па се зато овај део планинског простора и апострофира као база свежих водних ресурса. У том смислу *утицај антропопресије на динамику и квалитет вода је сведен на прихватљиву меру*. Слив Височице представља извориште површинских вода првог ранга (ВОС, 1996; ППРС, 1996), при чему је унутар њега на Височици 1989. године формирана бифункционална (водоснабдевање и наводњавање) *акумулација „Завој”* ($F=584 \text{ km}^2$, $V=170 \times 10^6 \text{ m}^3$). За реализацију циљева рационалне и функционалне експлоатације изворишта површинских вода кључни објекти су управо водне акумулације, јер представљају спону између система површинских изворишта и система водоснабдевања. Из тог разлога детерминација утицаја природних фактора животне средине на успостављање еколошке равнотеже један је од приоритета приликом анализе међусобних утицаја који постоје на релацији акумулација – животна средина слива. А једна од тих природних компоненти огледа се кроз квалитет, односно вредност минерализације површинских вода (Љешевић М., 1998).

Методологија истраживања

Подаци коришћени у изради овог рада преузети су из базе Лабораторије физичке географије Географског факултета у Београду. У двадесетогодишњем периоду истраживања обухваћена су 102 слива, при чему је физичко-хемијска анализа узорака текућих вода, такође, вршена у поменутој лабораторији. Унутар сваког узорка наализирано је 12 параметара. Како су сви узорци били подвргнути истим методолошким поступцима (Манојловић П., 1992, Манојловић П., Гавриловић Љ., Живковић Н., 1994), створена је солидна основа за реално сагледавање свих релевантних параметара који утичу на хемизам вода.

Досадашња истраживања су показала да је укупна минерализација и њена структура у великој мери детерминисана утицајем два фактора: *специфичног отицаја* и *петролошко-литолошког комплекса* (Манојловић П., 1990, 1998).

Поступак одређивања количине отицајне воде, тј, њене трансформације у специфични отицај састоји у томе да се јединична поља диференцирају према отицају, а преко преовлађујућег литолошког типа и количине падавина (Манојловић П. и Живковић Н., 1997). Издвајањем четири групе литолошко-хидролошких типова и стављањем у однос коефицијента отицаја и падавина добијене су одређене математичке зависности. Овако формиран нумерички модели примењени су за одређивање коефицијента отицаја сваког јединичног поља (величине 1 km²), а потом се преко висине отицаја у наредном кораку утврђује и вредност специфичног отицаја (Мустафић С., 2007).

Утицај петролошког комплекса на укупну минерализацију воде и њену структуру утврђен је следећим аналитичким поступком. Сходно геолошким карактеристикама слива, сви типови стена сврстани су у 5 петролошко-литолошких комплекса: неогени седименти, шкриљци, кречњаци, доломитични кречњаци и флиш. Следећи корак подразумевао је дефинисање одговарајућих математичко-статистичких модела за сваки издвојени петролошки комплекс. Као најбољи модел показала се двострука логаритамска регресија са специфичним отицајима као независно променљивом и концентрацијама макро-јона као зависно променљивим вредностима (Манојловић П., 1998).

Свеобухватна обрада података, тј. свих релевантних параметара који су укључени у сам модел, заснована је на коришћењу ГИС оријентисаног програмског пакета Geomedia 5.2 (Intergraf).

Тип стена и специфични отицаји као детерминанте минерализације површинских вода

Познавање укупне минерализације површинских вода један је од кључних фактора сагледавања интензитета хемијског растварања стена и седимената. Какав ће бити хемијски састав вода зависи од услова средине у којој се формирају, односно од корелативног дејства физичко-географских фактора датог простора, али и њиховог интензитета (Campbell S., et al. 2002; Beylich A., et al. 2004; Dixon J., Thorn C., 2005; Anderson S.P., 2005; Porder S., et al. 2007; Vuai S.A.H., Tokuyama A., 2007; Desir G., Marin C., 2007). С обзиром на сложеност интерактивног дејства свих одредишних фактора који утичу на хемизам вода, у овом раду акценат ће бити стављен на две одредишне компоненте: дејство литолошке компоненте (типа стена) и водност слива (специфичних отицаја).

Значај *литолошке компоненте* огледа се у томе што је она, под осталим сличним условима природне средине, односно процеса који се у њој одигравају,

једини променљив фактор у сливу који може створити постојеће разлике међу раствореним минералним материјама.

Резултати приказани у табели 1. показују да је највећа минерализација текућих вода у сливу Висчице присутна у неогеним седиментима. Ова чињеница указује да растварање стена није доминантан процес само у кречњацима, како се дуго у научним круговима сматрало (Corbell J., 1959), већ да у природи постоје стене и минерали који су далеко растворљивији (Манојловић П., 1998). Воде које дренирају ове терене имају 3,8 пута већу укупну минерализацију од оних које потичу са кристалних шкриљаца и 1,6 пута већу у односу на вредност минерализације вода кречњачких терена. На ту чињеницу указује и биланс јона унутар издвојених петролошко-литолошких комплекса. У оквиру укупне масе растворених минералних материја са свих типова стена доминирају јони Ca^{2+} , који су у високој позитивној корелацији са јонима хидрокарбоната. Међутим, средња концентрација јона Ca^{2+} у неогеним седиментима већа је у односу на њену вредност код кречњака, чак је већа и у флишним стенама, него у доломитичним кречњацима. Карактеристично је и то што је у структури укупне минерализације концентрација јона Mg^{2+} у неогеним седиментима скоро иста као и код доломитичних кречњака. Изразито присуство сулфата, као и јона натријума и калијума, указују да су у неогеним седиментима постојали такви палеоклиматски услови који су омогућили таложење минерала чија је брзина растварања, као и растворљивост знатно већа него код кречњака.

Табела 1. Пондерисане вредности моделованих концентрација макројона и растворених минералних материја (mg/l) по издвојеним петролошко-литолошким комплексима.

Тип стена	F	q	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	HCO_3^-	Cl	SO_4^{2-}	SiO_2	PMM
1	16	7.3	93.6	25.4	14.3	15.6	366.0	11.0	74.7	8.6	426.6
2	48	21.0	18.9	10.0	2.3	3.8	113.2	2.4	5.0	14.2	113.3
3	86	16.5	80.1	6.4	9.0	5.0	290.7	11.9	3.0	5.9	266.8
4	145	17.6	41.8	25.1	6.6	5.8	275.3	5.5	2.9	10.1	236.3
5	157	16.2	49.5	12.3	10.4	9.9	196.2	8.5	30.5	10.0	229.6
Ср.		16.7	53.4	15.7	8.5	7.4	244.3	7.9	15.9	9.4	240.7

Легенда: F - површина издвојеног стенског комплекса (km^2), q- специфични отицај (l/s/km^2);
Типови стена: 1- неогени седименти, 2- шкриљци, 3 – кречњаци, 4 – доломитични кречњаци,
5 – флиш; PMM – растворене минералне материје (mg/l)

Насупрот водама неогених седимената, минерализација вода које потичу са кристалних шкриљаца изразито је ниска. Разлог је двојак. Овај петролошки комплекс иначе је карактеристичан по веома ниским вредностима минерализације (Манојловић П., 1998). С друге стране, за разлику од других типова стена, стенски комплекс кристалних шкриљаца у сливу Висчице не захвата висинске зоне ниже од 900 m надморске висине. На простору на коме су они заступљени формиран су највиши специфични отицаји у сливу (средња пондерисана вредност специфичног отицаја износи $20,3 \text{ l/s/km}^2$). Њеним нижим вредностима доприноси и коефицијент отицаја који на овим теренима износи 66,6 % (Мустафић С., 2007). Већи коефицијент отицаја значи брже отицање воде, па самим тим и њену већу брзину филтрације кроз земљиште и стене. У том случају контакт стене и воде је краћи, што за последицу има формирање нижих минерализација.

Генерално, *утицај специфичних отицаја* на формирање укупне минерализације вода показује табела 2. Независно од заступљености петролошких комплекса са повећањем специфичних отицаја смањују се вредности укупне минерализације за скоро два пута, што значи да је минерализација воде у сливу под јаким утицајем његове водности.

Табела 2. Моделоване концентрације РММ у функцији специфичних отицаја

q	1	2	3	4	5	РММ
5-10	426.6		291.3	262.1	250.6	357.5
10-15		119.5	278.4	250.0	240.0	249.3
15-20		115.5	263.6	234.9	224.5	235.0
20-25		112.0	253.8	224.7	215.0	209.2
25-30		109.9		217.2	207.6	194.5

Легенда: q- специфични отицај ($l/s/km^2$); 1- неогени седименти, 2- шкриљци, 3 – кречњаци, 4 – доломитични кречњаци, 5 – флиш; РММ – растворене минералне материје (mg/l)

Како су вредности специфичних отицаја у директној функцији надморске висине, а преко ње и температуре, односно евапотранспирације, она се испољава као други, посредни, фактор смањења минерализације. Ова законитост уочена је како за слив у целини, тако и за висинску дистрибуцију вредности концентарција макроелемената и укупне минерализације сваког издвојеног петролошког комплекса. Наиме, простори са нижим надморским висинама примају релативно мању количину падавина, температуре ваздуха и тла су више, процес евапотранспирације је израженији што кумулативно има за последицу мање вредности специфичног отицаја. Све то условљава повећану минерализацију воде без обзира који је тип стена или седимената на том простору заступљен.

Познавање квантитативних вредности утицаја поменутих фактора на суви остатак, као и процентуалног учешћа макроелеметата у структури сувог остатка, омогућено је сагледавање његове просторне дистрибуције (табела 3).

Релативно високе концентрације појединих макроелемената карактеристичних за воде које дренирају неогене седименте, ипак битно не утичу на укупне вредности концентрација РММ вода површинских токова који гравитирају ка Завојском језеру. Разлог је тај што овај стенски комплекс захвата само 3,5% од укупне површине истраживаног слива, и простире се као уски појас дуж долиноског дна реке.

Табела 3. Моделоване концентарције макројона и РММ по сливовима

Сливови	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻ +CO ₃ ²⁻	Cl	SO ₄ ²⁻	SiO ₂	РММ
Криводолска река	68.2	13.2	10.1	8.5	268.6	10.0	24.5	8.1	277.3
Каменичка река	46.6	14.2	7.4	6.8	215.0	6.8	15.3	9.8	214.9
Росомачка река	50.6	15.0	7.6	6.7	233.8	7.3	14.1	9.5	228.1
Јеловичка река	49.0	15.9	8.4	7.4	231.4	7.4	16.1	9.2	229.5
Дојкиначка река	50.2	15.1	10.3	9.8	218.3	8.6	26.8	10.5	241.0
Белска река	41.9	25.2	6.6	5.9	276.2	5.5	2.9	10.2	237.2
Гостушка река	43.1	21.7	7.3	6.7	252.7	6.1	9.4	9.9	231.2
Белска река	42.4	25.2	6.8	6.0	276.8	5.6	3.5	10.2	239.0
Копрившtica	60.0	15.8	8.9	6.9	271.9	9.0	10.0	8.9	256.1

Добијене концентрације макројона и сувог остатка, дефинисане математичким моделом представљеног у поглављу о методологији рада, настале су узајамним утицајем литолошко-петролошког комплекса и одговарајућих специфичних отицаја насталих садејством надморске висине, количине падавина и типа стена. Тако се утицај климе, са аспекта падавина, не може посматрати независно од висине отицаја, а утицај стенских комплекса не може раздвојити од њиховог садејства са специфичним отицајима. При томе састав и растворљивост стенске подлоге којом се дренирају атмосферске воде, као и просечна дужина контакта стене и воде има одлучујућу улогу на формирање укупне минерализације (Hall F.R., 1970; Manojlovic P., 1992; Ryu J., et al., 2008; Zhao J. et al, 2009, Khayat S. et al, 2009). На то најбоље указује појам специфичне брзине отицаја (колико је секунди потребно да би

1 l воде отекао са 1 km²) који објашњава 89% варијабилности сувог остатка (Манојловић П., 1992). Са геоморфолошко-хидролошког аспекта то значи да у природним условима дужим контактом стене и воде долази до повећања њене минарализације, односно у случају краткотрајног задржавања воде унутар стенских маса, њена минерализација ће бити нижа и њу ће чинити брже растворљиви минерали.

Закључак

Показало се да је слив Височице, иако просторно релативно мали, садржајно више него сложен полигон за реализацију постављеног задатка. Зато овај рад, с обзиром на одсуство сличних, има како аналитички, тако и теоријски допринос – подстицај дефинисању свеобухватног, коегзистентног и валидног научно-логичког система поуздане анализе узрочно-последичних веза на релацији сложених геоеколошких карактеристика слива и хемизма површинских вода. Такође, показало се и да истраживање овако конципиране теме, у значајном обиму, подразумева аналитички и синтетички приступ у проучавању релевантних физичко-географских (абиотичких) појава и процеса у сливу.

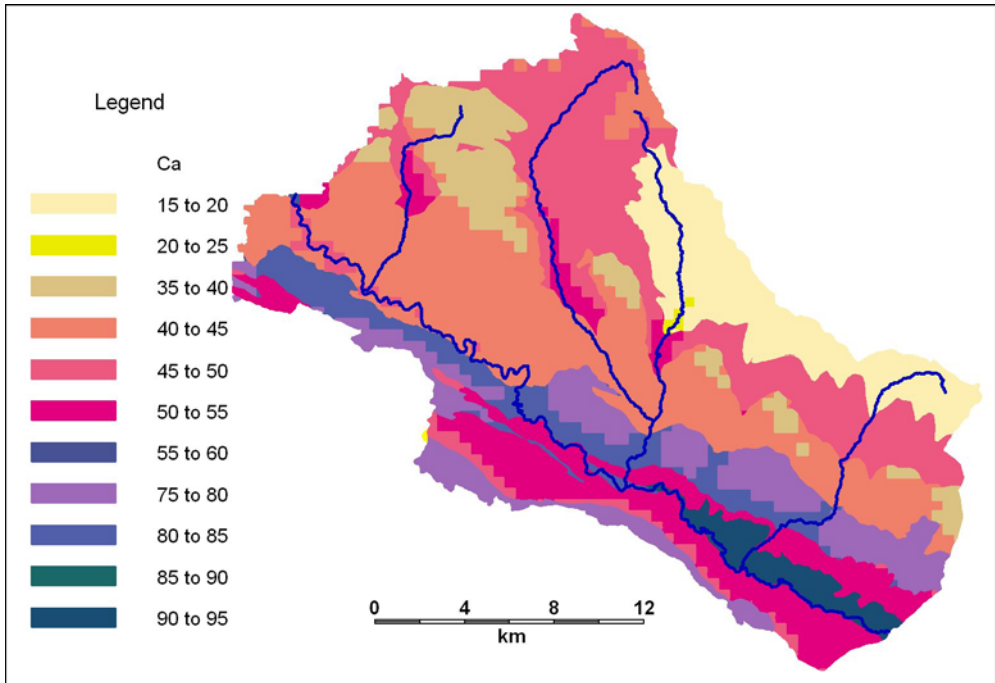
С друге стране, овако конципиран приступ има и апликативан значај. Одабрани модел може да послужи као једна од незаобилазних компоненти решавања сложене проблематике у оквиру еколошки оправдане валоризације и заштите животне средине, медицинске географије, као и раличитих аспеката планирања простора. У том смислу, кроз серију тематских карата као дела систематског и интегралног истраживања простора, омогућено је сагледавање овог сложеног процеса кроз више паралелних перцепција, а то су: визуелизација, конкретизација и квантификација.

Литература

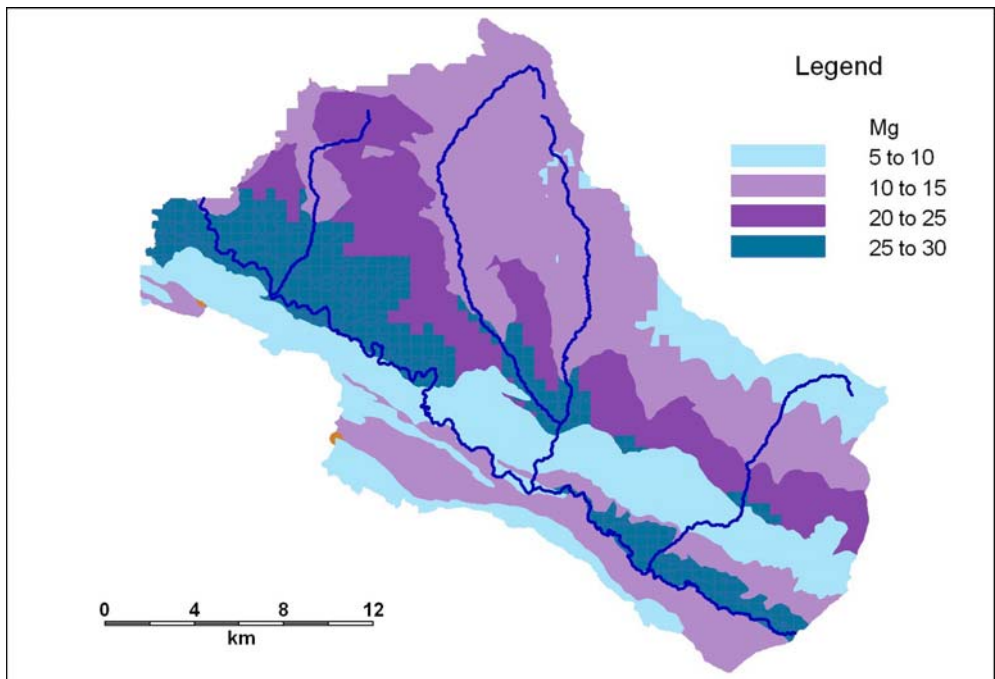
- Anderson, S.P. (2005). Glaciers show direct linkage between erosion rate and chemical weathering fluxes. *Geomorphology* 67: 147-157
- Beylich A, Kolstrup E, Thyrsted T, Linde N, Pedersen L, Dynesius L (2004) Chemical denudation in arctic-alpine latnjavagge (Swedish Lapland) in relation to regolith as assessed by radio magnetotelluric-geophysical profiles. *Geomorphology* 57: 303-319
- Bormann, D.B, Likens, G.E. (1979): *Pattern and Process in a Forested Ecosystem*. New York: Springer-Verlag.
- Campbell S.W., Dixon J.C., Thorn C.E., Darmody R.G. (2002). Chemical denudation rates in Karkevagge, Swedish Lapland. *Geografiska Annaler* 84 A (3-4): 179-185
- Corbel, J. (1959). Erosion en terrain calcaire. *Ann. Geogr.*, 68
- Desir G, Marin C, (2007) Factors controlling the erosion rates in a semi-arid zone (Bardenas Reales, NE Spain). *Catena* 71: 31-40
- Dixon J.C, Thorn C (2005) Chemical weathering and landscape development in mid-latitude alpine environments. *Geomorphology* 67: 127-145
- Драгићевић, С. (2002). Биланс наноса у сливу Колубаре. Географски факултет Београд
- Драгићевић, С. (2007). Доминантни ерозивни процеси у сливу Колубаре. Географски факултет Београд
- Драгићевић, С., Манојловић, П. и Мустафић, С. (2003). Прилог одређивању интензитета хемијске ерозије Западне Србије. *Гласник Српског географског друштва* 83 (1), 7-14
- Future environments in Britain (1984) Future Water, Series Editor Bryan Waiter, Cassell, London.
- Gorski N. N, (1965) *Voda čudo prirode*, Vuk Karadžić, Beograd.
- Hall F.R (1970) Dissolved solids-discharge relationships: I Mixing models. *Water Resources Research* 6. http://hdr.undp.org/en/media/HDR_2006_Chapter_6.pdf, UNDP
- Jägerskog A., and Phillips D., (2006): Human Development Report - Managing Trans-boundary Waters for Human Development,
- Khayat S, Moller P, Geyer S, Marei A, Siebert C, Hilo FA (2009) Hydrochemical variation in the springs water between Jerusalem-Ramallah Mountains and Jericho Fault, Palestine. *Environ. Geol.* 57: 1739-1751
- Лазаревић, Р. (1965) Водопривреда и географија, *Гласник СГД*, св. 45, бр. 2.
- Љешевић, М. (1998). Анализа међусобних утицаја водних акумулација и животне средине и детерминација

- Манојловић, П (1998). Природни фон минерализације текућих вода Србије. *Зборник радова*, Географски факултет Универзитета у Београду, Св. 68, 27-40
- Манојловић, П. (1990). Neki aspekti hemijske erozije u slivu Sikolske reke. *Гласник Српског географског друштва*, св. 70 (2), 35-42
- Манојловић, П. (1992). Хемијска ерозија као геоморфолошки процес – теоријски, аналитички и методолошки аспект. Природно-математички факултети, географски факултет, Београд
- Манојловић, П. (1993). Речна ерозија у горњем делу слива Црнице. *Гласник Српског географског друштва*, св. 73 (1), 3-14
- Манојловић, П. (2002). Интензитет хемијске ерозије у сливу Нишаве. *Гласник Српског географског друштва*, св. 82 (1), 3-8
- Манојловић, П. и Живковић, Н. (1997). Карта специфичних отицаја у Србији. *Зборник радова*, Географски факултет Универзитета у Београду, Св. 67, 15-25
- Манојловић П., Гавриловић Љ. и Живковић Н. (1994). Методолошке основе проучавања хемијске ерозије. . *Зборник радова*, Географски факултет Универзитета у Београду, Св. 44, 9-14
- Марковић Ђ. Ј., (1988): Потребе прогресивније геоморфологије и географије. *Зборник радова*, књ. 40, САНУ ГИ Ј. Цвијић, Београд.
- Миљинчић М, Јовановић Б., (2008) *Ресурс свеже воде као детерминанта безбедности и квалитета животне средине*, Безбедност у посмодерном амбијенту, Зборник радова (2), ЦЕСНА Б, Београд, стр.300-326.
- Миљинчић А. М., (2009). Изворишта површинских вода Србије – еколошка ограничења и ревитализација насеља, Универзитет у Београду Географски факултет, Београд, стр. 1-281.
- Миљинчић А. М., (2004) Економско-географска и еколошка поларизација простора као фактор нових функционалних односа међу просторним целинама, *Гласник Српског географског друштва*, 86(2), 157-164.
- Мустафић, С. (2006). Просторна дистрибуција отицаја у сливу Темштице. *Гласник Српског географског друштва*, 86 (2), 45-52
- Мустафић, С. (2007). Неки аспекти антропогеног утицаја на интензитет ерозивних процеса у сливу Темштице. *Гласник Српског географског друштва*, 87 (1), 23-30
- Мустафић, С. (2007). Ерозија у сливу Темштице. Београд: Географски факултет, магистарски рад.
- Пантић Н, (1984) Природа и човек, Зборник, *Човек и природа*, бр. 51, Галерија САНУ, Београд.
- Porder S, Hilley G.E, Chadwick O.A (2007) Chemical weathering, mass loss, and dust inputs across a climate by time matrix in the Hawaiian Islands. *EPSL* 258: 414-427
- Rakićević T, (1961) Значај географске средине у хидролошким проучавањима, VI зборник географа FNRJ, Ljubljana.
- Riđanović, J. (1968) Географски аспекти проучавања вода, Зборник на VIII конгресу на географите од SFRJ, Скопје.
- Ryu J.S, Lee K.S, Chang H.W, Shin H. S. (2008). Chemical weathering carbonates and silicates in the Han River basin, South Korea. *Chemical Geology*, 247: 66-80
- Vuai S.A.H, Tokuyama A, (2007) Solute generation nad CO₂ consumption during silicate weathering under subtropical, humid climate, northern Okinawa Island, Japan. *Chemical Geology* 236:199-216
- Zhao J., Wang C., Jin Y., Sun G., Xiao J. (2009). Seasonal variation in nature and chemical compositions of spring water in Cuihua Mountain, Shaanxi province, central China. *Environ. Geol*, 57: 1753-1760
- Зеремски, М. (1964) Улога антропогеног фактора у заштити клизног земљишта у долини Височице, *Зборник радова*, књ. 19, ГИ „Јован Цвијић“, Београд.
- зоне утицаја. *Зборник радова*, Географски факултет Универзитета у Београду, Св. XLVIII, 61-74
- *** (1996). *Водопривредна основа Републике Србије*. Београд: Институт за водопривреду ”Јарослав Черни”, Нацрт
- *** (1996). *Просторни план Републике Србије*. Република Србија. Београд: Службени гласник

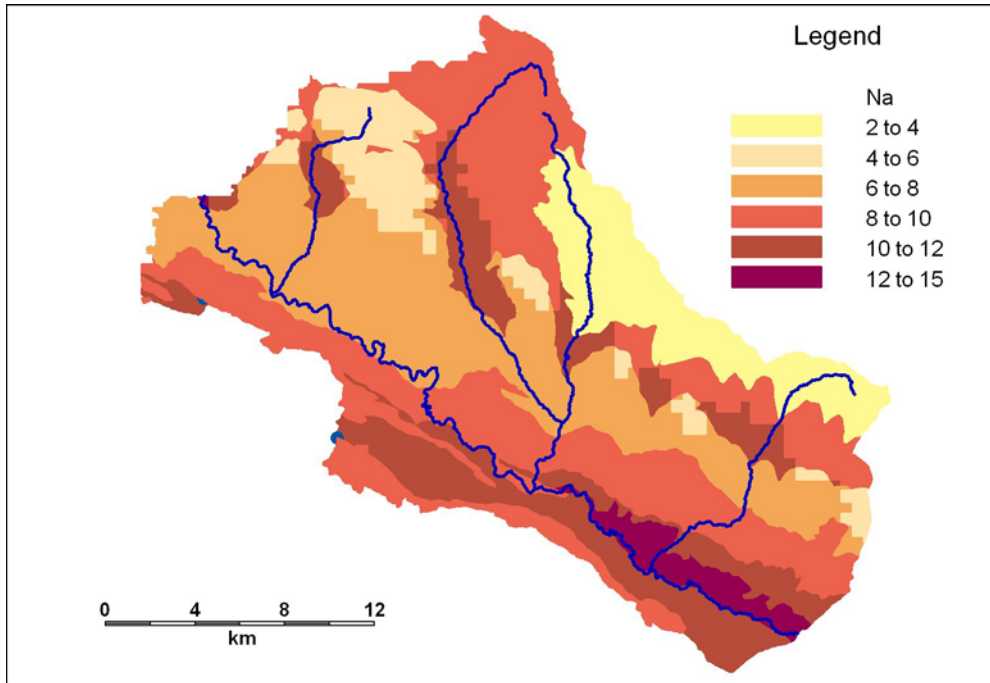
Карта 1. Концентрације Ca^{2+} јона (mg/l).
Map 1. Concentrations Ca^{2+} ions (mg/l).



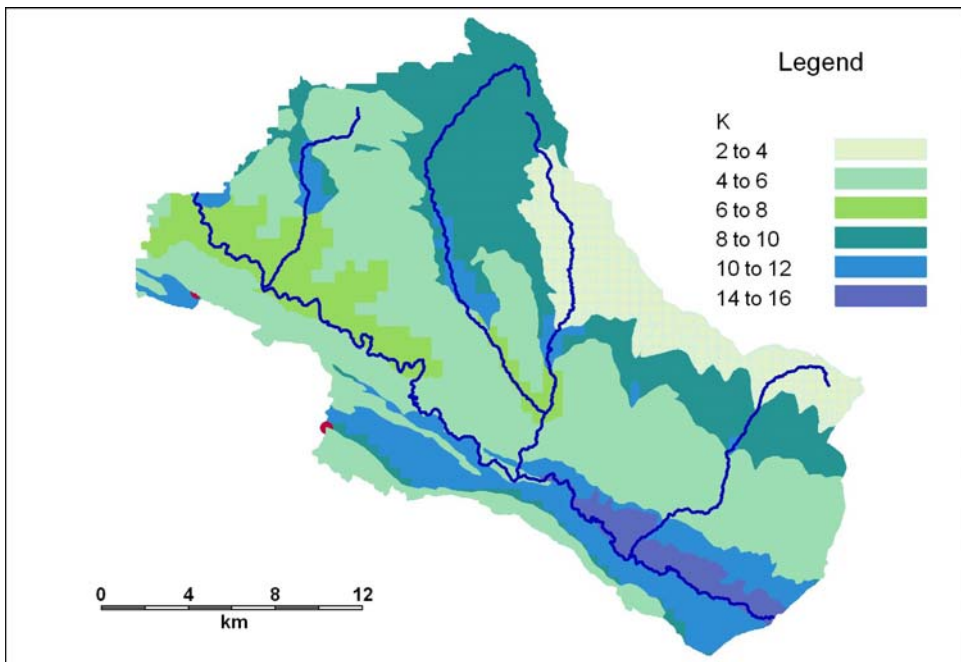
Карта 2. Концентрације Mg^{2+} јона (mg/l).
Map 2. Concentrations Mg^{2+} ions (mg/l).



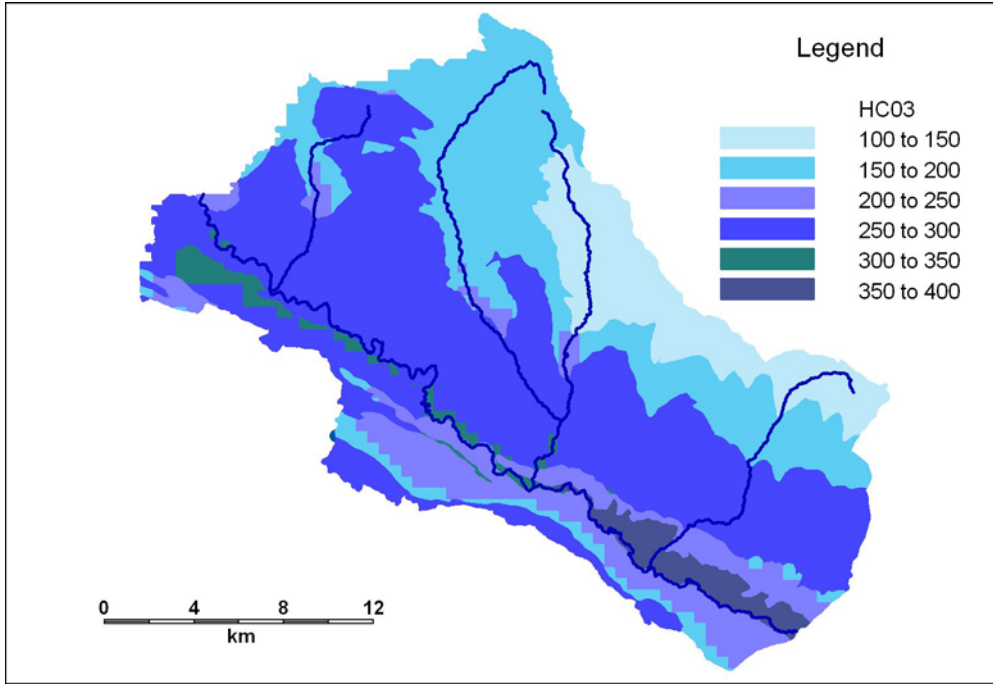
Карта 3. Концентрације Na^+ јона (mg/l).
Map 3. Concentrations Na^+ ions (mg/l).



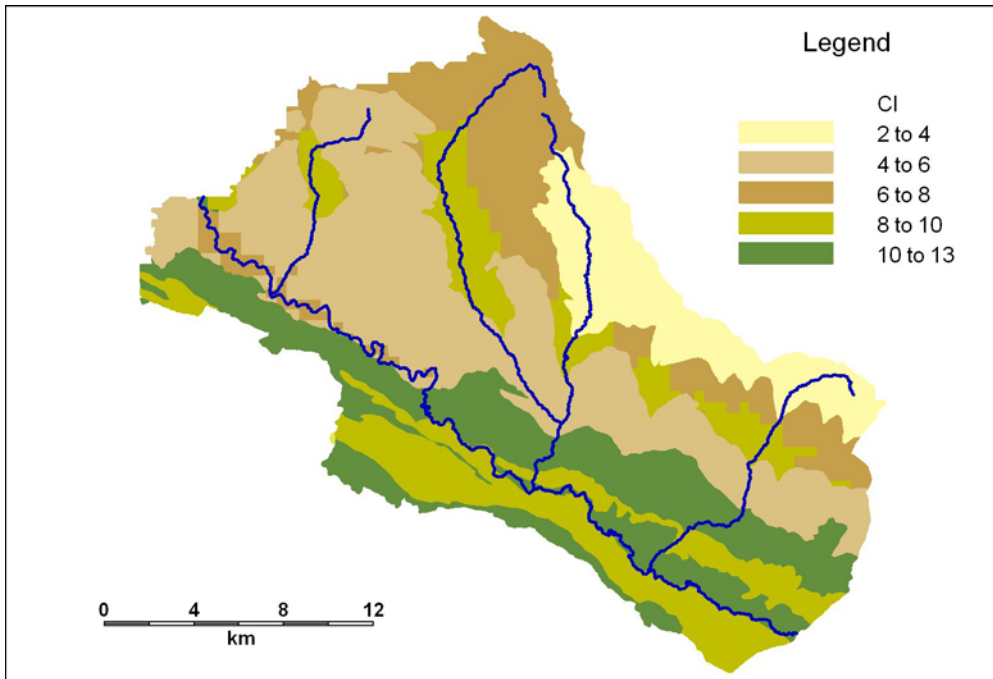
Карта 4. Концентрације K^+ јона (mg/l).
Map 4. Concentrations K^+ ions (mg/l).



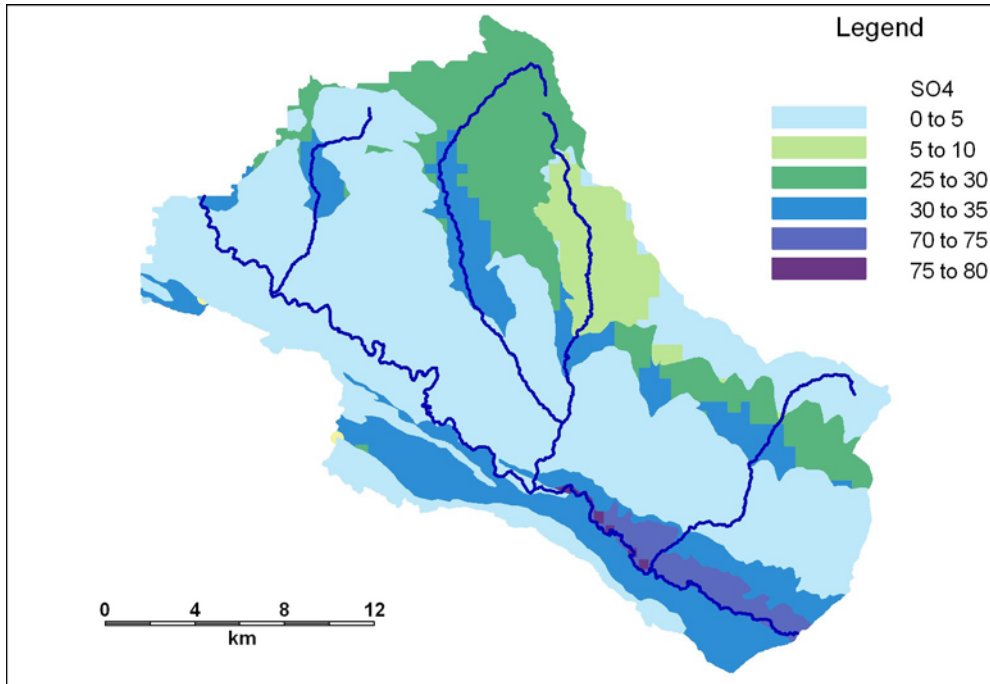
Карта 5. Концентрације HCO_3^- јона (mg/l).
Map 5. Concentrations HCO_3^- ions (mg/l).



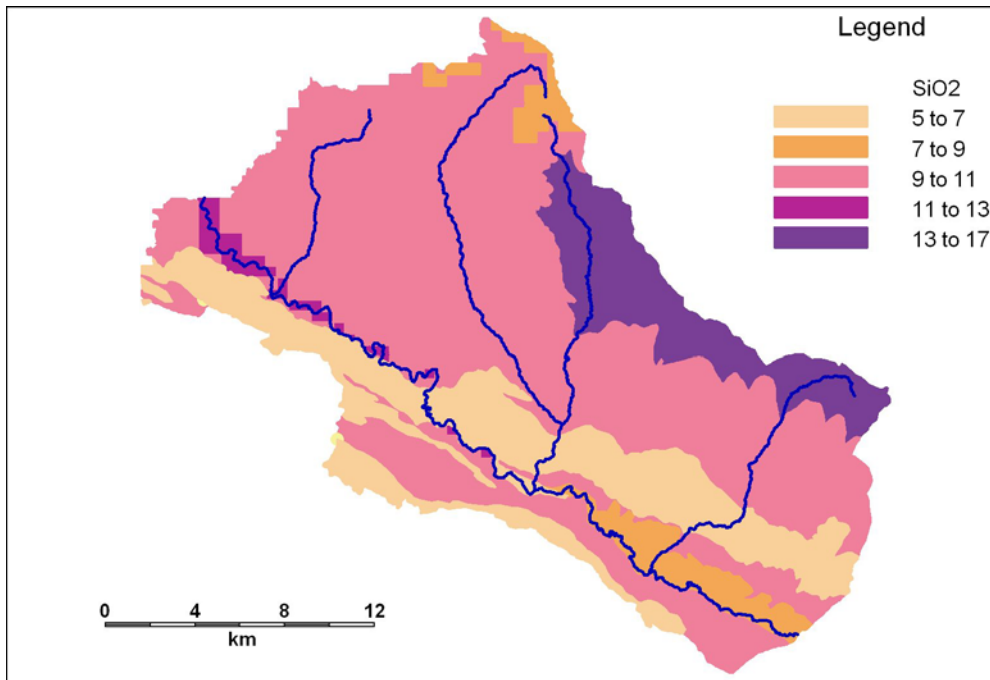
Карта 6. Концентрације Cl^- јона (mg/l).
Map 6. Concentrations Cl^- ions (mg/l).



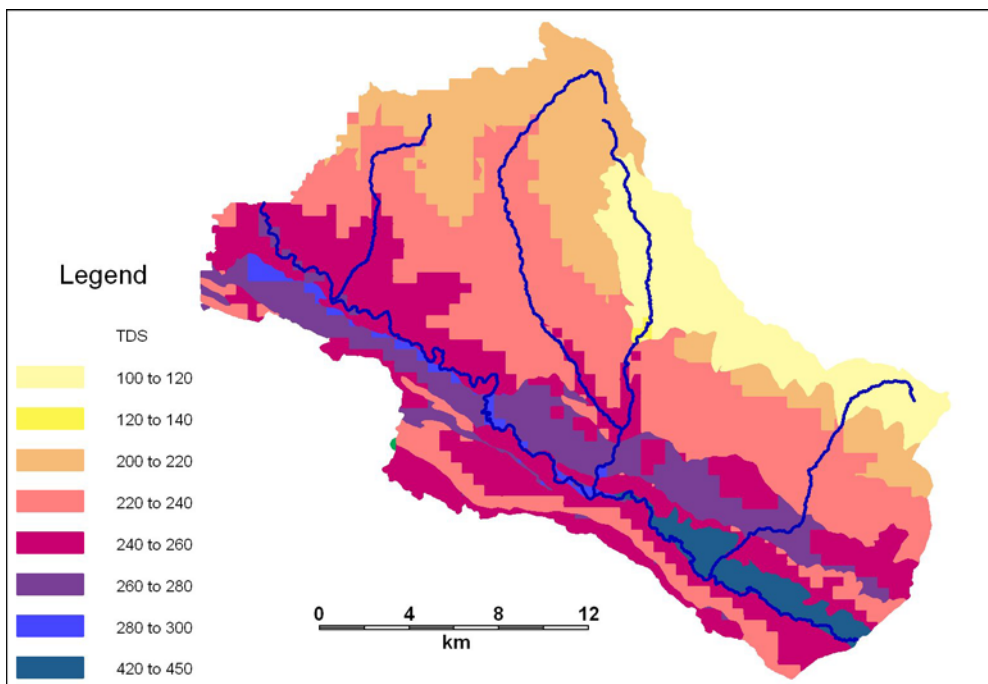
Карта 7. Концентрације SO_4^{2-} јона (mg/l).
Map 7. Concentrations SO_4^{2-} ions (mg/l).



Карта 8. Концентрације SiO_2 јона (mg/l).
Map 8. Concentrations SiO_2 ions (mg/l).



Карта 9. Концентрација укупних растворених минералних материја (mg/l).
Map 9. Concentrations TDS (mg/l).



SANJA MUSTAFIĆ
PREDRAG MANOJLOVIĆ
MIROLJUB MILINCIĆ

MINERALIZATION OF THE SURFACE WATERS IN THE VISOČICA DRAINAGE BASIN -supplement for the landscape-ecologic analysis-

Abstract: The drainage basin is spatially and functionally clearly defined and relevant hydrologic, geomorphologic and ecologic landscape totality. Therefore, it mostly represents basic geo-spatial unit of generation, monitoring, and studying numerous physical-geographical and geo-ecologic occurrences and processes. One of the most important components of geo-space, on the level of basin, is manifested through the state and quality of surface waters. So, the acceptance of systematic approach in studying mineralization of the surface waters would contribute to the deeper understanding of the process in complex systematic surroundings which drainage basin represents. The Visočica Drainage Basin was chosen as proving ground of this kind of the research approach for several reasons. The highest specific runoff on the territory of Eastern Serbia, heterogeneous geologic structure of terrain, almost complete absence of the influence of the anthropogenic factor on the state of the environment, as well as the existence of water accumulation enabled perception of the values of dissolved mineral substances of surface waters as landscape-ecologic component of geo-space.

Key words: dissolved mineral substances, surface waters, specific runoffs, geology, ecology, the Visočica River, Eastern Serbia.

Introduction

The standpoints that the water research cannot be singled out from synthesized researches of geographic environment, landscape and total space ecology are often emphasized in geographic literature (Milojević B.Ž., 1950; Sretenović Lj., 1955; Rakićević T., 1961; Gorski N.N., 1962; Zeremski M., 1964; Lazarević R., 1965; Riđanović J., 1968; Milinčić M., 2004, 2009 and others). Universal water movement, apart from quantitative dimension of circulation and qualitative process of its purification, is the most important agent of morphogenesis, i.e. remodeling of surface and ground morphology of space. This water influence (mechanical and chemical) in geologic time, Pantić N. (1984) considers as decisive factor of transformation of the Earth's "face". The drainage basin is a basic spatial unit, consequence and cause of the action of these complex processes while mineralization of the surface waters is the steadiest and the most durable component –factor and modifier of its formation-establishing never attaining equilibrium of the drainage basin.

Although it is a component of the non-living nature, water (not including physically and chemically bound water), thanks to its features (movement, solution and solvent), presents integrated factor of drainage basin, landscape and ecosystem. With its constant movement in the drainage basin, water connects and maintains abiotic and biotic, natural and social components of the system. In fact, drainage basin is not just a system for water production, but also physical and chemical cycle of water flow through its physical, biological and social systems. In this way it simultaneously influences movement, quality and distribution of "blue" water (surface and ground water) and "green", that is water in bio-sphere component of drainage basin- moving in all planes, even vertically upward (transpiration). Therefore, quantitative and qualitative indicators of water state in drainage basin represent the result of constellation of complex systematic surroundings of endogenic and exogenic, abiotic and biotic, natural and social occurrences and processes. In that sense, mineralization of surface waters represents the most realistic and the most representative

indicator of landscape-ecologic analysis and state of ecosystem which exists in drainage basin and its geo-spatial surroundings.

A drainage basin as landscape-ecologic unit

A drainage basin is spatially and functionally clearly defined and relevant hydrologic, geomorphologic and ecologic landscape totality. Therefore, it mostly represents basic geo-spatial unit of generation, monitoring and research of numerous physical-geographical, geo-ecologic and other occurrences and processes. With its morphostructure, height dissection and morphosculptures it represents factor and (or) modifier of numerous natural and social-economic features of geo-space. Therefore, no matter how much drainage basin is "extremely large" and (or) "extremely small" it is above all "extremely complex"-anisotropic and unique, with immeasurably large number of potential variables and mutually dependable variables. Jovanović S.P, the founder of real geomorphology, and Marković Đ.J. support the idea of drainage basin as proving ground of research. For Marković Đ.J. , (1988) drainage basins are ideal proving grounds for systematic spatial-synthetic study of relief, that is complex morphogenetic, geotectonic, palaeo-climatologic, geo-chronologic and other issues.

In spatial observations of ecology, from one in abundance of functional concepts, the drainage basins became, for relatively short period, mostly used model for ecosystem research (Bormann & Likens, 1979). Also, they became the most recommendable territorial unit for water resource management and space planning. The European Convention (1992) on Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes (ECPUTW) explicitly regards river drainage basin as unique ecologic unit (according to: Jägerskog A., and Phillips D., 2006).

Drainage basin and mineralization of surface waters

A drainage basin is starting proving ground of generation and monitoring (studying) of mineralization of surface waters. The evolution and dynamics of drainage basin, and even mineralization of surface waters, depend on evolution and co-evolution of its abiotic and biotic, natural and anthropogenic components, i.e. maintenance of large number of weak equilibriums with series of complex processes among them. The character of occurrences and dynamic of processes in it are determined with numerous interior, but also with some exterior components of elemental surroundings of endogenic and exogenic origin.

Studying of mineralization of surface waters is one of the central questions of modern geomorphology and geo-ecology because of its general presence, continuity and cumulative effect in space. It characterizes expressed inter-disciplinary nature and need for deeper connections with general system theory. Inter-disciplinary research exceeds integration of facts and ideas and opens perspective of new method of identification, definition, analysis, interpretation and genuine clarification of mineralization of surface waters and their cause- and- effect contribution to all processes in drainage basin. Actually, such researches open series of new questions of perception and methodological or epistemological character of cognitive process. Here, in particular, still insufficiently comprehensible ontological priority of objects and ontological subordination of processes in complex mechanism which influence mineralization of surface waters are taken into consideration. Also, perception of mineralization of surface waters as complex occurring component of geo-space in positive way distance geography, especially geomorphology, from traditional methods of direct observation and it brings it closer to analytic quantification, which has been for a long time accepted in physics and chemistry. In fact, gnoseologic sense of the indicated problem has been in the centre of attention of new Belgrade Quantitative Geomorphologic School for several decades, but its epistemological base is through series of studies (Manojlović P., 1992; Dragičević S., 2002, 2007;

Dragičević S., Manojlović P., Mustafić S. 2003; Mustafić S. 2006) improved in both senses: in terms of systematic approach, and in number of included and modeled variables. Exactly this acceptance of systematic approach (considerable integrative and heuristic possibility) in the study of mineralization of surface waters facilitated deeper understanding of these processes in complex systematic surroundings which drainage basin represents.

Visočica Drainage Basin as proving ground for this type of research is chosen for several reasons. As the value of mineralization is under direct influence of the water quantity of the drainage basin and petrologic- lithologic complex, drainage basin has become interesting because of *the highest specific runoffs* on the territory of Eastern Serbia (Manojlović P., Živković N., 1997; Mustafić S., 2006). *Heterogeneous geologic structure* of terrain enabled spatial perception of distribution of water mineralization from the aspect of different rock types. On the other hand, border mountainous regions of Eastern Serbia with the interaction of physical-geographical characteristics of hilly-mountainous regions and long-lasting effect of international boundary barrier are characterized with the process of dominant stagnation and disintegration of settlement, population and economic landscape (Milinčić M., 2009; Mustafić S., 2007). Simultaneously, these conditions, with the processes of dynamic homoeostasis, enabled progradation of the state of the basic natural elements of the environment in the most important part of mountainous region. It especially favourably reflected on the state of water resources, and therefore this part of mountainous region is emphasized as a base of fresh water resources. In that sense, *the influence of anthropopression on the dynamic and quality of waters is brought down to acceptable measure*.

The Visočica Drainage Basin represents spring part of surface waters of the first class (Water Management Master Plan of the Republic of Serbia, 1996; Physical Plan of the Republic of Serbia, 1996) on whose inner part was formed bifunctional (water supply and irrigation) "*Zavoj*" accumulation ($F=584 \text{ km}^2$, $V=170 \times 10^6 \text{ m}^3$). Exactly water accumulations are key objects for the realization of the objectives of rational and functional exploitation of surface water spring parts- since they represent connection between the system of surface spring parts and the system of water supply. Consequently, the determination of the influences of natural environmental factors on the establishment of ecologic equilibrium is one of the priorities in the analysis of mutual influences that exist on the relation: accumulation-drainage basin environment. And one of those natural components is shown through quality, or more exactly, the value of surface water mineralization (Lješević M., 1998).

Research methodology

The data used in this paper are taken from the base of the Laboratory for Physical Geography of the Geographical Faculty in Belgrade. In a twenty -year- period of research 102 drainage basins were included. Also, physical-chemical analysis of samples of running water was carried out in the aforementioned laboratory. Twelve parameters were analyzed inside each of sample. And, as all samples were subjected to the same methodological procedures (Manojlović P., 1992, Manojlović P., Gavrilović Lj., Živković N., 1994), it created strong foundation for rational perception of all relevant parameters which influence water chemism.

Previous researches showed that total mineralization and its structure are at large extent determined by the influence of two factors: *specific runoffs and petrologic-lithologic complex* (Manojlović P., 1990, 1998).

The procedure of determination of water runoff quantity, i.e. its transformation in specific runoff lies in the fact that unit fields are differentiated according to the runoff over prevailing lithologic type and rainfall quantity (Manojlović P. and Živković N., 1997). Some mathematic dependencies were received by singling out four groups of lithologic-hydrologic

types and putting them into the relation of coefficient of runoff and rainfall. Numeric models formed in such way were applied for determination of runoff coefficient of each unit field (size of 1 km²), and then in the next step, through runoff height, the value of specific runoff is also determined (Mustafić S., 2007).

The influence of petrologic complex on the total water mineralization and its structure is determined by the following analytic procedure. In accordance with geologic characteristics of the drainage basin, all rock types are classified in 5 petrologic-lithologic complexes: Neogene sediments, schist, limestone, dolomite limestone and flysch. The next step meant defining of certain mathematic- statistic models for each singled out petrologic complex. Double logarithm regression with specific runoffs as undependable variable values and concentration of macroions as dependable variable values appeared as the best model (Manojlović P., 1998).

Universal data processing, i.e. all relevant parameters which are included in the model itself, is based on the use of GIS oriented program package- Geomedia 5.2 (Intergraf).

Rock types and specific runoffs as determinants of surface water mineralization

The knowledge of total surface water mineralization is one of the key factors of perception of intensity of chemical dissolution of rocks and sediments. Chemical structure of water depends on the environmental conditions in which they are formed or more exactly on correlative action of physical-geographical factors of the given region and their intensity as well. (Campbell S., et al. 2002; Beylich A., et al, 2004; Dixon J., Thorn C., 2005; Anderson S.P., 2005; Porder S., et al. 2007; Vuai S.A.H., Tokuyama A., 2007; Desir G., Marin C., 2007). Considering the complexity of interactive action of all destination factors which influence water chemism, the emphasis in this paper will be given to two destination components: the activity of lithologic component (rock type) and water quantity of the drainage basin (specific runoff).

The importance of *lithologic component* is shown in the fact that it is the only factor in the drainage basin different from others which can create existing differences among the dissolved mineral substances under other similar environmental conditions, or more exactly the processes that happen in it.

The shown results in the table 1 indicate that the highest mineralization of running waters in the Visočica Drainage Basin is present in the Neogene sediments. This fact indicates that dissolving of rocks is not only dominant process in limestone, as it was considered for a long time in scientific circles, (Corbell J., 1959), but that there are rocks and minerals in nature which are far more soluble (Manojlović P., 1998). Waters that drain these terrains have 3.8 times higher total mineralization than those that originate from crystalline schist and 1.6 times higher than the values of water mineralization of limestone terrains. Ion balance inside the singled out petrologic-lithologic complexes also point to this fact. In the total mass of dissolved mineral substances from all rock types Ca²⁺ ions dominate, which are in high, positive correlation with hydro-carbonate ions. However, the average concentration of Ca²⁺ ions in Neogene sediments is higher than its value in limestone, and it is even higher in flysch rocks than in dolomite limestone. It is also typical that in the structure of total mineralization the concentration of Mg²⁺ ions in Neogene sediments is almost the same as in dolomite limestone. Distinct presence of sulfate, as well as sodium and potassium ions point to the fact that there were such palaeo-climatologic conditions in Neogene sediments which enabled deposition of minerals whose dissolution velocity, as well as solubility is significantly higher than in limestone.

Contrary to the waters of Neogene sediments, mineralization of the waters which originate from crystalline schist is extremely low. The reason for this is two-fold. This petrologic complex is generally typical for its very low values of mineralization

(ManojlovićP., 1998). On the other hand, contrary to other rock types, rock complex of crystalline schist in the Visočica Drainage Basin does not reach height zones lower than 900m of altitude. The highest specific runoffs are formed in the drainage basin (the average ponderable value of specific runoff is 20,3 l/s/km²) where crystalline schist are present. Coefficient of runoff also contributes to its lower values, which is on these terrains 66,6 % (Mustafić S., 2007). Higher coefficient of runoff means faster water runoff, and therefore higher filtration velocity through soil and rocks. The contact between rock and water is shorter in that case and it results in formation of lower mineralization.

Table 1. Ponderable values of modeled concentrations of macroions and dissolved mineral substances (mg/l) per singled out petrologic-lithologic complexes .

Rock type	F	q	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	SiO ₂	TDS
1	16	7.3	93.6	25.4	14.3	15.6	366.0	11.0	74.7	8.6	426.6
2	48	21.0	18.9	10.0	2.3	3.8	113.2	2.4	5.0	14.2	113.3
3	86	16.5	80.1	6.4	9.0	5.0	290.7	11.9	3.0	5.9	266.8
4	145	17.6	41.8	25.1	6.6	5.8	275.3	5.5	2.9	10.1	236.3
5	157	16.2	49.5	12.3	10.4	9.9	196.2	8.5	30.5	10.0	229.6
Average		16.7	53.4	15.7	8.5	7.4	244.3	7.9	15.9	9.4	240.7

Legend: F – area of singled out rock complexes (km²), q- specific runoffs (l/s/km²);

Rock type: 1- Neogene sediments, 2- schist , 3 – limestone , 4 –dolomite limestone, 5 – flysch; TDS total dissolved solids (mg/l)

In general, *the influence of specific runoffs* on the formation of total water mineralization is shown in the table 2. With the increase of specific runoffs, the value of total mineralization decreases almost twice as much, independently from the presence of petrologic complexes, which means that water mineralization in the drainage basin is under strong influence of its water quantity.

Table 2. Modeled concentrations of TDS in the function of specific runoffs

q	1	2	3	4	5	TDS
5-10	426.6		291.3	262.1	250.6	357.5
10-15		119.5	278.4	250.0	240.0	249.3
15-20		115.5	263.6	234.9	224.5	235.0
20-25		112.0	253.8	224.7	215.0	209.2
25-30		109.9		217.2	207.6	194.5

Legend: q- specific runoffs (l/s/km²); 1- Neogene sediments, 2- schist, 3 – limestone, 4 – dolomite limestone, 5 – flysch; TDS total dissolved solids (mg/l)

As the values of specific runoffs are in the direct function of altitude, and through it, temperature as well, or more exactly evapotranspiration; it appears as the second, indirect factor of the decrease of mineralization. This rule has been noticed for both the drainage basin in general and for height distribution of values of macroelement concentration and total mineralization of each singled out petrologic complex. Namely, the regions with lower altitude receive relatively lower quantity of rainfall, air and ground temperatures are higher, and the process of evapotranspiration is more distinctive, which cumulative result in lower values of specific runoffs. All of these conditions increased water mineralization no matter which type of rocks or sediments is present in that region.

The knowledge of quantitative values of the influences of the aforementioned factors on the total dissolved solids, as well as participation of macroelements, in percents, in the structure of the total dissolved solids, enabled perception of its spatial distribution (table 3).

However, relatively high concentrations of certain macroelements, typical for waters which drain Neogene sediments, do not have important influence on total values of DMS concentrations of the waters of surface flow which gravitate towards the Lake Zavojško

jezero. The reason for it is that this rock complex includes only 3.5 % of total area of the researched drainage basin, and it stretches as narrow zone by valley river floor.

Table 3. Modeled concentrations of ions and TDS (mg/l) per singled out drainage basins

Drainage basins	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	SiO ₂	TDS
The Krivodolska River	68.2	13.2	10.1	8.5	268.6	10.0	24.5	8.1	277.3
The Kamenička River	46.6	14.2	7.4	6.8	215.0	6.8	15.3	9.8	214.9
The Rosomačka River	50.6	15.0	7.6	6.7	233.8	7.3	14.1	9.5	228.1
The Jelovička River	49.0	15.9	8.4	7.4	231.4	7.4	16.1	9.2	229.5
The Dojkinačka River	50.2	15.1	10.3	9.8	218.3	8.6	26.8	10.5	241.0
The Belska River	41.9	25.2	6.6	5.9	276.2	5.5	2.9	10.2	237.2
The Gostuška River	43.1	21.7	7.3	6.7	252.7	6.1	9.4	9.9	231.2
The Belska River	42.4	25.2	6.8	6.0	276.8	5.6	3.5	10.2	239.0
The Koprivštica	60.0	15.8	8.9	6.9	271.9	9.0	10.0	8.9	256.1

Received concentrations of macroions and the total dissolved solids, defined with mathematic model presented in the chapter on the research methodology, were created by mutual influence of lithologic-petrologic complex and appropriate specific runoffs formed from the cooperative action of altitude, rainfall quantity and rock type. That is why the climatologic influence, from the rainfall aspect, cannot be observed separately from the runoff height, and the influence of rock complexes cannot be separated from their cooperative action with specific runoffs. Besides, the structure and solubility of rock surface with which atmospheric waters are drained, as well as the average length of contact between rock and water has decisive role in forming total mineralization (Hall F.R., 1970; Manojlovic P., 1992; Ryu J., et al., 2008; Zhao J. et al, 2009, Khayat S. et al, 2009). The concept of specific velocity of runoff (the number of seconds needed for 1 l of water to run off from 1 km²) which explains 89% of variability of the total dissolved solids (Manojlović P., 1992). From the geomorphologic-hydrologic aspect it means that longer contact of rock and water in natural conditions causes the increase of its mineralization. In other words, in the case of short-term preservation of water inside rock masses its mineralization will be lower and it will contain minerals which dissolve faster.

Conclusion

It appeared that the Visočica Drainage Basin, although spatially relatively small, in terms of contents is more than complex proving ground for realization of set task. That is why this paper, considering the absence of similar, has both analytical and theoretic contribution –the stimulus for defining universal, coexistent and valid scientific-logical system of reliable analysis of cause- and- effect relationships on the relation of complex characteristics of geo-ecologic characteristics of drainage basin and chemism of surface waters. Also, it appeared that researches of topic conceived in such way, at great extent, means analytic and synthetic approach in studying relevant physical-geographical (abiotic) occurrences and processes in the drainage basin.

On the other hand, the approach conceived in such way has applicable importance as well. The chosen model can be used as one of the unavoidable components of solving complex problems in the scope of ecologically justified valorization and environmental protection, medical geography, as well as different aspects of space planning. In the sense of that, through series of thematic maps as part of systematic and integral space research, the perception of this complex process was enabled through several parallel perceptions, and they are: visualization, concretization and quantification.

Reference

See Referencen on page 147