

ЧЕДОМИР Б. ЦРНОГОРАЦ

ХИДРОЛОГИЈА I

ПОДЗЕМНЕ ВОДЕ

Бањалука, 2009.

ПРЕДГОВОР

Шта је мекше од воде, шта је тврђе од камена? Ипак мека вода дуби тврди камен.¹

Уважавајући, првенствено, потребу студентске академске популације Универзитета у Бањој Луци и Универзитета у Источном Сарајеву (Студијски програм за географију и Студијски програм за просторно планирање) за књигом, која би се свеобухватно бавила аспектима хидрологије као науке о водама и свим видовима појављивања воде на нашој планети, књига „Хидрологија“, у оквиру своја три дијела, би требала студентској популацији поменутих одсјека дјелимично надокнадити недостатак адекватне стручне литературе, чији је дефицит био евидентан у минулом периоду.

Са становишта хидрологије, тротомна књига Хидрологија (Хидрологија I – подземне воде, Хидрологија II – хидрологија копна и Хидрологија III – океанологија) представља комплексан приступ хидросфери, која је један од структурних нивоа географског омотача. У географском омотачу присутна су три непрекидна омотача (сфере): литосфера, атмосфера и хидросфера.² Од свих сфера, само хидросфера и биосфера у цјелини припадају географском омотачу. Хидросфера спада у структурни степен географског омотача – то је сфера контакта литосфере и атмосфере. Највиши слојеви атмосфере и најнижи слојеви литосфере, према мишљењу бројних научника, не улазе у састав географског омотача.

Савремена хидрологија, по предмету проучавања, налази се у групи географских (научних) дисциплина а истовремено, по методама изучавања, у групи геофизичких дисциплина.³ Према објектима истраживања хидрологија се дијели на океанологију (хидрологију океана и мора) и хидрологију копна. Хидрологија копна се, на коју се односи садржај првог и другог дијела ове књиге, бави истраживањем хидролошких процеса који се одвијају у границама континента, на топографској површини копна и у Земљиној кори.

Према ужем предмету проучавања хидрологију копна чине сљедеће дисциплине: геохидрологија⁴ (наука о подземним водама), потамологија (наука о ријекама/водотоцима), глациологија (наука о ледницима/глечерима – леду на Земљи), лимнологија (наука о језерима), талматологија (наука о мочварама), аерофотохидрологија и регионална хидрологија.

Свака од претходно наведених научних дисциплина, у оквиру хидрологије копна, чини и посебно поглавље у овој књизи. Посебна поглавља посвећена су хидрометрији (ријечни слив и језерски басен), хидролошкој прогнози и хидрографији (описивање ријека, језера, водених акумулација и њихових дијелова, са квалитативним и квантитативним одликама њиховог положаја, физичкогеографских услова, режима и искоришћавања).

Хидрологија копна је незаобилазан сегмент савремене географије. Рецентни географски приступ истраживању воде (сложен и узајаман), уз широк спектар задатака који се постављају у свакој хидролошкој анализи, наметнуо је, између осталог, потребу савладавања бројних метода и

¹ Овидије, (лат. *ovis* – овца, дакле, „овчар“, „узгајивач оваца“) староримски пјесник из I вијека; цар Август протјерао га на Црно море, гдје је написао „*Epistulae ex Ponto*“.

² Биосфера, схваћена као укупност живих организама, не заузима самостално пространство и улази у поменуте сфере и простире се у танком слоју првенствено на контакту наведених трију сфера. У простору наведених сфера издвајају се ниже рангиране сфере, сфере другог реда – које не образују континуирани слој: криосфера (сфера хладноће), педосфера (земљиште) и др. (Геренчук, К.И., Боков, В.А., Черванов, И.Г., Обшћење земљовиденије, Москва, Висшаја школа, 1984).

³ Геофизика (грч. *ge* – Земља + *fysis* – природа), наука о Земљи, изучава њену унутрашњу грађу, физичка својства и процесе који се одвијају у њеним геосферама. Примјењене гране геофизике помажу у рјешавању геолошких задатака. На примјер, геофизика проучава унутрашњу топлоту, састав, грађу, густину, магнетизам и електрицитет Земље, затим физику атмосфере и физичка својства океанских, морских и копнених вода.

⁴ Према Д. Дукићу (1984.) *геохидрологија* је прихватљивији термин од *хидрогеологије*. Термин геохидрологија је усвојен у земљама са енглеским као службеним језиком (англосаксонско говорно подручје).

техника у хидролошким истраживањима. Из тих разлога, у дијелу књиге о потамологији (Хидрологија II) биће дате неопходне методе и технике за квалитетну хидрогеографску и хидролошку анализу:

- хидрогеографска анализа слива и водотока, анализа хидрометеоролошких елемената слива, хидрометрија, анализа и прорачун основних карактеристика отицаја, анализа ријечног режима, хидролошки биланс површинских вода, примјена математичко – статистичких метода у хидролошким анализама, картирање хидролошких појава и примјена компјутера у хидролошким анализама.

Из разумљивих разлога је и у дијелу књиге који дефинише лимнологију као хидролошку научну дисциплину детаљније ће бити разрађена лимнолошка морфометрија.

С обзиром да је садржај тротомне књиге Хидрологија усклађен и с наставним програмима хидрологије на Универзитетима у Бањој Луци и Источном Сарајеву и Студијским програмима за географију и просторно планирање, у њој ће доминирати географски приступ, што је у складу с предметом проучавања хидрологије.

Посебни садржаји у књизи посвећени су загађивању вода и заштити вода од загађивања. Познато је да је један од најактуелнијих и најакутнијих проблема заштите животне средине управо загађивање хидросферног комплекса. Хумана популација је све више свјесна чињенице да будућност наше планете зависи, итекако, од количине и квалитета воде којом ћемо у будућности располагати.

Писани и илустративни материјал презентирани су у више поглавља, у сваком дијелу књиге, уз одговарајући списак коришћене литературе и различитих извора и допринио је успјешној реализацији цјелокупног рукописа. Самим тим, први том Хидрологија I је намијењена и свим заинтересованим читаоцима, као и студентима оних факултета који у оквиру постојећих Наставних планова и програма имају курсеве из хидрологије. У тексту књиге је присутан већи број фуснота, с циљем да одређени појмовно – термилошки систем хидрологије буде доступан што ширем кругу заинтересованих читалаца.

Захваљујемо рецензентима проф. др Неђи Ђурићу и др Ранку Цвијићу, ванр.проф. на бројним упутствима, сугестијама и искуствима којима је књига обогаћена, као и свима добронамјернима који су нам пружили несебичну помоћ. Захваљујемо и свима онима који ће књигу тек читати, очекујући њихове добронамјерне примједбе и сугестије.

1. УВОД

Вода⁵ је јединствена природна материја – једна од четири геосфере географског омотача – која детерминише живот и омогућава низ активности хумане популације. Заједно са још једним праелементом, ваздухом, воде се може дефинисати као медиј (средина) у којем живот долази до свог пуног изражаја. Уосталом, није ли трагање за водом на планетама и трабантима Сунчевог система, односно трагање за водом у познатом дијелу васионе, заправо трагање за могућностима за живот и на другим небеским тијелима.

Вода је саставни дио хидросфере и представља хемијско једињење водоника и кисеоника, оксид водоника (H₂O).⁶ Безбојна је течност, без мириса и укуса, а посједује велики топлотни капацитет. Једина је природна материја која у природи постоји у три агрегатна стања: чврстом (лед), течном и гасовитом (водена пара). Као водена пара садржана је у атмосфери, у којој видимо продукте кондензације (капљице воде) и сублимације (кристалићи леда – снежне пахуље). Вода у чврстом стању, односно лед, присутна је у високопланинским подручјима⁷ и поларним областима наше планете. У течном стању воде највише има у Свјетском океану (Свјетском мору), затим у језерима, мочварама и ријекама.

Значење воде за хуману популацију одувјек је имао велики значај, како у прошлости људске цивилизације, тако и данас. Прва насеља, прве државе (државице) југозападне Азије, Индије и Кине свој економски развој везивали су уз велике ријеке, вјештачке акумулације, системе за наводњавање и др. Значајне цивилизације⁸ и државе прије наше ере биле су карактеристичне за подручја која у суштини оскудијевају падавинама и водом. Због тога су потребе за наводњавањем имале егзистенцијалну вриједност и доприносиле су формирању првих заједница за воду. Хиљадугодишње искуство изузетно је важно за коришћење воде и развој хидрологије као науке.

Данас (2007. године, оп.а.), када је хумана популација надмашила преко шест милијарди становника на нашој планети,⁹ када смо у фази научно – техничке револуције која троши огромне количине воде, значење воде постаје још веће. Пољопривреда и индустрија највећи су потрошачи воде, а савремени човјек користи је све интензивније: *енергетика, наводњавање, водени саобраћај, наутички туризам, рекреација и др.* Из тих разлога, савремена наука открива нове изворе и залихе воде, јер нису више само појединци овисни о води – то су данас бројне регије и државе широм наше планете.¹⁰

Физиолошки значај воде је и у томе што се њоме уносе различите различите минералне материје неопходне организму (калцијум, јод, флуор и др.). На примјер, у подручјима гдје је вода сиромашна јодом јавља се ендемска гушавост¹¹, а тамо гдје у води нема флуора јавља се зубни

⁵ Енгл. water; фр. l' eau; итал. acqua; њем. Waser; рус. вода

⁶ Antoine Laurent Lavoisier (1743 – 1794) је својим експериментима доказао 1774. године да ваздух није проста супстанца; увео је први хемијску једначину а његова најзначајнија једначина приказује добивање воде узајамном реакцијом водоника и кисеоника (реакцију између два елемента којима је он дао имена): водоник + кисеоника = вода („водоник реагује са кисеоником и гради воду“).

⁷ в. поглавље о глациологији

⁸ Цивилизација (лат. civilis – грађански), степен материјалног, културног и политичког развоја друштва у појединим раздобљима (примитивна, античка, средњовјековна, модерна... западна, хришћанска, исламска).

⁹ То практично значи да квалитетне воде за пиће, само за људе, треба око 11 милијарди литара дневно.

¹⁰ Све обимнија индустријализација и оријентација хумане популације да насељава обале мора, језера и ријека, довели су до тога да се смањује количина чисте (квалитетне) воде, посебно оне за водоснабдијевање становништва.

¹¹ Према релевантним испитивањима повећана гушавост (струма) код људи долази од недостатка јода (Iodum) у земљишту, храни и води. Зато се за спрјечавање гушавости додаје један дио KI (калијум јодида) или NaI (натријум јодида) на 100 000 дијелова кухињске соли (NaCl) која се употребљава у домаћинству и исхрани.

каријес. У хигијенском погледу вода је потребна за личну и општу хигијену, као и за припрему хране.

Помањкање воде проузрокује пораст кожних обољења, а загађеност воде може бити узрочник масовних заразних обољења (трбушни тифус, паратифус, дизентерија, колера, инфективни хепатитис, полиомијелитис и др.), паразитских болести (амебна дизентерија, појава глиста и шистозомијаза), као и болести заједничких људима и животињама (туларемија, лептоспироза, бруцелоза). Осим набројаног, вода може изазвати тровање оловом, живом, селеном и другим отровним елементима и једињењима које понекад садрже отпадне воде. Тровање путем воде може бити изазвано и средствима за заштиту биља, детергентима, фенолима (ароматична једињења која се изводе замјеном водоникових атома у језгру бензена хидроксилним групама; средства за дезинфекцију) и радиоактивним отпадним материјама.

Талес из Милета, старогрчки филозоф из друге половине VII в.п.н.е., један од „седам мудраца“ старог свијета и најстарији европски филозоф, је рекао: „...основни узрок свега што постоји је вода, односно... вода је основ свих материја, све потиче из воде и све се враћа у воду“. Уосталом, зар снимци наше планете, начињени из васионских пространстава, не показују да би јој назив „Аqua“ (Вода) боље пристајао од садашњег имена „Terra“ (Земља)?

1.1. Дефиниција, предмет проучавања и подјела хидрологије

Вода је предмет проучавања посебне науке – *хидрологије*. Сматра се да се ова научна дисциплина развила на прелазу из XIX у XX вијек на бази богатих искустава која су стечена у хидротехничкој¹² пракси. Хидрологија се бави проучавањем вода у природи, њиховим распрострањењем на топографској површини и у земљишту (литосфери и педосфери), појавама и процесима који се у њима одвијају, у границама хидросфере и закономјерностима по којима се одвијају те појаве и процеси. Према објектима истраживања, дијели се на океанологију (хидрологију океана и мора) и хидрологију копна. У сваком објекту се изучавају водни режими и водни биланс, динамика водене масе, топлотни процеси и агрегатна стања воде. Хидрологија изучава кружење воде у природи, даје оцјену и прогнозу стања и рационалног искоришћавања водних ресурса.

У богатој стручној, научној и наставној литератури присутно је низ дефиниција хидрологије. С обзиром да је вода најраспрострањенија материја на Земљи, није изненађење да је од појаве првих цивилизација на нашој планети изазивала одговарајућу пажњу. Већ поодавно а посебно данас, бројне области науке баве се истраживањем воде у складу са својим циљевима, методима и одговарајућим инструментаријем. Највећи и најзначајнији дио истраживања о води обухваћен је јединственим (заједничким) термином – хидрологија.

Бројни су аутори који су дефинисали појам хидрологије, те ћемо стога у наставку текста издвојити само (оне) карактеристичне дефиниције и објашњења.

Према Е. Зеленхасићу¹³, у свом најширем облику хидрологија је наука која проучава појаву, временску и преосторну расподјелу и циркулацију воде на Земљи, њене физичке и хемијске особине и њено понашање под утицајем вјештачких објеката и других активности човјека. Исти аутор каже: „Хидрологија проучава процесе пражњења и пуњења водених ресурса копнених делова Земље, кретање воде кроз ваздух, затим по површини Земље и кроз вештачке објекте као и кроз слојеве површинског омотача наше планете“.

¹² Хидротехника (грч. *hýdōr* – вода + *technē* – механичка спретност, умјетност, вјештина) – наука о грађевинарству у води, о водоградњи, тј. о радовима на регулисању ријека и потока, о спровођењу канала у циљу мелиорације земљишта, (пољопривредна хидротехника), о изграђивању пристаништа, о оспособљавању ријека за саобраћај (саобраћајна хидротехника), о увођењу водовода и канализације по насељима (санитарна хидротехника), о искоришћавању водне снаге (индустријска хидротехника) и др.

¹³ Зеленхасић, Е., Руски, Матилда: Инжењерска хидрологија, стр.1, Научна књига, Београд, 1991.

Хидрологија, такође, проучава поједине фазе, такозваног, хидролошког циклуса.

Када је у питању подјела хидрологије, многи аутори сматрају да су поједине области хидрологије посебне научне дисциплине. То су, на примјер, метеорологија и хидрометеорологија (проучава атмосферску воду); океанографија - бави се анализом воде у океанима и морима; хидрологија површинских вода, која се по Е. Зеленхасићу (1971) дијели на потамологију и лимнологију; глациологија, која проучава кретање ледених маса; геохидрологија – проучава подземну воду; хидрометрија – бави се разним мјерењима и првом обрадом добијених података и друге дисциплине.

*Хидрометрија*¹⁴ је грана хидрологије која обухвата све врсте мјерења на води, али се под овим појмом у већини земаља свијета подразумевају мјерења на ријекама, нарочито на пловним, гдје је ова област (хидрологије) најразвијенија. Хидрометрија мђра се обично (углавном) обрађује у океанографији. Хидрометрија региструје податке за безбједност пловидбе, прогнозе и безбједност од велике воде и изналази елементе потребне за израду хидротехничких објеката и регулацију ријека. Хидрометријски радови на ријекама обухватају: картографска снимања и премјеравања, периодична премјеравања дубина и обиљежавање пловног пута, редовно мјерење висине воде, дебљине леденог покривача, протицаја и контролу транспортованог материјала.

Разне математичке и статистичке анализе, методи и модели, отвориле су нове могућности хидролозима из тзв. параметарске¹⁵ и стохастичке¹⁶ хидрологије.

Ј. Риђановић (1989)¹⁷ сматра да најпотпунија и савремена дефиниција хидрологије гласи: „Хидрологија истражује воду копна изнад топографске површине¹⁸, на њој и испод топографске површине према њеној расподјели у простору и времену, према њеном кретању и промјенама, физички, хемијски, биолошки, проузрокованим својствима и ефектима; све у међузависности природних услова и утицаја савременог друштва“.¹⁹ У склопу (складу) са овом дефиницијом *U. De Haar* (1974) је представио схему хидрологије (Сл. 1.).

¹⁴ Видјети опширније: Војна енциклопедија, том 3, стр. 582 – 584, Београд, 1960.

¹⁵ Параметар (грч. παρά – код, покрај, уз, према; као први дио ријечи у сложеницама означава да је нешто слично, да се јавља поред оног што је регуларно, редовно, да је други облик нечега, да је замјена или додаток чему + μέτρον, мјера, мјерило) – мат. свака величина која се садржи у некој функцији поред промјенљивих; величина од које зависи функција или облик криве.

¹⁶ Стохастика (грч. stochastikē – нагађање, погађање), вјештина погађања; вјештина погађања оног што је тачно, учење о оног што је вјероватно.

¹⁷ Риђановић Ј., Хидрогеографија, стр. 13, Школска књига, Загреб, 1989.

¹⁸ Топографска површина – укупност равних и неравних облика рељефа од којих је састављена површина чврсте Земљине коре, на било ком њеном дијелу.

¹⁹ U. De Haar, 1974.

Веза (однос) према:	→		→		Наукама: пољопривреда, шумарство, насеља и др.	
Зависност од:	физике - математике		физике - хемије		физике, хемије, математике	
Међузависност од:	метеорологије, геолошких наука		биологије, лимнологије		метеорологије, географије, геологије, биологије	
	ХИДРОЛОГИЈА – основне дисциплине				ХИДРОЛОГИЈА – посебне дисциплине	
	Квантитативна хидрологија		Квалитативна хидрологија			
АТМОСФЕРА	ХИДРО МЕТЕОРОЛОГИЈА	Падавине Испаравање	ХИДРО ФИЗИКА	Физичке одлике воде	Изотопи у хидрологији	Аграрна хидрологија
ЗЕМЉИНА ПОВРШИНА	ВОДЕ НА ПОВРШИНИ	Отицање, Хидроморфологија, Транспорт чврстих материја, Хидрологија снијега и леда	ХИДРО ХЕМИЈА	Хемијске одлике воде	ХИДРОМЕТРИЈА	Шумарска хидрологија Обалска хидрологија Карстна хидрологија
ЗЕМЉИШТЕ	ХИДРОПЕДОЛОГИЈА	Вода у земљишту	БИОХИДРОЛОГИЈА	Биолошки утицај на квалитет воде		
ПОДЗЕМНИ СЛОЈЕВИ ЛИТОСФЕРЕ	ХИДРО ГЕОЛОГИЈА	Подземне воде				

Слика 1. Схема хидрологије (Извор: U. De Naar, 1974)

Према схеми хидрологије (Сл. 1.) основне науке које, у највећој мјери, генеришу квалитетна хидролошка истраживања, су физика, математика и хемија а у мањој мјери су то метеорологија, биологија и геолошке науке. Није, стога, тешко закључити да је хидрологија интердисциплинарна наука. С обзиром на природу хидролошких појава данас се већина рјешења мора тражити на научном интердисциплинарном нивоу; у појединим приступима потребан је (неопходан је) и мултидисциплинарни ниво. Полазећи од тога и у складу с доприносом који самој хидрологији пружају поједине науке (осим већ наведених) треба нагласити и учешће: статистике, географије, механике флуида²⁰, педологије са пољопривредом, шумарства, фитокологије, економије, социологије, водног права, уз обавезно присуство примјене компјутера (GIS, GPS), значајне подршке код обраде резултата хидролошких истраживања.

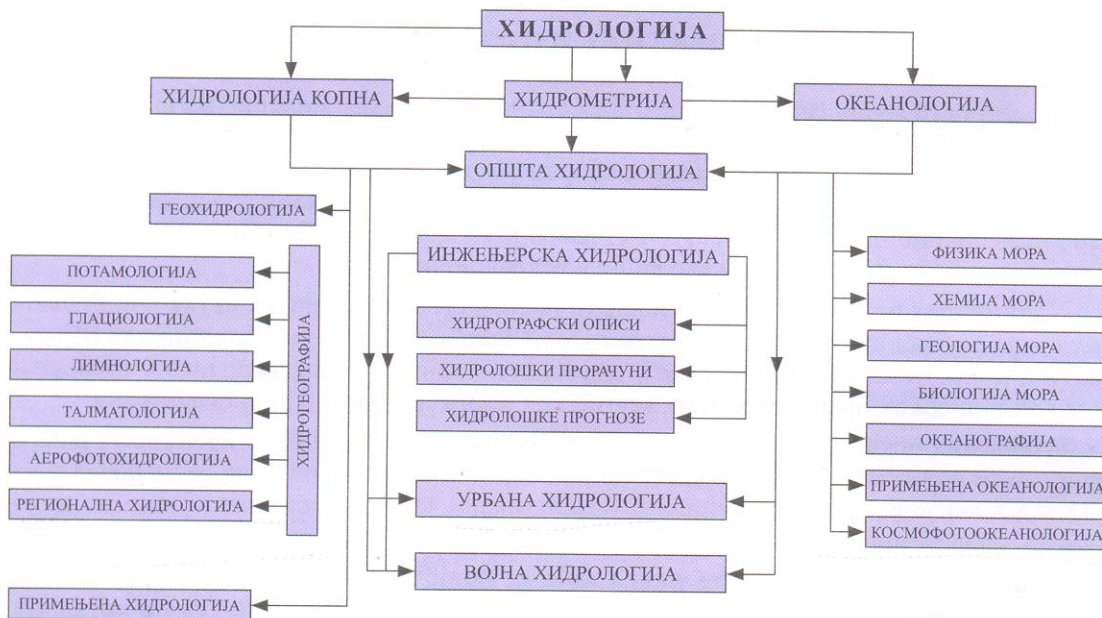
Према Војној енциклопедији²¹ хидрологија, у најширем смислу, је наука о природним водама на површини, у унутрашњости и атмосфери Земље, о њиховој расподјели, законитостима и појавама. У ужем смислу, хидрологија је наука о механичким, физичким, хемијским, биолошким и терапеутским својствима воде.

Хидрологија се убраја у географске и геофизичке науке; најтјешње је повезана са *хидрономијом* – науком о узрочним везама и узајамном дјеловању појединих хидролошких појава, *хидрографијом* – науком о систематизацији података одређеног морског или ријечног подручја, добијених хидролошким осматрањима и *хидрометријом* – науком о методима и начинима мјерења вода.

²⁰ Флуид (лат. fluidum) – течност, течно тијело; у физици: течно тијело, гасовито тијело. Хидромеханика или механика течности је наука о мировању и кретању течности, о узајамном дјеловању течности и чврстих тијела, а обухвата хидростатику и хидродинамику. У ширем смислу хидромеханика се бави проучавањем течности и гасова (механика флуида), те је сродна аеромеханици.

²¹ Група аутора; Војна енциклопедија, том 3, Београд, 1960.

Дукић Д. и Љ. Гавриловић,²² у свом новом уџбенику Хидрологија имају сљедећу дефиницију: „Хидрологија је самостална наука која се бави проучавањем вода у природи, њиховим распрострањењем на Земљиној површини и у земљишту, као и појавама и процесима који се дешавају у водама, одређујући закономјерности по којима се развијају те појаве и процеси“. На Слици 2. представљена је подјела хидрологије наведених аутора, гдје основу чини подјела хидрологије (према ширем објекту проучавања) на хидрологију копна и океанологију, а између њих је општа хидрологија.



Слика 2. Подјела хидрологије (Извор:Љ. Гавриловић,Д.Дукић,2006)

Хидрологија копна, грана хидрологије која се бави истраживањем хидролошких процеса који се одвијају у границама континента, са ослонцем на континенталну фазу воденог циклуса. Краће бисмо могли рећи да хидрологија копна проучава воде на површини копна и воде у Земљиној кори.

*Океанологија*²³ проучава сва мора и океане наше планете у цјелини. То је наука о Свјетском океану (Свјетском мору) која изучава физичке, хемијске, геолошке и биолошке процесе и појаве у Свјетском океану и у појединим његовим дијеловима – рељеф дна и обале, физичка својства и хемијски састав морске воде, циркулацију воде, морске струје и морска доба (плима и осека), морске таласе, топлотне, оптичке и акустичне појаве, те биљни и животињски свијет. Синоним за океанологију је (понекад) океанографија, која се дефинише и као: „наука која проучава физичка и хемијска својства водене средине, закономјерности физичких и хемијских процеса и појава у Свјетском океану и њиховом узајамном дејству с атмосфером, копном и дном“.²⁴ Сининим за океанографију је и таласографија²⁵, мада се термин ријетко користи у литератури и свакодневном говору.

²² Дукић,Д., Гавриловић,Љиљана., Хидрологија, стр.7, Завод за уџбенике и наставна средства,Београд, 2006.

²³ Океан (грч. *Океанός* – велико море)

²⁴ Мاستило, Н., Речник савремене српске географске терминологије, стр. 259., Географски факултет Универзитета у Београду, Београд, 2001.

²⁵ Грч. *thálassa* – море + *graphia* – описивати.

Општа хидрологија проучава све водне објекте на Земљи, служећи се географским и геофизичким методима, ради утврђивања њихових квалитативно – генетских и квантитативних особености.²⁶

*Хидрогеографија*²⁷ представља географски правац у хидрологији. Предмет њеног изучавања је вода у узајамном дејству с другим компонентама природе – климом, стијенама, рељефом, земљиштем, вегетацијом а такође објашњава узајамне везе између разних извора водних ресурса – ријечних, подземних вода, влаге у земљишту, атмосферских вода и др.

Хидрографија је наука из области хидрологије коју која проучава и описује одређене водне објекте на копну, њихове квантитативне и квалитативне карактеристике, размјере, режим, мјесне услове и економско значење. Пошто се бави питањима географског карактера, хидрографија је тијесно повезана са физичком географијом, због чега се често назива и хидрогеографија (географија вода). У поморству и ријечном бродарству хидрографија је и примијењена наука (поморска картографија) која истражује, описује, премјерава и уцртава на карте мора, језера и ријека, у првом реду за потребе водног транспорта.

*Хидрометрија*²⁸ је грана хидрологије која проучава режим ријека и језера, као и Свјетског океана, а такође и начине посматрања појава које карактеришу тај режим (мјерење брзине водотока, његовог нивоа, дубине и сл.). У складу са развојем технике хидрометрија све значајније користи ултразвучна мјерења и електронске (дигиталне) инструменте. Данас се све више сматра да хидрометрија чини дисциплину инжењерске хидрологије; посебно овакав став имају грађевински инжењери.

Инжењерска хидрологија је примијењена хидрологија за потребе хидротехнике, а на Слици 2. се види да је сачињавају: хидролошки описи и анализе, хидролошки прорачуни и хидролошке прогнозе.

Урбана хидрологија (хидрологија градова) проучава режим и водни биланс површинских и подземних вода урбанизованих²⁹ подручја. Хидрологија градова треба да прати степен и темпо урбанизације која је свјетски процес и која поспјешује низ људских активности, посебно у грађевинарству, водоснабдијевању и просторном планирању а које изискују све већу улогу воде. урбана хидрологија, као нова примијењена хидролошка дисциплина, се развија од седме деценије XX вијека, посебно у Русији, Њемачкој и САД.

Војна хидрологија (војна хидрологија копнених вода и војна хидрологија мора) разрађује комплексе проблема који су са хидролошког становишта специфични за успјешно вођење борбених дејстава на копну и мору у различитим географским срединама.

Д. Сребреновић³⁰ сматра да „хидрологија је наука која проучава појаве воде на Земљи и законе њеног сталног кружења“. Исти аутор сматра да је наведена дефиниција веома уско постављена, јер се, већ смо видјели, хидрологија не задовољава само проучавањем воде у разним агрегатним стањима (гасовито, течно и чврсто), већ је занимају и друге особине воде (хемијске, физичке, биолошке и др.).

Према д. Сребреновићу³¹ немогуће је говорити о општеприхваћеној подјели хидрологије као научне дисциплине. Он је хидрологију сврстао у пет дисциплина:

²⁶ Дукић Д., Гавриловић Љ., цит. дјело, стр.8.

²⁷ Хидрогеографија је географски приступ у проучавању вода на Земљи ради њиховог искоришћавања. Овај правац у хидрологији увео је руски географ-хидролог В.Г. Глушков (1883 – 1939), детаљније га је разрадио француски географ – хидролог М. Парде (1893 – 1971) а наставио руски географ – хидролог М.И.Љвович (1906 – 1998).

²⁸ Грч. *hýdōr* – вода + *metría* – мјерење.

²⁹ Урбанизација (лат. *urbs,urbis* – град); 1. појава у развоју градова; 2. комплексне промјене у руралним срединама под утицајем града (популационо – демографске, социјално – економске, функционалне, физиономске и друге промјене).

³⁰ Сребреновић Дионис, Примијењена хидрологија, стр. 15., Техничка књига, Загреб, 1986.

³¹ *ibid.*, стр. 15.

- хидрометеорологија, наука о води у атмосфери,³²
- потамологија, наука о површинским токовима,
- лимнологија, наука о језерским водама (или слатким водама стајаћицама),
- криологија, наука о води у облику снијега и леда,
- геохидрологија, наука о подземним водама или о кретању и појавама воде у литосфери.

Из, претходно, наведених дефиниција и подјела хидрологије можемо закључити да је изузетно тешко наћи широко постављену дефиницију, односно у свим набројаним подјелама још је теже тражити јасно омеђене границе појединих хидролошких дисциплина. Хидролошки феномени, процеси и проблеми не могу се једноставно ограничити; они су комплексни и у времену и у простору, тако да се рјешења морају често тражити на научном интердисциплинарном нивоу. Са аспекта дефиниције географије, као науке о динамичним територијалним системима, који су формиран на Земљиној површини усљед међудејства друштва и природе и о законима и закономјерностима њиховог развоја и постојања, њој је најближа подјела хидрологије коју су предложили Д. Дукић и Љ. Гавриловић. Мостовна дисциплина географије и хидрологије у овом случају је *хидрогеографија*, као дио хидрологије али и дио географије. Објект хидрогеографије је хидросфера, једна од основних компоненти географског омотача, јединственог система Земљиних сфера које се међусобно додирују и прожимају.

1.2. Историја хидрологије и неки аспекти њеног развоја

Генерално гледано, историјски развој хидрологије, без обзира који термин је коришћен, састоји се из низа периода гдје њен значај није био занемарљив, а улога јој је била увијек велика. Оно што је непобитно је чињеница да је вода одувјек била основ за стварање сваке цивилизације, односно основ за три цивилизацијска таласа: пољопривредна револуција³³, индустријска револуција и технолошка револуција.

Хидрологија, као издвојена научна дисциплина, односно нова (самостална) наука јавља се почетком трећег деценија XX вијека. Ова констатација се везује за формирање првих установа, института и катедри за хидролошка истраживања, као и за оснивање Међународног удружења за хидрологију (IASH) 1922. године у Риму, за вријеме засједања Међународне уније за геофизику и геодезију (IUGG).

Капитални хидротехнички подухвати, данас већ изумрлих цивилизација, захтијевали су познавање одређених хидролошких процеса и закона. Хидролошки објекти, саграђени у периоду прије наше ере, показује да су стари народи (Египћани, Асирци, Вавилонци, Кинези, Грци, Римљани и др.) имали извјесна схватања о законима хидромеханике на основу опажања и искустава, али нису знали да им дају општи облик. Велики радови на изградњи система за наводњавање у Месопотамији, Египту и Кини, римски аквадукти³⁴, системи за одводњавање у Индији, објекти за наводњавање и заштиту од ерозије на простору данашње Либије и низ других радова (објеката), довољно јасно потврђује да су реализације тих пројеката захтијевале много више од физичког рада. Радови су били изузетно функционални а за то је било потребно стручно знање.

О појму хидролошког циклуса³⁵ одређена мишљења износили су писци, филозофи, физичари и историчари из античког периода (Хомер³⁶, Талес³⁷, Платон³⁸ и Аристотел³⁹ из Грчке;

³² Конкретније, хидрометеорологија је наука која се бави међузависношћу хидрологије и метеорологије.

³³ Пољопривредна револуција, као први талас друштвених промјена на Земљи и почетак трансформације природних екосистема у антропогене. Свој почетак има прије 16 – 18000 година.

³⁴ Аквадукт (лат. aqua - вода + ducere – водити); 1. водовод, постављен на грађевини сличној мосту; 2. стари римски водовод; 3. водоводна цијев, канал.

³⁵ Опширније видјети: Зеленхасић Е., цит. дјело, стр. 4-6.

³⁶ Хомер, легендарни грчки пјесник коме се приписују најстарији грчки епови Илијада и Одисеја.

Лукрецијус, Сенека и Плиније из Рима). Данас можемо констатовати да су ти рани концепти највећим дијелом били погрешни.

Маркус Витрувије (Vitruvius) Полио (I в.п.н.е.) први је базично добро описао хидролошки циклус, но што је значајније он је исправно схватио (и изложио) инфилтрациону теорију („поријекло подземних вода од падавинских“). Треба напоменути да је основе инфилтрационе теорије много раније схватио Талес из Милета.

Након Витрувија, Франтиус, задужен за дистрибуцију воде у старом Риму (први вијек нове ере) оцјењивао је протицаје водотока само на основу величине овлаженог профила ријеке, не узимајући у обзир и брзину воде у ријечном кориту. За овај рани период историје хидрологије може се рећи да су стари Грци и Римљани били први озбиљни истраживачи (опажања и искуство) хидролошких појава и процеса.

Ову констатацију поткрепљује и чињеница да је прво научно дјело из области хидромеханике дао грчки математичар и физичар Архимед⁴⁰. У дјелу *О тијелима која пливају* изложио је основне задатке хидростатике.

Почетак (ембрион) хидрологије као науке може се везати за период ренесансе. Неки аутори овај период називају *период осматрања* (од 1400 – 1600. године). Наиме, на основу осматрања хидролошких процеса, Леонардо да Винчи (1452 – 1519) објављује рад (студиј из хидромеханике) „*О кретању и мјерењу воде*“. У овој студији се први пут спомиње отпор кретању тијела кроз течности, но чињеница је да је овај рад објављен тек 300 година после смрти Леонарда да Винчија?! Од радова који су се бавили проблемима хидромеханике у том периоду, могу се још набројати: С. Стевин – *Начела хидростатике* (1585), Галилео Галилеј⁴¹ - *О основним законима пливања тијела* (1612), Б. Паскал – *О независности притиска у течности од облика суда на који дјелује* (1653), и Исак Њутн⁴² - *О отпору течности* (1687).

Након дјела Леонарда да Винчија „*О кретању и мјерењу воде*“ Бернар Палиси (Bernard Palissy) је у раду „*Диван разговор о природи вода и извора*“ (Париз, 1580) поставио исправан поглед на хидролошко кружење воде (хидролошки циклус), посебно на инфилтрацију падавина, и у складу с тим појаву тих вода на топографској површини у виду извор и врела.

Историјски посматрано, прва хидролошка мјерења имају свој почетак у XVII вијеку. Тако су Перо (Perrault) и Мариот (Marriotte) вршили мјерења падавина, испаравања и капиларност на потесу Сене код Париза. Резултате својих мјерења објавили су у другој половини XVII вијека.

Мјерења у хидрологији⁴³ (крај XVI, XVII и почетак XVIII вијека) сврставају хидрологију у савремене науке. „ На примјер, Пјер Перо⁴⁴ мерио је падавине, испарења и капиларне појаве за

³⁷ Талес (из Милета), старогрчки филозоф из друге половине VII вијека п.н.е. (640 – 550 г.п.н.е.); најстарији европски филозоф, познат по изјави: „... основни узрок свега што постоји је вода“.

³⁸ Платон, надимак Аристокла, ученика Сократова (учитеља Аристотелова); један од највећих старогрчких филозофа (427 – 347. п.н.е.); име Платон долази врло широких леђа (грч. plátos – ширина); у филозофији Платон је творац идеализма.

³⁹ Аристотел (384 – 322. п.н.е.), грчки филозоф, ученик Платонов, учитељ Александра Великог; оснивач перипатетичке школе (грч. περί – ратѐб: шетам се и притом расправљам).

⁴⁰ Архимед (грч. archi – као први дио сложенице значи горњи, виши, први, предњи, над + médomai – бринем се, дакле „опрезни“, „који зна предвиђати“, „обзирни“), највећи математичар и физичар античког свијета (287 – 212. п.н.е.).

⁴¹ Галилео Галилеј (Galilèa Galilèija, 1564 – 1642), италијански научник, оснивач модерне физике; познат по реченици *Eppur si muove* („ипак се креће“ – ријечи које је, наводно, узвикнуо Галилеј пред црквеним судом који га је присиљавао да се одрекне свог учења о кретању Земље око Сунца). Открио је циклоиду (равна крива линија коју описује тачка на кругу кад се он без клизања котрља по некој правој) и њену примјену на лукове мостова. Галилео Галилеј познат је и као конструктор првог термоскопа.

⁴² Исак Њутн (1642 – 1727), енглески физичар и научник; IN – јединица за силу у Међународном систему јединица.

⁴³ Инструментални период, односно употреба инструмената у хидрологији.

⁴⁴ Perrault, Pierre, *De l'origine des fontaines*, Pierre le Petit, Paris, 2d. ed. 1678.

слив реке Сене. Едме Мариот⁴⁵ је проучавао протицај реке Сене код Париза, мерећи попречни пресек реке и брзину тока⁴⁶.

Едмонд Халеј је око 1700. године показао да је испаравање из океана и мора један од главних извора влаге за формирање падавина. Наиме, Е. Халеј је мјерио величину испаравања и ријечне протицаје у оквиру једне студије о Средоземном мору, и на основу резултата мјерења био је у стању да дође до релативно тачних закључака о појавама које је анализирао (мјерио).

Може се, с правом, рећи да у периоду од 1700 – 1800. године⁴⁷ долази до обогативања хидрологије (хидраулике) новим експерименталним открићима, која су имала одраза на квантитативне аспекте хидролошких студија. То је период Бернулијевог пијезометра⁴⁸, Питотове цијеви, Волтмановог крила, Бордаове цијеви и др. Оно што је неспорно за период експерименталних истраживања је чињеница да су наведена открића убрзала развој хидрологије.

Период од осамнаестог и већим дијелом деветнаестог вијека дефинише вријеме снажних друштвених и економских процеса. У складу с тим хидрологија (хидрографија и комплементарне дисциплине) постаје све више домен државних установа (институција). На примјер, у Француској, у почетку XVIII вијека основан је први хидрографски институт, но ипак, у то вријеме, водеће мјесто у хидролошким дисциплинама заузима Велика Британија. У Русији, хидрологија (хидрографија) је до Петра Великог била оријентисана искључиво на ријеке и језера. Систематски хидрографски радови о мору у Русији се јављају тек у доба Петра Великог због стварања ратне морнарице и коришћења водних (поморских) путева.

Географским открићем (открићима) поларних области (XIX вијек) хидрографија је обухватила обале свих, до тада познатих мора а њеном развоју допринијеле су многобројне научне хидрографске експедиције са намјенски опремљеним бродовима, иновираним хидрографским инструментима, као и формирање све већег броја хидрографских института.

Период модернизације хидрологије (1800 – 1900) одликује интензиван научно – истраживачки напредак из области геохидрологије (хидрологије подземних вода) и значајан допринос из области мјерења у оквиру хидрологије површинских вода.⁴⁹ Вилијам Смит⁵⁰ је користио геолошка сазнања у рјешавању хидролошких проблема.

Крај XIX вијека и почетак XX вијека (период од 1900 – 1930. године) за хидрологију представља период емпиризма.⁵¹ Јавља се стотињак нумеричких формула, тако да је за поједине проблеме хидролог (у то вријеме) имао низ понуђених емпиријских формула, па је избор формула, коефицијената и разних параметара зависио од субјективног приступа и личног искуства сваког хидролога.

⁴⁵ Marriote, Edmé, *Traité du mouvement des eaux et des autres corps fluides*, E. Michallet, Paris, 1686, 2d ed.. J. Jonbert, Paris, 1700.

⁴⁶ Зеленхасић, Е., цит. дјело, стр. 5.

⁴⁷ Неки аутори (Зеленхасић Е., Руски Матилда) период од 1700 – 1800. године дефинишу као период експерименталних истраживања.

⁴⁸ Пи(ј)езометар (грч. *piézō* – притискујем, сажимам + *métron* – мјера, мјерило), физ. справа за мјерење стишљивости, (компресивности – стискавости; који стиска, који сабија; збијајући). Пиезометријски ниво – сваки претпостављени ниво до којег сеже водена површина у карстном подземљу по систему спојених посуда.

⁴⁹ Од нарочитог значаја за хидрологију површинских вода је и знатан напредак хидрометрије (одређивања разних формула за брзину тока и протицаје, нови хидролошки мјерни инструменти и уређаји, почетак развоја мреже осматрачких станица хидрометеоролошке службе и др.).

⁵⁰ Sheppard Thomas, William Smith His Maps and Memoirs, A. Brown and Sons, Ltd., Hull, England, 1920.

⁵¹ Емпиризам (грч. *empeiria* – искуство) – филозофија искуства; гносеолошки (сазнајни) правац који цјелокупно сазнање изводи из искуства; у методолошком погледу: принцип да све науке треба да се оснивају (заснивају) на искуству (оснивач гносеолошког емпиризма је Џон Лок, а методолошког Франсис Бекон).

„Значајна је 1932. година када се јавља Шерман (Sherman) са својим јединичним хидрограмом. То је један од првих покушаја да се од емпиризма пређе на рационалну анализу; у овом случају на релацији: јаке кише – отицање.⁵²

*Период рационализације*⁵³ (1930 – 1950) карактерише значајан број хидролога који су употребили рационалну анализу уместо емпиријског прилаза за рјешење (рјешавање) одређених хидролошких проблема (Sherman, C.W., Horton, R.E., Gumbel, E.J., Einstein H., Meinzer O.E. и др.).

Период историјског развоја (1950 →) везује се за развој математичке статистике, теорије вјероватноће и развој компјутерске технике, уз већ успостављену солидну основу разних рационалних хидролошких принципа. Према Е. Зеленхасићу (1991) примјери оваквих теоријских хидролошких развоја су:

- линеарна и нелинеарна анализа хидролошких система,
- примјена теорије вјероватноће и математичке статистике у свим областима хидрологије са појавом изузетних хидролошких модела,
- примјена термодинамике за објашњење појава из области испаравања,
- примјена физике земљишта за објашњење појава у вези са влажношћу земљишта,
- стохастичко генерисање хидролошких података, примјена операционих истраживања и друго.

Истовремено, треба нагласити и примјену несиметричних кривуља фреквенције (Gumbel, E.J., Galton, Pearson) код одређивања екстремних отицаја или уопште хидролошких појава.

Из овог кратког историјског прегледа хидрологије можемо закључити:

1. Наслућују се тенденције (тежње) које имају за циљ да се наглашени степен емпиризма и рационализма донекле амортизује (у хидрологији, оп.а.), а да се теоријском развоју да предност; већина хидролога новијег доба⁵⁴ сматра да ће се у хидрологији још дуго задржати емпиријско и рационално, „оплемењено“ (више или мање) теоријским анализама, а такав закључак је диктиран комплексношћу хидролошких проблема;
2. Већина садашњих сазнања потиче од 1930. године, што указује да је хидрологија релативно млада наука и да јој предстоји снажно напредовање, односно пред данашњим и будућим хидролозима је импозантан научни изазов. Интервал посматрања (опажања) се значајно продужава, па статистички материјали постају све више квантитативнији чиме су могућности за квалитетније закључивање реалније;
3. Значај хидрологије и неминовна економска нужност њеног даљег развоја везана је за све већу потрошњу воде у свијету; потрошња воде везана је за повећање броја људи на нашој планети, гдје је посебан проблем производња хране⁵⁵ а за коју основни услов у постизању високих жетвених приноса је наводњавање. Пораст потрошње воде све је већи и у индустрији,⁵⁶ затим све веће потребе питке воде и сл.

Актуелни задаци хидрологије. У хидрологији је значајан број појава и проблема само оквирно (грубо) теоријски дефинисан. Хуманој популацији, из генерације у генерацију, вода постаје све интересантнија и све скупља сировина а вриједност воде данас се, реално, може тешко (про)цијенити. За мањи дио данашње цивилизације вода је производ који се продаје и купује; за

⁵² Сребреновић, Д., цит. дјело, стр. 17.

⁵³ Рационализам (лат. *ratio* – разум), примјена разума на све што је човјеку дато у искуству; у *филозофији*: правац који сматра разум и мишљење као једини, или бар најважнији извор сазнања, којим се једино може доћи до истине.

⁵⁴ Сребреновић Д., цит. дјело, стр. 17.

⁵⁵ У пољопривреди за узгој 1 kg биљне масе треба до 500 kg воде.

⁵⁶ На сваку тону произведеног челика троши се 20 m³ воде; на сваку тону синтетичког бензина троши се око 80 m³ воде; на сваку тону вјештачке свиле троши се до 800 m³ воде итд.

већи дио је то насушна потреба од које овиси егзистенција становништва многих географских простора (држава, регија и сл.).

У цјелини гледано, у хидрологији се могу поставити два подједнако вриједна подручја хидролошког дјеловања:⁵⁷

- прикупљање и обрада хидролошких података (посматрање, мјерење),
- систематско анализирање тих података уз максимално могуће коришћење теоријских достигнућа, уз наглашену тенденцију да резултати тих истраживања буду обликовани на начин који ће одговорити потребама праксе.

Хидрологија даје изузетно квалитетну подлогу за рјешавање водопривредних, али и низа других проблема. Данашње потребе водне привреде захтијевају сложеније коришћење хидросферног комплекса, што од хидролога и хидрологије у цјелини изискује низ нових и квалитетних рјешења. Један од очигледнијих примјера су вишенамјенске акумулације, али без изолације у простору. То се данас може постићи захваљујући и модерној компјутерској опреми (база података, брзо рјешавање сложених математичких једначина хидролошке анализе, брза израда подлога и др.). Примјена синтетичке (оперативне) хидрологије (коришћење компјутерске технике) омогућава избор темељних (битних) величина за рјешавање најсложенијих хидротехничких система у смислу тражења најповољнијих, без обзира да ли се ти системи користе у активној или пасивној водопривреди или су они полифункционални у најширем водопривредном смислу.

1.3. Расположиве количине воде на Земљи

За воду је, њену количину и квалитет, добрим дијелом везана будућност наше планете. Анализа корелације хумане популације и хидросфере указује нам да мало која реална појава, процес(и) или скуп проблема у данашње вријеме има тако сложен систем виђења и дефиниција, као што је случај са односом људи према води.

Када је у питању будућност тог односа мишљења смо да се он може кретати између опрезног песимизма и опрезног оптимизма. Прије него изнесемо процјене низа аутора о количини воде на Земљи, треба се подсетити и на поријекло воде на нашој планети. Без обзира на одређене противрјечности у еволуцији Земље, може се издвојити пет периода у процесу њеног развоја (В.И. Баранов, 1963):

1. *образовање хемијских елемената*, међу којима и радиоактивних – прије 5.2 – 6.0 милијарди година;
2. *образовање индивидуалног тијела – будуће Земље*; престало формирање хемијских елемената – прије 4.5 милијарди година;
3. *диференцирање Земљине масе на геосфере* и њена даља еволуција под утицајем унутрашње топлотне енергије – прије 4.0 – 4.5 милијарди година;
4. *образовање радиоактивних минерала* – најстарији настали прије 3.5 милијарди година;
5. *образовање Свјетског мора и атмосфере* – прије 2.7 – 3.0 милијарди година.

Данас је најпрактичније установљивање старости Земље, као планете, путем радиоактивности. Ова метода се заснива на правилном распадању неких тијела са формирањем бројних радиоактивних тијела, топлоте и атома неког ријетког гаса – хелијума. Посљедња етапа еволуције низова урана и торијума је изотоп олова; рачунајући колико одређена тежина торијума или уранијума даје еманиације⁵⁸ хелијума у једној години, може се одредити и број

⁵⁷ Видјети опширније: Сребреновић Д., цит. дјело, стр. 17 – 18.

⁵⁸ Еманација (лат. *emanatio* према *emanare* - извирати, распростирати се) 1. извирање, испаравање, истицање, зрачење, 2. хем. гасовита радиоактивна супстанца која настаје распадањем радиоактивних елемената; физ. супстанца која струјањем излази из радиоактивних материја и која је и сама радиоактивна.

потребних година да би се дошло до једне одређене количине олова. Истовремено присуство радиоактивног тијела у некој стијени, као и његових преосталих елемената, омогућава одређивање бар приближне старости. Старост свих стијена на Земљи, све до најстаријих, може бити одређена упоређивањем са распадањем уранијума чије просјечно трајање распадања у изотоп 238 износи 4.56 милијарди година.

Ото Јуљевич Шмит (1946) је поставио једну од хипотеза о постанку Земље и Сунчевог система. По његовој хипотези, све планете, па и Земља, постале су спајањем чврстих хладних честица космичке прашине различитих по саставу и тежини. Оно што је значајно за поријекло воде на Земљи, О.Ј. Шмит је дефинисао 1949. године, истакавши да у „међузвјезданом простору треба да буде и кондензата метана (CH₄)⁵⁹, амонијака (NH₃)⁶⁰ и воде (тј. леда)“.

И. А. Федосејев (1976)⁶¹ је утврдио, са сарадницима, помоћу посебних телескопа, издигнутих на аеростатима (справа за летење лакша од ваздуха, која се држи под потиском) изнад најгушћих слојева атмосфере, да неке гигантске црвене звијезде имају око себе толико водене паре, колико је има и изнад Земљине површине.

Воде очигледно, осим Земље, има у највећем дијелу истражене васионе, мада за сада само у чврстом и гасовитом стању. Стога је посебно занимљиво тумачење (објашњење) образовања хидросфере на нашој планети. Према прорачунима А. П. Виноградова (1959) „вода је могла настати само из стијена које сачињавају омотач Земљиног језгра до дубине од 700 km“. Не улазећи сувише у састав и структуру Земље, подсјетићемо да се наша планета састоји из низа концентричних слојева (сфера). На основу многобројних параметара (густина, притисак, убрзање силе теже, брзина кретања сеизмичких таласа, температура, електропроводљивост и др.) до дубине 700 – 1000 km могу се издвојити:

- *литосфера*: изграђена од различитих силикатних минерала;
- *горњи омотач* је силикатни омотач изграђен од Fe – Mg силиката (оливина и пироксена, рјеђе од граната), који граде ултрабазичне стијене – дуните и перидодите;
- *средњи омотач* је оксидни омотач, гдје су најчешћи: FeO, MgO, CaO, SiO₂ и др;
- од 1000 – 2900 km се протеже *доњи омотач*; састоји се од оксида са повећаним садржајем гвожђа.

Настајање воде само из стијена које сачињавају омотач језгра (до 700 km дубине) се дешавало у *процесу дегазације*⁶² *материја*, које су хиљаде вулкана избацивале на површину Земље. В.В. Рабеј (W.W. Rubay, 1951) је израчунао да је првобитна гранитна магма садржавала у раствору 7.4% воде.

„Издавањем воде из стена Земљине унутрашњости поменути процесима почело је формирање праокеана. Хемијски састав његове воде мењао се током дугих геолошких ера и периода. Истраживања показују да је она (вода, оп.а.) у почетку била свакако врло кисела, касније најпре хлоридна⁶³ а затим хлоридно – карбонатна“.⁶⁴

⁵⁹ На основу теорије о постану живота на Земљи, сматра се да је наша планета била окружена атмосфером четири различите гасовите супстанце, а то су: метан, водена пара, амонијак и водоник. Под дејством Сунчевих зрака од ових супстанци, које имају једноставне молекуле, добијене су врло реактивне честице (слободни радикали) које су међусобним везивањем изградиле прве веће молекуле а затим сложенија органска једињења и на крају сам живи организам.

⁶⁰ У атмосфери планета Јупитера, Сатурна, Нептуна и Урана налази се, поред осталих једињења, углавном амонијак.

⁶¹ Федосеев И. А., История изучения основных проблем гидросферы, „Наука“, АН СССР, Москва, 1976

⁶² Дегазација (лат. de – снижавањње, одвајање, укидање + грч. cháos –гас, плин) – одстрањивање или неутралисање гасова из неког простора или из неке чврсте или течне супстанце.

⁶³ Хлороводична киселина, водени раствор хлороводоника, која спада у јаке киселине, раствара многе метале и при том гради одговарајуће соли које се зову хлориди.

⁶⁴ Дукић Д., Гавриловић,Љ., цит. дјело, стр. 18 -19.

Према П.Н. Кропоткину (1964) издвајање воде из Земљине унутрашњости није било равномјерно: у архаику (прије 2.0 – 4.0 милијарди година) образовало се око 90% запремине данашње хидросфере, а око 10% у каснијим ерама. Вулкани, који означавају завршни чин магматске активности, избацују у данашње вријеме из Земљине унутрашњости око 0.1 km³ воде годишње. Једна ерупција, на примјер вулкана Везув, може да избаци толико велике количине гасова⁶⁵ и водене паре (1 – 2 милијарде m³), да од истих може бити формирано веће језро. Расподјела и резерве воде на Земљи. Оцјене укупне количине воде на Земљи варирају у зависности од различитих аутора. Једна од тих расподјела дата је у Табели 1.⁶⁶ Укупне количине слатке воде износе око 88320 km³ или мање од 6% од укупне запремине воде на Земљи. Међутим треба истаћи да је свега око 0.5% приступачно коришћењу из језера и ријека.

Табела 1. Расподјела количине воде на Земљи

Ред. број	Медиј (физичка средина)	Површина у 10 ⁶ km ²	Запремина у 10 ³ km ³	% од укупне запремине
1	2	3	4	5
1.	Океани	360	1370323	93.93
2.	Подземне воде (укупно)		64000	4.39
3.	Поларни лед и глечери	16	24000	1.65
4.	Језера		230	0.016
5.	Земљишна влага		75	0.005
6.	Атмосферске воде	510	14	0.001
7.	Ријеке		1.2	0.0001
8.	УКУПНО		1458643	100.00

(Извор: М.И. Љвович, 1974)

Расподјела количина слатке воде, по континентима, дата је у Табели 2.

Табела 2. Расподјела количине слатке воде по континентима

Ред. број	Географски простор	Површина 10 ⁶ km ²	Падавине		Отицај			Испаравање	
			mm	km ³	Укупни		Подземно km ³	mm	km ³
					mm	km ³			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Европа ¹	9.8	734	7165	319	3110	1065	415	4055
2.	Азија	45.0	726	32690	293	13190	3410	433	19500
3.	Африка	30.3	686	20780	139	4225	1465	547	16555
4.	Сјеверна Америка ²	20.7	670	13910	287	5960	1740	383	7950
5.	Јужна Америка	17.8	1648	29355	583	10380	3740	1065	18975
6.	Аустралија ³	8.7	736	6405	226	1965	465	510	4440
7.	СССР (бивши)	22.4	500	10960	198	4350	1020	300	6610
8.	Цијело копно ⁴	132.3	834	110305	294	38830	11885	540	71468
9.	Аустралија	7.7	440	3390	47	362	54	393	3028
10.	Нови Зеланд	0.265	2059	546	1481	387	-	599	159

(Извор: М.И. Љвович, 1974)

- 1) са Исландом; ²) без Канадског архипелага, али са Средњом Америком; ³) са Тасманијом, Новом Гвинејом и Новим Зеландом; ⁴) без Антарктика, Гренланда и Канадског архипелага.

⁶⁵ Гасови и паре су редовни пратиоци вулканских ерупција. Од гасова су најчешћи сумпорводоник, сумпордиоксид, хлороводоник, угљенмоноксид, угљендиоксид, метан, азот, водоник, кисеоник, и др. Кисела магма даје веће количине гасова, базична знатно мање.

⁶⁶ Љвович М. И., (1974): Мировые ресурсы и их будущее, „Мысль“, Москва.

Мада се подаци у Табели 2. односе на период од прије тридесет и више година, може се на примјеру Европе и Азије упоређивањем (данашњих) података за становништво и расположивих количина (у %) слатке воде (в. отицај, колоне 6 и 7) видјети колико је та расподјела несразмјерна у односу на остале континенте. Ради се о великој разлици водне издашности између континената, посебно када се разматрају њихови просјеци. Из тога можемо закључити да су регионалне разлике далеко веће. Количине воде, изнешене у Табели 1. су масе које учествују у годишњем хидролошком циклусу (в. поглавље 1.4., оп.а.), односно то су величине које се обнављају, а онај дио који отпада на отицање на располагању је (теоретски – потенцијално) ххуманој популацији наше планете. Иначе, залихе (резерве) воде на Земљи су далеко веће. У Табели 3. дати су подаци водних залиха на Земљи (по Насе-у).⁶⁷

Приближно се може, према Табели 3, успоставити релација масе воде у хидросфери (Н), литосфери (L) и атмосфери (А). Оне се налазе у односу $H : L : A = 100000 : 500 : 1$.

Табела 3. Залихе воде на Земљи

Ред. број	Залихе воде	Количина у 10^3 km^3	% од укупне количине залиха*
1	2	3	4
1.	Атмосфера (А) Пара као водени еквивалент	13.0	0.0009394
2.	Хидросфера (Н) – Океани	1,350,400.0	97.583
3.	Копно: - ријеке - слатководна језера - слана језера - влага у тлу - вода у биомаси - поларни лед и глечери	26,431.7 1.7 125.0 105.0 150.0 50.0 26,000.0	1.9099 0.0001228 0.009 0.00758 0.0108 0.00361 1.8788
4.	Литосфера (L) – подземна вода	7,000.0	0.5058
5.	Укупно на Земљи	1,383,844.7	100.00

* Податке у колони 4. одредио аутор.

Наведени однос нам говори да су залихе воде на Земљивеома значајне; када би се том количином воде линеарно покрила Земљина лопта имали би водни слој моћности (дебљине) 240 метара. Нажалост, из наведене табеле (Табеле 3.) се лако уочава да је значајан дио тих водних залиха, за човјека и многе друге организме, неупотребљив или тешко употребљив, јер је 97.583% од укупних залиха слана вода.

Према R.L. Насе-у (1971) укупна количина слатке воде процијењена је на $33.3 \cdot 10^6 \text{ km}^3$, од чега на поларни лед и глечере отпада 77.77%, на подземну воду 20.9% и остале воде на копну 1.311%.

По неким ауторима, просјечне годишње падавине на цијелом копненом дијелу површине Земље су око 670 mm а на оном дијелу којег покрива Свјетски океан око 1140 mm. Можемо рећи да за нашу планету просјечне годишње падавине су око 1000 mm.

Ако упоредимо укупну количину воде у атмосфери (око 13000 km^3) и просјечно годишње испаравање на нашој планети (око 511000 km^3), долазимо до закључка да се цијела количина воде у атмосфери Земље измијени близу 39 пута годишње.⁶⁸ Према томе се, отприлике, сваки девети дан мијењају у атмосфери водене масе.

⁶⁷ Nace, R.L., World Water Inventory and Control, London, 1971.

⁶⁸ Неки аутори (Зеленхасић, Е., 1991) укупну количину воде у атмосфери процијењују на 12300 km^3 а годишње испаравање на око 514000 km^3 , па се цијела количина воде у атмосфери Земље измијени близу 42 пута годишње у оквиру процеса хидролошког циклуса.

Количина воде, односно њене резерве на Земљи процијењене од стране разних аутора представљају само одређено приближавање стварној вриједности.

Из тих разлога у Табели 4. (резерве воде на Земљи) су дате резерве воде на нашој планети од стране још једног аутора ⁶⁹(Табела 4. – резерве воде на Земљи; извор: World water balance and water resources of the earth – ИИД, Санкт Петербург, 1974). Упоредимо ли ове податке са подацима Љвовича и Насе-а видјећемо да постоје значајна одступања. Савремена хидролошка проучавања ће, у најскорије вријеме, моћи дати (давати) врло прецизне податке, који ће, надамо се, бити општеприхваћени од свих хидролога

Табела 4. Резерве воде на Земљи

Облик воде	Површина распростр. (km ²)	Запремина воде (km ³)	Дио у свјетским резервама (у%)	
			од укупне количине	од свих слатких вода
Свјетско море	361 000 000	1 338 000 000	96.5	-
Подземне воде (гравитационе и капиларне)	134 800 000	23 400 000	1.7	-
Претежно слатка подземна вода	134 800 000	10 530 000	0.76	30.1
Вода у тлу	82 000 000	16 500	0.001	0.05
Ледници и стални сњежни покривач	16 227 500	24 064 100	1.74	68.7
Од тога:				
<i>Антарктида</i>	13 980 000	21 600 000	1.56	61.7
<i>Гренланд</i>	1802000	2 340 000	0.17	6.68
<i>Арктичка острва</i>	226 100	83 500	0.006	0.24
<i>Планински региони</i>	224 000	40 600	0.003	0.12
Подземни лед стално замрзнутог земљишта	21 000 000	300 000	0.022	0.86
Вода у језерима	2 058 700	176 400	0.013	-
Од тога:				
<i>са слатком водом</i>	1 236 400	91 000	0.007	0.26
<i>са сланом водом</i>	822 300	85 400	0.006	-
Вода у мочварама	2 682 600	11 470	0.0008	0.03
Вода у ријечним коритима	148 800 000	2 120	0.0002	0.006
Биолошка вода	510 000 000	1 120	0.0001	0.003
Атмосферска вода	510 000 000	12 900	0.001	0.04
Укупно воде на Земљи	510 000 000	1 385 984 610	100.00	-
Слатке воде	148 800 000	35 029 210	2.53	100.00

(Извор: World water balance and water resources of the earth – ИИД, Санкт Петербург, 1974)

1.4. Хидролошки циклус

Једно од битних својстава материјалних објеката (геокомпоненти) је њихова покретљивост (кретање) зависно од агенаса који на њих дјелују. Сваки физичкогеографски процес (кретање ваздушних и водних маса и др.) условљен је интеракцијом разних облика и форми физичког кретања. Физичкогеографски процеси су специфични за различите географске просторе наше планете и стоје у тијесној вези са: распоредом копна и мора, типом рељефа – надморска висина и дисецираност, распоредом и обимом континенталног леденог покривача, планетарним

⁶⁹ Хидролошка деценија 1965 – 1974 (ИИД); међународни хидролошки програм (ИИР).

системом топлих и хладних морских струја, географским зонама⁷⁰ и другим системима у ландшафтном⁷¹ комплексу.

Сва кретања материје и енергије у географском омотачу имају своје кружне токове који нису статични већ изузетно динамичне форме.

Кружење материје је једно од значајнијих особености функционисања географског омотача која омогућава вишекратност процеса који се у њему одвијају и њихову високу сумарну ефективност (нпр. кружење воде). Завршни стадијуми нису идентични почетним; материја увучена у кружење не само да се премјешта, него и доживљава трансформацију и неријетко мијења своје физичко и хемијско стање.

Водни ресурси наше планете налазе се у једном непрекидном кружном транспортном процесу који је у хидрологији познат као хидролошки или водени циклус.⁷² Тај циклус повезује више геосфера: атмосферу, литосферу (копно), хидросферу (Свјетски океан) и биосферу. Главни агенс⁷³ динамичких процеса, формирања и транспорта водене паре је Сунчева топлотна енергија, а за појаве падавина и кретања воде у водотоцима основни агенс су термодинамички процеси у атмосфери и сила Земљине теже.

Кружно кретање воде на Земљи, генерисано њеним агрегатним, промјенљивим стањима, између осталог доприноси ерозиониом процесима у литосфери, преношењу топлоте и минералних материја. Транспорт воде из Свјетског океана на копнени дио наше планете стварају се услови за сложене физичкогеографске процесе: образовање водотока, хидрографских система и хидрографских мрежа, раст и развој биљних и животињских заједница, формирање продуктивног површинског слоја литосфере (педосфере) и др.

Под утицајем топлотне енергије Сунца врши се стално испаравање воде са површине Свјетског океана, језера и ријека, као и с топографске површине копна уз значајну транспирацију⁷⁴ вегетационог покривача. Укупна количина влаге која испарава са површине земљишта, укључујући транспирацију биљака, односно укупна количина влаге која се са Земљине површине враћа у атмосферу назива се евапотранспирација (сумарно испаравање).⁷⁵

Сва количина водене паре која доспијева у атмосферу се под одређеним условима кондензује (сублимира), да би се потом у облику падавина поново вратила на површину Свјетског океана и копна. То би био поједностављен приказ кружења воде, чији су ефекти: испаравање воде, инфилтрација у подземне слојеве и све манифестације површинског и подземног кретања воде. Мада се кружење воде у природи (хидролошки циклус) дешава у виду извјесног циклуса, ова појава није ни мало једноставна. Дио воде не мора да прође кроз цио циклус (кретање од површине Земље до атмосфере, затим у виду падавина назад на топографску површину, гдје

⁷⁰ Најкрупније просторне цјелине које се сагласно закону географске зоналности јављају у географском омотачу су географски појасеви а унутар њих се издвајају географске зоне; њихово издвајање последица је различитог радијационог биланса и падавина.

⁷¹ Ландшафт, географски, у ширем смислу је синоним природно – територијалног комплекса који се може издвајати у регионалном и у типолошком погледу као укупност природних дијелова сличних по својим морфолошким и функционалним карактеристикама (ландшафт тајге, ландшафт мочвара, зонални типови ландшафта); ландшафтни омотач је географски омотач.

⁷² Циклуси представљају временске распоне у којима се промјенљивом дужином догађају одређене појаве.

⁷³ Агенс (лат. *agens* – дејствујући); у *природним наукама* – дејствујући фактор у неком процесу или појави; у *физици* – оно што је узрок нечему, снага, покретна (покретачка) сила; *граматички* – вршилац радње.

⁷⁴ Транспирација (нлат. – *transspiratio*), 1. испаравање, испарење; знојење, зној; 2. (лат. *trans* – преко, кроз + *spirare* – дувати) – излучивање водене паре са површине тијела биљака и животиња која настаје услед физиолошких процеса, на примјер испаравање воде коју биљке коријењем добијају из тла.

⁷⁵ Евапорација (лат. *e* – од, *sa* + *varog* – пара), испаравање, процес прелажења материје из течног или чврстог агрегатног стања у гасовито (у пару).

један дио те воде отиче у водотоке и доспијева до мора), већ само кроз неке фазе циклуса (дио падавина се излучује директно на водно огледало⁷⁶ мора, језера и ријека),

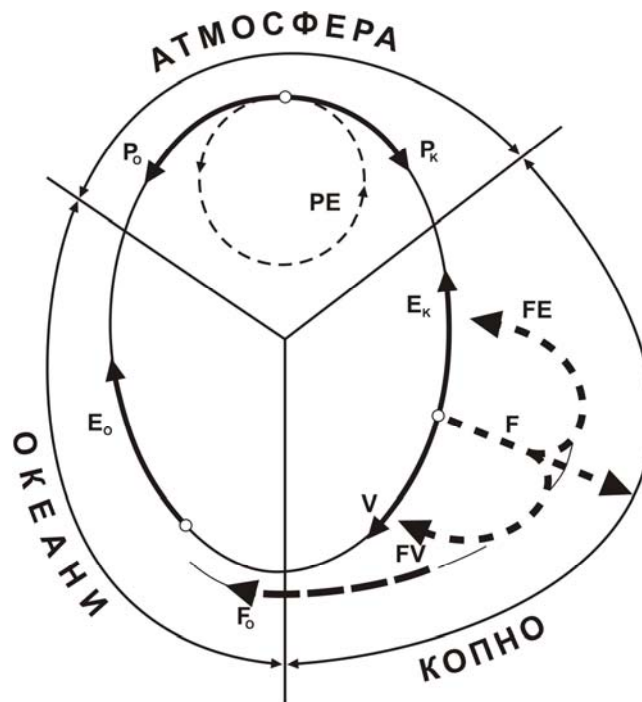
Друго, хидролошки циклус је ритмичка⁷⁷ појава у географском омотачу, али у погледу форме ритмичности кружење воде у природи није периодично,⁷⁸ него циклично. То значи да постоји прилична временска неравномјерност међу појединим циклусима, јер за вријеме дуготрајних суша стиче се утисак као да је циклус стао.

Надаље, на интензитет (јачину) и реверзибилни (повратни) период хидролошког циклуса утичу физичкогеографске одлике одређеног простора и климатски тип, уз напомену да је основни генератор хидролошког циклуса Сунчева радијација.

На крају, геогени утицаји условљавају да поједине фазе хидролошког циклуса су веома комплексне, при чему, посебно на почетку трећег миленијума, не треба занемари(ва)ти антропогене утицаје.

Хидролошки циклус се данас, у хидролошкој научној и наставној литератури, углавном представља квантитативно,⁷⁹ али и схематски (Слика 3), затим визуелно (Слика 4 и Слика 5).

На Слици 3 је представљено, у схематском приказу, кружење воде у природи, али је потребно објаснити одређене симболе,⁸⁰ уз краћи коментар.



Слика 3. Схематски приказ кружења воде у природи
(Извор: Сребреновић, 1986)

⁷⁶ Површински слој воде у морима, језерима и ријекама.

⁷⁷ Под ритмом подразумијевамо поновљивост комплекса појава током времена, које се развијају у једном правцу. Дужина трајања ритмова је различита.

⁷⁸ Под периодом се подразумијева ритам једнаке дужине, какви су на примјер ротација и револуција Земље.

⁷⁹ Нумерички подаци које су дали разни аутори о величинама које учествују у кружењу воде не слажу се уопште код низа аутора: W. Meinardus, М.И. Будико, Е. Brückner и др. – в. Табелу 5. и 6.

⁸⁰ Коментари су везани за количину водних маса на Земљи и њихово билансирање.

Из схеме кружења воде у природи (Сл. 3) видимо да се водена пара E_o евапорацијом диже са Свјетског океана у атмосферу. Из атмосфере се један дио P_o враћа непосредно, у облику падавина, у Свјетски океан, док други дио P_k се излучује на копнени дио наше планете. Уочљиво је такође да један дио PE испарене водене паре са океана и мора у атмосферу не доспијева поново на Земљину површину, већ се кондензује у облацима и поново испарава.⁸¹

Дио падавина који доспијева на копно P_k доживљава прелазне трансформације док поново не стигне у почетну тачку кружења (Свјетски океан). Наиме, један дио E_k се враћа у атмосферу, док други дио V отиче површинским токовима у море и океане, а остатак F се инфилтрира у земљиште. Од количина које су доспјеле испод топографске површине (филтрационе количине) један (мањи) дио се губи у дубоким подземним слојевима, а други дио изворима (врелима) или филтрацијом⁸² из подземних слојева FV храни површинске токове или директно улази у океане и мора F_o .

Трећи дио инфилтрираних количина падавина се враћа у атмосферу FE путем транспирације или испаравањем присутне влаге с топографске површине.

Оно у чему се хидролози (свих генерација) до сада слажу је то да укупна количина воде (водних маса) на нашој планети се практично не мијења. Истина, геолози нас упозоравају да нове количине воде (у укупном билансу) могу доћи из Земљине унутрашњости (вулканизам, гејзири и др.), али то су незнатне количине, па се може прихватити чињеница да је количина воде, која учествује у процесу кружења у природи, стална и, за сада, непромјенљива.

Кружење воде у природи се може исказати квантитативно, методом билансирања.⁸³ Водни биланс Земље представља однос између количине воде која доспијева на Земљину површину у виду падавина и количине воде која испарава са површине копна и Свјетског океана у одређеном периоду времена. Према Н.Мастило (2001) у просјечном вишегодишњем периоду, годишња количина падавина износи 1020 mm; испаравање са површине мора и океана износи 880 mm и са копна 140 mm.

Водни биланс Земље је количински израз кружења воде на Земљи. Тијесно је повезан са топлотним билансом и заједно с њим је један од важних показатеља карактеристика природних зона.

Топлотни биланс Земљине површине представља алгебарску суму токова топлоте који долазе на Земљину површину и одлазе од ње. Изражава се једначином: $R+P+LE+B = 0$, гдје је R – радијациони биланс, P – турбулентни ток топлоте између Земљине површине и атмосфере, LE – доток топлоте на рачун кондензације водене паре или губљења топлоте на испаравање, B – доток топлоте из дубине тла и водених басена или издавање топлоте на њихово загријавање. Однос компонента биланса одређује његову структуру, која се мијења у времену у зависности од својстава подлоге и географске ширине неког мјеста. Карактер топлотног биланса и његов енергетски ниво одређују особеност и интензитет већине енергетских процеса.

Узајамни однос падавина, испаравање и отицање са копна може се представити одређеним једначинама водног биланса. Морамо нагласити да данас у хидролошкој литератури⁸⁴ су у употреби различити симболи појава и индекси средина гдје се те појаве дешавају (океан, атмосфера, копно). Према Д. Сребреновићу (1986), ако падавине означимо са P , испаравање – E , отицање са копна – V , те ако се изведе биланс за све три средине: океане и мора – M , копно – K , и атмосферу – A , тада слиједи да је биланс:

⁸¹ Тај дио, дакле, чини скраћену циркулацију.

⁸² Филтрација (нлат. *filtratio*) – цијеђење, процјеђивање.

⁸³ Водни биланс (лат. *bi-lanx* – са два таса) – узајамни однос између падавина на једној и збира отицања и испаравања на другој страни. Водни биланс се може односити на ријечни слив, административни териториј, физичкогеографску цјелину или цијелу Земљину површину. Временски период може бити различит (мјесец, година, деценија...).

⁸⁴ У овом случају с коришћени симболи и индекси односе на говорно подручје бивше СФРЈ.

(1) за океане и мора: $P_M + V_K = E_M$,

(2) за атмосферу: $E_M + E_K = P_M + P_K$,

(3) за копно : $P_K = E_K + V_K$

Ако се подсетимо на Сл. 3 (Схема кружења воде у природи), видјећемо да у претходним једначинама [(1), (2), (3)] нема дијела падавина који се инфилтрира у земљиште (F). Филтрирајуће количине (F) су „величине одложеног отицаја и не могу наћи мјесто у периоду билансирања који је довољно дуг да би ретардирајући⁸⁵ ефекти били од значаја“.⁸⁶

Анализирајући једначине (1), (2) и (3) математички је очигледно да збир прве и треће једначине [(1) + (3)] даје, заправо, другу једначину (2), а то заправо значи да у просјечној хидролошкој години количина падавина, која доспије на Земљу, је једнака укупној евапорацији (испаривању) с копна и мора у оквиру те године.

$$(1) + (3) \Rightarrow P_M + V_K + P_K = E_M + E_K + V_K \Rightarrow P_M + P_K = E_M + E_K \quad (2)$$

Већ смо истакли да квантитативни (нумерички) подаци које нам разни аутори дају о количинама које учествују у кружењу воде у природи нису сагласни. Најближи стварности (апроксимативна вриједност величина хидролошког циклуса) према Meinardusu, Великанову, Leetau i Budykou су они који су дати у Табели 5.

„Негативни отицај“ код Свјетског океана (- 100 mm, колона 8) резултат је отицаја с копна у склопу билансирања. На Слици 4. то се може најбоље видјети код квантитативног представљања кружења воде, изведеног на основу података из Табеле 5.

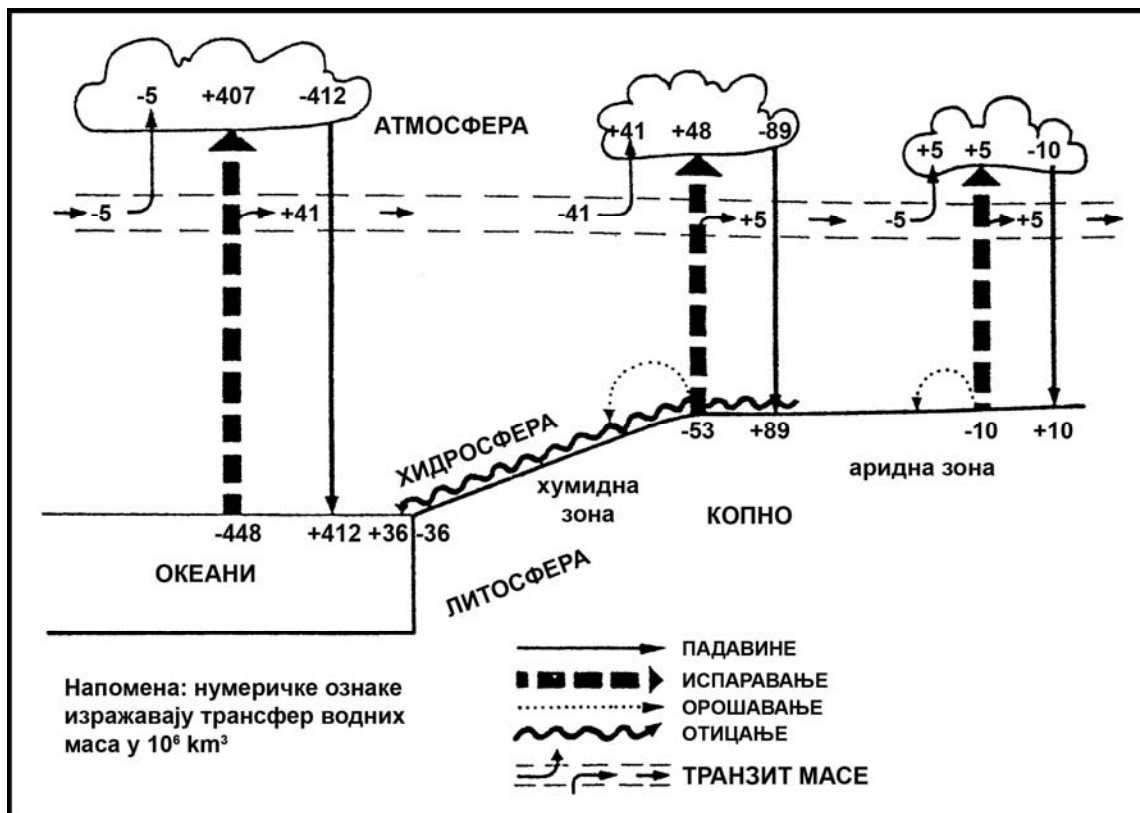
(*)Средње вриједности падавина (1071 mm) и испаравања (1002 mm) у колонама 6 и 7 су заокружене на вриједности од 1000 mm јер је ријеч о усклађеном билансу (билансу којије најближи стварности).

Табела 5. Величине хидролошког циклуса

Ред. број	Област	Површина у 10^6 km^2	Количина воде у km^3			Просјек у mm		
			Падавине	Испаравање	Отицање	Падавине	Испаравање	Отицање
	1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Океани	361	412	448	-36	1140	1240	-100
	Хумидна зона	117	89	53	+36	761	453	+308
2.	Копно							
	Аридна зона	32	10	10	-	1313	1313	-
3.	Земља укупно	510	511	511	-	1000*	1000*	0

⁸⁵ Ретардација (лат. retardare – задржати) – отежање, оклевање, успоравање, заостајање, задржавање, одгајање.

⁸⁶ Д. Сребреновић, цит. изд., стр. 19.



Слика 4. Квантитативни приказ хидролошког циклуса
(Према: Д. Сребренић, 1986)

Интересантни су подаци које даје Шендел⁸⁷ за водни биланс састављен по континентима (Табела 6).

Табела 6. Водни биланс континената

Ред. број	Континенти	Падавине у mm	Отицај у mm			Коефицијент отицаја у %	Испаравање у mm
			Површински	Подземни	Укупно		
	1	2	3	4	5	6	7
1.	Африка	686	91	48	139	20	547
2.	Азија	726	217	76	293	40	433
3.	Аустралија	736	172	84	226	30	510
4.	Европа	734	210	109	319	43	415
5.	Сјеверна Америка	670	203	84	298	43	383
6.	Јужна Америка	1648	373	219	583	35	1065

Из Табеле 6. можемо лако закључити да се ради о великој разлици водног биланса између континената (обратити пажњу на колоне 2,5,6 и 7), у случајевима када се посматра однос

⁸⁷ Schendel, U., Wasserhavshalt und Wasserbilans der Erde, Wasserwirtschaft, 1973./a.

апсолутних и релативних вриједности, али и када се посматрају просједи. Можемо, стога, претпоставити да су регионалне разлике, кудикамо веће.

Већ је истакнуто да се нумерички подаци, које разни аутори дају о величинама кружења воде у природи, не слажу се у потпуности. С друге стране, ни симболи, као ни индекси којима се математичким путем (једначине) дефинише хидролошка морфометрија одређеног географског простора за одређени временски интервал нису унифицирани у хидролошкој литератури. Сходно томе, поштујући ауторски принцип права преузимања симбола, индекса и одговарајућих математичких образаца, представимо кружење воде у природи и водни биланс Земље аутора Д. Дукића и Љ. Гавриловић.⁸⁸

Већ смо нагласили да постоји термилошко – појмовна недоумица око синтагме: кружење воде у природи и/или кружно кретање воде. У складу са дефиницијом кружног кретања у физици (механика), то је кретање тијела кружном стазом или путањом. То је заправо убрзано кретање, у којем убрзање производи центрипетална сила увијек исте величине усмјерена према средишту закривљености путање тијела.

Кружно кретање може се, такође, дефинисати као кретање тијела, при којем се све његове материјалне тачке крећу у паралелним равнима по кружницама, чији се центри налазе на једној правој и назива се ротационо кретање,⁸⁹ а та права – оса ротације.

Кружница је скуп свих тачака у равни подједнако удаљених од једне сталне тачке коју називамо центром или средиштем кружнице. За кружницу се користи и термин кружна линија. Подсетимо се још и да је круг унија свих тачака на кружници и свих тачака унутар кружнице.

Из горе наведених дефиниција кружног кретања, сматрамо да вода у географском омотачу нема кружно кретање, па је исправније рећи да се ради о кружењу воде у природи, односно хидролошком циклусу који се дешава у три важна дијела географског омотача: атмосфери, хидросфери и литосфери.

Према Д. Дукићу и Љ. Гавриловић (2006) водни биланс неке површине – ријечног слива, државне територије, неког континента или цјелокупне Земљине површине – подразумијева узајамни однос између падавина (P) на једној и збира отицања (R) и испаравања (E) на другој страни. Овај узајамни однос представља се у виду Брикнерове⁹⁰ (Brückner) упрошћене једначине водног биланса:

$$P = R + E .$$

Укупно испаравање (евапорација – E) са акваторија Свјетског океана (E_o) и површине копна (E_k) резултат је дјеловања топлотне енергије Сунца, као основног агенса и износи $577\ 000\ \text{km}^3$.⁹¹

$$E = E_o + E_k = 505\ 000\ \text{km}^3 + 72\ 000\ \text{km}^3 = 577\ 000\ \text{km}^3$$

На површину Свјетског океана, у току године, доспије $458\ 000\ \text{km}^3$ падавина (P_o). На основу података за евапорацију Свјетског океана (E_o) $505\ 000\ \text{km}^3$ долазимо до закључка да се јавља дефицит од $47\ 000\ \text{km}^3$ воде:

$$E_o - P_o = 505\ 000\ \text{km}^3 - 458\ 000\ \text{km}^3 = 47\ 000\ \text{km}^3$$

⁸⁸ Дукић Д., Гавриловић Љ., цит. изд., стр. 15 – 17.

⁸⁹ Ротација (лат. rotatio) – обртање,окретање, кретање свих тачака неког тијела око једне тачке или око низа тачака, тј. око обртне осовине, тако да свака тачка описује кружну путању чија је раван управна (нормална) на обртну осу (на примјер: обртање Земље око своје осе).

⁹⁰ Назива се још једначина Пенк – Окопова (А. Penck, Е.В. Окопов).

⁹¹ Ако овај податак евапорације, али и податке за падавине и отицање, упоредимо са подацима у Табели 5, видећемо да не постоји општа сагласност нумеричких података које нам разни аутори дају о величинама које учествују у кружењу воде у природи. То се најбоље види у Табели 7.

Разлика од $47\,000\text{ km}^3$ падавина се излучи на копну (P_k); од тих падавина настају копнене површинске и подземне воде и ледничка маса. „Та количина воде се излучи на копно, делимично испари и поново излучује, образујући на тај начин слој од 800 mm падавина или укупно $119\,000\text{ km}^3$ воде.

Од те количине испари на копну (E_k) $72\,000\text{ km}^3$, што сачињава слој воде од 485 mm , и то 529 mm у областима егзореичног или спољног одводњавања и 300 mm у крајевима гдје је оно ендореично или унутрашње. Разлика од 315 mm ($800\text{ mm} - 485\text{ mm} = 315\text{ mm}$, оп.а.) или 47000 km^3 воде доспе у Светско море притицањем воде са копна (R_k). Од те количине воде отекне површински 300 mm или $44\,700\text{ km}^3$, а 15 mm или 2200 km^3 доспе у Светско море подземним притицањем. На тај начин обавља се водни циклус Земље“.⁹²

Кружење воде у природи може се представити низом упрошћених једначина водног биланса. Да би се утврдио водни биланс за цијелу Земљину површину, потребно је да се прво означе (симболи и индекси) поједини његови елементи који су већ дефинисани у претходном тексту:⁹³

E_o – количина воде која испари са површине Свјетског океана,

E_k – количине воде које испари са површине копна,

P_o – количина падавина на акваториј Свјетског океана,

P_k – количина падавина на топографску површину копна,

R_k – количина воде коју сви површински и подземни токови унесу у Свјетски океан.⁹⁴

Водни биланс површине наше планете може се представити сљедећим једначинама:

$$E_o = P_o + R_k \quad (1)$$

$$E_k = P_k - R_k \quad (2).$$

Ако саберемо једначине (1) и (2), добија се:

$$E_o + E_k = P_o + P_k \quad (3)$$

односно, укупна количина евапорације са Земљине површине једнака је суми падавина на ту исту површину.

Брикнерова упрошћена једначина је за даљи развој хидрологије била недовољна. У њој није било рашчлањено *укупно ријечно отицање* (R)⁹⁵ на *површинско отицање* (S) и *подземно отицање* (U), као и *испаривање* (E) на *непродуктивно испаривање* (N) и *транспирацију* (T). Било је потребно да се из водног биланса издвоји и *укупна овлаженост територија* (W) која практично представља обнављање годишњих резерви влаге у тлу.

Наведене елементе водног биланса разрадио је руски географ – хидролог М.И. Љвович.⁹⁶ Он је увео у хидрологију и два нова појма: *коэффициент храњења ријека подземним водама* (K_u) и *коэффициент испаривања* (K_e).

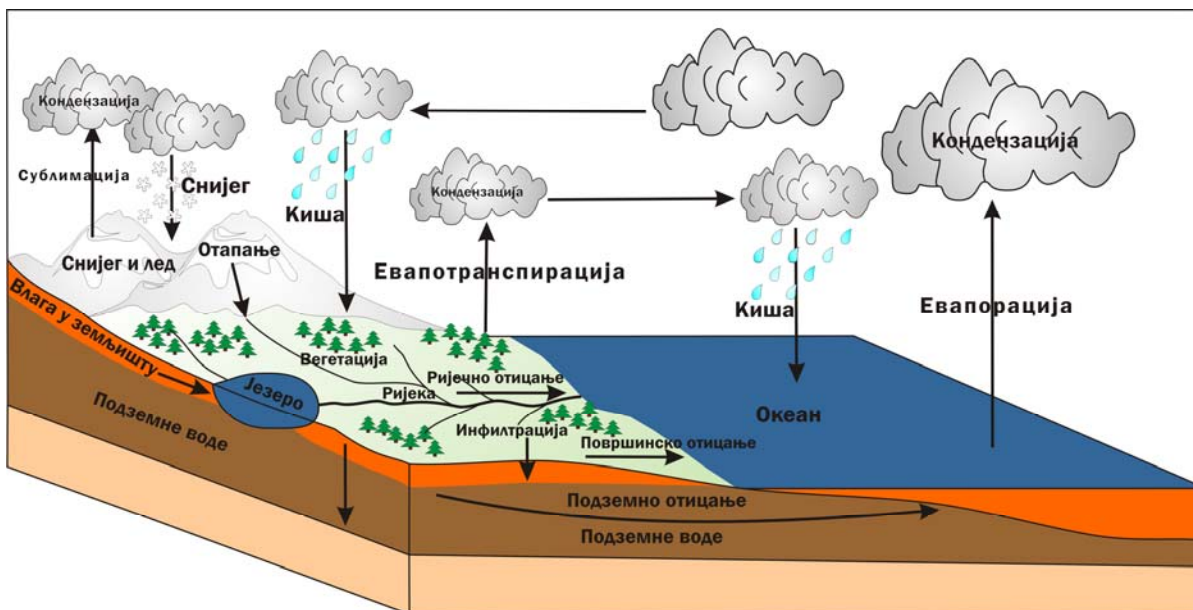
⁹² Дукић Д., Гавриловић Љ., цит. изд., стр. 16.

⁹³ Сви наведени елементи (или компоненте) водног биланса односе се за период од једне године.

⁹⁴ У количину површинске воде се укључују и вода отопљених глечера и ледених бријегова.

⁹⁵ Симболи и индекси преузети од Д. Дукића и Љ. Гавриловића, цит. изд., стр 17.

⁹⁶ Докторска теза М.И. Љвовича: „Елементи водног режима Земље“, 1945.



Слика 5. Схема водног биланса (по М. И. Љвовичу))

У хидрологији се данас, када је у питању хидролошки циклус, користе Љвовичеве диференцијалне једначине водног биланса. Символи у овим једначинама имају раније дефинисана значења:

$P = R + E$ (4) ; годишња количина падавина на површину Земље ($P_o + P_k$) једнака је збиру укупног ријечног отицања (R) и количини воде која испари (E) са те површине;

$R = S + U$ (5) ; укупно ријечно отицање (R) једнако је збиру површинског (поводањског) отицања (S) и подземног отицања (U);

$E = N + T$ (6) ; Укупно испаравање (E) једнако је збиру непродуктивног испаравања (N) и транспирације (T);

$P = (S + U) + (N + T)$ (7) ; када у једначини (4) замијенимо R са $S+U$ - једначина (5) и E са $N+T$ – једначина (6) добијемо коначни облик једначине (4);

$K_u = \frac{U}{W}$ (8) ; коефицијент храњења ријеке подземним водама (K) је количник вриједности подземног отицања (U) и вриједности укупне овлажености територије (W);

$K_e = \frac{E}{W} = 1 - K_u$ (9) ; коефицијент испаравања (K_e) је количник вриједности испаравања (E) и вриједности укупне овлажености територија (W).

Одређени број географа и хидролога, користећи Брикнерову упрошћену једначину водног биланса⁹⁷ и касније Љвовичеве диференцијалне једначине водног биланса,⁹⁸ покушао је дефинисати нумеричке вриједности компоненти водног биланса Земље (Табела 7).

Табела 7. Водни биланс Земље (у mm) по подацима разних аутора

Ред. број	Аутор	Година	Копно			Океан	
			Падавине	Испаравање	Отицање	Падавине	Испаравање
	1	2	3	4	5	6	7
1.	E. Brückner	1905.	819	651	168	994	1063
2.	W. Schmidt	1915.	752	544	208	670	756
3.	А.А. Камински	1925.	544	343	201	850	933
4.	W. Meinardus	1934.	665	416	249	1141	1243
5.	М.И. Љвович	1945.	719	477	242	1141	1241
6.	М.И. Будико	1955.	671	443	238	1025	1130
7.	F. Albrecht	1960.	671	450	221	1047	1138
8.	М.И. Будико	1970.	719	430	289	1141	1260
9.	A. Baumgartner E. Reichel	1973.	748	481	267	1067	1177

(Извор: Д. Дукић, Љ. Гавриловић, 2006)

Из Табеле 7. видимо да је први прорачун дао Е. Брикнер (E. Brückner) 1905. године. Морамо признати да у то вријеме инструментариј за прикупљање података, као и технички инфериоран мониторинг у односу на данашње потенцијале науке и технике (сателити, компјутер и др.) нису ни омогућавали прецизнија мјерења.

Стога су резултате Е. Брикнера касније кориговали њемачки, амерички и руски експерти за рјешавање проблема водног биланса.

Већ смо истакли да је хидросфера настала еволуцијом Земље у фази дегазације мантла (доњи омотач, од 1000 – 2900 km дубине, у структури наше планете).⁹⁹ По тврдњама геолога овај процес је још увијек актуелан. Рачуна се да је укупна количина воде у геосферама, од њиховог настанка до данас, повећана мада су евидентни и значајни губици. Један дио воде из хидросфере се губи дисоцијацијом¹⁰⁰ молекула воде у атмосфери на висинама од 70 до 100 километара. У географском омотачу кружење воде одвија се у различитим агрегатним стањима, док је сва вода у хидросфери повезана.

⁹⁷ A. Penck, W. Ule, H. Keller, W. Wundt, E.V. Окопов, В.Г. Глушков, М.А. Великонов и др.

⁹⁸ М.И. Будико, F. Albrecht, A. Baumgartner, F. Reichel и др.

⁹⁹ Диференцијација тежих од лакших елемената у ужареној маси.

¹⁰⁰ Дисоцијација (лат. dissociatio) – раздвајање, растајање; хем. разлагање хемијског једињења у његове саставне дијелове нарочито дејством топлоте.

Табела 8. Измјена залиха воде при пуном кружењу воде воде у природи

Редни број	Видови вода	Период потпуне измјене – брзина кружења
	1	2
1.	Свјетски океан	2500 година
2.	Подземне воде	1400 година
3.	Влага у земљишту	1.0 година
4.	Подручја инландајса	9700 година
5.	Лед: локалне глацијације на Земљи	1600 година
6.	Зоне мерзлоте (подземни лед)	10 000 година
7.	Језерске воде	17.0 година
8.	Ријечне воде	16.0 година
9.	Воде бара и мочвара	5.0 година
10.	Атмосферска влага	осам дана
11.	Биолошка вода (физиолошки процеси)	неколико сати

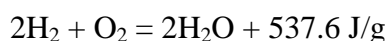
(Извор: Бушатлија И., Спахић М., Пецељ М., 1991)

Све чешће појаве доминације екстремних вриједности појединих метеоролошких елемената (температура, падавине, вјетрови и др.) над појединим географским просторима гдје то до сада није био случај, упућују на нови, комплекснији приступ код одређивања водног биланса за одређена подручја. Са становишта предупријеђења кризних ситуација потребно је извршити фрагментарну анализу одређених географских простора, а сматрамо да је то најсврхисходније урадити хидролошком евалуацијом (процјеном) важнијих ријечних сливова за одређени териториј (падавине, испаравање и транспирација, инфилтрација, отицај, велике и мале воде, екстремни бескишни периоди, акумулације и термички режим ријека).

1.5. Хемијска и физичка својства воде

Хемијски састав воде

Вода је хемијско једињење, које настаје сагоријевањем водоника и кисеоника, при чему се ослобађа велика количина топлоте, а брзина образовања воде из смјесе водоника и кисеоника зависи од температуре.



Експериментално је утврђено да за постанак исте количине воде из поменуте смјесе је потребна температура од 400°C у току од 80 сати, док се при температури од 600°C спајање водоника и кисеоника дешава тренутно (уз снажну експлозију).

У образовању воде учествују двије запремине водоника и једна запремина кисеоника, а тежински, вода се састоји од 11.11% водоника и 88.89% кисеоника.

Тешка вода. Вода коју свакодневно користимо за снабдијевање становништва и привреде има молекуларну тежину 18¹⁰¹ (атом кисеоника има тежину 16, плус два атома водоника, укупно 18). Међутим, постоје воде и са молекуларном тежином 19, 20, 21 и 22. Међу њима велики значај има „тешка вода“. Она се састоји од атома кисеоника са атомском тежином 18 (O¹⁸) и водоника

¹⁰¹ Опширније видјети: С.Р. Арсенијевић. Хемија – општа и неорганска, стр. 39, 46 – 48; Научна књига, Београд, 1994.

чија је атомска тежина 2 (H^2). Пошто се атом водоника са атомском тежином 2 (релативна атомска маса = 2.0141) разликује од обичног водоника (релативна маса = 1.00794), назван је деутеријум (D).¹⁰² Када се споји са кисеоником деутеријум да је тешку воду (D_2O).

Табела 9. Неке физичке особине обичне и тешке воде

Ред. број	Особина	H_2O	D_2O
	1	2	3
1.	Релативна молекулска маса	18.015	20.028
2.	Тачка мржњења	0°C	3.82°C
3.	Тачка кључања	100.00°C	101.42°C
4.	Густина (g/cm^3 на 20°C)	0.998	1.1071
5.	Температура максималне густине	4.0°C	11.60°C
6.	Растворљивост NaCl ($g/1.00$ g воде на 25°C)	0.36	0.30

(Извор: Арсенијевић С., цит.изд., стр 630)

Природна вода садржи молекуле: HOH , HOD и DOD (из $20 dm^3$ обичне воде може да се изолује око $0.1 cm^3 D_2O$).

У хемијском погледу тешка вода је нешто мање реактивна од обичне воде; реакције са обичном водом имају нешто већу брзину. Тешка вода се користи као ефикасан *успоривач неутрона* у нуклеарним реакторима.¹⁰³ За нуклеарну електрану средње снаге (до 500 MW) потребно је око 250 литара тешке воде. Тешка вода се разликује у физиолошком дејству од обичне (лаке) воде. У њој сјеме духана и неких биљака не може да проклија; она убија ниже организме. Присуство тешке воде у хранљивим намирницама може да има леталан (смртоносан) исход. Исто се дешава када се ова вода конзумира умјесто обичне воде.

Поред наведене тешке воде може се добити још тежа вода, сједињавањем кисеониковог изотопа $^{18}_8O$ са деутеријумом, чија је густина за 20% већа од густине обичне воде. Може се добити исто тако вода сједињавањем изотопа 3_1H са кисеониковим изотопом $^{16}_8O$ ($^{18}_8O$) чија је густина за 30% већа од густине обичне воде.¹⁰⁵

Физичке особине воде. Ове особине обухватају грађу молекула (обичне) воде, агрегатна стања, њену густину, боју, провидност, мирис, укус, као и њена топлотна, електрична и акустична својства.

У води се налазе сложени молекуларни спојеве, слједеће грађе и особина:¹⁰⁶

H_2O – монохидрол – молекул водене паре,

$(H_2O)_2$ – дихидрол – молекул воде у течном стању,

$(H_2O)_3$ – трихидрол – молекул воде у чврстом стању, лед.

¹⁰² За откриће деутеријума (од грчке ријечи за други) Нобелову награду за хемију, 1934. године је добио научник Јури (Н.С. Уреу); изван наше планете деутеријум је пронађен у Ориону (најљепше сазвјезђе на сјеверном небу наше планете; у старогрчкој митологији дивовски ловац, љубимац зоре).

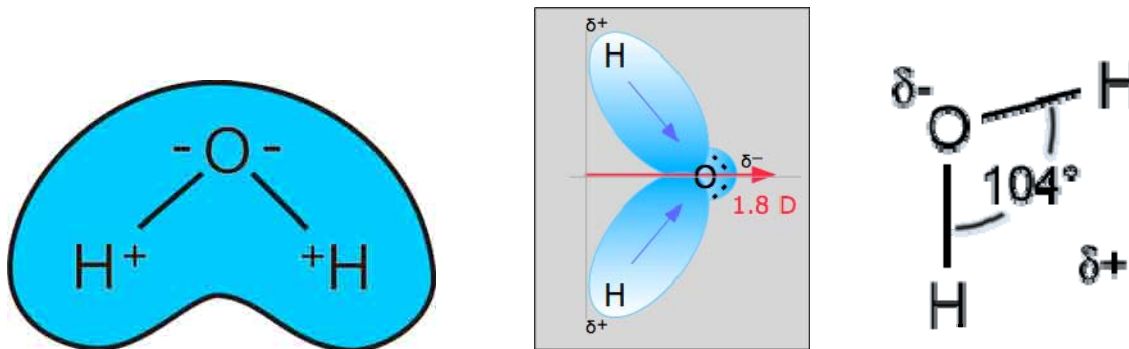
¹⁰³ Коефицијент успоравања неутрона тешком водом је око 90 пута већи од обичне воде.

¹⁰⁴ Изотопи (грч. *ísos* - исти + *tópos* - мјесто); хем. разни видови атома истог хемијског елемента; имају исти атомски број, број протона у атомском језгру и број електрона у омотачу, али различит број неутрона у језгру и различиту масу атомских језгара, односно атома.

¹⁰⁵ Видјети опширније: С.Р. Арсенијевић, цит. изд., стр. 620 – 631.

¹⁰⁶ Видјети опширније: Д. Дукић (1984), цит. изд., стр. 11 – 14.

Молекул воде је троугласта структура са углом од 104.5° између два атома водоника.



Слика 6. Диполни карактер молекула воде

Због велике разлике у електронегативности између кисеоника и водоника, молекула воде је изразито диполног карактера (Сл. 6.). Тиме позитиван крај једне молекуле воде привлачи крај друге, што посредством водикове везе доводи до асоцијације¹⁰⁷ молекула и у течном и у чврстом агрегатном стању.

Табела 10. Однос молекуларних спојева воде (у %) при различитим температурама

Агрегатно стање воде	Температура у $^\circ\text{C}$	Молекули			
		H_2O	$(\text{H}_2\text{O})_2$	$(\text{H}_2\text{O})_3$	%
1	2	3	4	5	6
чврсто – лед	0	0	41	59	100
течно	0	19	58	23	100
	4	20	59	21	100
течно	98	36	51	13	100

(Извор: Аполов Б.А., 1963)

На температури 0°C у грађи леда нема молекула водене паре – тада преовлађују трихидроли. Али, када започне отапање леда, на истој температури (0°C) су заступљена сва три молекуларна стања, уз преовлађивање дихидрола. Њих је највише на температури од 4°C (прецизније $3,98^\circ\text{C}$). На температури од 100°C , када се истовремено дешава кључање и испаравање воде, у њој више нема молекула воде у облику трихидрола.

Промјеном агрегатног стања мијења се запремина воде. При преласку из течног у чврсто стање (0°) вода повећава своју запремину за $1/11$. При овоме се вода (лед) јавља као битан агенс: у пукотинама стијена притисак леда на зидове при температури од -22°C достиже до 2100 атмосфера. Специфична тежина¹⁰⁸ воде износи 1.0 g/cm^3 , леда 0.9168 а водене паре 0.624 g/cm^3 .

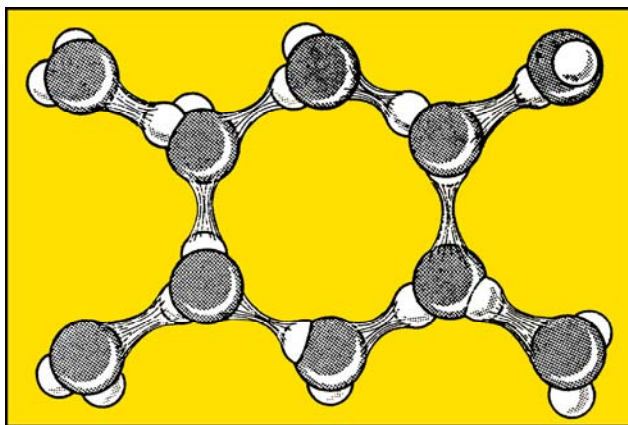
¹⁰⁷ Асоцијација (лат. associatio) у физици и хемији: спајање молекула у сложеније честице.

¹⁰⁸ Специфична тежина; 1. број који показује колико је пута неко тијело теже односно лакше од исте запремине воде; тежина 1 m^3 неког тијела изражена у грамама; 2. однос између тежине неког тијела и његове запремине; мјерна јединица у Међународном систему мјерних јединица за специфичну тежину је њутн по метру кубном (N/m^3).



Слика 7. Облици молекула у води
(Према: Д. Дукић, Љ. Гавриловић, 2006;)

Промјеном агрегатног стања мијења се запремина воде. При преласку из течног у чврсто стање (0°) вода повећава своју запремину за $1/11$. При овоме се вода (лед) јавља као битан агенс: у пукотинама стијена притисак леда на зидове при температури од -22°C достиже до 2100 атмосфера. Специфична тежина¹⁰⁹ воде износи 1.0 g/cm^3 , леда 0.9168 а водене паре 0.624 g/cm^3 . *Густина воде.* Вода је најгушћа на температури од 4°C а то је посљедица једне од физичких аномалија воде.¹¹⁰ При њеном загријавању или хлађењу неравнојерно се мијењају процентуални односи монохидрола и његових молекуларних спојева – дихидрола и трихидрола. Код леда (трихидрол – $(\text{H}_2\text{O})_3$) атоми кисеоника и водоника дају тетраедарску¹¹¹ просторну структуру. Битна је карактеристика те структуре у томе што се ти тетраедри комбинују попут саћа, стварајући хексагоналне (шестоугаоне) канале (Слика 8.).



Слика 8. Комбинација тетраедарски повезаних молекула воде у структури саћа
(Према: И. Филиповић, С. Латинковић, 1978;)

¹⁰⁹ Специфична тежина; 1. број који показује колико је пута неко тијело теже односно лакше од исте запремине воде; тежина 1 m^3 неког тијела изражена у грамама; 2. однос између тежине неког тијела и његове запремине; мјерна јединица у Међународном систему мјernih јединица за специфичну тежину је *њутн* по метру кубном (N/m^3).

¹¹⁰ Опширније видјети: Д. Дукић, Љ. Гавриловић, цит. издање стр. 14; И. Филиповић, С. Латинковић, цит. изд., стр. 541.

¹¹¹ Тетраедар (грч. *tétra* – четири + *hédra* – основа); *геом.* тијело ограничено са четири подударна равностраниа троугла; једно од пет правилних геометријских тијела: *тетраедар*, *хексаедар*, *октаедар*, *додекаедар* и *косиедар*.

Због тих шупљина лед у односу на воду има смањену густину. Кад се лед топи, та је структура нешто поремећена, али није потпуно разорена. тиме се повећава густина воде, но ако се температура повећава долази до наставка рушења тетраедарске структуре, тако да густина воде константно расте. „Истовремено, с тим ефектом, јавља се и други супротни. Порастом температуре повећава се и кинетичко¹¹² кретање молекула. Тиме долази до кидања појединих водоникових веза, па се ослобођене молекуле воде удаљавају једна од друге, због чега се смањује густина воде. Тај други ефекат почиње преовлађивати тек при температури већој од 3.98°C. На нижој температури (испод 3.98°C, оп. а.) значајнији је ефекат рушења тетраедарске структуре. Због тога вода при температури од 3.98°C има највећу густину“.¹¹³ Наиме, на температури од 4°C (прецизније 3.98°C) појављује се такав процентуални међуоднос спојева молекула воде у којем је највише дихидрола (50%), па је вода тада најгушћа – 1.000 g/cm³ (в. Таб. 10.). Иначе, густина воде на 0°C износи 0.999841 g/cm³ а на 20°C та вриједност је 0.99823 g/cm³.

Боја воде. Чиста вода је у танком слоју безбојна а зависно од моћности (дебљине) слоја воде и примјеса може имати различиту боју. Боја воде се одређује према степенима Међународне скале боја (Forell – Uhleova скала боја).¹¹⁴

Боја воде зависи од интензитета примања и разлагања Сунчевих зрака и дифузне свјетлости (расута свјетлост, у свим правцима одбијена – рефлектована свјетлост), од дубине водног објекта (море, језеро, ријека), боје неба, али и од чистоће воде у морима, језерима и водотоцима. Вода без неорганичких материја и планктона¹¹⁵ има плаву боју. Мора богата фитопланктонима и зоопланктонима и богата, уопште, живим свијетом имају зеленкасту боју. На боју воде могу утицати поједини организми, различите врсте наноса, дио ријечног корита, језерско и морско дно и сл. Такође, када је вода загађена – нафтни деривати, отпадне воде и сл. мијења се њена боја. У случају загађености, боја воде се мијења и најчешће је жућкастозелена или оловно – сива.

Табела 11. Forell – Uhleova скала за утврђивање боје воде у природи

№ скале	Описно одређивање боје	№ скале	Описно одређивање боје
I	Тамномодра	XI – XII	Жућкастозелена
II	Модра	XIII – XIV	Зеленкастожута
III	Тамноплава	XV – XVI	Мутножута
IV	Плава	XVII – XVIII	Мркожута
V-VI	Зеленкастоплава	XIX – XX	Жућкастомрка
VII-VIII	Плавичастозелена	XXI	Мрка
IX - X	Зелена	-	-

Провидност воде. Провидност или прозачност је најважније оптичко својство воде. Под провидношћу подразумејемо својство воде (слатке и слане) да је до одређене дубине провидна као и атмосфера. Због густине воде (морска вода је око 770 пута гушћа од ваздуха) у

¹¹² Кинетика (грч. kinetikós – покретан), дио динамике који истражује односе између кретања тијела и сила које дејствују на њих.

¹¹³ И. Филиповић, С. Липановић, цит. изд., стр. 541.

¹¹⁴ Скала се састоји од дрвеног рама са 21. затвореном епруветом у којима је различито обојена вода; обојена вода у епруветама изнад тамне подлоге посматра се и упоређује са бојом воде коју треба установити. Скала има 21 редни број (римски бројеви) и 13 описа боја.

¹¹⁵ Планктони су биљни и животињски организми који живе у слободној води на површини (водном огледалу) или испод саме површине; организми које носе водена струјања.

њој су сасвим друкчији услови видљивости него у атмосфери а провидност зависи и од присуства органских и анорганских честица у води. Провидност воде одређује се дању помоћу Секијевог котура,¹¹⁶ који се на жици постепено спушта у дубину. Ноћу се провидност воде одређује помоћу електричне сијалице од 10 свијећа (вати). Одређивање провидности може се вршити и фотографским снимањем.

Највећу провидност има Саргашко море у Атлантском океану, до 66.5 m дубине; у Јадранском мору провидност није већа од 33 m а у Балтичком мору је око 13 m. У језерима провидност иде и до 40.2 m (Бајкалско језеро), у неким ријекама провидност 4-6 m (ријека Ангара, Нева и др.), али се у мутним водотоцима провидност креће понекад и до 2-2.5 cm.¹¹⁷

Укус воде. Хемијски чиста вода нема никаквог укуса. Ако садржи до 0.3‰ соли сматра се да је таква вода слатка; од 0.3 до 24.695‰ вода је сланаста а ако садржи преко 24.695‰ соли, вода је слана.

У природи постоје киселе, па и по окусу слатке воде. Тако је вода ријеке Рио Агрио у западној Аргентини кисела¹¹⁸ – такав окус је добила од врења при труљењу у води неких врста дрвећа у горњем току ријеке. У близини Милвокија (САД) налази се језеро са потпуно слатком водом. Није још објашњено поријекло те воде.

Зна се само да је језеро настало на мјесту гдје је прије неколико деценија била јама из које је вађена глина.¹¹⁹

Мирис воде. Хемијски чиста вода нема мириса, али ако он постоји, тада потиче од геолошко – петрографске и педолошке основе кроз коју вода пролази или у којој је акумулирана, односно мирис потиче од полутаната који су доспјели у воду. Познато је да неке воде имају карактеристичне мирисе. Мирис вода из мочвара подсећа на трулеж, а потиче од сумпор – водоника (H_2S).

Сумпор – водоник је безбојан гас, карактеристичног непријатног мириса на покварена јаја (непријатан мирис покварених јаја долази, заправо, од сумпор – водоника). То је јако отрован гас и опасан је кад га има и око 0.1% у ваздуху и води јер разара хемоглобин. Такође је непријатан мирис водотока у које се директно излијевају индустријске, комуналне и друге отпадне воде.

Карактеристичан је мирис воде у језеру Тукан (око 200 km источно од града Перта у Аустралији) који мирише на тамјан (thymiana). Мирис потиче од плодова дивљег тамјана, чија се стабла налазе у горњем току једине притоке језера.

Топлотна својства воде. Количина топлоте потребна да се загрије 1 грам (1g) воде за 1°C назива се топлотни капацитет воде а изражава се у џулима (J).

Специфични топлотни капацитет („специфична топлота“) неке супстанце је количина топлоте потребна да повиси температуру 1g те супстанце за 1K ($J/g \cdot K$), или за 1°C ($J/g \cdot ^\circ C$). Тако, на примјер, специфични топлотни капацитет воде је 4.184 J/g. Већина других супстанци, међутим, има мању вриједност специфичног топлотног капацитета од воде. На примјер, за гвожђе износи 0.459 J/g, што значи да је потребна мања количина топлоте за повишење температуре једног грама гвожђа него једног грама воде. То исто тако значи да ће једна одређена количине топлоте

¹¹⁶ Бијела округла плоча пречника 30 cm; провидност се одређује као аритметичка средина из дубине на којој се диск губи из вида и дубине на којој се он прво угледа при његовом подизању ка површини. Када се Секијев котур подигне до половине провидности, према његовој бијелој боји одређује се боја воде мора, али обавезно на страни брода која је у сјенци.

¹¹⁷ Њемачка експедиција са брода „Поларна звијезда“ измјерила је провидност воде у Веделовом мору од чак 79 метара, у октобру 1987. године (Веделово морње – рубно море Антарктика). Прорачуима је утврђено да се Секијев котур у чистој дестилованој води може видјети на дубини од 80 метара.

¹¹⁸ Рио Агрио (кисела ријека) – аргентинска ријека дуга око 300 km; притока Рио Негра а њена вода је толико кисела да је чак ни животиње не користе.

¹¹⁹ Д. Дукић, Љ. Гавриловић, цит. изд., стр. 14.

повисити температуру једног грама гвожђа за вишу вриједност него што ће повисити температуру једног грама воде.

Топлотни капацитет воде при температури од 15°C узет је за јединицу количине топлоте. Наиме, многе физичке особине воде искоришћавају се у физици као јединица за мјерење, на примјер: маса једног кубног центиметра чисте воде (дестиловане воде) на 4°C зове се *грам* (g). Количина топлоте потребна да загрије грам воде од 14.5 до 15.5°C назива се *калорија* (cal.); у новије вријеме, међутим, употребљава се џул (J) /1 cal = 4.184 J/.

Вода океана, мора и великих свјетских језера апсорбује,¹²⁰ у једном дијелу године, огромну количину топлоте због великог топлотног капацитета воде. Тиме се објашњавају климатски утицаји великих свјетских акумулација (резервоара) топлоте на одређене дијелове копна наше планете. Довољно је напоменути да је топлотни капацитет континенталних маса четири пута мањи него што га има вода.

Вода се при хлађењу „ненормално“ понаша. Наиме, сва тијела при хлађењу смањују своју запремину; вода показује исту особину, али само до 4°C (3.98°C) када достиже своју максималну густину. Изнад и испод 3.98°C вода има мању густину. претварањем воде у чврсто стање (лед) њена запремина се повећава. Лед има 9% већу запремину од воде на 3.98°C и због тога плива на води. Ова аномалија од великог је значаја за биосферу. Ледени покривач чува преко зиме водоземце од промрзавања. Вода се мрзне од површине и зато течна вода остаје преко зиме испод леда. Слој леда на водном огледалу ријека и језера зими дејствује као топлотни изолатор између воде испод и ваздуха изнад њега.

Замрзавање воде, која је продрла у пукотине стијена доводи до денудационог процеса (распадање стијена под утицајем температурних колебања); распрскавање и дробљење стијена је истовремено предуслов стварања погодног земљишта за биљке.

Електрична својства воде. Чиста вода је лош проводник струје. Међутим, природне воде садрже низ супстанци растворљивих у води а величина електрпроводљивости тих вода зависи од концентрације¹²¹ раствора и њихове температуре.

Раствори су хомогени системи састављени од двије или више компонената а представљају „физичко – хемијске смјесе“ чистих супстанци и показују само дјелимично особине својих компонената; већином имају њихове особине. Код сваког раствора разликују се два дијела: *растворена супстанца* (*растварак*) и *растварач* или *дисперзионо средство* у коме је извршена уситњеност (дисперзија) супстанце која се раствара. Када је вода растварач онда се говори о *воденим растворима*, а способност воде да раствара многе супстанце нарочито је присутна када су у питању соли. Тако вода океана и мора садржи огроман број растворених супстанци.

Супстанце растворљиве у води могу се подијелити у двије групе, у зависности од електричне проводљивости раствора, на електролите и неелектролите.

*Електролити*¹²² су супстанце које при растварању у води (растварачу) дају јоне (наелектрисане честице) који се слободно крећу у раствору. Раствори електролита разликују се од раствора неелектролита по електричној проводљивости. Услед присуства јона који се слободно крећу, раствори електролита проводе електричну струју и називају се проводницима другог реда.¹²³

¹²⁰ Апсорбовати (лат. ab – sorbere), усисати, упити, упијати.

¹²¹ Концентрација (нлат. concentratio), хем. појачавање раствора смањењем његове запремине; појачање раствора, појачаност раствора; Састав раствора може квантитативно да се изрази помоћу његове *специфичне концентрације*. Израз *концентрација* употребљава се да опише релативне масе растворене супстанце и растварача у неком раствору.

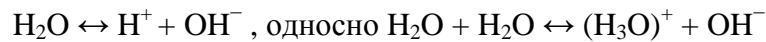
¹²² Видјети опширније: В. Бојанић et al., Хемија, стр. 47-55., Пољопривредни факултет у Бањалуци, Бањалука, 1999; Арсенијевић Р.С., Хемија, општа и неорганска, стр. 312-344, Научна књига, Београд, 1994.

¹²³ Проводници првог реда су метали и кроз њих се крећу електрони са мјеста вишег потенцијала ка мјесту нижег потенцијала, док се кроз растворе електролита (проводници другог реда) електрони крећу захваљујући присуству јона који врше улогу њихових преносилаца.

Неелектролити (супстанце које се не разлажу на јоне) не проводе електричну струју јер не садрже носиоце наелектрисања (јоне).

У електролите најчешће убрајамо три класе хемијских једињења: киселине, базе и соли.

Хемијски чиста вода спада у најслабије електролите, јер је минимално дисосована:



Константа дисоцијације чисте воде (К) на 25°C износи $1.8 \cdot 10^{-16}$:

$$\frac{[\text{H}^+] \times [\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]} = K = 1.8 \cdot 10^{-16}$$

Електролитичка дисоцијација. Дисоцијација (лат. dissociare – раздружити, раздвојити, отуђити); **хем.** разлагање хемијског једињења у његове саставне дијелове, нарочито дејством топлоте. *Електролитична дисоцијација;* **физ.** распадање молекула раствора у простије састојке (јоне).

*Акустична*¹²⁴ *својства воде.* Звук настаје брзим осциловањем (треперењем) чврстих, ријечних и гасовитих тијела. *Субјективно*, звук је осјећај који прима неки организам из вањског медија, а *објективно* звук је таласно кретање које се простире кроз еластичну средину. Да би се звук чуо, потребно је да између звучног извора и рецептора постоји одређена физичка средина (медиј): гасови, течност или чврста тијела. Гасови су добри преносиоци звука, али због веће густине, у односу на гасове, течности боље преносе звучне таласе. Брзина звука кроз ваздух износи 330 m/s док је у води та брзина 4.5 пута већа. Брзина звука кроз воду зависна је од њене температуре: ако се температура повиси, повећава се брзина звука.

Брзина звука зависи и од притиска воде, односно њене густине, па је брзина звука већа у дубљим слојевима него на водном огледалу.¹²⁵

¹²⁴ Акустика (грч. akustikós – чујем, слушам), наука о звуку; акустичан – подесан за примање и преношење звука.

¹²⁵ На 0°C и при густини воде (салинитету) од 3.5‰ брзина звука на нултој изобати је 1445 m/s, на 5000 m износи 1536 m/s, и на дубини од 10 000 m вриједност брзине звука износи 1622 m/s. Звук исте јачине продире кроз воду око 2000 пута даље него кроз ваздух.

ПОДЗЕМНЕ ВОДЕ



2. ПОДЗЕМНЕ ВОДЕ

Већ смо истакли да термин *геохидрологија* усвојен у англосаксонском говорном подручју има одређену предност (у новијој литератури) у односу на термин *хидрогеологија*, јер указује на хидролошко проучавање подземних вода и мјесто ове научне дисциплине у систему хидролошких наука. Међутим, то не значи да је термин хидрогеологија елиминисан из употребе у обимној научној, стручној и наставној литератури, посебно на нашем говорном подручју.¹²⁶ Из тог разлога, уважавајући интердисциплинарни приступ код проучавања подземних вода, сматрамо да није погрешно равноправно користити један и/или други термин.

Појам подземне воде обухвата сву воду испод топографске површине и у склопу литосфере. Подземна вода предмет је проучавања научне дисциплине геохидрологије (хидрогеологије). Без обзира који термин користили, наука о подземним водама проучава поријекло, просторни положај, кретање, хемијски састав и физичка својства подземних вода. Наука о подземним водама проучава, такође, режим подземних вода и њихово билансирање а посебно услове стварања лежишта изданских вода и ефекте које ствара крећући се кроз литосферу.

Према П. Радичевићу¹²⁷ „савремена хидрогеологија је у блиској вези са Општом геологијом (из које је израсла), вулканологијом, минералологијом, климатологијом, хидротехником, геотехником, рударском техником, балнеологијом, лежиштима минералних сировина, хидрохемијом, геохемијом, геофизиком, агротехником, хидрауликом, педологијом, океанографијом, глациологијом и др“.

Са аспекта хидрогеографије истраживања су усмјерена на онај дио подземних вода које учествују у сталним и релативно брзим измјенама при кружењу воде у природи.¹²⁸ Та вода има значајне квантитативне и квалитативне трансформације, јер је константно у процесима сталне измјене (обнове) и процесу аутопурификације (самопречишћавања) а основни је генератор појаве (количине) воде на површини копна.

Код проучавања подземних вода данас се у појмовно – термилошком смислу геохидрологије (хидрогеологије) разликује ужи и шири појам подземне воде. Најшире схватање обухвата воду у сва три агрегатна стања (течно, чврсто и гасовито стање). У ужем смислу, ријеч је о води у течном стању, која је врло важан сегмент сталног кретања воде у природи.

Подземне воде према хидродинамичким одликама могу бити:

а) *слободне воде* - испуњавају шупљине и поре у стијенској маси Земљине коре и које се највећим дијелом јављају на топографској површини;

б) *везана вода* – у зависности од степена порозности стијена вода приања чврсто уз честице стијена и тај спој може бити изузетно јак.

Теоретски прорачуни показују да се вода у течном стању може наћи до дубине од око 18.5 km. Мада је, у складу са геотермичким степеном,¹²⁹ на тим дубинама температура од 560 – 600°C, вода због великог притиска не може да пређе у водену пару.

¹²⁶ На већини Рударско – геолошких факултета бивше СФРЈ и данас је актуелан *Смјер за хидрогеологију*, са низом самосталних дисциплина, као што су: Хидрогеологија лежишта минералних сировина, Специјална хидрогеологија и сл.

¹²⁷ Радичевић П., Геологија за географију, стр. 165, Научна књига, Београд, 1991.

¹²⁸ Према Табели 8 – измјена залиха укупне подземне воде траје у процесу кружења воде у природи око 1400 година.

¹²⁹ Геотермички степен – интервал дубине Земљине коре у метрима на коме се температура повећава за 1°C; колеба се у зависности од дубине и положаја од 5 m до 150 m, мада се за теоретске прорачуне узима просјечна вриједност од 33 m.

Међутим, због ограничености одређених истраживања¹³⁰ тешко је дати прецизне до којих се дубина вода налази у течном стању. Емпиријски је утврђено да дубине од 500 m испод топографске површине¹³¹ садрже највеће количине воде у течном стању. Бројне бушотине су показале да је течна вода заступљена и у слоју између 1.0 – 1.5 km, док на дубини од 3.3 km температура износи 100°C и вода прелази у пару. Рачунајући, углавном, порозност стијена до дубине од 9.0 km разни аутори дају и различите вриједности за количине вода. Те процјене се крећу од 15 000 km³ до 1 175 189 km³. По Д. Дукићу (1984), количина воде у литосфери, до дубине од 16.0 km, износи 400 000 000 km³. Лимитираност техничких средстава нам показује да се укупна количина подземних вода, још увијек, не може тачно утврдити. Стога и не треба да чуди да су, у данашњој литератури, присутни изузетно супростављени подаци о количини воде у литосфери – од неколико хиљада km³ па до неколико стотина милиона km³.

Историјат проучавања подземних вода. Без обзира што је вода један од основа егзистенције хумане популације, *homo sapiens* је тек ширењем екумене био приморан да трага и за скривеним, подземним водама. Прва знања могао је (*homo speleus*, оп.а.) да стекне боравком у влажним пећинама или копајући влажно земљиште (по угледу на неке животиње). Касније се јављају и први копани бунари,¹³² посебно у аридним подручјима. На подручју данашњег Ирана и Египта, у VIII в.п.н.е. били су познати системи за водоснабдијевање насеља и наводњавање ораница под именом *каризи*.¹³³

Од грчких филозофа, о положају и понашању подземних вода, своја теоретска схватања дали су Талес из Милета, Платон и Аристотел. Талес из Милета је схватио основе *инфилтрационе хипотезе* а њене основе исправно је изложио Марко Витривије Полио у I вијеку прије наше ере. Кинеска цивилизација познаје захватање воде из бунара и извора још у III миленијуму прије нове ере. Помоћу бамбусових штапова бушени су бунари до дубине од 1600 метара. С обзиром на техничке могућности у тадашњој Кини, реална је чињеница да су ове бунаре градиле генерације Кинеза.

С друге стране, Римско царство ће, између осталог, остати упамћено по техници захватања подземних и изворских вода.

Година 1126. остаће заувјек записана у историјату проучавања подземних вода. Те године је у Француској (покрајина Артуа) избушен први бунар из којег је вода истицала под притиском.¹³⁴ Врло је вјероватно да су и старе цивилизације знале за артешке издани, међутим од 1126. године у појмовни систем хидрологије (подземних вода) улазе термини артешки/артески бунар и артешка/артеска издан.

Друга половина XVII вијека је период првих експерименталних истраживања подземних вода, а почетак XIX вијека је период интензивног развоја технике бушења дубоких бунара. „Чувени географи, геолози и инжењери, као што су Darsy (1856. г.), King (1899. г.), Darton (1896. г.) објављују веома значајне студије о подземним водама чиме је ударен и темељан основ савременој хидрогеологији. У том периоду значајни су и радови Slichtera који је теоретски разрадио зависност кретања подземних вода од гранулације материјала, односно, величине зрна. Најзад Е. Sis , почетком овог века,¹³⁵ објављује посебну студију о поријеклу термалних вода, називајући их јувенилним, чије јављање везује за појаву и активност вулкана.

¹³⁰ Мали је број бушотина, данас у свијету, које су продрле више од 10 000 метара у дубину Земљине коре.

¹³¹ У овом случају мјерење дубине је у односу на нулту изотерму (евстатички ниво мора).

¹³² У Библији се спомиње Јаковљев бунар који се сматра најстаријим копаним и грађеним бунаром на свијету.

¹³³ Видјети оопширније: Петровић Ј., Богдановић Ж., Хидрологија – подземне воде, стр. 2 – 5, Институт за географију, Нови Сад, 1998.

¹³⁴ Артешки извор (артески извор), извор који настаје ако се природним путем пресјече горњи ниво артешке/артеске издани; ако се то учини вјештачким путем, настаје артеши/артески бунар.

¹³⁵ Мисли се на XX вијек, оп.а.

Његова схватања су, и поред супротних мишљења, коначно и прихваћена као научна доктрина“.¹³⁶

На географском простору бивше СФРЈ било је низ стручњака из географије, геологије и других научних дисциплина, који су дали значајан допринос проучавању подземних вода (А. Алексић, Ј. Стефановић – Виловски, М. Шеноа, Ј. Цвијић и др.).

Значај проучавања подземних вода. Истраживање и проучавање подземних вода има изузетан значај за површинску ријечну мрежу, водоснабдијевање, наводњавање, очување квалитета животне средине, балнеологију и др. Валоризација подземних вода огледа се првенствено у њиховом привредном значају: водоснабдијевање становништва, насеља, индустријских погона и наводњавање пољопривредних површина. Међутим, ништа мањи значај није ни код реализације пројеката мелиорације,¹³⁷ при изградњи водојаза, изградњи објеката инфраструктуре и др. Подземне воде имају посебан значај у лежиштима минералних сировина (рудничке воде, оводњеност и одводњавање). Када је у питању балнеотерапија¹³⁸ минералне, термалне и термоминералне воде служе за лијечење разних обољења, али и за општу рекреацију. Термалне воде се такође могу користити за загријавање урбаних простора, саобраћајница и пластеника и сл.

Данас је проучавање подземних вода значајно усмјерено и на њихову економску експлоатацију. Наиме, све је већи број пунионица природних изворских и минералних вода уз стални раст потрошње стоних (флашираних/пакованих) вода. Можемо закључити да је улога подземних вода у водоснабдијевању данас веома важна, а у аридним географским просторима она има непроцјењиву вриједност.

2.1. Поријекло, услови и појава подземних вода

Све врсте воде у литосфери, испод топографске површине, без обзира на поријекло и физичко – хемијске особине, можемо дефинисати општим називом – *подземне воде*. Овом дефиницијом распрострањеност подземне воде није ограничена на више нивое литосфере (горњи дио Земљине коре), него се, напротив, подземна вода јавља и у великим дубинама, у зонама високих температура и високих притисака.

Ове воде се налазе у стијенској маси и у растреситом површинском покривачу литосфере, односно у порама,¹³⁹ пукотинама и шупљинама.

Подземне воде у литосфери се јављају у течном, чврстом или гасовитом стању; најчешће у течном стању (слободна и везана вода). Подземна вода у гасовитом стању, као водена пара, јавља се у свим дијеловима литосфере. Подземне воде у чврстом стању (лед) јављају се у вишим географским ширинама и на високим планинама. Подземне воде у замрзнутом стању називамо *тјел* или *мрзлота* (*мјерзлота*).

Досадашња истраживања показују да порозни површински дио литосфере представља медијум гдје се интензивно мијешају (и размјењују) воде из три геосфере: атмосфере, хидросфере и литосфере (условно у биосфери).

¹³⁶ Петровић Ј., Богдановић Ж., цит. изд., стр 5.

¹³⁷ Мелиорација (лат. *melioratio* – побољшање), укупност организационо – привредних и техничких мјера за побољшање природне средине (углавном пољопривредног земљишта), прије свега путем регулисања њеног водног режима. Разликују се мелиорација наводњавања и мелиорација одводњавања, затим шумске мелиорације, агрошумске мелиорације, хемијске мелиорације и др.

¹³⁸ Балнеотерапија (лат. *balneum* – купатило + грч. *therapeia* – његовање, лијечење), примјењивање минералних извора у лијечењу болесника; бањско лијечење.

¹³⁹ Поре (грч. *poros* – пролаз, отвор, цијев); у *физици*: међумолекулски простори, невидљиве пукотине; најситнија рупица, размак између дјелића неке материје).

Вода у педосфери, која представља порозни површински дио литосфере, је под утицајем молекуларних,¹⁴⁰ капиларних,¹⁴¹ гравитацијских¹⁴² и других сила. Због тога се подземна вода одликује низом особености у погледу квалитета, стања, својстава и начина кретања.¹⁴³

Према П. Радичевићу¹⁴⁴ видови вода у стијенама су:

1. вода у облику паре,
2. физички везана подземна вода,
3. слободна вода,
4. вода у чврстом стању,
5. хемијски везана вода.

Вода у облику паре налази се у земљишту у врло малим количинама (хиљадити дијелови процента), али има изузетну улогу у процесима распадања стијена и исхране биљака. Физички везана вода са силама молекуларног привлачења држи за минералну честицу. Код физички везане подземне воде разликују се: хигроскопна и опнена вода.

*Хигроскопна или адсорпцијска*¹⁴⁵ вода је дио подземних вода којег молекуларне силе држе за минералну честицу притиском који је ранга величине 10^9 Ра.¹⁴⁶ Количина хигроскопне воде је зависна од величине распореда гранула (зрна), то јест од унутрашње површине петрографско – педолошког слоја, као и од релативне влажности ваздуха. Повећана унутрашња површина стијена (земљишта) и количина релативне влажности утичу на повећање хигроскопности. Хигроскопна вода, у правилу, не подлијеже сили теже, не учествује директно у процесима отицања, преноси хидростатички притисак, не мрзне се на 0°C (већ на -78°C).

Табела 12. Количина хигроскопне воде у различитим стијенама

Ред. број	КОЛИЧИНА ВОДЕ У РАЗЛИЧИТИМ СТИЈЕНАМА (ЗЕМЉИШТИМА)	
	Врста стијене (земљишта)	Хигроскопност у %
1	2	3
1.	пијесак	0.36
2.	прашинасти пијесак	4.60
3.	квартарна иловача	6.53
4.	лес	7.00
5.	глинени пјешчар	10.34
6.	терцијерна глина	17.60

(Извор: Богомолов, В.Г., 1958)¹⁴⁷

*Опнена (адхезијска*¹⁴⁸ *или пеликуларна) вода је физички везана вода која попут танке коже надсвођује хигроскопну воду (обавија минералну честицу и хигроскопну облогу слојем*

¹⁴⁰ Молекул (фран. *molécule* – мала маса), најситнији дјелић једног тијела који још задржава сва својства своје првобитне цјелине.

¹⁴¹ Капилари (лат. *capillus* – влас, коса, длака), цјевчице са танким каналима; танки канали различитих врста (нпр. поре у земљишту).

¹⁴² Гравитација (лат. *gravitas* – тежа), привлачење, основно својство масе; својом масом тежити, приближавати се неком другом тијелу.

¹⁴³ Видјети опширније: Радичевић П., цит. изд., стр. 171 – 175.

¹⁴⁴ *Ibidem*, стр. 172.

¹⁴⁵ Адсорпција (лат. *adsorptio*), *физ.* задржавање гасова, пара или течности на чврстој површини, усљед привлачних веза са површином.

¹⁴⁶ Паскал, *физ.* мјерна јединица за притисак (напон) у Међународном систему мјерних јединица. То је притисак који производи сила од једног Њутна на равну површину од 1 m^2 ($1\text{ Pa} = 1\text{ N/m}^2$).

¹⁴⁷ Bogomolov, V.G., *Grundlagen der Hydrogeologia*, стр. 187., Berlin, 1958.

различите дебљине). Кретање јој је споро, а одвија се од зрна велике дебљине опне до зрна мале дебљине опне, у циљу изједначавање дебљине.

Слободне (гравитационе) воде могу бити: капиларне, амбулантне и изданске. Гравитациона вода је онај сегмент подземних вода који може слиједити ефекат силе теже и слободно се кретати у земљишту и кроз стијенску масу

Капиларне воде су оне воде које се крећу под утицајем површинског напона у правцима капиларних шупљина (капилара).¹⁴⁹ Капиларне воде, по правилу, изнад слободне површине издани образују појас и под сталним су утицајем више сила, на примјер адхезије, кохезије¹⁵⁰ и гравитације. Вода се пење у капиларима у зависности од притиска ваздуха у порама стијенске основе. „Капиларно издизање вода има посебно значење за вегетацију. Кроз крупне поре пролази вода слободно. Кроз средње поре пролаз воде је најповољнији за раст биљака. Кроз ситне поре пролаз је тако мален да биљка уопће не може добити воде и почиње венути, биљка се суши“.¹⁵¹

Табела 13. Капиларно издизање воде у различитим стијенама

Ред. број	КАПИЛАРНО ИЗДИЗАЊЕ ВОДЕ У РАЗЛИЧИТИМ СТИЈЕНАМА	
	ВРСТА СТИЈЕНЕ (ЗЕМЉИШТА)	ИЗДИЗАЊЕ ВОДЕ (y cm)
1	2	3
1.	Шљунак (крупни пијесак)	< 3
2.	Средњозрнасти пијесак	20 – 40
3.	Ситнозрнасти пијесак	40 – 80
4.	Глиновити пијесак - лес	100 – 400
5.	Глина	> 400

(Извор: Богомолов Г.В.,1958)

Амбулантне воде су лутајуће,¹⁵² које са топографске површине пониру у виду цурака¹⁵³ према непропусној подлози. Ове воде учествује у формирању изданских вода, које се у маси крећу кроз шупљине стијена по законима хидраулике

Воде у чврстом стању могу бити оне подземне воде које се налазе у подручју дејства ниских температура. Подземни лед се налази у горњим слојевима литосфере. По времену настанка разликују се савремени и фосилни подземни лед а по поријеклу разликујемо примарни лед (настао у процесу замрзавања растреситих наслага) и секундарни лед (продукт кристализације воде и водене паре у пукотинама, порама и шупљинама). Подземни лед је везан за области распрострањења стално замрзнутих стијена.

Хемијски везана вода је хемијским процесима укључена у састав минерала. У оквиру хемијски везаних вода разликују се : конституциона, кристалациона и зеолитска вода.

Конституциона вода је у облику хидроксилних група¹⁵⁴ (ОН¹⁻, Н⁺, Н₃О⁺), саставни дио кристалне¹⁵⁵ решетке минерала (мусковит, апатит, топаз и др.). Загријавањем од 300°C до 1000°C

¹⁴⁸ Адхезија (лат. adhesio), у физици: сила којом се привлаче молекули разних тијела; пеликула (лат. pellicula – кожа).

¹⁴⁹ Капилари (лат. capillus – влас, коса, длака), танки канали разне врсте; капиларност – особина течности да се диже (или спушта) по капиларима.

¹⁵⁰ Кохезија (лат. coherere – бити везан, приањати), унутрашња сила која дјелује између молекула неког тијела држећи их на окупу.

¹⁵¹ Ј. Риђановић, цит. изд., стр. 88.

¹⁵² Амбуланта (лат. ambulare – шетати, путовати); амбулантан – покретан, преносив, путујући.

¹⁵³ Цурак – мали водени ток; вода се у њима споро креће – цури.

¹⁵⁴ Хидроксил (грч. hýdōr - вода + охýс – кисео), у хемији негативно једновалентни радикал једињења – ОН, основни дио хидроксида који условљава његову базичност.

конституциона вода елиминише се из минерала, уз потпуну деструкцију кристалне (кристаласте) решетке.

Кристализациона вода улази у састав кристалне решетке минерала у облику молекула воде (епсомит,¹⁵⁶ карналит,¹⁵⁷ гипс,¹⁵⁸ аналгам и др.). У одређеним физичким условима кристализациона вода се може укључивати у кружење воде у природи.

*Зеолитска вода*¹⁵⁹ је такође у саставу кристалне решетке минерала, али је за њу везана најслабије па се без промјене својства минерала може постепено удаљити.

У зависности од особина стијена (минерални и хемијски састав и одређене структурне карактеристике) и особина топографске површине која утиче на услове храњења и појаву извора, подземне воде немају правилан и уједначен распоред у Земљиној кори.

Подземне воде имају вишеструк значај: дјелују као деструктивни фактор,¹⁶⁰ али и као фактор стварања нових минерала и стијена. То практично значи да се подземне воде не јављају у чистом стању већ садрже разне растворљиве материје (минерали и гасови). Како подземне воде продиру у све празне просторе стијена и минерала, у цијелој литосфери, можемо рећи да је деструктивно – креативни ефекат подземних вода разноврстан и свеобухватан.

Подземна вода настаје из више извора, што је предмет интересовања људи већ више од пар хиљада година. Различита схватања присутна су и данас и обухватају више теорија/хипотеза о поријеклу подземних вода.¹⁶¹

Табела 14. Основна структура подземних вода

ОСНОВНЕ ГРУПЕ ПОДЗЕМНИХ ВОДА	ПОДГРУПЕ ПОДЗЕМНИХ ВОДА
1	2
1. Вадозне воде	Инфилтрационе воде Кондензационе воде (метеорске и вулканске) Инфлуационе воде
2. Јувенилне воде	Магматске воде (примарне и секундарне) Вулканске воде Метаморфно – дехидратационе
3. Конатне воде	Морске Језерске
4.	Космичке воде – воде страног поријекла

(Извор: А.М. Жирмунски, А.А. Козирјев, 1928; Ј. Петровић, 1995)

Подземне воде се разликују по свом непосредном поријеклу. Најзначајнији извори поријекла подземних вода резултат су, прије свега, начина појављивања, одређених стања, способности

¹⁵⁵ Кристал (грч. *krýstallos*), у минералогии тијело ограничено равним геометријским површинама и у свим дијеловима подједнаких хемијских састава; кристали су грађени по типу просторне решетке која представља скуп правилно периодично распоређених тачака у простору.

¹⁵⁶ Минерал магнезијума ($Mg SO_4 \cdot 7H_2O$).

¹⁵⁷ Минерал натријума и калијума ($KMgCl_3 \cdot 6H_2O$).

¹⁵⁸ Минерал калцијума ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$).

¹⁵⁹ Зеолити (грч. *zēō* - кључам + *líthos* – камен), група већином бијелих, сјајних и лиснатих минерала, углавном силиката са водом, натријумом и калцијумом; зеолити су природни силикати.

¹⁶⁰ Деструкција (лат. *destructio*), рушење, разарање, уништавање, преврат.

¹⁶¹ С обзиром да у научној, стручној и наставној литератури не постоји јединствено мишљење о постанку подземних вода (видјети опширније: Радичевић П., цит. изд., стр. 169 – 171; Дукић Д. Гавриловић Љ., цит. изд., стр. 23 – 24; Николић П., Основе геологије, стр. 117, Научна књига, Београд, 1998.) основну структуру подземних вода представимо у Табели 14.

кретања и др. На основу тога све подземне воде се дијеле у три основне групе (Табела 14): вадозне,¹⁶² јуvenilне,¹⁶³ конатне¹⁶⁴ и (по)мијешане воде.

„Оваква подела подземних вода, према њиховом пореклу, плод је вековних истраживања и научних сазнања. Истина ова подела, прихваћена од већине хидрогеолога, има и својих недостатака који се огледају, првенствено, у непостојању норматива за прецизније разграничавање појединих подгрупа подземних вода. С обзиром на своја различита својства и стања у којима се јављају, подземне воде у природи се ретко где могу срести у „чистом стању“ већ су махом сједињене и помешане. То се односи на све три основне групе, а поготово на групу јуvenilних подземних вода, јер су процеси из којих ове воде постају јединствени и удружени“.¹⁶⁵

Инфилтрационо поријекло подземне воде. Према инфилтрационом¹⁶⁶ поријеклу подземних вода површинске и атмосферске воде пониру (продиру) кроз шупљине стијена и испуњавају их дјелимично или у потпуности до одређеног нивоа. Теорију инфилтрације, најстарију теорију о поријеклу подземне воде, први је (исправно) изложио Марко Витрувије Полио (I вијек п.н.е.) а детаљно су разрадили Б. Полиси (B. Polissy, 1509 – 1589), Е. Мариет (E. Mariette, 1620 – 1684) и П. Перло (P. Perlot, 1608 – 1680).

Један од доказа инфилтрационог поријекла подземне воде је промјена нивоа воде у бунарима: у кишном периоду долази до повишења нивоа воде, а у сушном периоду до опадања нивоа воде.

Инфилтрациона теорија, дуго времена прихваћена од већине хидролога, има и своје слабе стране. Прве сумње су се јавиле након истраживања подземних вода у пустињским областима. У тим, површински безводним просторима гдје нема падавина, на одређеним дубинама (одређеној дубини) се налазе подземне воде. Слично је и са поларним крајевима, гдје је такође врло мало падавина.¹⁶⁷

Највећа количина атмосферских падавина продире у Земљину кору у географским просторима који су изграђени од стијена са доста шупљина а најмању инфилтрацију имаће простори изграђени од контактних, водонепропусних стијена. На основу тога Ј. Петровић и Ж. Богдановић¹⁶⁸ су дали сљедећи образац за израчунавање количине инфилтрационих вода:

$$K = P - O - I - B$$

при чему је : K – количина инфилтрационих вода; P - укупна количина падавина; O – отицање; I – испаравање; B – биосфера.

Досадашње анализе показују да инфилтрационе воде садрже HCO₃, SO₄¹⁶⁹ и азотне гасове а минерализација им је ријетко већа од 5 – 15 g/l; хлориде садрже у малим количинама. Позиција им је углавном на малим дубинама, у растреситим наслагама или у стијенама које су добро испране од хлорида¹⁷⁰ морског соног комплекса.

¹⁶² Вадозни, од лат. vadosus – плитак.

¹⁶³ Од лат. juvenilis – младалачки.

¹⁶⁴ Од лат. sonatus – заједно рођен.

¹⁶⁵ Петровић Ј., Богдановић Ж., цит. изд., стр. 9.

¹⁶⁶ Инфилтрација (фран. infiltration) – продирање, увлачење, цијеђење, процјеђивање.

¹⁶⁷ Без обзира на одређене недоумице и данас се сматра да највеће количине подземних вода настају инфилтрацијом.

¹⁶⁸ Петровић Ј., Богдановић Ж., цит. изд., стр. 10.

¹⁶⁹ Сулфати (лат. sulfur – сумпор), соли сумпорне киселине.

¹⁷⁰ Хлорид (грч. chlōrōs), со хлороводоничне киселине; једињење хлора са неким другим елементом или радикалом (једноставна или сложена материја која са другом неком материјом може да образује киселину или базу).

*Кондензационе*¹⁷¹ воде се образују од водене паре подземних дијелова атмосфере која, услјед општих струјања ваздуха доспијева у шупљине стијена, као и од водене паре која долази из дубљих слојева Земљине коре или из близине вулканских огњишта. Начин стварања воде путем процеса кондензације био је познат хуманој популацији која је насељавала пустињске и/или полупустињске просторе наше планете.¹⁷² Значајна искуства за настанак кондензационих вода везан је за спелеолошке објекте, посебно за оне гдје су присутна ваздушна струјања. Хлађење топлог ваздуха доводи до кондензације на своду и зидовима пећинских система гдје се вода слива до дна пећинских ходника и канала и формира мање или веће акумулације кондензационе воде.

Теоретску, разрађену основу о постанку кондензационих вода дао је њемачки инжењер О. Волгер¹⁷³ на конгресу (инжењера) у Франкфурту на Мајни 1887. године. Корекцију теоретске основе Волгера о постанку кондензационих вода је дао А.Ф. Лебедев¹⁷⁴ који тврди „да у шупљине не продира ваздух него само водена пара коју он садржи“¹⁷⁵ и он мијења агрегатно стање при одређеним температурним условима. А.Ф. Лебедев је математичким путем дошао до податка да се кондензацијом може створити слој воде моћности од 16 – 18 см, али да то представља ипак само мањи дио од укупних резерви подземне воде.

Убризане воде (инјективне¹⁷⁶ воде) припадају такође, вадозним водама а поријекло им је, најчешће, од вода ријечних токова. Наиме, у равничарским географским просторима, у доњим токовима моћних ријека са високом амплитудом водостаја, у вријеме високог водостаја у ријечној корити и ниског водостаја подземних вода врши се продирање (убризгавање) ријечне воде у издан. Према Ј. Петровићу и Ж. Богдановићу (1995) „такве воде нарочито су заступљене у седиментима пространих алувијалних равни великих равничарских река. Јављају се у свим деловима Панонског басена, у котлинама и у доњим деловима притока Саве и Дунава“.

Јувенилне воде

Издвајањем водоника и кисеоника из унутрашњости наше планете и њиховом синтезом настаје вода у течном стању, односно најмлађа вода (вода који се први пут рађа). Јувенилна вода је врста подземне воде која настаје ослабаћањем из магме, односно то је подземна вода која се као пара ослобађа из Земљине унутрашњости и кондензује на путу ка површини Земље. Но, исто тако, јувенилна вода настаје и ослобаћањем из стијена у процесу њихове дијагенезе,¹⁷⁷ као и другим процесима.

Прву комплексну теорију о настанку јувенилне воде дефинисао је геолог Е. Сис (E. Süss, 1831 – 1914) на конгресу у Карловим Варима (Република Чешка) 1902. године. Е. Сис је аргументовано указао на везу између магме и минералних вода, чиме је стекао велики број присталица *јувенилне теорије*. Подјела јувенилне воде (в. Табелу 14) зависи од тога да ли се синтеза водоника и кисеоника деасила у магми (*магматске воде*), лави (*вулканске јувенилне воде*) или је вода настала ослобаћањем воде која је била везана у појединим минералним стијенама (*метаморфно – хидратационе воде*).

¹⁷¹ Кондензација (лат. condensatio), физ. згушњавање, претварање паре у течност путем расхлађивања или притисака.

¹⁷² Стари народи су сакупљали кондензационе воде у вјештачким ходницима и галеријама.

¹⁷³ Према Ј. Петровићу и Ж. Богдановићу њемачки инжењер се зове О. Валпер.

¹⁷⁴ А.Ф. Лебедев, руски агроном (1882 – 1936).

¹⁷⁵ Д. Дукић, Љ. Гавриловић, цит. изд. стр. 24.

¹⁷⁶ Инјектирати (лат. injectio), убацивати, убризгати.

¹⁷⁷ Дијагенеза (грч. dia – префикс који у овом случају означава крај дејства + genesis – рођење, постанак), укупност природних процеса преображавања растреситих талоба на дну водених басена и на копну, у седиментне стијене под прирском, услјед губитка воде или посредством неког цементирајућег материјала.

У јувенилне воде се убраја и *космичка вода*, која са метеоритима доспијева на нашу планету. Магматске воде постају у процесу хлађења и диференцијације магме. Издвојена течна вода креће се под великим притиском постојећим пукотинама и прелинама кроз литосферу и успут задржава у подземним резервоарима или избија на површину.¹⁷⁸ Магматске воде најчешће избијају на топографску површину као термалне воде. Канали којима се крећу ове воде предиспонирани су дубоким расједним пукотинама. Магматске воде су најчешће и минералне, јер се под великим притиском и високим температурама обогаћују разноврсним минералима. Вулканске воде¹⁷⁹ могу да настану из лаве која се хлади и диференцира непосредно испод топографске површине или се образују на површини, пошто се лава излије из кратера. Зависно од начина образовања, вулканске воде имају и различите температуре. Метаморфне воде постају у процесу дехидратације (дехидратације).¹⁸⁰ То су јувенилне воде које се јављају у многим минералним стијенама најчешће као *кристализационе* или *конституционе*. Количински, ове воде су значајне јер неке стијене (глине, тресет, млађи угљеви и др.) садрже и преко 50% воде.

Реликтне воде

Теорија о реликтном¹⁸¹ поријеклу воде дефинише подземне воде из дубоких хоризоната литосфере као остатак воде прастарих мора и језера. Седименти таложени у морским или језерским басенима, муљ, пијесак, шљунак и сл. богато су натопљени сланом или слатком водом. Послије повлачења мора или ишчезавања језера из површинских дијелова наталожених седимената вода испари, док се у дубљим дијеловима, у доњим слојевима задржи у петрографској структури.

На нашем говорном подручју те воде су познате под називом *контатне воде*. Сматра се да контатне воде откривене у Панонској низији дубинским бушењима су у ствари воде неогеног Панонског мора.

Органска вода. Ова вода настаје ослобађањем из организама који послѣ изумирања доспијевају у седиментациону средину, гдје се утискују, очвршћавају и чине саставни дио стијене.

Подземне воде ријетко се могу наћи у примарном (првородном) стању, као чисто јувенилне или чисто вадозне. У литосфери долази до њиховог мијешања и промјене физичко – хемијских особина под утицајем разних реагенаса.¹⁸²

Услови и појава подземних вода

Једну од значајнијих природних особина стијена представља присуство воде у њима. Основна хидрогеолошка обиљежја стијена које учествују у грађи литосфере су водопропустљивост, влажност, капиларност и издашност, а битну детерминанту тих обиљежја представља гранулометријски састав стијена. Под гранулометријским или механичким саставом растреситих стијена подразумева се њихов садржај у честицама (зрнима) различите величине.

Групе зрна одређене размјере називају се фракције. Размјере фракције одређују се према њиховом пречнику и изражавају се обично у милиметрима.

Водопропустљивост стијена. Кретање воде кроз стјеновиту средину зависи од низа фактора. Неке стијене омогућавају континуирану циркулацију воде, док у другим случајевима стијене су непремостива баријера за кретање подземне воде.

¹⁷⁸ Видјети опширније: Ј.Петровић, Ж. Богдановић, цит. изд., стр. 13.

¹⁷⁹ *ibid.*, стр. 14.

¹⁸⁰ Дехидратација (лат. de + грч. *hýdōr* – вода), одузимање или губљење воде.

¹⁸¹ Реликти (лат. *relictus*) – остатак; реликтна језера – остатак некадашњих (старих) бвеликих језера.

¹⁸² Реагенс (нлат. *reagens*), ствар (материја) која изазива супротно дејство.

Због тога се стијене дијеле, са становишта пропустљивости воде, на двије групе:

- а) водопропустљиве стијене, и
- б) водонепропустљиве стијене.

Најкраће речено, под водонепропустљивошћу стијена подразумева се њихова способност да кроз себе пропуштају воду. Вода се у стијенама може кретати под утицајем:

силе теже (**гравитационо кретање**); спољашњег притиска; капиларних сила (**капиларно кретање**); адсорпционих сила (**опнено кретање**); капиларно – осмотских сила, ако у разним дијеловима стијене постоји разлика у концентрацији материјала растворених у води (**осмотско кретање**); електричне струје при разлици потенцијала (**електро – осмоза**); испаравања; замрзавања; притиска гасова и пара.

Водопропустљивост се у хидрогеологији обично дефинише коефицијентом филтрације (K_f) а изражава се у cm/s, m/s или m/дан, то јест коефицијент филтрације има димензије брзине.

Количина подземне воде у највећој мјери зависи од понирања атмосферске воде у литосферу, а понирање воде и њено кретање кроз стијене зависи од:

- а) литолошког састава терена,
- б) нагиба терена,
- в) присуства вегетације,
- г) климатских услова терена, као и неких других услова.

Основну улогу, а по многим хидролозима и пресудну улогу има састав средине: физичка и механичка својства земљишта (тла) и физичка и/или техничка својства стијена.¹⁸³

Физичка и физичко-техничка својства зависе од својстава петрогених минерала, структуре и текстуре,¹⁸⁴ као и од степена распаднутости и испуцалости (испрскалости) стијене. За потребе хидрогеологије (геохидрологије), теренски и лабораторијски, се проучава: распадање стијена, карстификација, водопропустљивост, гранулација; затим водоносна, термичка, електрична, магнетна, еластична, радиоактивна, физичкотехничка и технолошка својства стијена.

Стијене које учествују у грађи литосфере, без обзира на степен густине (збијености), одликују се и појавом мањих или већих шупљина, пукотина и прслина. Запремина ових шупљина, односно пора у јединици стијенске масе назива се *порозност*.¹⁸⁵

Према М.Е. Аљтовском (1962) под порозношћу стијена подразумева се простор који у њима заузимају шупљине. Количински, порозност (n) се изражава односом запремина шупљина према укупној запремини стијене. Порозност се исто тако може изразити и путем коефицијента порозности (ϵ). Однос запремине шупљина према запремини чврсте фазе (скелета) стијене назива се *коефицијент порозности стијена*.

Порозност се изражава у дијеловима јединице или у процентима, а коефицијенти порозности само у дијеловима јединице.

Порозност у дијеловима јединице рачуна се по формули:

$$n = \frac{Y - \delta}{\delta}, \quad (1)$$

$$n = 1 - \frac{\Delta}{Y(1 + W)}, \quad (2)$$

гдје су :

Y = специфична тежина у g/cm^3 ;

δ = запреминска тежина скелета у g/cm^3 ;

W = влажност у дијеловима јединице;

Δ = запреминска тежина влажног земљишта у g/cm^3 ;

¹⁸³ Видјети опширније: П. Радичевић, цит. изд., стр. 177 – 187.

¹⁸⁴ Текстура стијена (лат. *textura* – ткиво, грађа) представља укупност обиљежја грађе стијена, условљених оријентацијом, положајем и распоредом њених саставних дијелова.

¹⁸⁵ Код неких геолога (в. П. Николић, цит. изд., стр 118) порозност једне стијене представља однос њене укупне запремине и запремине свих пора у њој.

Коефицијент порозности рачуна се по формулама:

$$\varepsilon = \frac{Y - \delta}{Y}, \quad (3)$$

$$\varepsilon = \frac{Y(1 + W)}{\Delta} - 1, \quad (4)$$

гдје су ознаке величине исте, као и у формулама (1) и (2).

Порозност стијена зависи од састава саме стијене, као и од гранулометријског састава (величине зрна која учествују у грађи стијене). Што су зрна која улазе у састав стијена већа, то је и порозност већа, односно стијене микрогранулације ће имати мању шупљикавост а тиме и порозност. Зависно од међусобне повезаности шупљина у порозним стијенама, порозност може да буде:

- а) активна, када су шупљине у стијенама међусобно повезане. што омогућује несметану циркулацију, и
- б) изолована, када су поре неповезане и нема циркулације воде у стијенској маси, тако да је вода изолована.

Порозност стијена зависи¹⁸⁶ од:

- а) крупноће зрна која граде неку стријену,
- б) асортимана зрна (међусобни однос зрна различите крупноће),
- в) састава везивног материјала, и
- г) густине, врсте, величине и карактера прслина и пукотина.

Порозност стијена може бити, у зависности од поријекла пора и шупљина:

- а) *примарна порозност*, гдје је шупљикавост настала за вријеме самог постанка стијена, што је одлика, углавном, седиментних стијена, и
- б) *секундарна порозност*, гдје је шупљикавост настала у стијенама накнадно, било дјеловањем егзогенних сила, било дјеловањем тектонских активности (тектонских покрета).

Секундарна порозност је уствари пукотинска порозност а њу чине све прслине¹⁸⁷ и пукотине које се јављају у стијенама и пресецају их на различите начине. Секундарној порозности припада и порозност настала карстном ерозијом а изузетно је распрострањена у подручјима гдје доминира кречњак (CaCO₃).

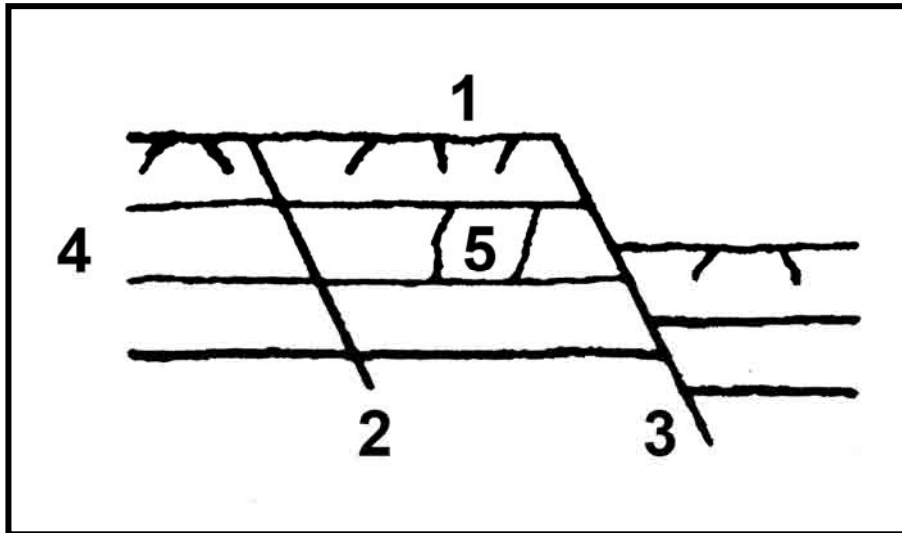
Класификација пукотина у површинским слојевима литосфере вршене су у оквиру различитих научних дисциплина: геологији, геоморфологији и хидрогеологији. А. Добре је у својој класификацији дефинисао слиједеће врсте пукотина (Слика 9):

- лептоклазе, ситне пукотине, настале углавном под утицајем температурних промјена;
- дијаклазе, шире и дубље пукотине које сијеку више слојева, али дуж њих слојеви нису поремећени (различитог су поријекла); дијаклазе су обично испуњене неком минералном супстанцом а дужина им достиже до 100 метара а ширина често око 10 cm;
- параклазе, шире и дубље пукотине, дуж којих су слојеви поремећени; најчешће су тектонског поријекла (расједи); одликују се великим димензијама: дужина им може износити и по неколико километара, дубина и преко хиљаду метара а ширина од неколико метара до више десетина метара. На параклазама се, првенствено, јављају термоминерални извори са дубинским водама.

¹⁸⁶ Видјети оширније: П. Николић, цит. изд., стр. 118 – 120; Ј. Петровић, Ж. Богдановић, цит. изд., стр. 16 – 21.

¹⁸⁷ Прслине – пукотине малих димензија, јављају се у великом броју и у различитим правцима; пукотине - могу имати ширину до 20 метара и дужину више стотина километара; раселине настају ако се дуж равни пукотине једно крило спусти или издигне.

- дијастроме,¹⁸⁸ међуслојне пукотине слојевитих и банковитих стијена, од великог су значаја за кретање подземних вода јер повезују све остале пукотине које пресецају слојеве;
- брахиклазе,¹⁸⁹ кратке пукотине које се јављају у слојевитим стијенама и пресецају само један слој; пружајући се између двије дијастроме имају велики значај за кретање воде у карсту;
- гравитационе пукотине¹⁹⁰ се јављају под одређеним условима у којима долази до изражаја сила теже. То су најчешће пукотине које се стварају на ивицама високих вертикалних одсјека, нарочито уколико је горња серија слојева подлокана и остала без ослонца.



Слика 9. Класификација пукотина по А. Добреу, Ј. Цвијићу и С.М. Милојевићу. 1 - лептоклазе; 2 - дијаклазе; 3 – параклазе; 4 – дијастроме; 5 – брахиклазе; (Извор: Р. Лазаревић, 2000)

Друге бројне класификације пукотина, које су од мањег значаја за разјашњавање стања и кретање подземних вода, разврставају пукотине по генетским типовима, без обзира на њихове димензије. Тако Турнак сврстава све пукотине у 4 групе¹⁹¹ :

- литогенетске* или *дијагенетске* пукотине, које настају већ приликом самог формирања стијена,
- расједне пукотине* и разни типови расједа, као: нормални, реверсни, коси, дијагонални и др; затим пукотине навлачења, сабијања и истезања и шкриљавости,
- карстне пукотине* и *карстне шупљине*,
- пукотине распадања* и пукотине постале дјеловањем Земљине теже.

Укупна порозност код стијена може да варира у широком распону: 0 – 90%. С тог аспекта порозност се може подијелити, условно, на три групе: а) мала порозност (укупност свих пора у стијени износи до 5%); б) средња порозност (5 – 15%), и в) велика порозност (> 15%).¹⁹²

¹⁸⁸ Ову врсту пукотина идвојио је Ј. Цвијић.

¹⁸⁹ Ову врсту пукотина идвојио је С.М. Милојевић (1938).

¹⁹⁰ Ibidem

¹⁹¹ Ј. Петровић, Ж. Богдановић, цит. изд., стр. 19 – 20.

¹⁹² Примјер порозности неких стијена у литосфери: инфузоријска (натопљена) земља и тресет (80 – 90%), муљ и хумус (око 50%), пијескови (око 35%), пјешчари (око 15%), угаљ (око 4%), мермер (1%) и разне компактне магматске стијене (око 1%).

Коефицијент испуцалости (K_0) се одређује на основу цјелокупне испуцалости стијена и представља укупну површину испуцалости, односно површину пукотина у јединици површине стијене (y %) и израчунава се помоћу обрасца:

$$K_0 = \frac{P_p}{P_s}$$

гдје је K_0 – коефицијент испуцалости; P_p – површина пукотина а P_s – укупна површина стијена заједно са пукотинама.

Испуцалост стијена је сврстана у четири категорије: 1. слаба, са K_0 до 2% ; 2. средња са K_0 од 2 – 5% ; 3. велика, са K_0 од 5 – 10% ; 4. веома велика, са K_0 преко 10% .

Водопропустљивост стијена не зависи само од укупне порозности стијена. Много више она зависи од величине самих пора, при чему је пропустљивост пропорционална величини пора: уколико су поре већих размјера пропустљивост је већа, док најситније поре онемогућавају кретање воде.

Из односа порозност – пропустљивост, према Ј. Петровићу,¹⁹³ све стијене се могу подијелити на:

а) *непорозне*, као магматске и масивне, па тиме и *непропусне*,

б) *веома порозне*, а непропусне, попут глине,¹⁹⁴ и

в) *порозне и пропусне*.

На основу водопропустљивости стијенска маса у литосфери се може подијелити (сврстати) у три групе¹⁹⁵:

а) *пропусне (пермеабилне)*¹⁹⁶ стијене су веома пропустљиве за воду, а у њима се образују и подземни резервоари;

б) *полупропусне (демипермеабилне)*¹⁹⁷ стијене одликују се смањеном водопропустљивошћу, и

в) *непропусне (импермеабилне)* стијене се одликују потпуном непропустљивошћу за воду.

Влажност стијена представља способност стијена да упију и задрже одређену количину воде.¹⁹⁸

Према М. Е. Аљтовском (1962) под влажношћу стијена подразумејева се садржај одређене количине воде у узорку, која се из стијене може одстранити сушењем на 100 – 105°C док тежина не постане константна. Влажност се изражава у процентима тежине апсолутно сувог чврстог дијела узорка. Потпуно влажност имају само оне стијене у којима се јавља изданска вода. „Вода коју стена садржи у природном стању означава њену *природну влажност*. Разлика између природних вода у стени и количине воде коју она може да прими назива се *дефицитом влажности* или *засићености*. Особина стена да апсорбују влагу из атмосфере, што зависи од њихове природе и састава, означава се као хигроскопност.¹⁹⁹ На основу свих ових особина стене су према степену влажности подељене у три групе, и то: а) стене велике влажности, б) стене средње влажности, и в) стене веома мале влажности“.²⁰⁰

¹⁹³ Ј. Петровић, Ж. Богдановић, цит. изд., стр. 22 – 24.

¹⁹⁴ Укупна порозност глина износи око 35%, али због тога што су испуњене изузетно малим порима, оне представљају водонепропусне стијене. Истовремено, кречњаци без пукотина и прслина су непропусни, али захваљујући подземним шупљинама и пукотинској порозности могу да садрже велике залихе воде.

¹⁹⁵ Ј. Петровић, Ж. Богдановић, цит. изд., стр. 22 – 23.

¹⁹⁶ Пермеабилан (лат. permeabilis), пробојан, пропустљив.

¹⁹⁷ Demi (фран.) у сложеницама : полу.

¹⁹⁸ Способност стијена да приме и држе у себи одређену количину воде још се назива и *сквашљивост стијена*. Разликују се следећи видови сквашљивости: максимална молекуларна сквашљивост (W_m); капиларна сквашљивост (W_k); пуна (тотална) сквашљивост (W_t); максимална хигроскопска сквашљивост (W_h).

¹⁹⁹ Хигроскопан (грч. hygros – влага + skorēb – посматрам) – који привлачи, упија влагу из ваздуха.

²⁰⁰ Ј. Петровић, Ж. Богдановић, цит. изд., стр. 22

*Капиларност.*²⁰¹ У стијенама различите порозности налази се и дио подземне воде који остаје везан за петролошку грађу и може се кретати само капиларно. Та вода не учествује у општој издашности. Капилари, односно танке шупље поре у стијенској маси, омогућавају кретање подземне воде (издизање и спуштање) под дејством адхезионе (силе којом се привлаче молекули разних тијела). Колебања нивоа капиларне воде износи од неколико центиметара до више метара. Денивелација (вертикално помјерање) капиларне воде има велики значај за вегетацију, формирање земљишта, као и за инжењерску геологију.

Специфична издашност означава количину слободне воде смјештене у одређеној стијени. Дио вода које потпуно засићена стијена може издати означава њен *коэффициент издашности*.

2.2. Физичке и хемијске одлике подземних вода

2.2.1. Физичке одлике подземних вода

Главне физичке одлике подземних вода у корелацији су са настанком стијена које садрже те воде (еруптивне, седиментне или метаморфне стијене), поријеклом тих вода, потребним временским периодом за обнављањем одређене издани, као и дијелом од хемијских особина подземне воде (степен минерализације). У најзначајније физичке одлике спадају: температура, боја, провидност, укус, мирис и електропроводљивост.

Температура подземне воде. Температура подземне воде (подземних вода) зависи од низа фактора а међу најзначајније спадају: извори топлоте за топографску површину и литосферу (температура ваздуха у доњим слојевима тропосфере, температура вододржљивог слоја у литосфери, температура површинских падавина, топлотне особине површинског слоја литосфере – топлотни капацитет и топлотна проводљивост чврсте, гасовите и течне фазе земљишта и пријекла воде) и поријекло воде.

Табела 15. Топлотни капацитет и топлотна проводљивост чврсте, гасовите и течне фазе земљишта

Саставни дио земљишта	Топлотни капацитет		Топлотна проводљивост (J/cm ² sec °C)
	Специфични (J/g °C)	Запремински (J/cm ³ °C)	
Пијесак и глина	0.75 – 0.96	2.05 – 2.43	0.00126
Тресет	2.0	2.51	0.00837
Ваздух у земљишту	1.00	0.00126	0.00021
Вода у земљишту	4.19	4.19	0.00502

(Извор: С. Оторепец, 1991)

Према Ј. Петровићу²⁰² температура вадозних инфилтрационих вода зависиће од спољашњих фактора (климатске одлике географског простора гдје су ове воде инфилтриране). За разлику од вадозних вода (слободних и везаних), температуре јувенилних, дубинских вода су зависне од начина њиховог постанка, дужине пређеног пута и брзине кретања.

Топлотни извори за површину Земље, дубље слојеве литосфере и земљишта и атмосферу, могу се подијелити у двије групе:

- а) топлотни извори из унутрашњости наше планете, и
- б) топлотни извори из васионе: звијезде, Мјесец и Сунце

²⁰¹ Видјети опширније: Видови вода у стијенама.

²⁰² Видјети опширније: Ј. Петровић, Ж. Богдановић, цит. изд., стр. 78 – 80.

Топлота је једна врста енергије, која се назива још и *молекулска енергија*. Топлота, према молекуларно – кинетичкој теорији о топлоти, настаје од унутрашњег невидљивог кретања молекула. Појам топлоте је увијек везан за извјесну масу тијела, односно за количину, те стога топлота има *квантитативну вриједност* и изражава се у дулима. Температура неког тијела јесте топлотно стање тога тијела; она има *квалитативну вриједност* и изражава се у степенима (°C, °F).

Звијезде као извори топлоте. Иако су астрономи утврдили да фотосфере појединих звијезда наше галаксије имају температуре и до 20000°C, звијезде као извор топлоте за Земљу немају никаквог утицаја, јер су веома далеко од нас. *Мјесец као извор топлоте*. Мјесец нема властити извор свјетлости и зрачење свјетлости потиче од рефлектованог Сунчевог зрачења а дијелом је то тамно зрачење Мјесечеве загријане површине. Изузетно велике амплитуде температуре површине Мјесеца (од 100.5°C до -53.8°C) немају скоро никакав значај за загријавање Земље и њене атмосфере.

Сунце као извор топлоте. Највећи дио појава и процеса у природи наше планете настаје под утицајем Сунчеве зрачне енергије. Сунце је (практично) једини извор за топлотну енергију горњих слојева наше планете (до дубине гдје се осјећа годишње колебање температуре).

Према Ј. Петровићу (1995) дневна колебања температуре стијена запажају се просјечно до дубине од 2.5 m. Уколико подземне воде леже плиће и код њих ће се манифестовати дневне промјене у температури. Но, треба нагласити да ће те дневне промјене температуре подземне воде бити веома мале. Сезонске, односно годишње промјене температуре у стијенама, у нашим географским ширинама (умјерени климатски појас), јављају се до дубине 25 – 30 метара. Испод те дубине се налази *неутрални слој*. Подземне воде које леже испод неутралног слоја не показују никаква годишња колебања температуре. Температура се повећава, у просјеку, са вриједношћу геотермичког степена (ступња) чија вриједност износи 1°C на 33 метра дубине Земљине коре.

Геотермички (геотермски) степен нема исту вриједност у свим стијенама и областима. У близини Пјатигорска (Русија) он износи 1.5 m а у Јужној Африци 111 m. У Европи је геотермички степен различит и вриједности се крећу од 19 m до 86 m. Из тих разлога температуре воде испод неутралног слоја негдје расту брже а негдје спорије.

Највеће годишње колебање температуре имају подземне воде у најплићим изданским зонама, које се налазе у субполарним предјелима и високим планинама (криогени процеси). У умјереним географским ширинама температурна амплитуда подземне воде није већа од 6°C.

Топлотни извори из унутрашњости Земље и температура подземних вода. Већ смо објаснили да пенетрацијом у литосферу температура појединих слојева расте са дубином. Тај пораст назива се геотермички степен који, међутим, не важи за почетних 10 – 25 метара дубине литосфере (утицај Сунчевог зрачења). За температуру подземних вода веома је значајан топлотни режим земљишта. Од физичких особина земљишта битну улогу имају топлотни капацитет и топлотна проводљивост земљишта. *Топлотни капацитет* је способност земљишта да прими одређену количину топлоте а *топлотна проводљивост земљишта* је особина земљишта да проводи топлоту од јаче загријаних ка мање загријаним слојевима.

Полазећи од општеприхваћене просјечне вриједности геотермичког степена, пораст температуре за 1°C на свака 33 метра дубине литосфере, може се узрачунати температура подземне воде која долази из неког аквифера (водоносног слоја, водоносног хоризонта), по формули:

$$t_v = t_m + \frac{T - T_n}{G}$$

гдје је: t_v – температура воде, t_m – средња годишња температура ваздуха локалитета гдје се јавља подземна вода, T – дубина до водоносног слоја (хоризонта), T_n – дубина неутралног слоја²⁰³ G – вриједност геотермичког степена.

Битно је истаћи да промјене температуре подземних вода имају утицај на интензитет одређених физичких и хемијских процеса и појава. Пораст температуре воде повећава брзину дифузије²⁰⁴ скоро за 0.2% а брзину хемијских реакција за 10 – 20%. Повишење температуре воде утиче и на

²⁰³ За наше географске ширине (41 – 47° с.г.ш.) та дубина износи 14 – 20 метара.

²⁰⁴ Дифузија (лат. diffundere – раширити, распростирати), споро продирање неке материје (гаса или течности) у другу уз њихов директан контакт или преко порозне мембране (преграде); растворена материја се, по правилу, премјешта из мјеста (простора) веће концентрације материје ка мјестима ниже концентрације.

смањење растворених гасова. Према Д. Дукићу (2006) у води чија је температура 10°C раствара се 1.194 dm³ CO₂ а само 0.210 dm³ ако се температура повиси на 70°C.

Растворљивост гасова у течностима зависи од природе гаса и растворљивости, као и од притиска и температуре. Гасови се, углавном, јаче растварају на нижој него на вишој температури. Како се мијења растворљивост неких гасова с порастом температуре под притиском од 101.3 kPa, изражен у dm³ на dm³ воде, може се видјети из Табеле 16.

Табела 16. Растворљивост неких гасова у води

Ред. број	t°C → гас ↓	0	10	20	30	40	50	60
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	NH ₃	1176.00	910.00	702.00	530.00	405.00	-	-
2.	HCl	506.00	474.00	442.00	411.00	386.00	362.00	339.00
3.	CO ₂	1.713	1.194	0.878	0.665	0.530	0.436	0.359
4.	O ₂	0.049	0.038	0.031	0.026	0.023	0.021	0.195
5.	N ₂	0.0235	0.0186	0.0155	0.0134	0.0118	0.0109	0.0102
6.	H ₂	0.0215	0.0196	0.0182	0.0170	0.0164	0.0161	0.0160
7.	Ваздух	0.0292	0.0228	0.0187	0.0156	-	-	-

(Извор: Арсенијевић Р.С., 1994)

Класификација подземних вода по температури. Ова класификација, са геолошког становишта, базира се на вриједности средње годишње температуре подземног слоја ваздуха над неким географским простором.²⁰⁵ Оваква подјела није у складу са климатским (топлотним) појасевима на нашој планети. Данас је у хидрологији (хидрогеологији) прихваћена гранична вриједност од 20°C, која дефинише хладне и термалне воде (Табела 17).

Табела 17. Подјела подземних вода по температури

Редни број	Назив подземне воде	Са температуром (у °C)
1	2	3
1.	ХЛАДНЕ	
	а) веома хладне	0 – 4
	б) хладне	4 – 20
2.	ТЕРМАЛНЕ	
	в) релативно термалне	20
	г) субтермалне	20 - 37
	д) хомотермалне	37 - 42
	ђ) вреле воде	42 - 100
3.	ПРЕГРИЈАНЕ ВОДЕ	> 100

(Извор: Ј. Петровић, Ж. Богдановић, 1995)

Температура подземне воде има вишеструки значај, јер се на основу температуре може извести низ закључака о њеном поријеклу, хемијском саставу и минерализацији, јер топлије воде интензивније растварају минерале.

²⁰⁵ Воде загријане изнад средње годишње температуре ваздуха су према геолошкој класификацији, *термалне воде*. На примјер: тамо гдје су средње годишње температуре ниже од 5°C, све воде са вишом температуром од 6°C спадале би у термалне, док рецимо у тропском појасу гдје је средња годишња температура изнад 20°C термална вода би требала да има вишу температуру.

Боја воде. У природи је ријетко могуће наћи потпуно чисте воде, које су (потпуно) безбојне. Реално, потпуно чиста вода не налази се нигдје у природи; најчистија је атмосферска вода (природно дестилована вода²⁰⁶) мада и она садржи, поред честица прашине и кисеоника слиједеће састојке:

угљен – диоксид, амонијум – нитрат, водоник – пероксид, микроорганизме и др. Пролазећи кроз стратификовану Земљину кору подземна вода раствара многе супстанце а присуство растопљивих или суспендованих честица, органског или неорганског поријекла, одређује и боју подземне воде. Досадашња бројна истраживања показују да подземне воде могу да буду жућкасте, зеленкасте и слично, односно да буду свјетлије или тамније нијансе (најчешће блиједозелена). Тамније тонове води дају дијелом и једињења мангана²⁰⁷ (манган(II) - оксид, манган (II) – хидроксид, манган(IV) – оксид, који се налазе у природи као руда пиролузит и др.), а жућкастоцрвена нијанса означава присуство хидроксида гвожђа.

Боја подземне воде може се одредити на сљедећи начин: необојен стаклени суд се напуни изворском (подземном) водом а потом се врши поређење, испред бијелог заклона, са истим таквим судом у којем је дестилована вода.

Провидност подземне воде углавном је различита и зависи од врсте стијена и њихових особина. У стијенама које се одликују великим степеном филтрације (цијеђења) провидност воде је највећа. Међутим, када је у питању интергрануларна порозност мјерење провидности се врши на изворима.²⁰⁸ Заправо, провидност у непромијењеној (подземној) средини је једино могућа у карсту, односно код пећинских токова и пећинских (јамских) акумулација. С обзиром на изузетно наглашену везу са топографском површином, воде у карсту имају висок степен колебања провидности. Провидност је мања у вријеме поводња када површински токови у подземне токове (акумулације) уносе одређене количине суспендованог материјала. Досадашња истраживања су показала да аутохтони подземни токови имају највећу провидност а према Ј. Петровићу (1995) та провидност је у неким случајевима верификована и преко 20 метара. Код алогених пећинских токова, у случајевима замућености провидност се креће и испод 30 cm. У хидрологији (хидрогеологији) подземне воде се, према степену провидности воде, класификују као: *бистре, скоро бистре, слабо замућене, замућене, веома замућене, мутне и непрозирне.*

Провидност подземне воде, према Д. Дукићу (2006) одређује се на сљедећи начин: на равну површину стави се текст са словима различите величине а преко тога суд од необојеног стакла²⁰⁹ у који се постепено сипа изворска (подземна) вода при чему се прати видљивост слова и висина стуба воде (у cm).

Укус подземне воде . С обзиром да чистих подземних вода у природи (практично) нема, можемо закључити да подземне воде нису без укуса. Укус је последица њихове минерализације а јачина укуса зависи од степена концентрације растворених материја.

Термин *концентрација* користи се да опише релативне масе растворене супстанце и растварача у неком раствору. Раствор који садржи у одређеној запремини релативно малу количину растворене супстанце назива се *разблажен* а раствор који садржи у истој запремини релативно велику количину растворене супстанце назива се *концентрован* раствор.

²⁰⁶ За хемијске сврхе употребљава се дестилована вода која је очишћена од неиспарљивих састојака. Но, и она садржи растворене испарљиве састојке: CO₂ и производе распадања неких органских супстанци. Да би се ослободила ових примјеса, поново се дестилује у стакленим судовима, са додатком калијум-хидроксида и калијум – перманганата а њена пара се проводи кроз цијеви од калаја или сребра.

²⁰⁷ Манган (Mn) је у природи доста распрострањен, али само у везаном стању; налази се у свакој гвозденој руди. Најважније манганове руде су: пиранузит, браунит, хаузманит, манганит и родохрозит.

²⁰⁸ Провидност се мјери прије таложена суспендованих честица и других материјала.

²⁰⁹ Стакло је аморфни чврст материјал и с обзиром на структурну грађу налази се између кристалног и течног стања. *Обојена стакла* се добијају додавањем истопљеном стаклу металних оксида или самих метала.

Укус подземне воде зависи од садржаја растворених минералних материја (оне које имају највећу концентрацију и које се одликују високим степеном надражаја), тако да укус може бити: освјежавајући (CO_2), слан (NaCl), горак (MgSO_4 – магнезијум – сулфат лако се раствара у води; у природи може да се налази и као *горка со* - $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (*горке воде*), сладуњав (потиче од органских материја), бљутав, јако опор и др.

Јако опор укус потиче од соли гвожђа. Гвожђе (II) – карбонат, FeCO_3 , се раствара у води која садржи растворени CO_2 и при том се претвара у $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$: гвожђе (II) – бикарбонат. $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ се налази у овом облику у неким минералним водама које носе назив *гвожђевите киселе воде*.

За одређивање укуса, односно дегустацију подземних вода, најпогодније су температуре од $12 - 20^\circ\text{C}$ (према д. Дукићу, 2006. та температура треба да је од $20 - 30^\circ\text{C}$). Уколико се нека изворска вода користи за пиће она треба да је без укуса и било каквог мириса.

Мирис подземне воде. Чисте подземне воде су без мириса, али присуство лако испарљивих једињења утиче на њихов мирис, који може бити различит. Испарења сумпорводоника (водоник – сулфид, H_2S)²¹⁰ који се у природи ствара при труљењу неких једињења која садрже сумпор има јако непријатан мирис (на покварена јаја). Угљена (хидрокси-мравља) киселина даје подземној води осјећај киселости, тресетишта²¹¹ дају подземним водама мирис трулежи, док загађене подземне воде одају мирис фенола (ароматична једињења, безбојне чврсте или течне супстанце, које се одликују карактеристичним мирисом).

Мирис подземне воде најефикасније се одређује на температурама од $40 - 50^\circ\text{C}$ (по Д. Дукићу, 2006, та температура је $50 - 60^\circ\text{C}$), јер се на тој температури ослобађа највише испарљиве материје. Мирис може бити *слаб, интензиван, веома интензиван, оштар, благ, дискретан* и сл.

Електрична проводљивост подземне воде. Чисте подземне воде су лоши проводници струје, тако да ће њихов степен електропроводљивости зависити од присуства електролита.²¹² Значај електропроводљивости код подземних вода је у томе што се на основу ње може утврдити степен минерализације (концентрација растворених соли), затим одредити дубина издани и њена моћност и распрострањеност. Данашња геофизичка истраживања у значајној мјери користе ову особину подземних вода.

2.2.2. Хемијске одлике подземних вода

2.2.2.1. *Хемијски састав подземних вода*. Вода је у природи јако распрострањена и налази се у атмосфери (водена пара), има је у облику леда, у течном стању прекрива око $\frac{3}{4}$ Земљине површине а налази се и у Земљиној кори. У природи, обичне воде (H_2O)²¹³ чине 99.8% укупне количине, док свега 0.2% отпада на воде са већом молекуларном тежином. Потпуно чиста обична вода, већ је истакнуто, не може се срести у природи. Кондензовањем у атмосфери долази до апсорпције неких гасова путем кондензационих језгара (хигроскопна кондензациона језгра – H_2SO_4 , $[(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4]$ – сулфат амонијак, HNO_2 – азотна киселина, хлориди и др.). Инфилтрацијом са топографске површине у дубље слојеве литосфере атмосферска вода се постепено минерализује.

Минерали су хемијска једињења или елементи који се налазе у природи као производи неорганских процеса. Можемо их дефинисати и као природна тијела, приближно једнородна по хемијском саставу и физичким особинама. Минерали се класификују према свом саставу на: чисте елементе (нпр. злато), сулфиде (галенит), оксиде (хематит), халогениде (силвин),

²¹⁰ Има га у вулканским гасовима, али и у неким минералним водама, као на примјер у Врњачкој Бањи, Бањи Ковиљачи, Рибарској Бањи и др.

²¹¹ Тресетиште – тресетна мочвара; мочвара са слојем тресета (први стадијум у процесу стварања угља) који није тањи од $20 - 30$ cm; мочвара обрасла растињем које воли влагу и учествује у стварању тресета.

²¹² Видјети поглавље 1.5. – Физичке особине воде.

²¹³ Вода са молекуларном тежином 18.

карбонате ((CaCO₃), сулфате (барит), фосфате (фосфорит) и силикате (вилемит). Најраспрострањенији су силикати, оксиди и хидроксиди, сулфиди и фосфати.

*Минерализација воде.*²¹⁴ За минерализацију воде (или укупну минерализацију воде) карактеристичан је тежински садржај минералних материја у води. Овај појам нема строго дефинисано подручје. Терминолошки може се подразумевати једна од ових величина:

- Експериментално одређен суви остатак* је тежински измјерен остатак добијен после испаривања вода. Овај остатак није прости збир свих минералних материја које се налазе у води у раствору стању;
- Збир јона* је аритметички збир тежинских количина свих јона који се налазе у анализираној води;
- Збир минералних материја:* потпуније изражава минерализацију воде него збир јона, јер он за разлику од збира јона узима у обзир и недисоциране²¹⁵ неорганске материје (SiO₂, Fe₂O₃ и др.).
- Обрачунати суви остатак;* може се идентификовати са збиром минералних материја а разлика је једино у двоструком смањењу количине хидрокарбонат – јона. Разлог је у томе да (би) се израчунати збир минералних материја приближио експериментално нађеном сувом остатку (приликом испаравања воде настаје реакција: 2HCO₃⁻ → CO₃²⁻ + H₂O ↑ + CO₂ ↑, тј. губи се половина тежине – тачнија 0.508 хидрокарбонат-јона).

Примјер различитог израчунавања минерализације издани

Анализа воде дала је резултате (у mg/l):

Na⁺ - 71; Ca²⁺ - 112; Mg²⁺ - 26; Fe²⁺ - 6; Cl⁻ - 64; NO₃⁻ - 10; SO₄²⁻ - 56; HCO₃⁻ - 482; SiO₂ - 18; Fe₂O₃ - 4.

Експериментално нађени суви остатак у испитиваној води је 632 mg/l, а збир јона 827 mg/l (71 + 112 + 26 + 6 + 64 + 10 + 56 + 482). Збир минералних материја је 849 mg/l (827 + 18 + 4). Обрачунати суви остатак је 608 mg/l :

$$\left(849 - \frac{482(\text{HCO}_3)}{2} \right).$$

Да се изрази минерализација воде најбоље је примијенити обрачунати суви остатак, јер се ова рачунска величина може добити у навећем броју обичних анализа воде.

Минералне сировине²¹⁶ представљају природне творевине од једне или више минерала из којих се могу добити корисне компоненте у циљу њихове корисне примјене. По свом агрегатном склопу минералне сировине могу бити: чврсте, течне и гасовите. Од течних минералних сировина најважније су нафта, расоли, подземне и минералне воде. Ф.В.Кларк (F.W. Clarke, 1847 – 1931) је крајем XIX вијека сакупио, испитао и класификовао преко 5.500 разних минерала.

У природним подземним водама утврђено је да у виду раствора (в. поглавље 1.5) има преко 60 елемената периодног система елемената.²¹⁷ Познато је да је вода значајан растварач (дисперзионо средство) а позната је њена способност да раствара многе супстанце (посебно соли) градећи тако *водене растворе*.²¹⁸ Да бисмо лакше уочили који се хемијски елементи налазе у улози растворених супстанци (растварача), подсјетићемо се обилности (заступљености) хемијских елемената који се налазе у саставу географског омотача (Табела 18.).

Поред масених процената, састав Земљине коре изражава се и у атомским процентима, то јест процентима атома од цјелокупног броја атома Земљине коре. Из Табеле 19. види се да ове двије врсте обилности елемената се разликују.

²¹⁴ Преузето од М.Е. Аљтовски: Хидрогеолошки приручник, стр. 170., Грађевинска књига, Београд, 1973.

²¹⁵ Дисоцијација (лат. dissociare – раздружити, раздвојити) 1. хем. распадање, раздвајање, раздруживање, растављање молекула на саставне дијелове под утицајем електричне струје, температуре или неког другог агенса.

²¹⁶ Опширније видјети: Драгишић В., Хидрогеологија лежишта минералних сировина, стр. 11 – 20, Београд, 2005.

²¹⁷ Димитриј Иванович Менделеев ((Д.И. Менделеев, 1834 – 1907) је 1869. године пронашао *периодни систем елемената*, чијом је појавом створена нова епоха у хемији.

²¹⁸ У случају подземних вода ове растворе можемо дефинисати и као *природне растворе*.

Табела 18. Обилност (учешће) хемијских елемената у саставу географског омотача – литосфере, атмосфере и хидросфере (у масеним процентима)

Ред. број	Хемијски елеменат	Хемијски симбол	%	Значајно присуство у подземним водама
1	2	3	4	5
1.	Кисеоник	O	49.85	да
2.	Силицијум	Si	26.03	да
3.	Алуминијум	Al	7.28	да
4.	Гвожђе	Fe	4.12	да
5.	Калцијум	Ca	3.18	да
6.	Натријум	Na	2.33	да
7.	Калијум	K	2.33	да
8.	Магнезијум	Mg	2.11	да
9.	Водоник	H	0.97	да
10.	Титан	Ti	0.41	-
11.	Хлор	Cl	0.20	да
12.	Угљеник	C	0.19	да
13.	Остали елементи		1.00	сумпор и азот
14.	УКУПНО		100.00	-

(Извор: F.W. Clarke, анализе)

Табела 19. Обилност 12 хемијских елемената Земљине коре (у атомским процентима)

Ред. број	Хемијски елеменат	Хемијски симбол	Атомски проценти
1	2	3	4
1.	КИСЕОНИК	O	52.32
2.	ВОДОНИК*	H	16.95
3.	СИЛИЦИЈУМ	Si	16.67
4.	АЛУМИНИЈУМ	Al	5.53
5.	НАТРИЈУМ	Na	1.95
6.	ГВОЖЂЕ	Fe	1.50
7.	КАЛЦИЈУМ	Ca	1.48
8.	МАГНЕЗИЈУМ	Mg	1.39
9.	КАЛИЈУМ	K	1.08
10.	ТИТАН	Ti	0.22
11.	УГЉЕНИК	C	0.14
12.	ФОСФОР	P	0.04
13.	ОСТАЛИ ХЕМИЈСКИ ЕЛЕМЕНТИ	-	0.74

* Према неким изворима (ауторима), по обилности у атомским процентима, водоник се у Земљиној кори не налази на другом већ на трећем мјесту.

(Извор: F.W. Clarke, анализе)

Минерализација подземних вода креће се у широком распону: од неколико mg/l воде, па до вриједности које прелазе и 300 g/l (Табела 20.).

Минерализоване подземне воде (преко извора и врела) издају површинским токовима, језерима и Свјетском океану значајне количине соли.²¹⁹ Потамолози сматрају да просјечна минерализација

²¹⁹ Дејством база на киселине и обратно, киселина на базе, постају соли. Ова необично важна једињења се граде у природи, али и на вјештачки начин. Видјети опширније: С.Р. Арсенијевић, цит. изд., стр. 264 – 268.

ријечне воде износи 0.05% што даје годишњи просјек од неколико милијарди тона соли у басену Свјетског океана.

Табела 20. Величина растворљивости појединих соли у чистој води, при температури од 18°C (у g/l)

Ред. број	Врста соли	Хемијска формула	Растворљивост
1	2	3	4
1.	Натријум-хлорид (кухињска, обична со)	NaCl	328.6
2.	Натријум-сулфат (Глауберова со)	Na ₂ SO ₄	168.3
3.	Натријум- карбонат (сода)	Na ₂ CO ₃	193.9
4.	Калијум-хлорид (минерал силвин)	KCl	329.5
5.	Магнезијум-сулфат (горка со)	MgSO ₄	354.3
6.	Магнезијум-карбонат (Магнезит, доломит)	MgCO ₃	25.7
7.	Калцијум-сулфат (гипс, анхидрит)	CaSO ₄	2.0
8.	Калцијум-карбонат (кречњак, креда, мермер)	CaCO ₃	0.0634

(Према: Н.Милојевић, 1967)

Степен минерализације подземних вода а тиме и њихов хемијски састав зависи од неколико фактора. На основу анализе приступа више аутора²²⁰ указаћемо на најбитније факторе:

- *Додирна површина.* – Уколико су додирне површине вододржљивих стијена веће, биће и растварање минерала веће (при осталим једнаким условима).
- *Брзина кретања подземне воде.* – Подземне воде које се крећу спорије (и слабије замјењују) биће дуже у контакту са додирном површином вододржљивог слоја. Наиме, подземна вода, која (релативно) брзо протекне приликом инфилтрације кроз неко земљиште, односно има релативно брзо кретање као изданска вода, имаће малу минерализацију. Стога воде које се крећу спорије вршиће јаче растапање минерала и бити засићеније минералним солима. Код плитких подземних вода, посебно у нашим климатским условима, за брзину кретања подземне воде треба израчунати и дубину продирања нулте изотерме.²²¹
- *Састав стијена.* – У грађи стијена учествују различити минерали; неки од њих се брзо растварају у води, а други много теже. Уколико је стијена састављена од лако растворљивих минерала, степен минерализације ће бити већи.

Када је у питању интензитет растварања одређених елемената и минерала веома је значајна улога и температуре подземне воде. Повишење температуре, до одређене вриједности, повећава утицај воде као растварача. Досадашња истраживања показују да воде из већих дубина су јаче загријане, али и далеко више минерализоване.

Топлота, самим тим и температура, растварања зависи од релативних снага интермолекулских (или интерјонских) привлачних сила у самој супстанци која се раствара, затим од интермолекулских привлачних сила између молекула растварача и привлачних сила између молекула растворене супстанце и молекула растварача.

2.2.2.2. Гасови и минерални састојци у подземним водама. Растворљивост гасова у течностима зависи од природе гаса и растварача, као и од притиска и температуре. Гасови се већином боље растварају у растварачима с мање поларним молекулама²²² него у води. Гасови се интензивније растварају на нижим температурама – растворљивост им опада с порастом температуре.

²²⁰ Д.Дукић, 2006; Ј.Петровић, 1995; В.Драгишић, 2005; М.Николић, 1988, и др.

²²¹ Видјети опширније: Оторепец Силва, цит. изд., стр. 98 – 102.

²²² Видјети опширније: С.Р.Арсенијевић, цит. изд., стр. 289 – 310.

Гасови заступљени у подземним водама, зависно од поријекла, дијеле се на: *атмосферске, биохемијске, метаморфне и радиоактивне.*

А) *Гасови који потичу из атмосфере* – настају као резултат продирања гасова који чине атмосферски ваздух у литосферу. У њих спадају: азот, кисеоник и инертни гасови.

Б) *Гасови биохемијског поријекла* – настају при разлагању органских материја и минералних соли путем микроорганизама. У ове гасове спадају: метан, угљендиоксид, тешки угљоводоници, азот, сумпорводоник, водоник и кисеоник.

В) *Гасови хемијског поријекла.* Ови гасови се дијеле на гасове метаморфног поријекла – који настају под дејством високих температура и притисака на стијене; и гасови од природних хемијских реакција – реакција које се одвијају на нормалним температурама и притисцима.

У гасове метаморфног поријекла спадају: угљендиоксид (CO₂), сумпорводоник (H₂S), водоник (H₂), метан (CH₄), угљенмоноксид (CO), азот (N₂), хлороводоник (HCl), флуороводоник (HF), амонијак (NH₃), сумпор-диоксид (SO₂), хлор (Cl) и В(OH)₃.

Г) *Гасови радиоактивног поријекла.* У ове гасове спадају хелијум, еманације уранијума и торијума.

Према Ј. Петровићу (1995)²²³ „количина гасова у води у директној је супротности са степеном минерализације. Са повећањем растворених соли, на пример, само за 40 g/l, смањује се растворљивост за гасове чак за 25%. Гасови у води могу се јавити везани, истина лабилно, за одређења једињења, али су најчешће слободни“.

Растворљивост најважнијих гасова у води, на температури од 0°C, при парцијалном притиску од једне атмосфере, изражена у ml/l, приказана је у Табели 21. (упоредити са Табелом 16.).

Табела 21. Растворљивост најважнијих гасова у води (t = 0°C, p = 1 atm) у ml/l

Ред. број	Гас		Растворљивост
1	2		3
1.	КИСЕОНИК	O ₂	49.22
2.	ВОДОНИК	H ₂	21.48
3.	АРГОН	Ar	57.80
4.	ХЕЛИЈУМ	He	9.70
5.	АЗОТ	N ₂	23.56
6.	УГЉЕН-ДИОКСИД	CO ₂	1713.00
7.	СУМПОРВОДОНИК	H ₂ S	4630.00
8.	МЕТАН	CH ₄	55.63

(Извор: А.О. Алекин, 1953)

Основни гасови, који преовлађују у подземним водама су: кисеоник, угљен – диоксид, азот, сумпорводоник, угљоводоници и водоник. На основу садржаја основних гасова, у хидрогеологији се издваја шест класа природних вода: 1. кисеоничке, 2. азотне, 3. угљо – водоничне, 4. метанске, 5. сумпорводоничне и б. водоничне воде.

У природној води се налази претежан дио хемијских елемената и то у виду елементарних или сложених јона, а дијелом у виду молекула простих и сложених материја. Од хемијских елемената присутних у подземним водама, у минерализацији најчешће учествује око двадесетак. Када је у питању степен минерализације вода, обичним, слатким водама сматрају се оне у којима се нађе и до 500 mg/l растворених елемената. У хидрогеологији је усвојена гранична вриједност од 1 g/l сувог остатка, који се добије жарењем воде на температури од 110°C,²²⁴ за минерализоване слатке воде. Вриједност преко количине од 1 g/l обичне воде сврстава у

²²³ Ј.Петровић. Ж. Богдановић, цит. изд., стр. 85.

²²⁴ Данас се суви остатак – садржај минерала који остају када се вода претвори у пару – одређује се на 180°C.

минералне воде, при чему изразито минерализоване воде са преко 50 g/l сувог остатка прелазе у растворе (Табела 22.).

Табела 22. Класификација подземних вода по степену минерализације (у g/l)

А.

Ред. број	Група воде	Минерализација (у g/l)
1	2	3
1.	Слатке	до 1,0
2.	Сланасте	1,0 – 10,0
3.	Слане	10,0 – 50,0
4.	Раствори	> 50,0

(Извор: В. И. Вернодскиј, 1931 – 1936.)

Б.

Ред. број	Група воде	Минерализација (у g/l)
1.	Слатке а) меке б) тврде	до 1,0 до 0,5 до 1,0
2.	Сланасте а) слабо сланасте б) јако сланасте	1,0 – 10,0 1,0 – 3,0 3,0 – 10,0
3.	Слане а) слабо слане б) јако слане	10,0 – 50,0 10,0 – 25,0 25,0 – 50,0

(Извор: И. К. Зајцев, 1958.)

Минерализациони хемијски елементи заступљени су, као што смо већ истакли, у виду елементарних или сложених јона.

Табела 23. Класификација вода у природи по хемијском саставу (М.Е.Аљтовски, 1946)

ПРИРОДНЕ ВОДЕ																										
К л а с е																										
хидрокарбонатне (С)						Сулфатне (S)						Хлоридне (Cl)														
Групе						Групе						Групе														
Са		Mg		Na		Са		Mg		Na		Са		Mg		Na										
Типови	Типови	Типови	Типови	Типови	Типови	Типови	Типови	Типови	Типови	Типови	Типови	Типови	Типови	Типови	Типови	Типови	Типови									
I	II	III	I	II	III	I	II	III	II	III	IV	II	III	IV	I	II	III	II	III	IV	II	III	IV	I	II	III

У класификацији вода у природи по хемијском саставу, по М.Е. Аљтовском (Табела 23.), све воде у природи дијеле се, према анјону који преовлађује, у три класе: хидрокарбонатне (и карбонатне), сулфатне и хлоридне. Даља подјела класа је на три групе према катјону који преовлађује: калцијуму, магнезиуму, натријуму/калијуму. Свака група дијели се на типове, чије одређивање произлази из сљедећих односа између катјона и анјона:

Први тип: $\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$;

Други тип: $\text{HCO}_3^- < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} < \text{HCO}_3^- + \text{CO}_4^{2-}$;

Трећи тип: $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_4^{2-} < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$;

Четврти тип: $\text{HCO}_3^- = 0$ (киселе воде, кисељаци).

Јон је атом или атомска група са позитивним или негативним наелектрисањем који је настао отпуштањем или примањем једног или више електрона. Наелектрисање јона одговара његовој валенци. Валенца (лат. valere – ваљати, вриједити, моћи; valentia – моћ, капацитет) је својство атома неког елемента да се спаја с одређеним бројем атома неког другог елемента.

Како су атоми састављени од позитивно набијене језгре, око које круже негативно набијени електрони – и то управо толико колико је позитиван набој језгре – то јони настају тако да атоми или изгубе један или више електрона, па настају позитивни јони (иони) или катиони (катјони), или пак да атоми приме један или више електрона, па настају негативни јони или аниони (анјони). Треба посебно истаћи да метали увијек граде позитивне јонове и обратно, неметали граде негативне јонове када примају електроне).

У најважније јоне, који одређују минерализацију воде спадају: Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- и NO_3^- . K^+ Fe^{2+} налазе се у подземним водама у мањим количинама. Све остале компоненте налазе се у расијаном (дисперзном) стању. Према М.Е. Аљтовском (1962) под извјесним условима у подземним водама се налази на повећани садржај јона Fe^{3+} , NH_4^+ , NO_2^- , H_2PO_4^- и HPO_4^{2-} , HS^- , HSiO_3^- , Br^- , I^- , F^- , а исто тако и метала који образују руде: Zn^{2+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Mn^{2+} , Al^{3+} и др.

У молекуларном и колоидном стању, готово у свим подземним водама налазе се органске материје и полисилицијумова киселина $m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, гдје су n и m цијели бројеви.²²⁵

Силицијумове киселине. Силицијум-диоксид (SiO_2) се не раствара у води. Од овог се оксида, међутим, изводи више силицијумових киселина, које се једна од друге разликују различитим количином воде. Соли ових киселина, *силикати*, налазе се јако распрострањености у природи.

У природи постоје неки силикати који одговарају киселинама код којих се на један молекул SiO_2 налази више од два молекула воде.

Све киселине чији састав може да се представи општом формулом $m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ зову се *полисилицијумове киселине*.

У колоидном стању у подземним водама може се наићи на гвођже – хидроксид ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) и гвођже – оксид ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), алуминијум оксид (Al_2O_3), а у неким водама налази се и на бор, често у виду метаборне киселине HBO_2 .²²⁶

У молекуларном виду у подземним водама налазе се гасови: угљен – диоксид (CO_2), сумпорводоник (H_2S), азот (N_2), метан (CH_4), кисеоник (O_2) и хелијум (He).

Хемијски састав подземних вода и флаширане/стоне воде. Анализа Уједињених нација (август, 2006) показује да би већ крајем 2007. године несташицом воде било погођено око три милијарде људи у 48 држава наше планете.²²⁷ Свјетски фонд за заштиту природе, у извјештају пред Свјетску недељу воде (20 – 26. август 2006. године), је упозорио, да осим што је воде све мање, она је и све лошијег квалитета. Управо због те чињенице, у многим земљама, гдје хидрогеолошки ресурси по садашњој потрошњи (по глави страновника) могу да задовоље потребе у питкој води, све више се конзумира флаширана вода. Међутим, поставља се питање: да ли све флаширане/стоне воде – изворске слатке и минералне – бројни потрошачи могу користити без посебних ограничења? Такође, не постоји универзални одговор на питање: која је вода (од тренутно понуђених на тржишту) најбоља, односно најприхватљивија за коришћење без последица по људски организам. Требамо знати да свака подземна вода (слатка, минерална) која је намијењена конзумацији има своје предности у односу на друге воде, али исто тако и одређене мане.

Објективно говорећи, мали број потрошача флашираних/стоних вода зна шта значе хемијски симболи на етикетама (наљепницама) тих вода, односно како поједини минерали утичу на људски организам. Љекари упозоравају да тзв. киселе воде и високоминералне воде треба конзумирати у мањим количинама. (1 – 2 чаше дневно). Конзумирање у

²²⁵ Видјети опширније: С.Р. Арсенијевић, цит.изд., стр. 514 – 521.

²²⁶ Борна (боратна) киселина, H_3BO_3 (правилније ортоборна киселина) у природи се налази слободна у облику минерала *сасолина*, затим у воденој пари фумарола у Тоскани – Италија. Борна киселина се јавља у виду сјајних масних листића а у хладној води се тешко раствара. При загријавању борна киселина се претвара прво у метаборну киселину (HBO_2), затим тетраборну киселину ($\text{H}_2\text{B}_4\text{O}_7$) и најзад у бор-оксид (B_2O_3).

²²⁷ У вријеме док је рађен овај текст – децембар 2007. године, није било званичне потврде Анализе Уједињених нација из августа 2006. године.

већим количинама негативно утиче на рад бубрега. Младој популацији се такође не препоручују високоминералне воде, а важан савјет за најмлађе (до 7 година старости) гласи : конзумирање флаширане, изворске воде је препоручљиво само ако се та вода прокува.

Већина куповних вода се пуни на изворима и оне немају (углавном) поступак хлорисања, тако да при неправилном складиштењу у продавницама или неправилном чувању након куповине, ове воде могу бити бактериолошки контаминирани.

Оно што би свака особа, која купује и конзумира флаширану воду, требала знати јесте, прије свега, значење хемијских симбола на наљепницама тих вода, као и вриједности концентрације минерала садржаних у тим водама. Битно је знати да, од биолошки активне количине минерала зависи њихово дејство на наш организам.

Према мишљењу специјалиста хигијене,²²⁸ особе са срчаним проблемима, нарочито са хипертензијом, не би смјеле да пију воду богату натријумом, посебно ону која садржи више од хиљаду милиграма овог минерала у једној литри.. Другим ријечима, особе са кардиоваскуларним тешкоћама требало би да пију олигоминералне²²⁹ воде које имају низак садржај натријума.

На кардиоваскуларни систем заштитно дјелује магнезијум, као и међусобни однос овог минерала и калцијума. *Најповољнији однос калцијума и магнезијума је 2 : 1*, јер уколико је један од ова два минерала присутан у већој концентрацији, он спрјечава апсорпцију другог.

Специјалисти хигијене особама са хроничном опстипацијом (немогућношћу пражњења цријева) препоручују природно минералне воде у којима доминирају јони сулфата (SO₄) и магнезијума (Mg).

Морамо, такође, истаћи да мали број купаца флаширане воде зна право значење информације на етикетама тих вода: „суви остатак на 180 степени“ (односи се на 180°C).²³⁰ Ако се подсетимо да се на основу степена минерализације воде дијеле на слабоминералне (суви остатак испод 500 mg/l) и воде богате минералним солима (суви остатак износи преко 1500 mg/l), тада је јасно да се воде са мањим сувим остатком (познатије као олигоминералне воде) препоручују за чешћу употребу.

Анализирајући пласман и учешће у укупној продаји у урбаном простору Бањалуке флашираних природних изворских вода (негазираних) упоредили смо и њихов хемијски састав (представљен на етикетама тих вода). упоређивани су подаци сљедећих вода (Табела 24):

1. Пролом вода, слабо минерална негазирана, са извора у Пролом бањи (Република Србија),
2. Роса, природна изворска вода, негазирана, са извора у Власини – Топли до (Република Србија)
3. ВОДАВОДА, природна изворска вода, негазирана, са извора у Бањи Врујци (Република Србија),
4. Јана , природна изворска вода, негазирана, са извора Светог Јана (Република Хрватска),
5. Олимпија, природна изворска вода, негазирана, са извора на дубини од 198 m у подножју олимпијских планина (Игман, оп.а.), Хаџићи (Федерација Босне и Херцеговине),
6. Студена, природна изворска вода, извор Буковац – Пакрачко горје (Република Хрватска),
7. Дубока, природна минерална (калцијум-бикарбонатна) вода, негазирана, са изворишта Нересница, Хомоље (Република Србија),
8. Евиан (Evian), природна негазирана вода, извориште у Француским Алпима (Француска),
9. Зала, изворска вода, негазирана, извор Зала у Љубљани (Словенија),
10. AQUA VIVA, природна слабо минерална вода, извориште „Парк“ Аранђеловац (Република Србија).

²²⁸ Др Снежана Дејановић, др Драгана Јовановић, специјалисти хигијене у Центру за воду Института за заштиту здравља Србије.

²²⁹ Грч. oligos – мален, кратак

²³⁰ Анкета на случајном узорку купаца флаширане воде (150 испитаника) у продавницама у Бањалуци.

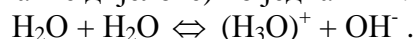
Табела 24. Хемијски састав неких природних вода – негазираних (0.5 l)

Ред бр.		AQUA VIVA	Пролом вода	Роса	ВОДА ВОДА	Јана	Олим-пија	Студена	Дубока	Евиан	Зала
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	Суви остатак на 180°C (mg/l)	377	138	58.0	383.0	285.0	-	344.6	810.0	309.0	-
2.	Минерализација (mg/l)*	-**	-	-	-	464.4	420	571.35	-	-	-
3.	pH вриједност (20 – 22°C)	-	8.5	-	7.23	-	-	-	6.5	7.2	7.5
4.	Укупна тврдоћа (dH)	-	<0.50	-	-	-	-	-	-	-	-
Анализа (mg/l)											
5.	Катјони										
	Na ⁺	13.7	46.5	2.7	37.9	2.2	1.7	11.6	56.0	5.0	9.8
	K ⁺	1.6	<1.00	<1.0	3.1	0.8	-	1.20	4.5	1.0	1.6
	Ca ⁺	83.0	2.7	10.4	77.67	63.0	58.2	85.80	242.0	78.0	68.9
	Mg ⁺⁺	19.4	<0.50	0.9	15.79	32.5	28.0	26.80	19.0	24.0	19.5
	Fe ⁺⁺	0.02	<0.01	-	-	0.1	-	-	-	-	-
	Al ⁺⁺	-	<0.05	-	-	-	-	-	-	-	-
6.	Анјони										
	Cl ⁻	20.6	1.7	2.0	8.83	1.1	1.3	3.60	16.0	4.5	16.3
	F ⁻	0.11	0.12	-	0.48	0.1	-	0.25	-	-	-
	HPO ₄ ⁻	-	<0.05	-	-	-	-	-	-	-	-
	SO ₄ ⁻	27.6	3.0	6.4	15.2	5.7	4.8	5.80	7.8	10.0	16.7
	HCO ₃ ⁻	299.0	-	42.8	390.0	354.7	308	416.0	910.0	357.0	265
	NO ₃ ⁻	-	-	1.6	-	-	-	-	-	1.0	8.2
	SiO ₂	-	-	14.0	-	-	-	-	-	13.5	-
7.	Недисоцирано: H ₂ SiO ₃ (метасиликатна киселина)					4.2					

* Минерализација – количина чврстих састојака; ** - нема података на етикетама.

2.2.2.3. Јонски производ и активна реакција воде (pH).²³¹

Вода дисоцира (разлаже се на саставне дијелове) по једначини: H₂O ⇌ H⁺ + OH⁻, односно:



Константа дисоцијације чисте воде (K) на 25°C износи $1.8 \cdot 10^{-16}$:

$$\frac{[(H^+)(OH^-)]}{[H_2O]} = K = 1.8^{-16}$$

То значи да се H⁺ - јон и OH⁻ - јон врло чврсто држе. Кад год неки раствор садржи H⁺ - јонове, помијешане са OH⁻ - јонима, ове двије врсте јона се једине чинећи молекуле воде. Овај процес у хемији се назива *неутрализација*.

Пошто је концентрација недисоцираних (недисосованих) молекула воде (H₂O) константна вриједност, то производ јона водоника и хидроксида у 1 dm³ може да се израчуна.

²³¹ Опширније видјети: Арсенијевић С.Р., цит. изд., стр. 54 – 64, 341 – 344; Филиповић И., Липановић С., цит. изд., стр. 388 – 401, М.Е. Аљатовски, цит. изд., стр. 181 – 188.

Маса 1 dm³ воде на 25°C износи 997 грама, а њен број молова²³² је: 997 : 18 = 55.4. Производ јона воде једнак је производу концентрације недисоцираних молекула и константе дисоцијације:

$$(H^+) \cdot (OH^-) = K \cdot (H_2O)$$

а његова бројна (нумеричка) вриједност је:²³³

$$(H^+) \cdot (OH^-) = 55.4 \cdot 1.8 \cdot 10^{-16} = 0.9972 \cdot 10^{-14} \approx 1.0 \cdot 10^{-14}$$

Производ молских концентрација водоникових и хидроксидних јона воде, (H⁺) · (OH⁻), представља сталну вриједност на одређеној температури и зове се *јонски производ воде* а обиљежава се са pH_{2O}. Јонски производ воде може се представити једначином сљедећег облика:

$$K_{H_2O} = \frac{(H^+)(OH^-)}{(H_2O)} = \frac{10^{-7} \cdot 10^{-7}}{55.51}$$

Имајући у виду велику вриједност величине недисоцираног дијела воде (55.51 g.mol) у односу на дисоцирани дио (10⁻⁷ g.mol), промјена степена јонизације, чак и у стотину хиљада пута, не мијења [H_{2O}], што омогућује да се [H_{2O}] сматра постојаном. У вези с тим, наведена једначина добија облик (v = H_{2O}):

$$K_v = (H^+) (OH^-) = 10^{-7} \cdot 10^{-7} = 10^{-14}$$

Табела 25. Јонски производ воде на разним температурама (по Ј.Ј. Лурјеу)²³⁴

Ред. број	Температура (0°C)	K _v	Ред. број	Температура (0°C)	K _v
1	2	3	4	5	6
1.	0	0.13 · 10 ⁻¹⁴	9.	30	1.89 · 10 ⁻¹⁴
2.	5	0.21 · 10 ⁻¹⁴	10.	40	3.80 · 10 ⁻¹⁴
3.	10	0.36 · 10 ⁻¹⁴	11.	50	5.60 · 10 ⁻¹⁴
4.	15	0.58 · 10 ⁻¹⁴	12.	60	12.60 · 10 ⁻¹⁴
5.	18	0.74 · 10 ⁻¹⁴	13.	70	21.00 · 10 ⁻¹⁴
6.	20	0.86 · 10 ⁻¹⁴	14.	80	34.00 · 10 ⁻¹⁴
7.	22	1.00 · 10 ⁻¹⁴	15.	90	52.00 · 10 ⁻¹⁴
8.	25	1.27 · 10 ⁻¹⁴	16.	100	74.00 · 10 ⁻¹⁴

У хидрогеологији је, углавном, општеприхваћено да се концентрација водоникових јона и хидроксилних јона не изражава у виду природних бројева [(H⁺) = 10⁻⁷], него у виду логаритама тих бројева и то с обрнутим предзнаком. „Ознаке логаритама су: за (H⁺) симбол рН, а за (OH⁻) симбол рОН, тј. рН = - log(H⁺) и рОН = - log(OH⁻). На тај начин, ако је концентрација јона водоника (H⁺) = 10⁻⁷, тада је рН = - log 10⁻⁷ = 7“.²³⁵

²³² Мол (лат. moles – количина, множина), јединица за количину супстанце (градива) у међународном систему мјерних јединица (SI); једнак је оној количини структурних честица (атоми, молекули, јони и др.) колико има атома у 0.012 kg (12 g) угљениковог изотопа C-12. Тај број добио је назив *Авогадров број* (N_A), а износи 6.02 · 10²³. Краће: мол – скраћеница за грамолекула (граммол: молекуларна тежина изражена у грамама).

²³³ Ова вриједност на температури од 22°C износи: 55.51 · 1.8016 · 10⁻¹⁶ = 100.00681 · 10⁻¹⁶ = 1.0 · 10⁻¹⁴.

²³⁴ Лурје Ј. Ј., Расчетные и справочные Таблицы для химиков, Госхимиздат, 1947.

²³⁵ М.Е. Аљтовски, цит. изд., стр. 182.

Логаритам (грч. *lógos* – однос + *arithmós* – број); *мат.* број, узет у једној аритметичкој прогресији, који одговара броју узетом у геометријској прогресији, при чему су обје прогресије прилагођене одређеним условима; логаритам једног броја (*Z*) за неки основни број или основу, **базу** (*b*) зове се *експонент* (изложитељ) који нам показује којој је *потенцији*, степену базе *b* једнак број *Z*. Ако је, дакле $Z = b^1$, онда је $1 = \log Z$ (за базу *b*). Тако је, на примјер, по обичном, *Бриксовом* или *декадном* систему логаритама (са базом: $b = 10$) $1 \log$ од 10, $2 \log$ од 100, $3 \log$ од 1000, $5 \log$ од 100 000 итд., прва, друга, трећа итд. потенција од 10. Поред декадних у употреби су и природни логаритми који за основу имају број $e = 2.718\dots$, ознака $\ln N$.

Водонични експонент (pH – вриједност). У пракси се показало да је неподесна употреба великих експонената ($10^{-4} \dots 10^{-7} \dots 10^{-14}$), па је дански хемичар Серензен (P.S. Sørensen, 1868 – 1939) 1909. године предложио да се они замијене једноставнијим начином за израчунавање концентрације водоникових јона. Наиме, Серензен је предложио да се узме негативни декадни логаритам вриједности концентрације водоникових јона и да се тако добијени број зове *водонични експонент* (експонент протонског активитета) или *pH* – вриједност (према латинским терминима *potentia hydrogenii*).

У ту сврху је уведен појам (термин) „*пе-ха*“ вриједност (*pH*). Међутим, пошто се јонизацијом воде добијају поред водоникових и хидроксилни јони, постоји аналоган појам *pOH* – вриједности. У пракси се више користи *pH* – вриједност. *pH* (*pOH*) вриједност служи за одређивање киселости, неутралности и алкалности (базичности) раствора, па и саме воде (Табела 26.).

Табела 26. Карактеристике киселости, неутралности и базности раствора, односно природних вода

врло кисела	pH = 1	неутрално pH = 7	pH = 8	слабо алкално
↓	pH = 2		pH = 9	↓
↓	pH = 3		pH = 10	↓
↓	pH = 4		pH = 11	↓
↓	pH = 5		pH = 12	↓
слабо кисело	pH = 6		pH = 13	врло алкално

(Извор: Д. Дукић, 1984)

pH – вриједност раствора (воде) је од необично великог значаја за многе биолошке процесе, како биљака тако и животиња. Промјена *pH* – вриједности код многих организама може изазвати значајне поремећаје. На примјер, *pH* – вриједност нормалне човјекове крви износи од 7.35 – 7.45 и чим спадне испод 7.0 престају животне функције организма. Желудчани сок има $pH = 1.6 - 1.8$.²³⁶

Код конкретних анализа хемијског састава подземних вода треба знати њихову активну реакцију или концентрацију водоникових јона.

По величини *pH* – вриједности подземне воде* (али и површинске) се дијеле на пет група (Д. Дукић, 1984):

врло киселе – pH < 5	неутралне – pH = 7	киселе – pH = 5 - 7
алкалне – pH < 7 - 9		врло алкалне – pH > 9

*Подземне воде имају већином слабу алкалну реакцију.

²³⁶ Често се догађа да су извјесне обрадиве површине постале киселе, па као такве нису подесне за сађење разних биљних култура. За неутралисање вишка киселине у таквом земљишту обично се користи CaO и Ca(OH)_2 , као отпадне супстанце у процесу производње шећера. У многим индустријским процесима се такође мора водити рачуна о *pH* – вриједности.

Табела 27. Однос између (H^+), (OH^-) и pH – вриједности

Ред. број	H^+ (mol/dm ³)	OH^- (mol/dm ³)	pH	раствор
1	2	3	4	5
1.	10^1	10^{-15}	-1	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ киселост расте
2.	10^0	10^{-14}	0	
3.	10^{-1}	10^{-13}	1	
4.	10^{-2}	10^{-12}	2	
5.	10^{-3}	10^{-11}	3	
6.	10^{-4}	10^{-10}	4	
7.	10^{-5}	10^{-9}	5	
8.	10^{-6}	10^{-8}	6	
9.	10^{-7}	10^{-7}	7	неутралан
10.	10^{-8}	10^{-6}	8	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ базност расте
11.	10^{-9}	10^{-5}	9	
12.	10^{-10}	10^{-4}	10	
13.	10^{-11}	10^{-3}	11	
14.	10^{-12}	10^{-2}	12	
15.	10^{-13}	10^{-1}	13	
16.	10^{-14}	10^0	14	
17.	10^{-15}	10	15	

(Извор: С.Р.Арсенијевић, 1994)

За одређивање реакције воде на терену употребљава се лакмус – хартија. Супстанце које мјењају боју раствора додатком или базе називају се *индикатори*.

Познати енглески научник Р. Бојл први је почео да употребљава неке супстанце за доказивање киселина и база. Он је, наиме, запазио (1663) да раствори који се добијају кухањем неких цвјетова дају различиту боју у киселинама и базама. Године 1667. Бојл је наквашио једно цједило раствором тропског лишја – *лакмуса*, а друго раствором *љубичице*, те је тако он први и отпочео примјену индикатор – хартије. У лабораторију се употребљава лакмус – хартија (лакмус – папир) у облику трака (плавих и црвених) које се добијају умакањем траке хартије (цједила) у раствору лакмуса, а потом се суше. *Плава лакмус – хартија служи као тест на кисели а црвена на базни раствор*. Природни индикатори, поред лакмуса и љубичице, налазе се у црвеној љусци јабуке, затим у цвекли, јагодама, црвеном купусу, црвеним трешњама, соку грожђа, љусци брескве, љусци крушке, љусци шљиве, љусци патлицана и др. У својој књизи „Експерименти с бојама“, Бојл је указао на карактеристичну особину киселина да мијењају боју сокова, природних индикатора, у црвену.²³⁷

Која ће од боја да дође до изражаја у неком раствору зависи од релативних концентрација тих честица. Промјена боје ових индикатора зависи од концентрације водоникових или хидроксидних јона. У лабораторијама се, за одређивање реакције воде, користи инструмент који се назива „*pH метар*“ (*пехаметар*).

2.2.2.4. *Тврдоћа воде*. Природне воде, како изворске (подземне), тако и ријечне, садрже мању или већу количину растворених соли. Садржај растворених калцијумових соли: калцијум – бикарбоната ($Ca(HCO_3)_2$) и калцијум – сулфата ($CaSO_4$), а дјелимично и магнезијум - бикарбоната ($Mg(HCO_3)_2$) и магнезијум сулфата ($MgSO_4$), у природним водама дефинише „*тврдоћу воде*“. Тврда вода, до одређене границе, има обично пријатан укус, за разлику од „*меке воде*“, чији је укус бљунав.²³⁸

²³⁷ Journal of Chemical Education, American Chemical Society, 62(285), New York, 1985.²³⁸ Опширније видјети: С.Р. Арсенијевић, цит. изд., стр. 592 – 615; М.Е. Аљтовски, цит. изд., стр. 196 – 197.

Да ли је нека вода тврда или мека, тј. да ли садржи растворених соли, доказује се помоћу сапуна. У тврдој води сапун готово не гради пјену, док се у мекој води добро пјени. Сапун, који ми највише употребљавамо, је натријумова со виших масних киселина. Он у тврдој води слабо може да пере.

Сапун (грч. *sárpōn*), чврсто средство за отклањање нечистоћа; старо име му је *midlo*, односно *miło* од глагола *miti*, *umivati*. До сада није тачно утврђено када је сапун откривен; данас све више уступа мјесто синтетичким детергентима (од лат. *detergere* – чистити). Код нас се одомаћио (усталио) термин *детерџент* – према енглеском изговору ове латинске ријечи.

Тврдоћа воде, која потиче од присуства $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ зове се „*привремена*“ (пролазна, темпорна) или *карбонатна*, јер се при загријавању бикарбонати, са издвајањем угљен – диоксида, претварају у карбонате, а тврда вода се претвара у меку.

Облици тврдоће. У научној, стручној и наставној литератури, у хидрогеологији, се разликује пет видова тврдоће:

- укупна,
- одстрањива (или пролазна),
- неодстрањива (стална),
- карбонатна, и
- некарбонатна (према остатку).

Укупна тврдоћа условљена је садржајем свих соли калцијума и магнезијума и рачуна се сумом (збиром) mg.ekv. јона Ca и Mg .

Хемијски еквивалент неког елемента је она маса тог елемента која се једини са једним молем атома водоника, или замјењује исти број водоникових атома у хемијским реакцијама.

Одстрањива (пролазна) и *карбонатна* тврдоћа условљена је једним те истим хидрокарбонатним (и карбонатним) солима калцијума и магнезијума, али су различите величине. Разлика између њих је у томе, што је одстрањива тврдоћа експериментална величина, која показује за колико се смањује укупна тврдоћа, када се узорак остави да врије (кључа) дуже времена, док је карбонатна тврдоћа рачунска величина, добијена из количине хидрокарбонат и карбонат – јона садржаних у води. Одстрањива тврдоћа је увијек мања од карбонатне (најчешће за 1.0 – 1.5 mg.ekv.) *Неодстрањива* (стална) и *некарбонатна* тврдоћа условљене су хлоридним, сумпорно – киселим, азотно – киселим и другим некарбонатним солима калцијума и магнезијума.

Тврдоћа воде изражава се степенима тврдоће: енглеским, француским и њемачким.²³⁹ На географском простору бивше СФРЈ у употреби је њемачка скала тврдоће (dH), чији степени тврдоће према енглеском и француском стоји у односу као 1 : 1.25 : 1.788. Један њемачки (dH) степен има она вода која у једном dm^3 садржи 10.0 mg CaO или 7.19 mg MgO. Воде са 0 – 4° тврдоће (dH) су врло меке, од 4 – 8° меке, од 18 – 30° тврде а изнад 30° врло тврде. Воде са тврдоћом преко 60 степени (dH) су, практично, неупотребљиве.

Степен тврдоће воде Н (dH) одређује се према обрасцу: $\mathbf{H = a \cdot 0.10 + b \cdot 0.14}$, у којем су :

a – садржај CaO у mg/l воде,

b – количина MgO у mg/l воде.

На примјер: ако је CaO = 850 mg/l , а MgO = 600 mg/l , тада је:

$$H = 850 \cdot 0.1 + 600 \cdot 0.14 = 85 + 84 = 169 \text{ mg/l} = 16.9 \text{ dH.}$$

Најмању тврдоћу имају воде из еруптивних стијена и гнајса, а највећу из кречњака и гипса. Вода за пиће треба да има тврдоћу мању од 15° dH, мада се човјек може привићи и на тврдоћу воде од 25° dH. Добре питке воде имају тврдоћу од 8 – 15° dH.

²³⁹ У Русији се тврдоћа воде изражава збиром милиеквивалената калцијумових и магнезијумових јона који се налазе у 1 dm^3 воде (један литар воде). Један милиеквивалент тврдоће одговара садржају 20.44 mg/dm^3 Ca^{2+} или 12.16 mg/dm^3 Mg^{2+} . У САД се тврдоћа воде изражава у mg/dm^3 а односи се на CaCO_3 , чија је молекулска маса 100 (заокружена вриједност), па је тиме јако поједностављено прерачунавање.

Тврда вода није добра (подесна) за многе техничке примјене (на примјер: у парним котловима ствара се каменац, а исти случај је и са кућним бојлерима); тврда вода није погодна за примјену у текстилној индустрији: бојењу тканина, индустрији коже (штављење) и сл.

У већини случајева код коришћења тврде воде потребно је да се она „омекша“, односно из ње уклоне растворљиве соли. Омекша(ва)ње воде врши се данас најчешће хемијским путем.

Чињеница је да су данас у свијету присутни различити приступи и степени код мјерења вриједности тврдоће воде, у Табелама 28. и 29. су дати оцјена природних вода према степенима тврдоће у mg. еkv. и коефицијенти за превођење јединица тврдоће воде у mg. еkv.

Табела 28. Оцјена природних вода према степенима тврдоће

Ред. број 1	Квалитет воде 2	Тврдоћа (mg. еkv.) 3
1.	Врло мека	< 1.5
2.	Мека	1.5 – 3.0
3.	Умјерено тврда	3.0 – 6.0
4.	Тврда	6.0 – 9.0
5.	Врло тврда	> 9.0

(Извор: О.А. Аљекин, 1934)

Табела 29. Коефицијенти за превођење јединица тврдоће воде у mg. еkv.

Ред. број 1	Јединица мјере тврдоће 2	Коефицијент 3
1.	Њемачки степени	0.36663
2.	Француски степени	0.19982
3.	Амерички степени	0.01998
4.	Енглески степени	0.28483

(Извор: М.Е. Аљтовски, 1973)

2.2.2.5. *Хемизам подземних вода у Босни и Херцеговини*²⁴⁰. Рад на првој хидрогеолошкој карти Босне и Херцеговине (ТК 200 и ТК 500) извршен је у периоду 1974 – 1978. године. Карте и тумач²⁴¹ су 1980. године, заједно са аналогним картама осталих република и аутономних покрајина бивше СФРЈ, биле основа за израду хидрогеолошке карте (бивше) СФРЈ, у размјери 1 : 500000.

Хидрогеолошка категоризација заснивала се на принципу класификације терена према количини воде, то јест водоиздашности стјенских маса. Аквифери су категорисани према порозности стијена, у зависности од поријекла пора и шупљина (примарна и секундарна порозност). Стијене које су у хидрогеологији дефинисане као изолатори (вододржљиве стијене), у хидрогеолошкој рејонизацији Босне и Херцеговине, сврстане су као простори без аквифера и као простори са локалним аквиферима.

Дефинишући основне критерије хидрогеолошке рејонизације, које представљају структуре порозности стјенских маса и водообилности (издашности) аквифера, Н. Миошић је у оквиру Босне и Херцеговине издвојио сљедеће хидрогеолошке регионе (зоне):

- Холокарстни регион Херцеговине и југозападне Босне – простор вањских Динарида у Босни и Херцеговини;

²⁴⁰ Видјети детаљније: Н. Миошић, Хидрогеолошка рајонизација Босне и Херцеговине, Геолошки гласник, бр. 27, стр. 259 – 273, Сарајево, 1982.

²⁴¹ Сви радови на карти и тумачу изведени су под руководством Невена Миошића, дипл. инг. геологије, Институт за хидрогеологију и хидротехнику, „Геоинжињеринг“, Сарајево

- Регион средњобосанских шкриљавих планина са мезозојским карбонатним стијенама – централно босански регион;
- Регион офиолитске зоне са палеозојским стијенама;
- Регион унутрашњих Динарида – хорстови и ровови сјеверне Босне.

*Хемизам подземних вода региона холокарста Херцеговине и ј-з Босне.*²⁴² То су воде ниске минерализације нормалне вриједности рН, HCO_3^- - Ca^{++} типа. Ca^{++} јон међу катјонима учествује са 60 – 90% еквивалента, док Mg^{++} и Na^+ плус K јони имају различите међусобне вриједности. HCO_3^- јон, такође, преовлађује над осталим анјонима. Минерализација се креће у распону од 260 – 760 mg/l ²⁴³ а укупна тврдоћа се креће од 6 – 16° dH (њемачки степени тврдоће).

У односу на стијене које су доминантне у овом региону и у којима се јављају бројни извори и врела, анализе показују да воде из кречњака су HCO_3^- и Ca^{++} типа а из доломита нешто више Mg^{++} компоненте и SO_4^- јона. Воде из флишних серија Промине или на контакту са верфенским шкриљцима могу бити различитог хемизма. Према М. Коматини (1975) велику минерализацију имају воде из флиша а значајно мања минерализација је из хемијски чистих кречњака. У зони холокарста минерализација подземних вода је обрнуто пропорционална (сразмјерна) са квантитетом издашности извора у овом региону, односно минерализација је већа код сталних извора (врела) него код повремених.

Хидрогеолошки регион средњобосанских шкриљавих планина са мезозојским карбонатним стијенским масама – централно босански регион. Хемизам подземних вода палеозојских простора средње Босне је повезан са различитим стјенским компонентама у овој зони. Присутне су магматске стијене, које због своје отпорности и мале растворљивости у присутним подземним водама, имају ниску (малу) минерализацију макро састојака (100 mg/l): HCO_3^- , Cl^- и Na^+ - Ca^{++} типа. Карбонатне стијенске масе (кречњаци и доломити) углавном садрже хемизам који одговара карсту на простору Босне и Херцеговине, значи од 300 – 400 mg/l и HCO_3^- - Ca^{++} - Na^+ су типа. Према Н. Миошићу (1982) минералне и термоминералне воде ове зоне имају потпуно друкчију генезу (постанак) у односу на обичне подземне воде (природне изворске воде), тако да им се разликује и хемизам.

Хидрогеолошки регион офиолитске зоне. Обичне воде (природне изворске воде, без CO_2) у зони офиолита и ултрамафита углавном се везују за инфилтрационе воде у релативно плитком растворљивом дијелу топографске површине. У овој зони, с обзиром на малу моћност водоносног слоја, јављају се извори чија је издашност мања од 0.1 l/s. Хемизам вода у овој зони (региону) одликује се ниском минерализацијом и то су првенствено Mg^{++} - Ca^{++} - HCO_3^- воде. Географски посматрано, хемизам изворских вода у карбонатним аквиферима (Романија, Сјемеч, издвојени масив планине Звијезде и слив ријеке Спрече) је, по м. Коматини (1975) сличан изворским водама у зони карста планинских масива Бјелашнице (2067 m н.в.), Трескавице (2088 m н.в.), Зеленгоре (2015 m н.в.) и Лелије (2032 m н.в.). Углавном су то HCO_3^- - Ca^{++} - Mg^{++} воде са минерализацијом од 300 - 600 mg/l и укупном тврдоћом од 10 – 20° dH.

Хидрогеолошки регион унутрашњих динарских хорстова и ровова сјеверне Босне. У карстно – пукотинским аквиферима ове зоне већина подземних вода се одликује повишеном минерализацијом, углавном од 600 – 800 mg/l и HCO_3^- - Ca^{++} типа. Повишена минерализација земно – алкалних састојака условљава и повећање укупне тврдоће и до 20° dH (посебно у подручју Семберије).

²⁴² Коматина, М., Хидрогеолошке одлике сливова централно – динарског карста, „Геозавод“, Београд, 1975.

²⁴³ Најчешће је од 300 – 500 mg/l .

Алувијане средине Посавине садрже углавном $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{++}$ воде, али мјестимично постоји увећање Cl^- и Ca^{++} јона. Минерализација им се креће од 400 - 700 mg/l.²⁴⁴ Пораст Cl^- и Na^{++} јона је у највећој мјери антропогеног поријекла (насељеност, агрикултура).

У подручју Семберије воде имају минерализацију од око 900 mg/l, у Спречком пољу од 800 - 1000 mg/l.

Треба нагласити да ову зону карактеришу бројне подземне акумулације са повишеном минерализацијом и садржајем гвожђа и мангана. Посебно се то односи на подручје Српца, Семберије, Спречког поља и Орашја. Посебно је питање загађивање подземних вода из загађених, у већој или мањој мјери, водотока Врбаса, Босне, Спрече и Дрине, али и дијелом из ријеке Саве.

2.3. Издани – типови и особине

Издан, појмовно – термилошки у хидрологији се дефинише као подземна вода која, под утицајем гравитације, испуњава поре, пукотине и шупљине у растреситом земљишту изнад неке непропустљиве подлоге. Доња граница издани је стална, док горња граница осцилира у зависности од (ин)филтрације воде са топографске површине.

Већ смо констатовали да падавинска вода (без обзира на облик падавина) се креће под утицајем Земљине теже (гравитациона вода) од топографске површине у подземне слојеве. Процес, назван у хидрогеологији филтрација (процјеђивање) зависи од врсте стијена и коефицијента процјеђивања (Табела 30).

Вода, која највећим дијелом потиче од атмосферских падавина, се након инфилтрације (понирања) у прозачној зони (водом незасићени дио подземних слојева) мијеша с водом из ријечних корита и језера, и наставља слободно тећи кроз подземне слојеве док постоје за то географско – геолошки услови. Слој стијена или седимената кроз које тече подземна вода зове се водоносни слој – *аквифер*. Према Ј. Риђановићу (1989) аквифери су најраширенији у пропусним кластичним²⁴⁵ седиментима: пијесак, шљунак и сл. Пјешчари (кластични седименти у којима су везане честице пијеска), кречњаци, односно пукотинске стијене могу бити, такође, добри аквифери.

Табела 30. Коефицијент процјеђивања у зависности од врсте стијена

Врста стијена	Коефицијент процјеђивања k у cm
1. Пијесак без глине	1.0 – 0.01
2. Глиновити пијесак	0.01 – 0.005
3. Супијесак	0.005 – 0.0003
4. Глина	0.0003 – 0.000005
5. Глина заслањена	0.000001 – 0.0000003
6. Стубаст солонец	0.000001 – 0.0000003
7. Лес	0.0005 – 0.0001
8. Тресет нераспаднут	0.006 – 0.002
9. Тресет прилично распаднут	0.0008 – 0.0002

(Извор: Д. Дукић, 2006)

²⁴⁴ Јосиповић, Ј., Хидрогеолошка истраживања у Спречком пољу за водоснабдијевање града Тузле, Фонд предузећа „Геостраге“, Сарајево, 1967.

²⁴⁵ Кластични или механички седименти: шљунак, блокови, конгломерати, брече, пијесак. С обзиром на величину честица дијеле се на: псефите (честице веће од 2 mm), псамите (2 – 0.02 mm) и пелите (испод 0.02 mm).

Да би се схватио ранг величине процјеђивања довољно је навести податак за заслањену глину која спада у вододржљиво земљиште : брзина процјеђивања је десет милиона пута мања од понирања воде кроз пијесак без глине; према Д.Дукићу (2006), кроз такво земљиште дебљине 100 mm филтрација траје 1300 дана (три године, 7 мјесеци и 24 дана). Кроз лес, који се убраја у полупропустљива земљишта, процјеђивање воде износи 20 mm за вријеме од једног сата.

*Типови издани.*²⁴⁶ С обзиром на географско – геолошке услове, услове храњења и издавања воде у изданима, уз уважавање бројних специфичности и присутних разлика, могу се издвојити три типа издани:

1. *Издани збијеног типа*

- а) Обична (нормална) издан или фреатска издан
- б) Артечка (артешка) издан (уклијештена вода)

2. *Разбијене издани*

- а) Пукотинске издани
- б) Карстне издани

3. *Сложене издани*

*Елементи издани.*²⁴⁷ Основни елементи издани могу се подијелити на просторне и функционалне, при чему треба да јасно дефинишу положај, границу, дебљину (моћност) и распрострањење неке издани. Основни елементи су доња граница издани и горња граница издани.

Доња граница издани. Она је у суштини водонепропусни (вододржљиви) слој изнад којег се образује подземни резервоар слободне, гравитационе воде. Гравитациона вода је најзначајнији дио воде у подземљу. Ова вода, већ смо истакли, процјеђује се (под утицајем силе теже и структуре капилара) кроз земљиште и стијенску подлогу, са топографске површине, кроз зону аерације²⁴⁸ према издани. Доња граница издани релативно је стална (стабилна) јер је одређују водонепропусне стијене.

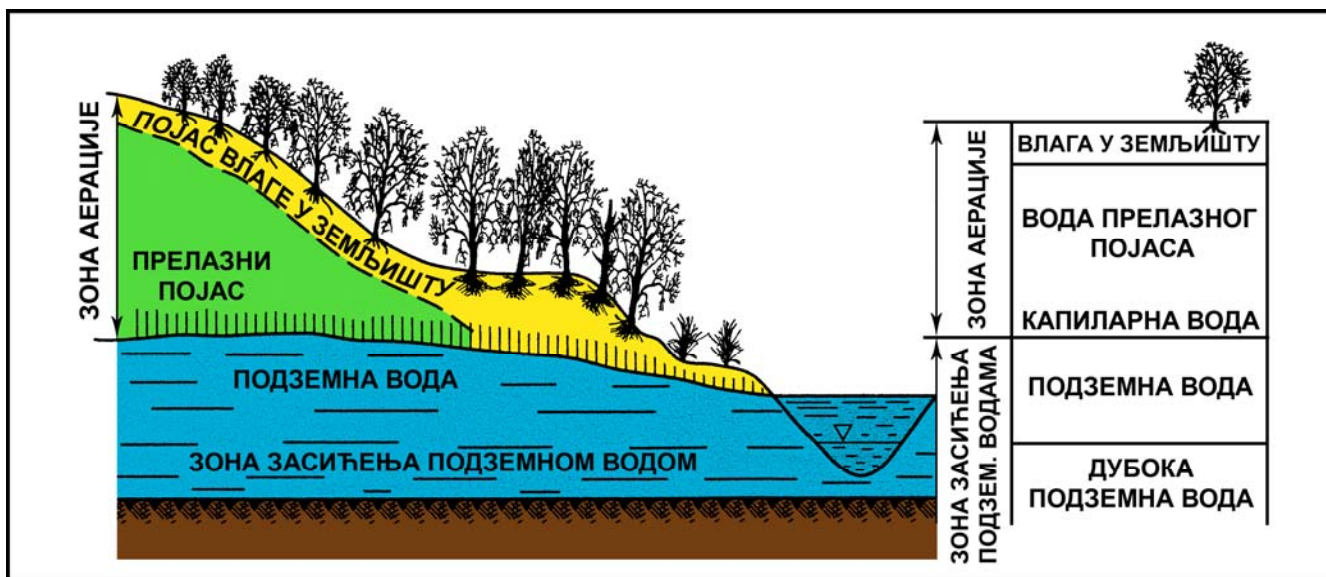
Горња граница издани. Ова граница се још назива и површина издани, односно водно огледало (лице) издани; водно лице издани према зони аерације карактерише капиларна обрубљеност (оивиченост). Горња граница издани подложна је промјенама, колебању. Промјене су сталне и повремене.

Сталне промјене површине издани условљене су капиларним издизањем воде у зони аерације. Према Ј. Риђановићу (1989) та појава има непроцјењив значај за биљке; биљке се на тај начин снабдијевају потребном влагом

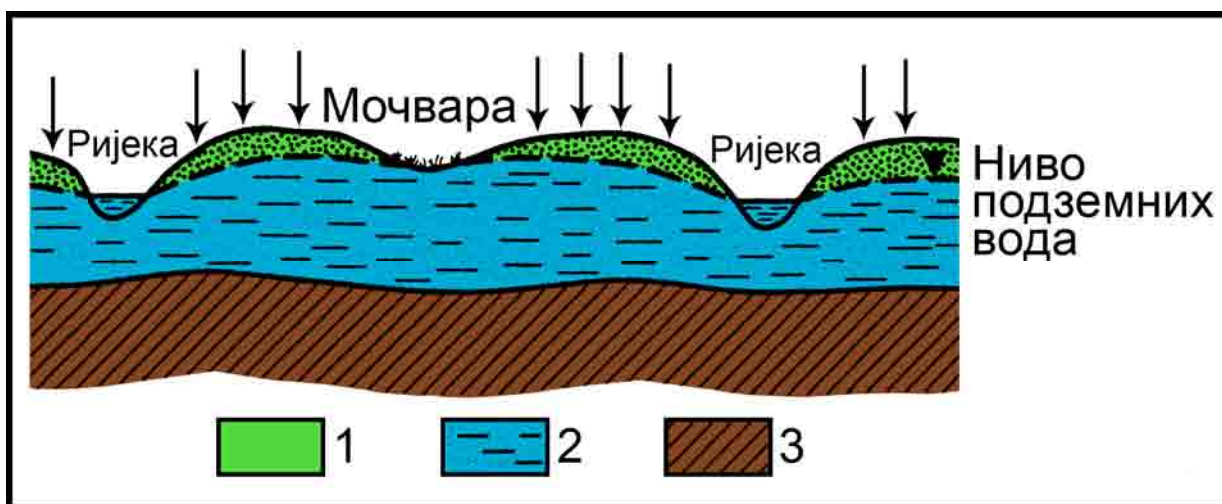
²⁴⁶ Видјети опширније: Ј.Петровић, Ж.Богдановић, цит. изд., стр. 36 – 56.

²⁴⁷ Ibid., стр. 38 - 40

²⁴⁸ Између топографске површине и горње површине фреатске издани је зона аерације. Назив те зоне потиче отуда што су празнине (шупљине) у том дијелу подземних слојева испуњене дјелимично водом, а у преосталим порамима је ваздух, односно атмосферски гасови, водена пара и гасови који су настали у самом земљишту редукционим процесима. Нижи слој зоне аерације испуњен је капиларном водом.



Слика 9. Подземне воде у зони аерације и зони засићења;
(Извор: Д. Дукић, 2006)



Слика 10. Узајамни однос нивоа подземних вода и профила рељефа
1. зона аерације; 2. водоносни хоризонт; 3. вододржљиви слој
(Према: Д. Дукић, Љ. Гавриловић) 2006.

Повремене промјене дешавају се због утицаја физичкогеографских фактора, но не смије се занемарити ни антропогени фактор. На горњу границу веома је значајан утицај атмосферских падавина: у кишном периоду издан је ближе топографској површини него у вријеме сушног периода.

Посебан значај има положај површине издани према водотоцима. Уколико је ријечно корито у нивоу издани, тада ће вода притицати директно у ријеку природним падом. У вријеме високих водостаја ријека ће хранити издан, и обрнуто, ниски водостај ријека условљава отицање воде из издани према ријечном кориту и храни ријечни протикај.

Опадање нивоа издани се јавља и код исушивања мочвара. Горњу границу издани снижава и узимање воде у прекомјерним количинама за водоснабдијевање становништва и привреде. Подизањем загага (преграђивање водотока на попречном профилу) долази до појачане

вертикалне ерозије ријечних токова (водоток се усјеца дубље у подлогу), а то проузрокује снижавање горње границе издани; некада влажне ливаде постају суви предјели.

Дебљина издани означава слој воде између доње и горње површине границе издани. Дебљина (моћност) издани је промјенљива јер се горња граница мијења у зависности од притицања и отицања воде. Међутим, дебљина издани овиси и од тачке (коте) истицања, од градијента²⁴⁹ хидрауличког²⁵⁰ пада и филтрационих својстава изданске воде.

Распрострањење издани је условљено првенствено положајем и обимом вододржљивог слоја у коме је образована нека издан.

2.3.1. *Режим*²⁵¹ *издани* .

Режим подземних вода представља резултанту²⁵² веома комплексних и међузависних појава које се изражавају кроз колебање нивоа издани, облике и величину храњења и издавање различитих видова појављивања и кретања и промјена физичко – хемијских особина.²⁵³ По М.Коматини (1984) „режим подземних вода представља динамички процес условљен утицајем низа природних и вјештачких фактора који узајамно дјелују“. Основни или доминантни фактори су: 1. климатски, 2. геолошки, 3. хидролошки, 4. биолошки, 5. вјештачки (хидромелиорације, водне акумулације, хидротехнички објекти). Према М.Е.Аљтовском класификација фактора режима подземних вода обухвата сљедеће генетске групе фактора (Табела 31)²⁵⁴: климатски, хидролошки, геолошки, педолошки, биогени и вјештачки.

Прва организованија осматрања режима подземних вода која су била у вези са њиховим све већим значајем започета су у XIX вијеку (Њемачка, 1834. године). Почетком XX вијека организована осматрања изводе се у САД (од 1903. године), Аргентини (од 1912. године) и Мађарској (од 1920. године). На подручју бивше СФРЈ систематско проучавање издани и режима издани врши се након Другог свјетског рата, тачније од 1948. године.

Већ смо истакли да промјене стања подземне воде могу бити сталне и повремене, а на њих утиче велики број спољних и унутрашњих фактора. На основу времена трајања, у хидрогеологији, разликују се сљедеће промјене изданског нивоа: краткотрајне (дневне и вишедневне), сезонске (посљедице колебања климатских елемената, посебно падавина) и дуготрајне промјене (посљедица значајних климатских колебања, у временским интервалима од 30, 50 и више година).

²⁴⁹ Градијент (лат. *gradiens* – који корача); 1. разлика ваздушног притиска између два мјеста на истој надморској висини; 2. степен пада, степен успона; 3. *физ.* мјера промјене неке физичке величине по појединачној промјени варијабле у јединици дужине.

²⁵⁰ Хидраулика – хидраулички: који дјелује усљед притиска или покретања воде или неке друге текућине.

²⁵¹ Режим (фр. *régime* ; лат. *regere* – владати), у хидрологији: просјечни годишњи ток водостаја.

²⁵² Резултанта (лат. *resultare* – одскакивати); 1. *физ.* сила која настаје заједничким дјеловањем више сила; 2. појава која настаје као крајњи резултат неког процеса.

²⁵³ Према Ј. Петровићу, Ж. Богдановићу, цит. изд., стр. 40.

²⁵⁴ М.Е. Аљтовски, 1954. године

Табела 31. Класификација фактора режима подземних вода*

Ред.број	Генетске групе фактора	Група фактора		
		споро промјенљивих	брзо промјенљивих	повремених
1	2	3	4	5
1.	Климатски	Типови климата	Сезонске падавине, испаравање, атмосферски притисак, температура ваздуха	Пљускови, отапање снијега и сл.
2.	Хидролошки	Типови режима ријека, језра и мора	Поплаве, удар таласа, притицаји и отицаји	Поплаве, утицај вјетра на ниво површинских вода (водно огледало), природно преграђивање ријека (лед и др.)
3.	Геолошки	Геолошке формације, тектонски покрети, унутрашња топлота Земље, кретања Земље, радиоактивност литосфере	-	Земљотреси, вулканизам, блатни вулкани, одрони
4.	Педолошки (земљишни)	Типови процеса у формирању земљишта	-	-
5.	Биогени	Вишевековна транспирација биљних асоцијација (заједница)	Сезонска транспирација биљака	-
6.	Вјештачки	-	Исушивање, наводњавање (квашење) термички фактори	-

* Одређени термини су модификовани у односу на изворни текст из 1954. године

Основни елементи режима подземних вода су: *ниво, издашност, температура, хемијски и гасни састав*. Њихово регистровање је могуће у слојевима интергрануларне порозности, помоћу вјештачких бушотина гдје се постављају *пијезометри*²⁵⁵ на основу чега се утврђују закономјерности дневних, сезонских, годишњих и вишегодишњих промјена подземне воде. Пијезометри се постављају и у карстним теренима у спелеолошким, хидролошки активним, објектима.

Табела 32. Режим издани осматран у бушотинама Републике Србије – средњомјесечни положај нивоа издани у см*

Станица	Кота „0“ (m)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год	max	min
Љубичевски мост	80.96	958	1002	1006	973	1000	990	сув	1028	1022	913	941	953	973	852	1029
Обреновац – водомјер	75.12	318	298	295	301	341	433	433	434	438	377	345	335	358	288	457
Клење	87.15	410	426	413	349	332	307	307	316	335	366	400	398	364	300	448
Борча	72.52	293	294	304	310	225	359	359	351	359	331	301	307	323	288	364
Бач (Б – 1/3)	82.08	79	79	78	94	98	125	125	138	133	142	136	11	111	68	148

(Извор: Д. Дукић, Љ. Гавриловић, 2006)

* Нумеричке вриједности се читавају од 0 (топографске површине) наниже. То значи да већа нумеричка вриједност у табели указује да се ниво издани налази на већој дубини.

²⁵⁵ Пијезометар, пиезометар (грч. *piézō* – притискујем + *métron* – мјера, мјерило), справа за мјерење стишљивости (компресивности) течности; дански научник *Ersted* (1777 – 1851) доказао је помоћу пиезометра да су течности ипак стишљиве; утврдио је да при повећању притиска за *1 bar* настаје смањење запремине воде од *0.0047%*.

Пијезометри, односно осматрачке станице могу да служе за редовна и дуготрајна мјерења, но могу се користити и на одређено вријеме, код хидрогеолошких картирања или истраживања лежишта воде за водоснабдијевање.

*Типови режима подземних вода*²⁵⁶. Типови режима подземних вода зависе од двије групе фактора. Прву групу чине фактори везани за климатска и хидролошка колебања. Другу групу чине геолошке појаве и промјене које се одвијају јако споро.

1. *Вододјелнички тип*. Настаје под утицајем, током одређеног временског периода, промјенљиве инфилтрације падавина, односно зависи од расподјеле и облика падавина. Одликује се сезонским колебањем нивоа с максимумом у доба интензивне инфилтрације; у крајевима са обилним сњезним падавинама – приликом топљења снјега (прољеће и почетак љета) и у крајевима с топлотом климом – у кишном периоду. Највећа амплитуда колебања нивоа је на вододјелници (развођу). Ове изданске воде су удаљене од главних површинских токова који имају простране (широке) алувијалне равни и велика колебања воде у ријечом кориту.
2. *Приобални тип*. Настаје под утицајем колебања нивоа воде у реципијентима (пријемницима) као што су ријеке, језера и сл.
3. *Мјешовити тип*. Овај тип режима подземних вода представља резултат суперпозиције (продужавања) колебања изазваних ријечном водом и атмосферским падавинама. Овај тип је раширен код претходна два типа (вододјелничког и приобалног типа).
4. *Карстни тип (у подножју брдско – планинског простора)*. Формира се у зони интензивног упијања површинских вода (карстифициране стијене, облаци²⁵⁷ наносних купа и сл.). Овај тип се у потпуности разликује од претходних типова.
5. *Мразни тип*. Карактеристичан је за воде испод границе мраза у областима вјечитог мраза.
6. *Вјештачки типови*. Вјештачки типови режима подземних вода настају под утицајем успора и рада иригационих уређаја (система за наводњавање и сл.).

*Прогнозе режима подземних вода*²⁵⁸. За прогнозу промјена нивоа подземних вода у току одређеног временског периода примјењују се различити методи. Они се, зависно од расположивих података, могу сврстати у три групе:

- *методи прогнозе прве групе*; базирају се на математичким прорачунима промјена режима подземних вода у одређеном временском периоду; ријеч је о једначинама о нестационарном²⁵⁹ кретању подземних вода.²⁶⁰
- *методи прогнозе друге групе*; за полазне податке користе резултате хидрогеолошких, хидролошких и метеоролошких осматрања, на основу којих се дефинише режим подземних вода.²⁶¹
- *посебна група*; методи који се заснивају на (про)рачунима укупног водног биланса²⁶² и који се примјењују, углавном, у подручјима наводњавања.

Прогнозе нивоа подземних вода могу бити краткорочне и дугорочне.

²⁵⁶ Према Г.Н. Коменском (1938).

²⁵⁷ Облаци, врста растреситих стијена који могу, с обзиром на размјере честица, бити: врло крупни (200 – 100 mm), крупни (100 – 60 mm), средњи (60 – 40 mm) и ситни (40 – 20 mm).

²⁵⁸ Опширније видјети: М.Е.Аљтовски, цит.изд.,стр. 105 – 107.

²⁵⁹ Стационаран (нлат. stationarius), који мирује, сталан, непокретан, постојан, који не мијења мјесто и сл.

²⁶⁰ У ову групу спадају методи екстремних разлика (Г.Н.Каменски), рјешења једначина нестационарног кретања (П.Ја. Полубаринова – Кочина, Н.Н.Веригин, Н.Г.Грински), моделовање нестационарне филтрације помоћу хидрауличког интегратора (В.С.Лукјанов) и метод EGDA установљене (стационарне) филтрације (Н.Н.Павловски).

²⁶¹ У ову групу спадају методи корелације (М.Е.Аљтовски, А.М.Суботин), опште процјене хидрогеолошких услова, узимајући у обзир периодичност колебања водног огледала (М.А.Шмит, А.А.Конопљанцев и др.) и аналогија у образовању биланса подземних вода (А.В. Лебедјев).

²⁶² А.Н.Костјеков, М.М. Крилов, А.Ф. Сљадњев.

2.3.2. Кретање подземне воде – кретање издани

Изданске воде крећу се стално под утицајем силе теже, хидростатичког притиска и (силе) трења. У случајевима када је вододржљивислој депресија (удубљење), фреатска издан је подземна акумулација (подземно језеро).

Изданска вода, када се креће, тече у смјеру највећег пада или најмање препреке. Брзина кретања (брзина отицања воде у подземним слојевима) је варијабилна (промјенљива) и зависи од степена пропустљивости²⁶³ стијена, са амплитудом широког распона. Њена брзина (v) добија се по обрасцу:

$$v = 5.63 \cdot \sqrt{i \cdot d}$$

или

$$v = \frac{K \cdot i}{n} ; \quad i = \frac{H_1 - H_2}{L} , \text{ при чему је:}$$

i – пад непропустљивог слоја или хидраулички градијент;

d – средњи пречник честица (гранула) растреситог слоја;

K – коефицијент филтрације дате водоносне средине;

n – порозност средине;²⁶⁴

H_1 – кота горњег бунара;

H_2 – кота доњег бунара;

L – растојање између бунара.

Изданска вода због унутрашњег трења²⁶⁵ тече малом брзином: кроз ситан пијесак око 1 m дневно, а у крупнијем до 5 m дневно. Међутим, у крупним шљунковитим²⁶⁶ наносима и стијенама са већим шупљинама и израженијим пукотинама, отицање изданске воде се врши брзином од 1 – 10 km дневно. У засутиим ријечним коритима, са доминацијом облутака и шљунка, изданска вода се креће брзином од више стотина метара дневно; такве издани су познате под називом *изданске ријеке*.²⁶⁷

Кретање изворске воде прати се осматрањем у бунарима и бушотинама пореданим у правцу пада доње границе издани (линије талвега).²⁶⁸ „Правац кретања подземних вода зависи од нагиба водоносне серије и висине изворске зоне. Слободна подземна вода се креће у правцу нагиба, односно, истицања. Нагиб горње површине издани утврђује се помоћу хидроизохипси (линије које спајају тачке истог нивоа изданске воде, оп.а.). За израду карте хидроизохипси користе се копани или бушени бунари. У најмање три бунара одрее се апсолутне коте горње површине издани“.²⁶⁹

²⁶³ Пропустљивост је хидрогеолошко својство стијене (или земљишта) да више или мање свака стијена пропушта воду, а мјери се јединицом *darcy*. За практичну употребу пропустљивост се дефинише коефицијентом филтрације ($k:K$).

²⁶⁴ Хидрогеолошко својство средине (стијене – земљишта) да може примити и задржати воду.

²⁶⁵ Трење; сила која се јавља при додиру (контакту) двију површина, односно при релативном кретању једног тијела по другом. Та сила је одређена *коефицијентом трења*, то јест односом силе потребне да се оствари кретање и силе која те двије површине притискује једну на другу.

²⁶⁶ Шљунак је растресити невезани седимент изграђен од заобљених комада, облутака, који су настали дугим преносом и котрљањем комада стијена по дну водотока.

²⁶⁷ Посебно су карактеристичне у фосилним ледничким долинама сјевера Њемачке и Пољске.

²⁶⁸ Талвег (њем. Tal – долина + Weg – пут), *геогр.* линија у ријечном кориту, пећини (уздужном профилу) која повезује најниже тачке.

²⁶⁹ Ј.Петровић, Ж.Богдановић, цит. изд.,стр. 35 – 36.

Правац кретања подземних вода је нормалан (под углом од 90°) на положај хоризонталности. Логично је да већи број бунара (контролних тачака) омогућује израду прецизније карте хидроизохипси, а то дефинише квалитетније (тачније) одређивање правца кретања подземних вода.

Правац и брзина кретања изданске воде утврђује се експериментално. За ту сврху најподеснији је уранин ($C_{20}H_{10}O_5Na_2$), натријумова со флуоресцеина ($C_{20}H_{12}O_5$). Флуоресцеин је прах наранцасте боје, при загријавању на 315°C разлаже се без топљења, слабо се раствара у води (раствара се у алкалном раствору).²⁷⁰

Алкални раствор флуоресцеина на Сунчевој свјетлости флуоресцира²⁷¹ лијепом жутом бојом. Већ смо рекли да се натријумова со флуоресцеина назива уранин, а његов раствор се употребљава за откривање токова подземне воде.

Уранин је само један од низа маркационих материја (обиљеживача, трасирајућих материја) који се користи за кретање подземне воде. Према одређеним физичким, хемијским, биолошким и механичким одликама и начину детекције трасирајуће материје²⁷² се сврставају у неколико група:²⁷³

1. механичке или нерастворљиве материје (мекиње, пљева, пиљевина, здробљени плуто, струготине, пластичне грануле и сл.),
2. хемијске материје (неорганске соли – NaCl, KCl²⁷⁴ и др.),
3. колориметријске²⁷⁵ материје (флуоресцеин, уранин, еозин, фиксин),

Ако се на флуоресцеин дејствује бромом, настаје тетрабром – флуоресцеин, лијепа црвена боја, под именом „еозин“. Еозин је прах црвене боје; он може да боји вуну и свилу. Фиксин (лат. fixus – прирубљен, стални), невидљив прах који се користи у криминалистици за посипање предмета како би се на њима што јасније видјели отисци прстију.

4. биолошке материје (бактерије, биљне споре),
5. активационе²⁷⁶ материје (неорганске соли које се у узорку воде озрачују у нуклеарном реактору),
6. радиоактивне материје; [радиоактивни изотопи: I (јод) – 131 (један од 22 радиоактивна изотопа јода; само је један стабилан изотоп јода у природи (I – 127), Br – 82 (бром се између осталог користи за припремање боја), Sr – 51, H³ (тритијум – Т, чије је вријеме полураспада ($t_{1/2}$) 12.5 година. Изотопи се све више употребљавају у низу наука као моћни индикатори (показивачи) при проучавању значајних процеса; без изотопа већина процеса не би се могла лако објаснити].
7. остале групе [детерџенти – код нас се одомаћио назив „детерџенти“ према енглеском изговору латинске ријечи detergere (detergent) – чистити; синтетичке боје и материје са јаким и карактеристичним мирисом – продукти шпиритуса, алкохола за индустријске којем се додају разне супстанце (денатурисани алкохол) које се тешко могу одвојити, као нпр.: метанол, бензен, формалин, пиридин и др; салицилна киселина – бијели кристаласти прах, у хладној води тешко растворљив; састојак четинарских смола].

²⁷⁰ Базни раствори се често називају алкални раствори.

²⁷¹ Својство неких тијела да под утицајем једне врсте свјетлости зраче свјетлост друге врсте (мање таласне дужине) и то само док та свјетлост на њих дејствује.

²⁷² Трасирајуће материје не смију да буду токсичне; морају бити постојане у додиру с водом и да се лако откривају (уочавају, региструју).

²⁷³ Према Д. Дукићу и Љ. Гавриловић (2006), цит. изд., стр. 33.

²⁷⁴ KCl, калијум – хлорид, калијумова со. За разлику од NaCl, калијум – хлорид, као и остале K-соли, отровно дјелује на животиње које се хране биљном храном, док на човјека дјелују (K-соли) незнатно. Из тих разлога треба бити пажљив код коришћења KCl.

²⁷⁵ Колориметар (лат. color – боја, грч. métron – мјера), справа за мјерење јачине неке боје.

²⁷⁶ Активација (лат. дјеловање), хем. методи за одређивање трагова елемената помоћу озрачивања узорка неутронима у нуклеарним реакторима.

2.3.3. Подземне воде у карсту

Појам карста и његово распрострањење. Термин карст (крас, крш) етимолошки је везан за географски простор *Крас*, између Трста – Италија и Сњежника – Хрватска (Горски Котар). Овај географски простор је комплекс геоморфолошких и хидролошких процеса и појава које се јављају у подручјима изграђеним од стијена растворљивих у води (кречњак – CaCO_3 и мање или веће количине глине²⁷⁷, доломити – $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$, гипс - $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) као и резултат хемијске и механичке ерозије у тим стијенама.

Калцијум (calcium) спада у врло распрострањене елементе, а у природи се налази само у везаном стању, и то у облику тешко растворљивих и нерастворљивих соли, а нарочито у облику карбоната: CaCO_3 (кречњака, калцита, арагонита и креде), доломита $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$; познати дсу минерали: гипс, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; анхидрит, CaSO_4 ; флуорит, CaF_2 ; апатит, као и разни силикатни минерали и силикатне стијене.

Данас се карст Динарског система сматра за подручје његовог класичног развитка у свијету. У Европи карст има значајни распрострањење. Медитерански басен, Француска, Велика Британија, јужни дио Њемачке, Пољска, Чешка, Румунија, Бугараска и друге земље Европе. Највећи (најиздашнији) карстни извор на свијету (минимум $30 \text{ m}^3/\text{s}$) је Думанли у Турској. У свјетским размјерама карст највећу површину заузима у САД (око 15%), затим простору бившег СССР-а, Кини, југоисточној Азији, Аустралији и у подручју Мексичког залива.

Према моћности карстификованих стијена и дубини положаја подземних карстних слојева, разликују се дубоки и плитки крас. У складу са цјелокупношћу манифестовања карстне морфоскулптуре и хидролошких одлика, дефинишу се *холокарст*²⁷⁸ и *мерокарст*²⁷⁹. Између холокарста и мерокарста дефинише се прелазни карст, односно прелазни тип карста између холокарста и мерокарста.

Наука о карсту се назива *карстологија*, наука која кондензује географију карста, биоспелеологију и физичку спелеологију.

У укупној структури површине литосфере карбонатне стијене се простиру на око $40.0 \cdot 10^6 \text{ km}^2$, гипс и анхидрит на око $7.0 \cdot 10^6 \text{ km}^2$ а соли на око $4.0 \cdot 10^6 \text{ km}^2$. Можемо закључити да ове стијене, у којима се врши хемијска (крашка) ерозија, обухватају око једне трећине површине копна наше планете.

Основне двије одлике карста су:

- облици рељефа представљени су, углавном, затвореним депресијама различитих величина, што подручјима гдје доминира карст даје специфичан природни пејзаж;
- друга битна одлика карста лежи у његовој хидролошкој контрадикторности: снажно наглашена безводност на топографској површини а значајно присуство воде у унутрашњости кречњачке масе.²⁸⁰

Вода која се излучи у виду падавина брзо понире у многобројне пукотине и њима подземно отиче. Диспропорцију између количине падавина и вриједности отицања воде на површини карбонатних стијена можемо најбоље видјети на примјеру Орјена (1859 m н.в.), Ловћена (1749 m н.в.) и Румије (1593 m н.в.). Ови планински масиви (Република Црна Гора) примају више од 5000 mm атмосферских падавина, а у суштини су највиши обалски планински бедем Динарског система без сталних површинских водотока. Истраживања су показала да је унутрашњост

²⁷⁷ Постоји више различитих врста глине; њихове особине зависе од присутних састојака. Глина која садржи велику количину калцијум – карбоната (CaCO_3) има назив лапорац, а служи за добивање цемента; глина с већом количином гвожђевитих једињења обојена је жуто или мрко – зове се иловача.

²⁷⁸ Холокарст (потпуни карст) означава присуство свих површинских и подземних карстних облика.

²⁷⁹ Мерокарст (непотпуни карст) означава карст изграђен у кречњацима са мањим процентом CaCO_3 (лапоровити кречњаци, битуминозни кречњаци, доломит); карстни процес модификован, а облици редуковани.

²⁸⁰ По ријечима Ј. Цвијића, на скрашћеном (карстификованом) земљишту „ни кап воде не отиче по површини, већ све понире у јаме, поноре, издухе и пукотине“.

(подземље) тог дијела динарског карста изузетно богато водом а вода из (тог) подземља доспијева у Јадранско море, при чему се само мали дио може регистровати као вруље или врела у Бокооторском заливу.

Кречњак,²⁸¹ веома распрострањена стијена, је типичан представник стијена подложних корозији.²⁸² Кречњак може да буде масиван (једар), а може да буде и слојевит (плочаст). Но, заједничка им је особина да су испресијецани многобројним пукотинама којима се крећу пиодземне воде. Атмосферске падавине посредством угљен – диоксида (CO₂) хемијски раствара и шири пукотински систем, при чему се стварају вема повољни услови за разгранато отицање воде у карстној унутрашњости.

Табела 33. Варијетети кречњака и доломита

Ред. број	Назив	Садржај у %	
		СаСО ₃	СаМg(СО) ₃
1	2	3	4
1.	Кречњак	95 - 100	0 – 5
2.	Слабо доломитизиран кречњак	75 - 95	5 - 25
3.	Доломитски кречњак	50 - 75	25 – 75
4.	Кречњачки доломит	25 - 50	50 – 75
5.	Слабо кречњачки доломит	5 - 25	75 – 95
6.	Доломит	0 - 5	95 - 100

(Извор: Р.Лазаревић,2000.)

Географски простор бивше СФРЈ је имао изузетно распрострањење карста, тако да не изненађује податак да неки основни појмови из хидрологије и геоморфологије карста са овог географског простора су постали мјерило и узорак у свјетском стручно – научном географском називљу.

2.3.3.1. Хипотезе о расподјели и кретању подземних вода у карсту.

Већина хидролога је сагласна да су подземне воде у карсту веома погодне за окуларна осматрања, као и да су приступачне за систематска испитивања. Но, и поред те приступачности, ове воде су, одувјек, биле и остале предмет сукобљених схватања и дефинисања. Најчешћи разлог је расподјела ових вода, али и кретање у карстним стијенама.²⁸³ Научни и стручни радови, као и бројне научне расправе су изузетна основа за анализу проблема подземних вода у карсту. Проблемом подземних вода у карсту бавио се велики број истраживача, па постоје бројна схватања, која се ипак могу свести у три основне групе.

Прво схватање . Хипотезу о расподјели и циркулацији подземних вода у карсту која се заснива на њиховим површинским манифестацијама, изложио је А. Grund,²⁸⁴ а подржавали су је првенствено А.Пенк (Penck), затим Richter и Krebs, дјелимично још неки аутори, док су скоро сви спелеолози оградили од овог схватања.²⁸⁵ Наиме, по А. Grundу у карсту са гушћом мрежом пукотина и канала, унутар кречњачке масе, образује се издан. Падавине које доспијевају на

²⁸¹ Кречњак је стијена, а састоји се од СаСО₃ и мање или веће количине глине, која је помијешана с њим. Настаје таложењем скелета и љуштурских организама, као и хемијским таложењем у води. Кречњак је најчешће бијеле, сиве и плавичасте боје, а може бити жућкаст па и црн.

²⁸² Корозија (лат. corrosio – разједање), разарање карбонатних стијена усљед њиховог растварања хемијским дјеловањем воде.

²⁸³ Најзначајније хипотезе дали су А.Grund (1903), F.Katzer (1909), Е.А.Мартел (1911), Ј.Цвијић (1918), С.М.Милојевић (1939), Ј.Роглић (1958), М.Херак (1980), И.Гамс (2003) и др.

²⁸⁴ Grund А., Die Karsthydrographie, Studien aus Westbosnien Geographische Abhandlungen, Bd. VII, Heft 3, Leipzig,1903.

²⁸⁵ Спелеолози су силазили у јаме дубоке и до 1100 метара и у њима наилазили на потоке, водопаде и језер(ца), мада је на тим дубинама требало очекивати стагнантну издан.

топографску површину инфилтрирају се до система пукотина које су испуњене непокретном – стагнирајућом водом, преко које се инфилтрирана атмосферска вода креће као по вододржљивој подлози.

Присталице хипотезе о издани у карсту названи су написти.²⁸⁶ „ Они сматрају да у свакој кречњачкој области постоји ниво подземне воде која се поступно издиже од површине мора према унутрашњости динарског карста. Почевши од тог нивоа престаје свако кретање воде према дубљим слојевима кречњака, док се изнад њега она (вода, оп.а.) креће кроз пукотине и отиче ка мору. Тако по а Грунду у сваком крашком терену постоји *стагнатна издан*“.²⁸⁷

Међутим, против постојања издани у карсту има низ доказа. Бушотине, рударска окна и сл. показују постојање циркулације воде на дубинама и до 800 метара испод евстатичког нивоа мора, односно рударска окна у карсту Белгије су наизмјенично пресецају суве и вододржљиве шупљине до 3000 метара дубине. Ови и други примјери потврђују „да се пукотинска циркулација воде у карсту врши независно од морског нивоа и до дна отопиве кречњачке масе“.

Постоје и руги бројни докази који оспоравају Грундово схватање: нека врела са мањом надморском висином пресушују прије виших; нека врела реагују одмах на падавине, док друга, у њиховој непосредној близини, уопште не реагују; у крашкун пољима на истој надморској висини налазе се врела, понори и еставеле. То показује да је циркулација подземних вода у карсту много сложенија од схватања А. Грунда. Уосталом, и сам А. Грунд је касније промијенио своје мишљење када је у питању постојање сталне издани у карсту.²⁸⁸

Друго схватање. Ово схватање, супротно Грундовом, има више представника: В.Кнебел (1906), К.Кајлхак (1940), Ф.Кацер (1909), Е.А.Мартел (1894), Ем. де Мартон (1948), В.А.Девис и други. Ово схватање је познато и као Кацер – Мартелово схватање²⁸⁹ и заснива се на чињеници да у карсту постоје подземни токови. Механизам се заснива на инфилтрацији атмосферских падавина које се акумулирају у пукотинском систему. Вода, у унутрашњоти карстног система, тече каналима које је сама изградила. Начин кретања²⁹⁰ зависи од облика канала.

Е.А.Мартел (1911) је ово схватање изложио на сљедећи начин: „У кречњаку се нагомилавају водене резерве и теку кроз ходнике, галерије, пукотине, које једне од других, често на километарским растојањима, растављају компактне партије; мреже, џепови и токови су истина која је сад емпиријски утврђена. С друге стране, утврдио сам каткад, да постоји усред планинског масива више водоносних зона, које леже једна изнад друге и које су настале усљед интеркалације²⁹¹ различитих непропустљивих лапоровитих слојева“.

Фридрих Кацер (F. Katzer) је своје схватање изложио 1909. године. Дефинисао га је на основу истраживања карста у Босни и Херцеговини. Фридрих Кацер је и аутор схематског профила (Слика 11).

²⁸⁶ Фр. la nappe – издан, подземна вода, водоносни слој

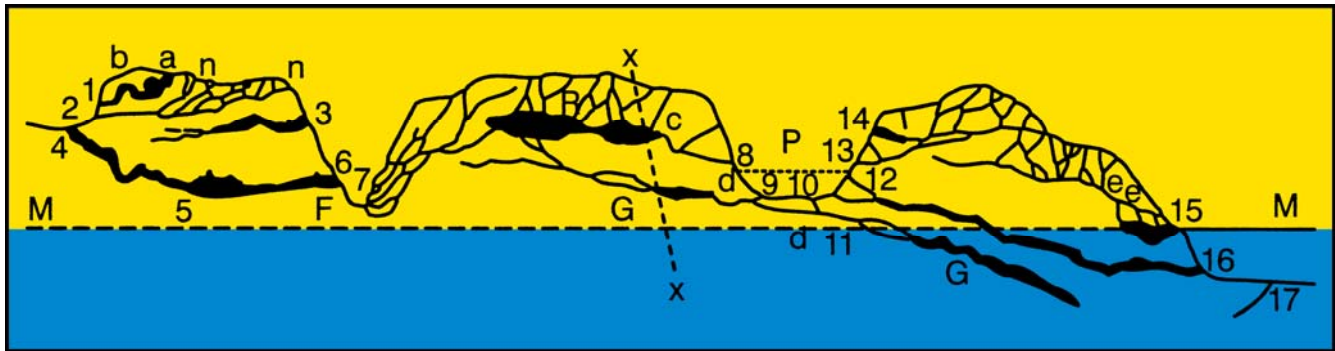
²⁸⁷ Дукић Д., Гавриловић Љ., цит.изд., стр. 37.

²⁸⁸ Лазаревић, Р., Подземне воде у красу, Земља и људи 10, Београд, 1960.

²⁸⁹ Martel E.A., Nouveau traité des eaux souterraines, Paris, 1911; Katzer F., Karst und Karsthydrographie, Sarajevo, 1909.

²⁹⁰ Кретање воде у кречњачким стијенама може бити гравитационо или сифонски.

²⁹¹ Интеркалација (лат. intercalare) – накнадно додавање, уметање; додаток, уметак.



Слика 11. Схема профила за разјешњење неких посебних појава вода у карсту насталих дјеловањем подземних водотока (према F. Katzeru); (Извор: Д. Дукић, Љ. Гавриловић, 2006)

1 – потајнице; 2 – стално крашко врело које се водом храни са површине на коју се излучују падавине n-n; 3- сува пећина; 4 – понор; 5 – Подземни канал са водом; 6 – издашно крашко врело; 7 – многобројни мањи крашки извори, који са врелом 6 храни водом ријеку F; 8 – водом издашница потајница, која празни резервоар R кроз сифон c; када се узвишење еродира до линије x – x резервоар R постаје пећина; 9 и 10 – понори, који одводњавају поље P; понор 9 је еставела, јер из канала G вода кроз пукотину d улази у поље све док каналом G протичу веће количине воде него што је она која би прошла кроз поноре 9 и 10; 11 и 12 – понори поља P; 13 – стално крашко поље у страни поља; 14 – периодично врело, које даје воду када врело 13 не може да издаје толико воде колико она притиче из система пукотина и канала; 15 – сланасто врело са мијешањем слане воде изнад нивоа мора M – M, која продире кроз канале e (по принципу усисавања); 16 – врућа са великом промјеном издашности, јер краће вријеме добија воду и кроз понор 12, а кроз 11 док је дно поља под водом; 17 – дубока врућа коју храни нижи понори и крашка вода у каналу G

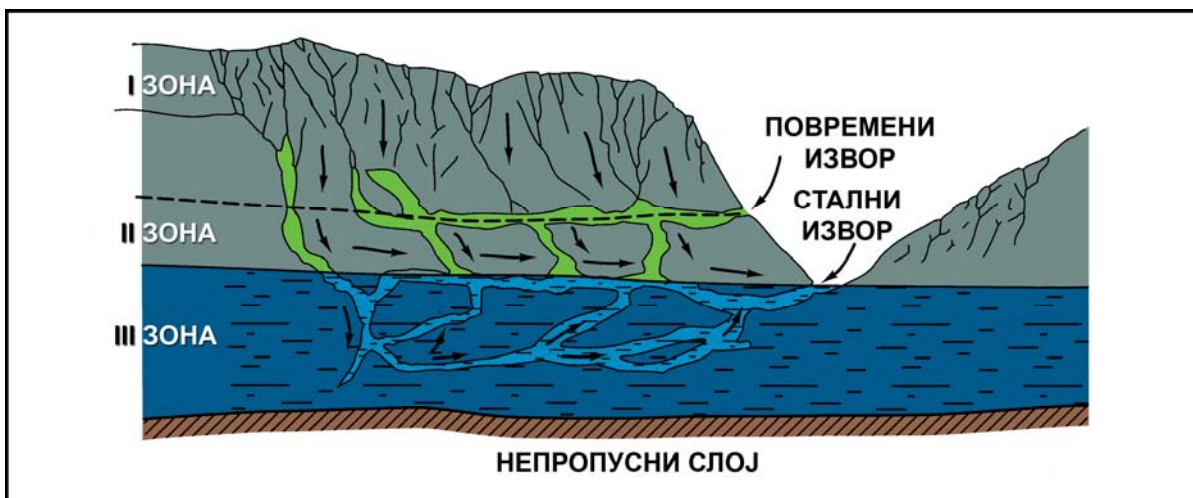
Резиме Фридриха Кацера на ставове које је изложио у монографији „Karst und Karsthydrographie“ (Сарајево, 1909) садржан је у сљедећем осврту: „ Сва посебна хидрографија краса догађа се посредовањем подземних каналских система, који неправилно пресјецају различите хоризонте у крашким планинама. Непрекидни систем водених пукотина са равномјерним јединственим падовима не постоји у дубоком красу и све предпоставке о таквој крашкој води, засноване су на дедукцији,²⁹² погрешне су и у хидротехничким питањима воде разочарњу“.

Треће схватање - хипотеза о три хидрографске зоне у карсту.

У односу на претходна схватања, схватање Ј. Цвијића је свеобухватније и, по многим, прихватљивије. Истражујући и анализирајући еволуцију карста на простору Балканског полуострва, Јован Цвијић у хидролошко – морфолошком развоју тих простора издваја три етапе, три хидрографске зоне

Прва највиша зона (зона најближа топографској површини) одликује се сталним одсуством воде, осим у вријеме падавина. У овој зони вода се креће, углавном, вертикално и релативно брзо. Прелазна хидрографска зона, односно нижа хидрографска зона у дубљем нивоу, са мањим бројем пукотина, канала и каверни, одликује се подземним токовима. Кроз ову зону ти токови теку гравитационо или сифонски.

²⁹² Дедукција (лат. deductio), лог. извођење, закључивање из општег о посебном; метод мишљења код кога се од општег закона долази до посебних.



Слика 12. Три хидрографске зоне у карсту
 I – сува; II – прелазна; III – зона којом стално отиче вода
 (Према: Д.Дукић, Љ.Гавриловић, 2006)

Прва највиша зона (зона најближа топографској површини) одликује се сталним одсуством воде, осим у вријеме падавина. У овој зони вода се креће, углавном, вертикално и релативно брзо. Прелазна хидрографска зона, односно нижа хидрографска зона у дубљем нивоу, са мањим бројем пукотина, канала и каверни, одликује се подземним токовима. Кроз ову зону ти токови теку гравитационо или сифонски.

Стално влажну зону одликује мали број пукотина и одсуство каверни (пећина) и већих канала. Стално је присутна вода у систему пукотина и она се веома споро креће.

Динамичност у развоју карста и динамичност феномена везаних за карст чине однос Ј.Цвијића према карсту; објаснио је процесе, систематизовао облике и објаснио њихов начин постанка, открио законитости еволуције карста и, веома битно за хидрологију, дефинисао подземну циркулацију воде и др. Схватање Ј. Цвијића о настанку и еволуцији крашких зона (три хидрографске зоне) представљамо у нешто редукованом тексту.²⁹³

„ Сува зона ограничена је на више делове карсне масе. Њена површина се одликује скоро потпуном сувоћом, а пећине и проширене пукотине те зоне скривају токове само за време кишне периоде; али и та вода протиче само неким погоднијим пукотинама и шупљинама. Сува зона је нарочито изразита у средоземном карсту, пре свега у динарском. Та сувоћа се тим више примећује што се динарске области одликују најобилнијим атмосферским талозима у Европи; средњим годишњим од 1600 mm, максималним (Црквице, у Боки Которској) од 4600 mm.²⁹⁴ У тој области динарског карста извори скоро потпуно недостају; тамо где се појаве, то су слаби цурци одређени локалним непропустљивим слојевима или вишком водених цепова који се брзо исцрпе. Појава асцендентне воде, коју тако често срећемо у нижој хидрографској зони, ту готово сасвим недостаје; отицање воде која понире није заустављено асцендентним токовима“.

„ Прелазна хидрографска зона показује два обележја: једно стално, друго повремено. Пре свега, у њеним пукотинама и пећинама запажа се стално сливање воде па чак овде – онде и подземни токови. На тачкама где се та зона додирује с површином рељефа, то јест у долинама, карским пољима и дуж приморских клифова, тѐ се подземне воде појављују као извори чија количина воде показује у току године знатна колебања. С друге стране, за време кишне периоде, отицање воде у дубину је заустављено или успорено било узинама у пукотинама и пећинама, било под утицајем асцендентних водених токова који долазе из ниже зоне. Те се асцендентне воде појављују тада у карским депресијама као иувори који не функционишу у току осталих годишњих доба“.

„ Зона којом стално отиче вода. Већ су у прелазној зони подземне шупљине знатно малобројније и пећине представљају реткост. Исто тако, док су подземне шупљине двеју првих зона, нарочито суве зоне, често пресечене

²⁹³ Преузето: Д.Дукић (2006), цит.изд., стр. 37.

²⁹⁴ У периоду 1925 – 1940. год. Црквице су имале просјечну годишњу висину падавина од 5317 mm.

пољима или излазе на њихово дно или њихове стране, шупљине ове зоне су све испод дна карсних депресија; оне су пресечене само алогеним долинама, удубљеним до непропустљивог слоја. Воде те зоне не појављују се на површини у истој сразјери као воде двеју виших зона. Највећи њен дио отиче према издани на непропустљивом слоју. Кроз све протичу масе воде веће или мање запремине које лагано силазе у дубину, јер је кретање успорено трењем као и обликом, обимом и гранањем канала, који су често распоређени у облику сифона²⁹⁵.

„ Уколико нека пећина или пукотина лежи у већој дубини, утолико у њу више притиче вода која долази из разних делова карсног терена. Пошто су ређе проширене пукотине, и пошто су њихови пресеци уопште ужи и сужења чешћа, вода која њима протиче за време кишне периоде у великим количинама не може да отиче слободно наниже. Она ће бити често заустављена и чак приморана да се пење. Тако се развијају асцендентни водени токови који, под хидростатичким притиском продиру у све пукотине и пењу се у прелазну зону, каткад чак и више. У тој зони они спречавају спуштање вода које долазе из вишег дела и тако изазивају нове асцендентне токове, који се јављају по дну највиших поља, па чак и најдубљих увала“.

Ј. Цвијић је указао да се све три хидрографске зоне стално развијају, при чему се сува проширује према дубини на рачун прелазне, а ова на рачун зоне којом стално тече вода. Ово се наставља све док се моћност кречњачке масе не снизи денудацијом и сведе на кречњачке гредице, које леже на вододржљивим стијенама. У усамљеним гредицама²⁹⁶, хумовима²⁹⁷, налазе се пећине без воде.

Цвијећево схватање о настанку и еволуцији хидролошких зона у свему одговара морфолошкој еволуцији карстних предјела. међутим, постоји суштински критичка примједба на универзалност (свеопштост) система хидролошких зона. Како је примијетио Р.Лазаревић (2000), из Цвијићевог схватања проистиче да свака хидролошка зона у некој карстној области чини повезану цјелину и „ да је међу зонама, које се вертикално смјењују, могуће повући једну граничну линију“. У свом закључку осврта на схватање Ј.Цвијића, Р. Лазаревић истиче: „Уместо универзалности треба узети да се хидролошке зоне формирају у сваком пукотинском систему посебно. А пукотинских система има више и то различитих димензија, степена еволуције и различитих међусобних односа, у зависности од стања водности неког крашког предела уопште, као и у оквиру сваког пукотинског система посебно“.

Загаћени карст. Загаћени карст (крас, крш) је развијен у карбонатним стијенама које су утонуле у непропусне стијене или је локална ерозивна база дубока фреатска зона. Термин је увео П.С. Јовановић (1924)²⁹⁸ на основу проучавања Сокобањске Моравице. По П.С. Јовановићу спуштање стално влажне зоне може се зауставити кад она дође до неког нивоа испод којег је немогуће истицање воде из кречњачке масе. То ће се десити у случају кад је кречњачка маса загаћена водонепропустљивим стијенама или у случају да је достигнут равнотежни профил испод којег је немогуће отицање воде.

Термин загаћени карст нема оштеприхваћено тумачење.

2.4. Извори

Извори су мјеста гдје подземне воде избијају на топографску површину на копну. Могу да буду и мјеста гдје подземна вода избија подводно (субмарински и сублакустријски извори). Настанак је везан за пресецање водоносних хоризоната негативним формама савременог рељефа (ријечне долине, јаруге и сл.), геолошко – структурним особеностима географског простора (постојањем пукотина, тектонским поремећајима) и др. Избијање изданских вода на топографску површину изазвано вјештачим путем (бушотине и бунари) не назива се извором.

Типови извора. Постоји више типова (врста) извора, односно класификација извора. Класификација је извршена према поријеклу изворске воде, начину истицања, температури воде,

²⁹⁵ Сифон (грч. *sifōn* – цијев, натега), *хидр.* канал у облику положеног слова S, кољено канала.

²⁹⁶ Греде, заједнички назив издигнутих, релативно невисоких позитивних форми рељефа.

²⁹⁷ Хум, купасто узвишење, изграђено од кречњака које се диже са дна крашког поља. висина му може достићи и више стотина метара.

²⁹⁸ Јовановић, С.П., Загаћени карст, Зборник радова посвећен Јовану Цвијићу, Београд, 1924.

издашности и хемијском саставу растворених соли у изворској води, као и на основу геолошких и геоморфолошких одлика терена.

Нека запажања квантитативних карактеристика извора у сливовима Велике и Мале Усоре. Хидрогеолошке карактеристике сливова су врло занимљив индикатор који углавном детерминише геолошке, литолошке и хидролошке потенцијале аквифера у ријечном сливу. У случајевима геолошке, петрографске, педолошке, вегетацијске и климатске асиметрије лијеве и десне стране слива јавља се јасна нумеричка диференцијација појава извора на двије стране слива. Из тих разлога, као примјер, наводимо у овом тексту један (изразит) случај бројчане неуједначености извора у сливу Велике и Мале Усоре, која је резултат геолошког, литолошког и инфилтрационог потенцијала географског простора лијеве и десне стране слива (Табела 34).

На десној страни слива Велике Усоре налази се 283 извора/врела, а на лијевој 98 извора. Десну страну слива Велике Усоре, зависно од надморске висине, чине:

а) терени са водоносницама (водоносни слојеви - аквифери) интергрануларне порозности, по литолошком саставу пјескови, шљункови и сл., мале издашности у нижим висинским зонама;

б) терени са водоносницама пукотинске порозности, по литолошком саставу пјешчари, доломити, кречњаци, конгломерати (Т,Ј; Ј,К), а по својствима аквифера ријетко средње до високе водообилности, чешће ниске водообилности, али са знатном учесталошћу појаве извора.²⁹⁹

Лијеву страну слива Велике Усоре, као и слив Мале Усоре чине, по хидрогеолошкој категоризацији, терени претежно без аквифера, по литолошком саставу перидодити и серпентини, односно спилити, дијабази и долерити. Овакав литолошки састав карактерише појава малог броја извора (са малом водообилношћу) изнад 600 m н.в. У висинској зони од 200 – 600 m јављају се конгломерати, пјешчари, лапори, глине, угаљ, туфови, шљунак (Р1, Q; О1,М) – терени интергрануларне порозности са изворима код којих преовлађује мала издашност.

Табела 34. Број извора по висинским зонама сливова Велике и Мале Усоре

Ред. број	Висинска зона	Слив Велике Усоре				Слив Мале Усоре			
		Десна страна слива		Лијева страна слива		Десна страна слива		Лијева страна слива	
		Број извора	% од укупног бр. извора	Број извора	% од укупног бр. извора	Број извора	% од укупног бр. извора	Број извора	% од укупног бр. извора
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	1300 – 1400	-	-	-	-	-	-	-	-
2.	1200 – 1300	4	0.8	-	-	-	-	-	-
3.	1100 – 1200	10	2.01	-	-	-	-	-	-
4.	1000 – 1100	13	2.62	-	-	-	-	-	-
5.	900 – 1000	23	4.63	-	-	-	-	-	-
6.	800 - 900	17	3.42	1	0.2	-	-	-	-
7.	700 - 800	32	6.45	1	1	0.2	0.2	-	-
8.	600 - 700	35	7.05	7	1.41	3	0.6	-	-
9.	500 - 600	50	10.08	14	2.82	6	1.2	-	-
10.	400 - 500	36	7.25	43	8.66	10	2.01	5	1.0
11.	300 - 400	42	8.46	19	3.83	8	1.61	34	6.85
12.	200 - 300	21	4.23	13	2.62	14	2.82	32	6.45
13.	УКУПНО	283	57.05	98	19.75	44	8.87	71	14.3

(Извор: Црногорац Ч., 2000)

У савременој хидрологији постоји више подјела извора³⁰⁰ заснованих на различитим приступима и параметрима.

По времену трајања разликују се три основне групе извора:

1. *Стални извори* – издају воду (извиру) током цијеле године, без обзира на сушни и влажни период, врсту и количину падавина;

²⁹⁹ Видјети опширније: Чедомир Б. Црногорац, Слив Велике Усоре: хидролошко – геоморфолошке карактеристике, Природно – математички факултет, Бањалука, 2000.

³⁰⁰ Изложена подјела заснована је на класификацијама Н. Милојевића, Д. Дукића и Љ. Гавриловић, Ј. Петровића и Ж. Богдановића и др. (литература у прилогу).

2. *Периодични извори* – издају воду у периоду док постоји обнављање подземних вода. За наше географске ширине ови извори су активни за вријеме кишног периода и у вријеме отапања снијега. Иначе, најбројнији су у карстним областима.
3. *Повремени извори* – јављају се само у вријеме екстрема обилних киша и наглог топљења снијега, првенствено у карстним изданима, али и у разбијеним изданима. Ови извори су чести у суптропским и умјереним ширинама, а нема их у субполарним и тропским областима.

Према мјесту појављивања извори могу да буду:

1. *Долинско – котлински,*
2. *Планинско – падински,*
3. *Подводни: субмарински и сублакустријски.*

Према Ј.Петровићу (1995) извори прве групе (долинско – котлински) могу се јавити у кориту ријеке или на обали, у долинској равни или на странама долина (котлина). Друга група извора (планинско – падински) се јавља на планинским падинама, а најчешће су храњени из разбијене пукотинске и карстне издани. Извори треће групе (подводни) јављају се по дну морских басена (вруље) или на дну језерских басена (у виду ока).

По хидрауличком механизму (начину кретања воде у односу на топографску површину) разликују се двије врсте извора:³⁰¹ силазни (гравитациони) и узлазни извори.

I. Силазни извори

1. *Депресиони или оцједни извори* – јављају се на мјестима гдје је ерозивним процесима откривена изданска вода;
2. *Преливни извори* – настају када вододржљива баријера препријечи путању кретања изданске воде а то доводи до преливања воде на топографској површини;
3. *Контактни извори* – јављају се на мјестима гдје топографска површина пресијеца контакт водоносног хоризонта и вододржљивог слоја. Контакт водопрпусних и водонепрпусних стијена јавља се на примјер на контакту кречњака и флиша,³⁰² кречњака и пјешчара³⁰³ и др. Досадашња истраживања показују да контактни извори спадају међу најзаступљеније, са изразитом доминацијом у подручјима различите геолошке грађе и геотектонске структуре.
4. *Пукотински извори* по Н. Милојевићу (1967) присутни су код стијена које се одликују пукотинском порозношћу и у којима се образују разбијене, пукотинске издани. Из оваквих система истичу пукотински извори на мјесту гдје су стијене пукотинске порозности пресјечене топографском овршином.

II. Узлазни извори

1. *Артешки извори* настају ако се природним путем пресјече горњи ниво артешке издани,³⁰⁴ ако се то учини вјештачким путем настаје артешки бунар.
2. *Пукотински извори узлазног типа,* по Д. Дукићу и Љ. Гавриловић (2006) везани су за тектонске расједе.³⁰⁵ Вода из велике дубине избија на површину уз помоћ јаког хидростатичког притиска, прегријане паре или гасова.

³⁰¹ Видјети опширније: Н. Милојевић., Хидрологија, Завод за издавање уџбеника, Универзитет у Београду, Београд, 1967.

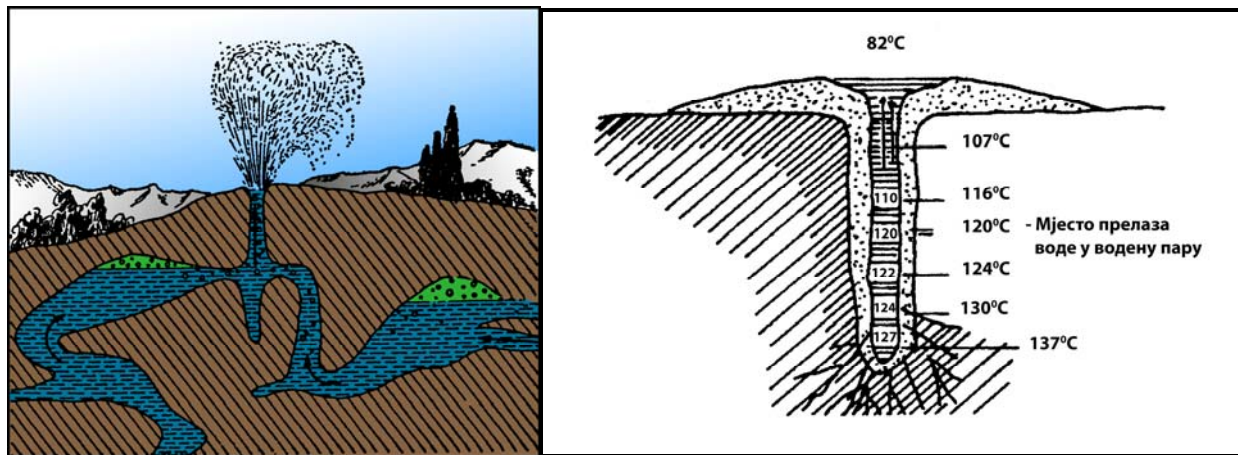
³⁰² Флиш (њем.), врста седимената стварана за вријеме издизања планинских вијенаца у морима, у подножјима и приобалним дијеловима, гдје се врши брза седиментација и смењивање разних врста теригених материјала. Због тога у састав флиша улазе разне врсте стијена: пјешчари, лапорци, глинци (чврсте глине), увијек с много лискуна и конгломерата; фосили су веома ријетки.

³⁰³ Механички седименти у којима су везане честице пијеска.

³⁰⁴ Усљед тектонских покрета нека новостворена пукотина може да пресјече горњи водонепрпусни слој раније образоване артешке издани, а у том случају заробљена вода се под дејством артешког притиска креће према топографској површини.

³⁰⁵ Расјед /расјелина, пукотина у Земљиној кори дуж које је дошло до издизања или спуштања блокова Земљине коре.

3. *Гасирани (гасни) извори* функционишу уз помоћ гасова, који су у дубинским водама присутни у мањој или већој мјери или притичу у водни хоризонт са стране. Изузетно загријани гасови, створени хемијским процесима у дубини литосфере, крећу се, углавном, пукотинама најмањег отпора, које воде ка топографској површини. Присуство гасова у води уочава се по јасно видљивим мјехурићима.
4. *Гејзири*³⁰⁶ су узлазни термални извори који периодично избацују водоскоке вреле воде и паре. Механизам рада гејзира објаснили су Р.Бунзен (Bunsen) и Д. Клузо (De Clouaseau). Испитивањем гејзира на Исланду установили су да је температура воде на површини око 80°C (до 82°C), док у доводном каналу, према унутрашњости литосфере, износи од 120 – 129°C. Према неким подацима (Ј. Марковић, 1995) температура на дну одводног канала, у резервоару, прелази и 130°C. Притисак воденог стуба у каналу³⁰⁷ омогућава постојање прегријане паре, све док се ниво воде са температуром од 120°C не подигне тако високо у каналу, да је у стању да савлада притисак воденог стуба изнад себе.³⁰⁸ Послије прве ерупције, притисак слаби у нижем хоризонту прегријане воде, усљед чега наступа нова еруција. Ерупције ће се низати једна за другом, све док се не успостави поново равнотежа између притиска и температуре.



Слика 13. Гејзир (лијево); Механизам гејзира, по Бунсену (десно; према Р.Лазаревић, 2000)

Гејзири су поствулканске појаве, извјесне појаве које означавају завршну фазу вулканске активности у једној области, мада се оне синхроничне главној вулканској активности. Ту спадају: фумароле, солфатаре, мофете, терминалне воде и гејзири. Најпознатији и веома бројни су гејзири на Исланду, Јелоустонском националном парку у САД (Yellowstone),³⁰⁹ на Новом Зеланду и Камчатки.

³⁰⁶ Енгл. geyser; у литератури на српском језику присутан је и термин гејзер.

³⁰⁷ У литератури се за овај вертикални канал може наћи и термин оцак.

³⁰⁸ Видјети опширније: Р. Лазаревић, цит. изд., стр. 64 – 66; Д. Дукић, Љ. Гавриловић, цит. изд., стр. 43-44; Ј. Петровић, Ж. Богдановић, цит. изд., стр. 108 – 110.

³⁰⁹ Једини парк у САД који се простире на територији три савезне државе: Вајоминг (Wyoming) – 91%, Монтана – 7.6% и Ајдахо (Idaho) – 1.4%. Парк лежи на надморској висини од 4200 метара.



Слика 13а. Фазе рада гејзира

Од свих гејзира најбоље је проучен „Велики гејзир“ на Исланду (западно од Рејкјавика), који је активан више од 3000 година. У интервалу од 20 – 30 сати овај гејзир избацује млазеве вреле (кључале) воде до висине од око 10 m у трајању од 10 минута. Вода овог и многих других гејзира, као и термалних извора на Исланду користи се за загријавање станова и других објеката. Посебна занимљивост је загријавање стаклених башта, у којима успијева разно поврће, па чак и агруми. Највише гејзира је у Јелоустонском националном парку (око стотину гејзира и 3400 термалних извора, на површини од око 8000 km²).³¹⁰ У Табели 35 су представљени најважнији гејзири парка.

Табела 35. Најважнији гејзири Јелоустонског националног парка

Ред. број	Назив гејзира	t °C	Мах.висина воде у m	Трајање ерупције	Интервали између ерупција
1	2	3	4	5	6
1.	Excelsior Geysir	92.8	91.45	два дана	од 1985. угашен гејзир
2.	Grand Prismatic Spring	63.9 - 86.7	61.00	0.5-1.0 сат	1 – 10 дана
3.	Turquoise pool	61.1- 71.1	3.00	нема правила	Нередовни интервали
4.	Steambot Geysir ³¹¹	92.2	115.80	неколико минута до неколико сати	ерупције је тешко предвидјети
5.	Roaring Mountain Geysir ³¹²	92.2	12.10	нама правила	нема правила
6.	Ledge Geysir	92.7	22.80-38.10	20 мин.-2.0 сата	нередовни интервали активности
7.	Old Faithfull	92.7	33.50-185.40	4 минуте	40 – 60 минута, 75 – 100 минута ³¹³
8.	Daisy Geysir	88.8- 95.5	22.80-45.70	2.5 – 4.0 минута	85 – 100 минута
9.	Gian Geysir	-	76.00	1.5 сати	7 – 12 дана
10.	Castle Geysir	-	22.80	30 минута	26 сати

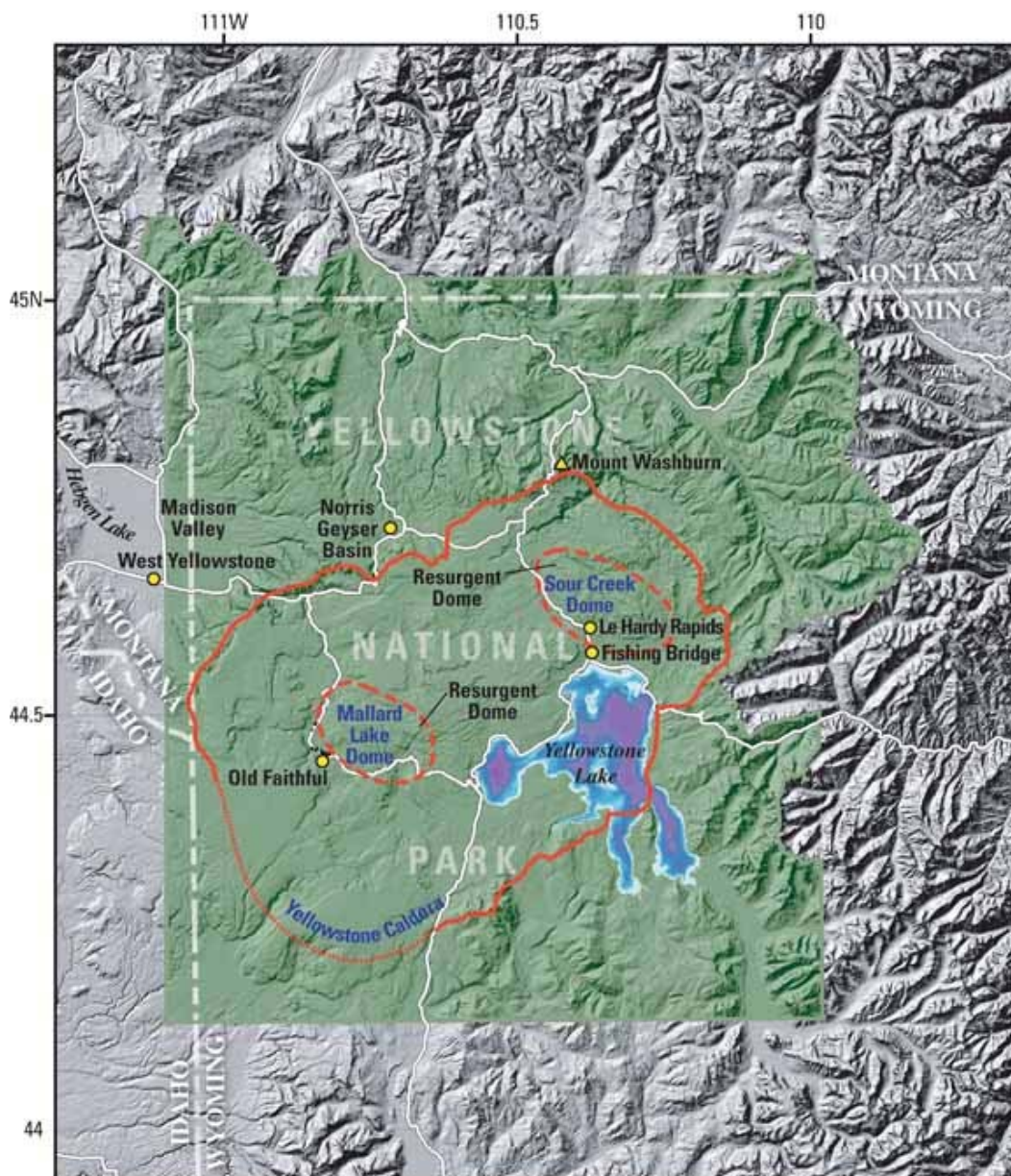
(Извор: yellowstonenationalpark.com)

³¹⁰ Извор: www.yellowstonenationalpark.com

³¹¹ Највиши гејзир на свијету.

³¹² Име потиче од страшног и продорног звука који настаје приликом избијања паре из једног или више отвора (вентила) који се налазе при врху купе гејзира.

³¹³ Уколико пражњење траје мање од 4 минута, следећа ерупција ће се појавити након 40-60 минута, а уколико траје 4 или више минута следећа ерупција ће бити након 75 – 100 минута.



Слика 14. Национални парк Јелоустон

На Новом Зеланду (сјеверно острво) гејзир Вајмангу се појавио крајем 1899. године, а угасио у октобру 1904. године, после отицања језера Таравера. Познато је да је гејзир, за вријеме једне ерупције, достигао висину од 457 метара, док је маса избачене воде износила око 800 тона.

Године 1941. у долини ријеке Гејзерне на полуострву Камчатке откривена су 22 гејзира и већи број термалних извора. Регистрована температура воде у близини њеног избијања из канала износи од $94.5 - 99.25^{\circ}\text{C}$. Истраживачи Камчатке сматрају да је највећи гејзир на овом полуострву³¹⁴ Великан, који избацује стуб водене паре на висину од 50 метара. Гејзира има још регистрованих у Јапану, на Тибету, Калифорнији, а од европских земаља у Италији.

Термалне воде – термални извори. Воде које доспијевају на површину из великих дубина одликују се повишеном температуром. Термални извори имају температуру вишу од средње

³¹⁴ Камчатка, полуострво (370000 km^2) на сјевероистоку Азије, Русије. Запљускују га воде Тихог океана, Охотског и Беринговог мора.

годишње температуре ваздуха одређеног мјеста. Вода термалних извора може бити јувенилног поријекла (новорођена, млада вода која потиче из магматских жаришта – настала кондензацијом из магме) или вадозног поријекла (од атмосферске воде која је доспјела у дубину, загријала се и вратила на површину).

Због повећане способности растварања под повишеном температуром и притиском, као и гасовима, термалне воде су најчешће и минералне воде.

Издашност извора

Издашност извора се изражава средњом вриједношћу количине вода, које извори дају у одређеном временском интервалу. Тај интервал обично износи годину дана.

Издашност извора зависи од количине воде у издани и броја извора који се из ње хране. У храњењу извора партиципира дио укупних подземних вода, и то оних које се обнављају. Количина воде у изданима зависи од вриједности параметара једначине биланса подземних вода: дотицаја и отицаја подземних вода у јединици времена, измјене површине акумулације (резервоара) вода, интензитета храњења (водоснабдијевања) подземних вода са топографске површине (брзина инфилтрације воде), интензитета протицања подземних вода по вертикали кроз слабоводопропусне слојеве који леже испод зоне сатурације (зоне засићености) и промјена нивоа подземних вода за одређени интервал времена.

Треба, такође, нагласити да за издашност извора значајну улогу имају карактеристике водобилансног подручја, од чега посебно:³¹⁵

1. Клима, рељеф, хидрологија, геолошко – литолошке карактеристике одређеног подручја (укључујући зону аерације, водоносне слојеве, као и водонепропусне слојеве);
2. Хидрогеолошке карактеристике водоносне средине са процјеном могућности одвијања процеса: инфилтрације, испаравања, међусобне комуникације подземних вода појединих хоризоната или комуникације са токовима на топографској површини;
3. Оцјену величине и правца подземног отицаја;
4. Оцјену величине и правца површинског отицаја;
5. Оцјену утицаја биогених и вјештачких фактора.

Издашност извора (гравитационих, артеских и хидропнеуматичних³¹⁶/ гасних) може да има различите вриједности. У суштини, мало је извора који дају непрекидно, у одређеном временском интервалу, исту количину воде. У хидролошкој литератури такви извори се називају веома (врло) постојани (в. Табелу 36 – Колебање издашности и постојаност извора).

Када је однос минималне издашности (Q_{min}) према максималној издашности (Q_{max}) 1:2, онда је ријеч о изворима постојане издашности. Ако је тај однос ($Q_{min} : Q_{max}$) 1:2 до 1:10 говоримо о изворима промјенљиве издашности, док код извора веома промјенљиве издашности однос минималних према максималним количинама воде се креће од 1:10 до 1:30, па и више.

Табела 36. Издашност и постојаност извора

ПОСТОЈАНОСТ ИЗВОРА	ИЗДАШНОСТ ИЗВОРА ($Q_{min} : Q_{max}$)
1. Веома постојани извори	1 : 1
2. Постојани извори	1 : 2
3. Промјенљиви извори	1 : 2 до 1 : 10
4. Веома промјенљиви извори	1 : 10 до 1 : 30, и више

³¹⁵ Видјети опширније: М. Јахић, Ј. Јосиповић, Ђ. Остојић : Методе одређивања основних параметара за прорачун биланса подземних вода, ГЕОИНЖЕЊЕРИНГ – Сарајево, 1981.

³¹⁶ Пнеуматичан (грч. pneuma – дах), који је испуњен компримираним ваздухом или дјелује помоћу њега.

Неки аутори (Ј. Петровић, Ж. Богдановић, 1995) сматрају да понуђена категоризација извора (веома постојани, постојани, промјенљиви и веома промјенљиви) која се базира на основу колебања издашности само донекле одређује врсту извора и начин храњења.

Клима је један од моћних фактора (падавине) који дефинише, прије свега начин храњења извора и колебање њихове издашности. Због тога је подјела извора према Ј. Петровићу (1997), на основу колебања њихове издашности према начину храњења, далеко прихватљивија. Према наведеном аутору, сви извори су подијељени у четири групе:

- а) *дубински извори* – одликују се уједначеним храњењем, због чега им је и издашност стабилна;
- б) *нормални извори* су храњени из фреатске издани у којој је кретање подземне воде веома успорено; неједнако расподјелене годишње суме падавина не утичу битније на стање и количину вода; то је основни разлог да у овим изданима се јављају извори са малим колебањима издашности; ријеч је о изворима са постојаном издашности;
- в) *пукотински извори* – храњени из разбијених издани; извори који су храњени из оваквих издани су промјенљиве издашности;
- г) *карстни извори* – због начина храњења имају промјенљиву издашност која је непосредна посљедица начина храњења и кретања подземних вода у карсту; најзначајније колебање издашности имају извори и врела који су храњени од ријека понорница (директна посљедица колебања површинских вода).

На основу средње вриједности количине воде коју извори дају у одређеном временском интервалу О. Мајнцер (О. Meinzer) је издвојио све изворе у осам група (Табела 37)³¹⁷.

Табела 37. Подјела извора по издашности

Група	Просјечна издашност извора	Примјер - извор
I	10.0 m ³ /s и више	Манавгат (Турска) ³¹⁸
II	1.0-10.0 m ³ /s	
III	0.1 – 1.0 m ³ /s	
IV	10.0 – 100.0 l/s	
V	1.0 – 10.0 l/s	
VI	0.1 – 1.0 l/s	
VII	10.0 – 100.0 cm ³ /s (g/s)	
VIII	< 10.0 cm ³ /s (g/s)	

Досадашња истраживања, код нас и у свијету, су показала да највећу издашност имају извори (врела) у карсту (до 300 m³/s). Треба нагласити да им је средња издашност далеко мања (30 m³/s или нешто мало више). Као примјер у стручној литератури се наводи врело Љута у Бокопоторском заливу (Q_{max} = 170 m³/s; Q_{min} = 20 l/s). У групи сталних извора најмању издашност имају извори који се хране из фреатске (ограничене) издани. а то су нормални извори.

Код каптираних³¹⁹ и мањих извора издашност се мјери на тај начин што се цио млаз воде хвата у суд са означеном запремином а вријеме пуњења суда водом утврђује се хронометром. У том случају издашност се добије преко обрасца:

$$Q = \frac{V}{t}, \quad \text{гдје су :}$$

³¹⁷ Средња годишња издашност

³¹⁸ М. Парде истиче да је врело Манавгат на јужној страни планине Хајдар – Даг (Haidar Dag) у Турској по просјечној издашности од 125 до 130 m³/s водом најбогатије врело на нашој планети.

³¹⁹ Каптитрати (лат. captare), хватати и одводити воду (изворску,ријечну, подземну).

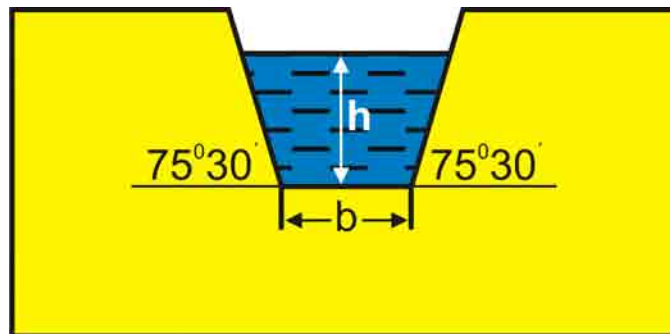
Q = издашност у литрима за секунду (l/s),
 V = запремина суда у литрима,
 t = вријеме пуњења у секундама.

Издашност јачих и некаптираних извора одређује се, углавном, преко прелива. У пракси се користе дрвени, метални или бетонских прелива, са отворима правоуглог трапеза или троуглог отвора. Да би се постигла већа тачност мјерења, изнад прелива се, обично, формира мањи базенчић, тако да вода мирније истиче преко отвора прелива.

(1) Ћиполетијев прелив (Cippoletiev прелив), трапезасти (трапезоидни) пресјек прелива; издашност извора се одређује сљедећим обрасцем:

$$Q = 0.42 \cdot b \cdot \sqrt{2gh^3}, \text{ или } Q = 1.86 b \cdot h \sqrt{h}, \text{ гдје су :}$$

Q = протицај (m^3/s);
 b = ширина основице отвора трапеза (m);
 h = висина стуба воде која се прелива (m).

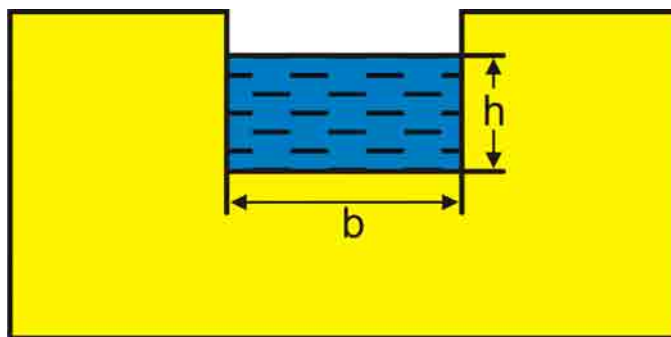


Слика 15. Прелив трапезоидног отвора

(2) Правоугли отвор прелива издашности дефинише се обрасцем:

$$Q = 0.018 b \cdot h \sqrt{h}, \text{ гдје су :}$$

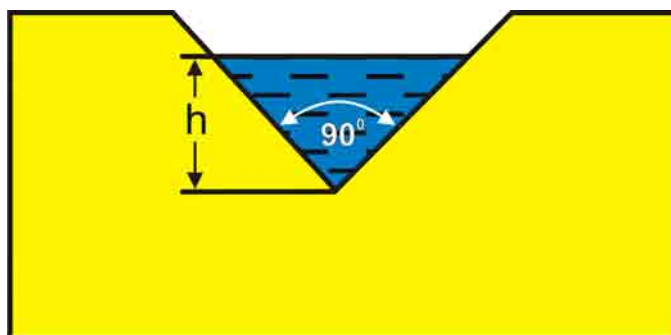
Q = протицај воде (l/s);
 b = основица правоуглог отвора прелива (cm);
 h = висина стуба воде која се прелива (cm).



Слика 16. Правоугли облик отвор прелива

(3) Издашност извора која је већа од 10 l/s може се одредити и са троуглим обликом отвора прелива воде (Thompsonov прелив). Код одређивања се користи сљедећи образац:

$$Q = 0.32 \cdot \sqrt{2gh^5}, \text{ или : } Q = 1.4 h^2 \cdot \sqrt{h} \text{ (m}^3/\text{s)} \equiv Q = 1400 h^2 \cdot \sqrt{h} \text{ (l/s)}$$



Слика 17. Троугласти облик отвора прелива

Издашност јачих извора/врела одређује се и помоћу пловка. Потребно је одабрати око 10 метара праволинијског дијела водотока/ријечног корита који се формира низводно од извора/врела, при чему се користи што мирнији ток. Временско кретање пловка дефинише издашност сљедећим образцем:

$$Q = 0.54 \cdot F \cdot v$$

гдје су :

Q = количина протицаја (m^3/s),

v = брзина кретања пловка, по средини водотока, (m/s),

0.54 = коефицијент трења корита,

F = површина попречног пресека водене масе у кориту, на потесу који се користи за мјерење (m^2); изражава се као:

$$F = \frac{b}{3} \cdot (h_1 + h_2 + h_3)$$

гдје су: h_1, h_2, h_3 – висине воденог стуба, мјерене на три мјеста попречног пресека водене масе у кориту, са међусобним одстојањем $b/4$;

b – ширина површине воденог тока (водног огледала) попречног пресека водене масе.

Код врела изузетне издашности, од којих се образују моћни токови, издашност се може прецизно одредити у каналисаним дијеловима тока, употребом хидрометријског крила. Поступак је сличан ономе код одређивања протицаја површинских токова.

Пиштивине и изданска ока. Осим извора/врела, издани могу образовати и друге видове свог појављивања на топографској површини. У хидрологији/геохидрологији те појаве се зову пиштивине и изданска ока.

- *Пиштивине* су појаве подземних вода на топографској површини без јасно дефинисаног воденог млаза.
- *Изданска ока* су појаве изданских вода у локалним депресијама, углавном равничарских терена, чије је порозно дно ниже од површинске издани са изданским оком; привидно му је доста слична *бара*. Међутим, релевантне анализе тих двију појава вода лако разликују изданска ока од бара. Изданско око је непосредно повезано са припадајућом издани и увијек реагује на сваку промјену механизма издани, док бара уопште није повезана са издани. Досадашња истраживања показују да се изданско око теже замути и ријетко пресушује за разлику од бара. Стога се изданска ока често користе за водоснабдијевање, рибогојство и друге намјене. Нека природна изданска ока на географском простору бивше СФРЈ су била значајних димензија (нпр. Палићко језеро код Суботице). У карсту изданско око може бити формирано по дну дубоких вртача (Модро језеро код Имотског).

Режим издашности извора. Проучавање режима подземних вода, нарочито природног режима, има изузетно значење за водопривреду. Најквалитетније проучавање режима подземних вода могуће је извршити уз адекватан инструментариј, који обезбјеђује континуитет (п)осматрања подземних вода у корелацији са ефектима, паралелно дејствујућих, геогених и антропогених фактора. Општи задаци који се постављају при проучавању режима подземних вода су сљедећи (према: М. Јахић, 1971):

- а) Осматрање подземних вода у карактеристичним рејонима и ријечним сливовима;
- б) Одређивање генетских веза елемената режима подземних вода са метеоролошким елементима и факторима, са режимом вода површинских токова и акумулација;
- в) Искоришћавање података осматрања за одеђивање хидрогеолошких параметара водоносних слојева и зоне аерације;
- г) Квантитативна процјена инфилтрације атмосферских падавина и њихово губљење код испаравања и отицања;
- д) Израда биланса подземних вода за нумеричке и референтне потесе и сливове ријечних токова;
- ђ) Процјена промјена залиха подземних вода.

Многе државе имају више или мање развијену мрежу осматрачких станица чија је улога проучавање режима подземних вода. У већини економски развијених држава праћење релевантних параметара подземних вода је континуиран процес, али велики је број неразвијених држава и држава у транзицији гдје је мрежа хидрогеолошких (и хидролошких) станица тек у фази формирања.

Храћење подземних вода, углавном, зависи од вадозних вода³²⁰ (потичу од кише или снијега). У зависности од класификације климата³²¹, односно количине атмосферских падавина, зависиће и

³²⁰ Вадозна теорија обухвата инфилтрациону и кондензациону хипотезу. Инфилтрациона хипотеза објашњава поријекло подземних вода од падавинских појава (киша или снијег).

режим издашности (појединих) извора. Када је у питању киша, излучене количине непосредно ће учествовати у храњењу издани. Сњежне падавине ће издан хранити тек у периоду отапања снијега (нивална ретенција). У складу с тим, на географским просторима гдје се падавине јављају претежно у облику снијега (бореални сњежно – шумски климат и сњежни климат – климатски типови : D_w, D_f, ET и EF), издани се хране водом само за вријеме (кратког) љета. Тада наступа отопљавање сњежног покривача, као и отопљавање раније формираног леда.

На основу уједначености сезонских и периодичних промјена издашности (као последица колебања ретенционих залиха активних вода у водоносним слојевима) на нашој планети се могу издвојити три основна типа режима извора са више посебних варијанти.³²²

1. *Режим уједначене издашности извора*

- дубинско – термална варијанта,
- кишно – тропска варијанта.

2. *Режим сезонских промјена издашности*

- кишно – монсунска варијанта,
- кишно – средоземна варијанта,
- субполарно – планинска варијанта.

3. *Режим периодичних промјена издашности*

- кишна варијанта,
- кишно – сњежна варијанта,
- сњежно – кишна варијанта.

Режим издашности извора³²³

Начин на који се аквифери, углавном, хране везан је за вадозне воде (инфилтрациона теорија) које имају плувијално или нивално поријекло. У оним подручјима наше планете гдје су атмосферске падавине присутне током цијеле године (кишне падавине) храњење издани зависи од годишњег тока падавина. У климатским областима гдје су доминантне кишне и сњежне падавине присутан је друкчији режим храњења издани (директна инфилтрација кишних падавина и нивална ретенција када су у питању сњежне падавине).

На основу низа параметара који дефинишу издашност извора а који се манифестују као последица плувијалног режима и нивалне ретенције одређеног географског простора, у геохидрологији је усвојена подјела на три базна типа режима извора (са више посебних варијетета): 1. *режим уједначене издашности*; 2. *режим сезонских промјена издашности*, и 3. *режим периодичних промјена издашности*.

Режим уједначене издашности извора.³²⁴ Ови извори се одликују сасвим занемарљивим годишњим колебањем. Извори који се одликују оваквим режимом имају непрекидно и стабилно храњење. У њима се могу запазити само вишегодишње промјене изазване спољашњим или унутрашњим процесима са одговарајућим последицама у природи области храњења. Те промјене могу наступити услед зачепљења доводних канала, када се ради о дубинским водама, или као последица климатских колебања. Режим уједначене издашности показује се у сдвиге варијанте:

а) *дубинско-термална варијанта* се одликује потпуно уједначеном количином воде која истиче на зворима храњеним јувенилном водом. Овој варијанти припадају чисти термални извори који могу мијењати мјесто избијања али им издашност остаје иста (стална). Код оваквих извора могу

³²¹ Видјети детаљније: Дукић, Д., Климатологија, стр. 222 – 254., Географски факултет Универзитета у Београду, Београд, 1999.

³²² Видјети опширније: Петровић, Ј., цит. изд., стр. 172 – 177.

³²³ Дјелимично преузето од Ј.Петровић, Ж. Богдановић, Подземне воде, цит. изд., стр. 114 – 118.

³²⁴ Ова варијанта, као и остале наведене у наставку текста, може имати различите подврсте.

наступити промјене у издашности само као посљедица дјеловања унутрашњих сила, нпр., поновног активирања вулкана и сл.

б) *кишно-тропска варијанта* карактеристична је не само за тропске, већ и све друге области у којима су годишње суме атмосферских падавина уједначено распоређене током цијеле године. При стабилном храњењу издани, које је најочигледније у тропским областима, истицање оподземних вода биће уједначено, као и режим издашности. На оваквим изворима ипак се могу запазити мала колебања јер се ни у једној области атмосферски талози не јављају потпуно подједнако распоређени по добима, мјесецима и данима. Амплитуде таквих колебања су веома мале у односу на средњу годишњу издашност извора.

Режим сезонских промјена издашности . Извори који се одликују сезонским промјенама издашности. Имају широко распрострањење када је у питању хоризонтална и вертикална зоналност: различите географске ширине и различите надморске висине. Промјене у издашности ових извора резултат су повремених и периодичних прехрањивања, односно сезонског обнављања активних вода у аквиферима. Извори код којих је присутна сезонска промјена издашности сврстани су у три варијанте:

а) *Кишно – монсунска варијанта* издашност извора везује за периодичне вјетрове – тропске и вантропске монсуне. За љетне тропске монсуне везује се кишни период а за зимски монсун, углавном, сув вјетар.³²⁵ Из тих разлога издашност извора је повећана у љетној половини године и смањена у зимској половини године. Монсунски кишни период карактеристичан је за период април – октобар са максимумом у периоду мај – јуни и тада је највећа издашност извора. Сушни период је од октобра до априла, са минимумом падавина децембар – јануар и тада је најмања издашност извора.

б) *Кишно – средоземна варијанта*, карактеристична за климатску групу умјерено топлих кишних климата, односно C_s климатски тип - средоземна клима. Ова клима је карактеристична у приморским крајевима око Средоземног мора, у југозападној Аустралији, јужној Африци (најјужнији дијелови), средњем Чилеу и Калифорнији. Падавине у највлажнијем мјесецу веће су бар 3 пута од падавина у најсувљем мјесецу. Најинтензивније падавине јављају се у зимској половини године, док се љетна половина године одликује малим падавинама, високим температурама и значајним испаравањем. Можемо закључити да извори ове варијанте максимални издашност имају у зимском периоду године, док је за љетни период карактеристична минимална издашност. Према Ј.Петровићу (1995) главни максимум издашности је у периоду новембар – децембар а главни минимум у периоду јул – август, мада нису ријетки минимума и у септембру мјесецу.

в) *Субполарна – планинска варијанта* у сезонским осцилацијама издашности заступљена је код извора који се налазе на вишим географским ширинама или на високим котама планинских области, без обзира на географску ширину. Храњење издани и обнављање воде у њима везано је за висину сњежног покривача и његово отапање у току кратког љетног периода, односно инфилтрацију снежнице у издани. Ниске температуре (испод 0°C) у дугом зимском периоду не омогућују храњење издани, па ће тада извори имати минималну издашност. Треба напоменути да у храњењу издани у овој области сасвим малу вриједност има и кишница, али неупоредиво мање од снежнице.

Режим периодичних промјена издашности. Извори са периодичним промјенама издашности су најбројнија категорија извора и једино је (суб)поларна климатска област без њиховог присуства. За ове изворе карактеристично је неуједначено храњење издани³²⁶ као посљедица

³²⁵ Зимски монсун је сув у Индији, али је влажан дуж западних обала Јапанских острва, док у малајском архипелагу, који лежи између два велика копна, аустралијског и азијског, не постоје велике разлике у влажности љетног и зимског монсуна.

³²⁶ Неуједначено храњење издани посљедица је неравномјерне расподеле годишње суме падавина по мјесецима и годишњим добима, као и негативних температура када доминирају снежне падавине.

односа кишних падавина (непосредно храњење издани) и сњежних падавина (нивална ретенција). Комбинација непосредног (директног) и ретенционог храњења издани, уз неравномјерност падавина и др., условила подјелу извора са периодичним промјенама, и то:

а) *Кишна (плувијална) варијанта* – јавља се у климатским појасевима у којима се кишни режим одликује појавом главног и секундарног максимума. У вријеме појачаног храњења издани извори ће давати већу количину воде а за вријеме минималног притицања површинских вода у аквифере извори ће имати смањену издашност.

б) *Кишно – сњежна варијанта (плувијално – нивална варијанта)* у периодичном колебању издашности извора „заступљена је у оним областима у којима се, због негативних температура, мањи дио атмосферских падавина излучује у облику снијега а већи дио као киша“. Стога се први максимум храњења издани јавља код кишних падавина а други максимум је у вријеме топлења снијега, углавном у прољеће. Код ове варијанте су, дакле, два максимума издашности: први, посљедица максималних кишних падавина и други, топлење снијега. Сходно томе, може се говорити и о минимумима издашности: први, узрокован минимумом кишних падавина и други, падавинама у облику снијега (фаза сублимације) које не учествују у непосредном храњењу.

в) *Сњежно – кишна варијанта (нивално – плувијална варијанта)* је присутна у географским просторима гдје се доминантан дио падавина јавља као снијег. Посљедица тога је максимална издашност извора у вријеме отапања сњежне масе (тзв. главни максимум). Секундарни максимум се јавља најчешће у току љета, али није необично и да се јави у току јесени . Главни минимум је карактеристичан за зимски период (доминантне сњежне падавине) а секундарни у љето или у јесен (септембар).

Дефиниција режима подземних вода . У научно – стручној литератури (и у оквиру термилошко – појмовног система подземних вода), у оквиру хидрогеологије (хидрологије подземних вода) или геохидрологије³²⁷, појам режима подземних вода још увијек је дисонантан. У релативно оскудној литератури из домена проучавања режима подземних вода нема јединствене дефиниције појма/синтагме „режим подземних вода“. Самим тим, поставља се и питање дефиниционог подручја режима издашности извора.³²⁸

Сублимирајући ставове и неке дефиниције о режиму подземних вода, највећи дио хидролога и хидрогеолога су постигли сагласност да питање режима подземних вода треба првенствено размотрити у блиској вези са процесима формирања подземних вода и факторима који на то непосредно и посредно утичу. Према томе, режим подземних вода у дефиниционом смислу представља флексибилан процес, условљен низом природних и вјештачких фактора који синхроно дјелују. При том (динамичком) процесу мијењају се квантитативне и квалитативне одлике подземних вода. У квантитативне одлике спадају: границе акумулације подземних вода, ниво подземних вода, хидраулички градијент и брзина тока подземних вода. Квалитативне одлике су физичке, хемијске и биолошке одлике подземних вода.

У новијој литератури, М. Јахић (1974) предлаже сљедећу, конкретну, дефиницију за режим подземних вода: *Режим подземних вода је хидролошки процес представљен динамичким дјеловањем на промјене квантитета и квалитета подземних вода а условљен природним и вјештачким факторима који узајамно дјелују у времену.*

Проучавање режима подземних вода, као и посљедица промјена тог режима, базира се на (у)познавању процеса настанка тих вода у зависности од природних (геогених) или вјештачких

³²⁷ Интернационално удружење за научну хидрологију (IASH) прихватило је сљедеће гране хидрологије као јединствене науке о водама: потамологија (наука о површинским водама), лимнологија (наука о језерима) и геохидрологија (наука о подземним водама).

³²⁸ Видјети, између осталих, радове: Висоцки Г.Н., Лес сушит равнини и увлажнојет гори „На лесокултурном фронте“, 1932, № 2; Аљтовски М.Е., Методическаје руководство по изученију режима подземних вод, Госгеолотехиздат, 1954; Лебедев В.Л., Методи изученија баланса грунтовних вод, Госгеолотехиздат, 1963.

(антропогених) фактора. Треба се подсјетити на чињеницу да се природни услови с временом мијењају и да те промјене имају своју реакцију у процесу формирања подземних вода.

2.5. Значај подземних вода и њихово коришћење

Кружење воде у природи или водни циклус Земље спада у најсложеније процесе географског омотача. Многи хидролози сматрају да у том процесу подземне воде имају једну од најзначајнијих улога. Под топографском површином наше планете ове воде се јављају у сва три агрегатна стања: течном, гасовитом и чврстом стању. Истовремено, треба се подсјетити на чињеницу да се подземне воде јављају и у различитим облицима: опнене (везивне) воде које не подлијежу сили гравитације, капиларне, активне и имобилисане (заробљене) воде. У том богатству варијетета видова и облика подземних вода огледа се и њихов значај за одређена својства стијена, стање површинских вода, затим значај за низ геоморфолошких процеса и развој вегетације. Међутим, не треба занемарити можда најбитнији значај подземних вода а то је онај који генерише стандард и квалитет живота хумане популације и активности те исте популације, првенствено везане за водоснабдијевање становништва, развој пољопривреде, индустрије, туризма и воденог саобраћаја. Стога су подземне воде фактор који детерминише рецентни развоја наше планете. Својом припадношћу хидросфери, неопходној геосфери географског омотача, подземне воде кроз своја три агрегатна стања повезују сфере тог истог омотача: литосферу, хидросферу, атмосферу и биосферу. Подземне воде преко, најчешће, јувенилних (младачких, новорођених вода) утичу и на обезбјеђење довољних количина воде на топографској површини Земље.

Геолошки значај подземних вода . Геолошки фактори показују дејство на режим подземних вода, углавном, у одређеним геолошким епохама. Међутим, без обзира на временски период, подземне воде обављају врло важан геолошко – петрографско – минеролошки рад. Ријеч је, у суштини, о води као агенсу, која раствара различите минерале у литосфери и може да их таложи, стварајући минерална лежишта. Но, исто тако, под одређеним условима, подземне воде многе минерале износе (дистрибуирају) на топографску површину. Стога можемо закључити да подземне воде представљају веома битан геолошки агенс у развоју литосфере.

Један од најзначајнијих фактора код геолошког утицаја на подземне воде су литолошке карактеристике зоне аерације.³²⁹

Зона аерације налази се између топографске површине и нивоа подземних вода. У овој зони догађа се процјеђивање (инфилтрација) атмосферских падавина, али и трансфер топлоте са топографске површине ка унутрашњости Земље. Надаље, то је зона гдје су присутни процеси кондензације и процеси испаравања. Када зону аерације изграђују у води растворљиви минерали, воде које се инфилтрирају обогаћују се одређеним солима, посебно када су у питању карбонатне или сулфатне стијене. Усљед процеса растварања мијењају се водопрпусне особине земљишта. Очигледно је да петрографски састав често постаје фактор који детерминише квантитативне промјене у водоносним слојевима (издани). Надаље, у зони аерације, посебно у капиларном појасу, код фреатских издани, у вријеме интензивнијег испаравања подземне воде долази до таложења (акумулације) соли.³³⁰ С друге стране, у периоду појачаног храњења издани, раније акумулиране соли доспијевају у водоносни слој, што доводи до значајних промјена у погледу нивоа опште минерализације и хемијског састава вода и изданима. Можемо, дакле, закључити да се зона аерације јавља као хронолошки акумулатор више или мање растворених

³²⁹ Видјети опширније: М. Јахић, Квалитативно и квантитативно проучавање режима подземних вода, Посебна издања Геолошког гласника, Књига XII, стр. 7 – 53, Сарајево, 1974.

³³⁰ Карактеристика сушних климата.

соли, које се у једном временском периоду нагомилавају у њој а у другом се уносе у водоносни слој.

Хидролошки значај подземних вода. Режим подземних вода у приобалном појасу је кохерентан³³¹ са режимом нивоа вода у ријекама, природним и вјештачким акумулацијама, морима и океанима. Општепозната чињеница која показује корелативност водостаја водних тијела и храњења подземних вода говори да у периоду високог водостаја у ријечном кориту, подземне воде се хране водом из ријечних токова, а при ниским водостајима подземне воде хране ријечне токове.

У складу с тим је хидрауличка повезаност са језерима и Свјетским морем (Свјетским океаном), А.А. Конопљанцев (1963)³³² дефинише седам типова хидролошких фактора заснованих на међусобном хидрауличком дејству ријека и подземних вода, у зависности од геолошке грађе и хидрогеолошких услова:

1. Подручја са (пре)обилном и умјереном влагом и гдје већи дио године ријека дренира (одводњава) подземне воде. У вријеме поводња јавља се механизам храњења подземних вода из ријечних корита;
2. Јавља се као посебан случај првог. Утицај режима површинских вода се јавља за вријеме највиших водостаја;
3. Јавља се у географским просторима са смањеним падавинама, тако да је ријеке хране подземне воде у току цијеле године;
4. Дефинише однос режима површинских и плитко распрострањених вода под притиском, одвојених слабо пропустљивим слојевима;
5. Овај тип карактерише повезаност површинских вода и вода под притиском, које имају директну хидрауличку везу.
6. Карактеристичан је по комплексним условима узајамне везе. Тако, у првој фази поводња успор се у међуслојевитим водоносним хоризонтима развија, такође, као у токовима подземних вода (слични услови и 2. типа). При високим поводњима, прекорачивши способност одводњавања за вријеме најнижег дијела водоносног хоризонта, успор се развија већ под притиском (слично 5. типу);
7. Доминантан за област карста, гдје су стална храњења међуслојевитих хоризоната (вода) са водама ријека.³³³

Хидраулички значај подземних вода огледа се првенствено у чињеници да су подземне воде незамјенљив фактор у формирању, развоју и присуству површинске хидрографске мреже. Подземне воде (издани) хране изворе који су основна детерминанта настанка многобројних ријечних система. Ти системи без изворишне челенке су незамисливи и у климатским областима гдје су кише свакодневна појава (област тропске влажне или прашумске климе: Амазонија, слив Конга и острва Малајског архипелага). Треба нагласити да улога подземних вода у храњењу сталних, периодичних и повремених водотока је обрнуто пропорционална са атмосферским падавинама и њиховим распоредом. Практично, њихово учешће је тим веће уколико су атмосферске падавине мање и неуједначеније распоређене.

Геоморфолошки значај подземних вода. Дисецираност рељефа, дубина ерозионог усјецања у зависности од доње ерозионе базе и густина ријечне мреже су основни параметри дубине простирања подземних вода, хидрауличких падова токова, дужине путева процјеђивања подземних вода и др. Од дисецираности (рашчлањености) рељефа зависи расподјела

³³¹ Кохерентан (лат. *cohaerens*), који има природни или логички склад; цјеловит; сувисао; смислен.

³³² Конопљанцев, А.А., Коновалевскиј, В.С., Семенов С.М., Есествениј режим подземних вод и јево закономерности, Госгеолотехиздат, Москва, 1963

³³³ У приобалним појасевима већих ријека у Републици Српској, гдје се налазе водеће акумулације подземних вода (Приједорско поље, Лијевче поље, Посавина, Семберија) хидрауличка веза ријека и подземних вода углавном је четвртог до шестог типа.

температуре зоне аерације и подземних вода.³³⁴ Осматрањима Н.Г. Огилвиа (1956) утврђено је да површина зоне са постојаном годишњом температуром опонаша површински рељеф.

Познато је, из бројних досадашњих истраживања, да подземне воде вишеструко учествују у формирању подземних и површинских облика у рељефу (хемијска и механичка ерозија). Подземне воде у виду леда су такође моћан фактор изградње низа облика у рељефу. У подручјима гдје је средња годишња температура земљишта нижа од 0°C издан је стално замрзнута (око 25% копна на Земљи). У таквим подручјима (Сибир, сјевер Скандинавског полуострва, сјеверни дио Канаде се образује дубински лед - *тјел*.³³⁵ Његова моћност у источним дијеловима Сибира се креће од 600 – 800 метара. Изнад тјела је тзв. *активни слој* који се раскрављује у периоду љета до дубине 30 – 200 см. Догађа се да активни слој склизне на падинама изнад површине тјела а та појава се назива солифлукција или пливун.³³⁶ Солифлукцијом и другим процесима настају *нивациони облици*.

Биолошки значај подземних вода. Утицај вегетације на подземне воде је изузетно значајан фактор режима подземних вода. Вегетација непосредно условљава храњење подземних вода путем параметара, као што су: вриједност ваздушног притиска, влажност ваздуха и величина испаравања (транспирација), висина сњежног покривача на крунама стабала и топографској површини и др. Може се говорити о својеврсном утицају вегетације на (микро)климу. Биљни свијет даје микроклими изразита својствена обиљежја. Многи климатолози издвајају, према интензитету утицаја појединих типова вегетације, двије специфичне врсте микроклиме – климу засада и климу шуме. Вегетација непосредно утиче на губитак подземних вода путем транспирације влаге из зоне аерације и водоносног слоја.

Нарушени еквилибријум између подземних вода и топографске површине најбоље одсликава утицај вегетације (засади и шуме) на подземне воде код случајева неселиктивне сјече шума, пошумљавања нових/старих површина, заштити поља шумским засадима и сл.

Постојање копнене вегетације није могуће без подземних вода. Својим коријењем биљке не црпе само воду већ и бројне минерале. С обзиром на вегетациони период, утицај вегетације на подземне воде је углавном сезонски (изузев стално влажних климата). Сезонски утицај се јасно уочава код анализа режима подземних вода и објављивања података у годишњим статистичким извјештајима.

Подземне воде и хумана популација. Вода је регулатор живота те због тога има изузетну важност за хуману популацију наше планете. Због интеракције међу геосферама географског омотача, као и консистентности (постојаности, трајности) глобалног хидролошког циклуса (кружења воде у природи), било која промјена или дјелимична измјена стања у било којем сегменту циклуса доводи до већих или мањих промјена у другом дијелу циклуса и водном билансу. Људске активности имају значајан утицај на хидролошки циклус у сљедећим областима:

- а) водозахвати и потрошња воде;
- б) промјене у заштити и очувању животне средине;
- в) емисији полутаната у хидросферни комплекс и
- в) урбанизација одређених подручја (мијења се намјена коришћења земљишта).

Подземне воде у животу људи имају различит, посредан и непосредан, значај: физиолошки, здравствено – хигијенски, водоснабдијевање привреде, вода за хлађење, вода за наводњавање, рибогојство, грађевинска дјелатност и др. Међутим и човјек својим активностима утиче на режим подземних вода, односно њена квалитативна и квантитативна својства. Изградња

³³⁴ Видјети опширније: Огилви Н.А., Опређљеније параметров скорост распрострањенија падроро в грунтових водах путем анализа ин режима, „Совјетскаја геологија“, 1956, № 56.

³³⁵ По скандинавском термину за ову појаву који је Хегбом увео у науку.

³³⁶ Руски термин за ову појаву; солифлукција је слична плазинама, односно урвинама у растреситом покривачу умјерених и топлих климата.

хидротехничких објеката, изградња градских насеља или појединих градских квартова, наводњавање, одводњавање и др. утиче на трансформацију режима подземних вода, промјену услова и интензитета њиховог храњења и услова потрошње (смањивања залиха) подземних вода.

Утицај антропогених (вјештачких) фактора на режим подземних вода се може дефинисати у оквиру три подгрупе:³³⁷

а) фактори који смањују (црпе, троше) залихе подземних вода:

- водоснабдијавање становништва и привреде ;
- губици воде код експлоатације руда;
- дренажни радови (исушивање влажног или мочварног земљишта помоћу система цијеви или канала), мелиорација (побољшавање квалитета обрадивог земљишта путем исушивања, наводњавања, спречавања ерозије) и губици воде код обимних грађевинских радова (градске стамбене четврти, индустријске четврти, асфалтирање и слично; смањује храњење издани, односно смањује залихе воде у њима);

б) фактори храњења; фактори који повећавају залихе подземних вода:

- изградња акумулација;
- отицање индустријских и комуналних вода у водоносне слојеве;
- наводњавање и друго.

в) фактори који синхроно поспјешују повећање залиха подземних вода и смањују их путем селекције вода; фактори ове групе присутни су у подручјима вјештачког заливања (храњење), које се спроводи истовремено на појединим локалитетима са дренажом (исушивањем).

Од подземних вода посебан значај за хуману популацију, од античког периода па до почетка XXI вијека, имају минералне,³³⁸ термалне и термоминералне воде. На основу појављивања ових подземних вода развила се посебна научна дисциплина – *балнеологија* (начна дисциплина која се бави проучавањем љековитости минералних, термалних и термоминералних вода).

На нашој планети је велики број (више хиљада) регистрованих минералних, термалних и термоминералних вода на различитим локалитетима.³³⁹ Њихове, до сада истражене, квантитативне карактеристике потврђују да је ријеч о значајном (и захвалном) природном ресурсу, који има широку примјену, према Н. Миошићу (1975) у:

- балнеологији,
- медицини,
- рекреацији и спорту,
- туризму,
- коришћењу минералних вода флаширањем (стоне воде),
- издавајуће корисних минералних сировина,
- водоснабдијевању,
- коришћењу топлотне енергије (термалне воде) и др.

Да би се нека подземна вода могла сматрати минералном, односно љековитом, мора да испуњава дјелимичне услове (Табела 38).

³³⁷ Видјети опширније: М. Јахић (1974), стр. 50 – 51.

³³⁸ Воде које садрже у једном литру више од 1 грама (0.1% или 1‰) растворених материја, називају се минералне воде.

³³⁹ У Босни и Херцеговини (Републици Српској и Федерацији Босне и Херцеговине) постоји око 260 регистрованих појава ових вода. Међутим, Босна и Херцеговина још увијек није временски дефинисала њихово потпуно истраживање и у складу с тим њихово коришћење.

Табела 38. Минималне количине минералних материја и гасова неопходне ради уврштавања подземне воде у групу минералних вода

Компоненте	Граница између слатке и минералне воде	Доња граница за уврштавање подземне воде у минералне по карактеристичној компоненти	Назив минералних вода
1	2	3	4
Слободни угљен-диоксид	0.250	0.750	кисељаци
Сумпор-водоник уопште	0.001	0.010	сумпоровите
Еманација ³⁴⁰ радијума	3.5 Маh ³⁴¹	10.0 Маh	радонске*
Литијум	0.001	0.005	литијумске
Гвожђе	0.001	0.010	гвожђевите
Арсеник	0.0001	0.001	арсеничне
Бром	0.005	0.025	бромне
Јод	0.001	0.010	јодне
Радијум	10 ⁻¹¹	10 ⁻¹¹	радијумске
Метаборна киселина	0.005	0.050	борне
Силицијумске киселине	0.025	0.075	силицијумске

(Извор: Д. Дукић, Љ. Гавриловић, 2006)

* Радонске и радијумске воде означавају се најчешће заједничким називом као радиоактивне воде.

Класификација љековитих вода. Вода сваког водоносног слоја и сваког извора је засебно водно тијело, засебна цјелина, те је стога за сваку издан/извор потребна што квалитетнија анализа да би се одредиле главне особине. Када су у питању минералне/љековите воде у хидрологији постоји више класификација. Према А. Леку (1936) минералне воде су прилично компликовани системи, који се налазе у динамичкој равнотежи. Ово равнотежно стање зависи у приличној мјери, између осталог и од температуре, тако да се промјеном температуре мијења у једном или другом правцу и равнотежно стање дотичног система. Свака поједина минерална вода треба да представља посебан предмет детаљног проучавања.

Александар Леко (1936) је љековите воде сврстао у 10 класа и више поткласа³⁴²:

1. *Хладне* или акропотеге – воде са температуром од 20°C, али вишом од средње годишње температуре ваздуха у мјесту гдје су лоциране. Ове воде имају стабилну температуру и непромјенљив хемијски састав са мало сувог остатка.³⁴³
2. *Топле* или акротерме – имају воду топлију од 20°C. Дијеле се на три поткласе: хипотерме, хомеотерме и хипертерме. Имају мање од једног грама сувог остатка и мање од једног грама CO₂ у једној литри воде.
3. *Кисељаци* – садрже више од једног грама CO₂ у једном литру воде, а мање од једног грама сувог остатка. Кисељаци имају најчешће хладну изданску воду која је упила угљен – диоксид.

³⁴⁰ Еманација, хем. гасовита радиоактивна супстанца која настаје распадањем радиоактивних елемената.

³⁴¹ Маh (њем. Mach), физ. Махов број, однос брзине кретања тијела кроз гас или течност и брзине звука у истој средини.

³⁴² Класификација се односи на истражене минералне воде географског простора бивше Краљевине Југославије.

³⁴³ Количина соли која се добија природним испаравањем једне литре воде која садржи растворене материје.

4. *Алкалне воде* – имају више од једног грама сувог остатка у једном литру воде, и то претежно алкалних хидрокарбоната. Има их хладних и топлих. Најчешће се налазе у земљишту од кристаластих и магматских стијена.
5. *Земно – алкалне воде* - садрже више од једног грама сувог остатка у једној литри воде, и то хидрокарбонат (HCO_3) и јоне земно – алкалних метала – Ca^{2+} и Mg^{2+} . Ако овакве воде садрже више од 0.25 g/l раствореног угљен – диоксида, онда су то земно – алкалне воде.
6. *Слане* или муријатичне воде – садрже више од једног грама растворене кухињске соли (NaCl). Има их топлих и хладних. Ако садрже CO_2 називају се муријатични кисељаци. У ову класу спадају и јодно – бромне воде.
7. *Горке воде* – садрже соли натријум – сулфата (NaSO_4) и магнезијум – сулфата (MgSO_4) и више од једног грама сувог остатка у једној литри воде. Најчешће су хладне а има их претежно у земљишту у којем се распадају кристаласти шкриљци и магматске стијене.
8. *Гвожђевите воде* – садрже мање од једног грама сувог остатка у једној литри воде, од чега најмање 0.010 феро (Fe^{2+}) и фери (Fe^{3+}) јона.
9. *Сумпоровите воде* – садрже сумпорна једињења, најчешће сумпор – водоник (H_2S), и то у количини преко 0.001 g/l воде. Има их хладних и топлих, а јављају се у нафтоносним теренима, наслагама тресета и сл.
10. *Радиоактивне воде* - садрже соли радијума и продуката његовог распадања – гаса радона. Има их топлих и хладних, чистих и минералисаних радиоактивних вода. Јављају се најчешће у земљишту изграђеном од кристаластих стијена, пробијених различитим интрузијама.

У свом раду „Систематизација извора минералне воде у Краљевини Југославији“ Л. Ненадовић (1936) наводи следећу класификацију минералних вода:

- I Индиферентне воде: а) Акропотеге (хладне), б) Акротерме (топле).
- II Прости кисељаци (садрже чврстих састојака мање од једног грама и CO_2 више од једног грама у једном килограму воде.
- III Алкалне воде (садрже више од једног грама чврстих састојака у килограму воде; преовлађују анјон HCO_3^- и катјон Na^+ : алкални кисељаци, б) алкално – слане воде; поред $\text{Na}^+ \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-$ има и $\text{Na}^+ \rightleftharpoons \text{Cl}^-$; в) алкално глауберове воде, поред $\text{Na}^+ \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-$ има и $2\text{Na}^+ \rightleftharpoons \text{SO}_4^{--}$.
- IV Земно алкалне воде (садрже анјон HCO_3^- и катјоне Ca^{2+} и Mg^{2+}) .
- V Слане (муријатичне) воде (садрже анјон Cl^- и катјон Na^+) : а) јодне воде, б) алкално – земно – муријатичне воде, в) сланци.
- VI Горке воде (садрже анјон SO_4^{--} и катјон Mg^{2+}) : а) салиничне воде (садрже SO_4^{--} и катјон Na^+).
- VII Сумпорне воде (садрже H_2S , HS^- , SO_3^-).
- VIII Гвожђевите воде (садрже Fe^{2+} (феро-једињења: једињења оксидационог стања) и Fe^{3+} (фери-једињења-једињења оксидационог стања); а) арсенске воде.
- IX Радиоактивне воде.

Карактеристике неких састојака и елемената у минералним, термалним и термоминералним водама.

- Глауберова со – натријум – сулфат ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), налази се у природи у великој количини у неким језерима (Канада, Русија и друге земље) одакле се често издваја у кристалном стању. У мањим количинама налази се у неким лековитим водама. Натријум – сулфат се индустријски производи дејством концентроване сумпорне киселине или магнезијум – сулфата на натријум – хлорид. Натријум – сулфат примјењује се у индустрији стакла, боја, хартије и текстила; у медицини се употребљава као пургативно средство (за чишћење);

- Угљен – диоксид - важан пратилац природних минералних вода и природно стабилизује воду; због садржаја CO₂ већа је пропусност желуца за све астојке пића, витамина, минерала и соли који су корисни за здравље. Угљен – диоксид стимулише рад пробавних органа и тиме позитивно утиче на варење. Топивост угљен – диоксида зависи од притиска и температуре;
- Флуорид – спречава настанак каријеса, а потребан је у количини од 12 – 18 mg дневно;
- Јод (jodum) – у природи се налази као стални пратилац хлора и брома. Доста је распрострањен, само у незнатним количинама, у минералним водама, ваздуху, биљкама, минералима; дневне потребе износе 200 mg а највише га има у штитној жлијезди као три јодтиронин и тетра јодтиронин, који су два важна хормона те жлијезде. Регулишу температуру тијела, стање течности у тијелу, централни нервни систем и утичу на развој организма; соли јодоводоничне киселине зову се јодиди а један дио калијум – јодида (KJ) додаје се кухињској соли (100000 дијелова) ради спречавања гушавости.
- Сумпор (sulphur, „камен који гори“) - у природи елементаран или га налазимо као сулфид и сулфат; сумпор је градивни елемент, потребан за стварање аминокиселина. Без сумпора нема витамина В₁, биотина, инсулина и кератина (потребан за раст косе и ноктију);
- Хлорид – саставни дио костију и желудачне киселине а заједно са натријумом одржава баланс течности у тијелу и регулише осмотски притисак. У питкој води дозвољено је до 150 mg/l NaCl (кухињска со, камена со, обична со) . Дозвољени дневни унос натријума је шест грама а један грам натријума везује 200 ml воде. Кухињска со, односно NaCl, повисује крвни притисак. Натријум излучује и калијум из тијела;
- Калијум (kalium) – доста је распрострањен у Земљиној кори у облику својих једињења, али знатно мање од натријумових једињења. Калијум спада у биогене елементе; ниједан други елемент не може потпуно да га замијени у живој ћелији. Калијум, заједно с натријумом, утиче на дјеловање срчаног мишића. Калијум је потребан за нормално функционисање живчаног система, активира низ ензима³⁴⁴ и веома је важан елемент биосинтезе (стварања сложених хемијских једињења у ћелијама живих организама, нпр. фотосинтеза) бјеланчевина
- Калцијум (calcium) – спада у врло распрострањене елементе и игра важну улогу у органском свијету; налази се у биљкама и животињама у облику калцијум – карбоната и калцијум – фосфата. За правилан раст организма човјека потребно је дневно око 0.5 грама калцијума.
Калцијумови јони се налазе у крви и имају утицаја на правилан рад срца; јони калијума изазивају слабљење рада срца, док јони калцијума дејствују супротно, појачавају му рад. Присуство нормалне количине ове двије врсте јона условљава нормалан рад срца. Калцијумови јони имају такође значајну улогу и у згрушавању крви на ваздуху, јер без присуства ових јона дошло би до крварења при малој озљеди. Према томе, калцијумови јони имају заштитну улогу организма код хумане популације. Здрав човјек не може да се предозира калцијумом.
- Гвожђе (ferrum) – спада у најобилније метале Земљине коре; дневно је људском организму (зависно од доби и масе) потребно 10 – 15 mg гвожђа. Оно је потребно за транспорт кисеоника у људском организму; хемоглобин (састојак црвених крвних зрнаца који им даје боју, везује кисеоник и њиме снабдијева цио организм) регулише и реакцију крви. Ако је познато да људски организм у току 24 сата мора да створи 170 милијарди еритроцита (црвених крвних зрнаца), тада није тешко замислити колика је

³⁴⁴ Хем. органско једињење које изазива које изазива или убрзава хемијске процесе у живим организмима, фермент.

улога гвожђа у том процесу. Недостатак може да буде прелатентан, латентан и манифестан, зависно од границе исцрпљености залиха у организму.

- Манган (manganum) – у природи је доста распрострањен, али само у везаном стању. Раствара се у разблаженим киселинама са развијањем водоника; вода га полако напада. Манган се налази у биљним и животињским ћелијама гдје игра важну биогену улогу. Код човјека га има у срцу, јетри и бубрезима. Манган дјелује на раст организма, помаже стварање крви и утиче на функцију полних жлијезда. Ако се унесе већа количина манганових једињења у организам дјелује токсично. Дневне потребе за људе износе два до пет милиграма. До недостатка мангана долази код епилептичара и дијабетичара.
- Никал (niccolum) – утиче на равнотежу хормона, измјену масти; као елемент стабилизује нуклеинску киселину. Нуклеинске киселине су највеће органске молекуле, преко потребне компоненте сваке живе ћелије. Открио их је 1869. године швајцарски биохемичар Mischer у језгрима спермија неких риба. Сваки нуклеотид садржи по једну угљеникову базу, једну молекулу шећера пентозе и једну молекулу фосфорне киселине. Два су основна типа нуклеинских киселина у живим организмима: дезоксирибонуклеинске киселине (DNK) и рибонуклеинске киселине (RNK). Нуклеотиди имају битну улогу у метаболизму, размјени материја и размјени енергије у организмима.
- Литијум (lithium) – у природи је доста распрострањен, долази само у везаном стању и то често као пратилац натријума и калијума. У минералним водама налази се литијум – бикарбонат, који је постао од карбоната, према реакцији: $\text{LiCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{LiHCO}_3$; значајна је примјена литијум карбоната у медицини при лијечењу гихта, а у новије вријеме при лијечењу менталних поремећаја. Литијум реагује с мокраћном киселином градећи њену литијумову со која се лако раствара у води. На тај начин се омогућава одстрањивање мокраћне киселине из организма.
- Бром (bromum) – налази се у природи само у везаном стању, и то обично као пратилац хлора. Име је добио према свом интензивном мирису, према грчкој ријечи која значи смрад. Соли бромоводоничне киселине зову се бромиди и дјелују умирујуће на централни нервни систем, па е као такви употребљавају под називом „седативи“.

Љековите воде и бање у Републици Српској и ФБиХ

На географском простору Републике Српске честе су појаве љековитих минералних, термалних и термоминералних вода. Око извора љековитих вода и мјестима љековитих блата изградила су се временом мања или већа насеља – *бање*. Археолошки остаци код неких бања показују да њихово коришћење датира у период античке Грчке и Рима. Данас су многи извори минералних, термалних и термоминералних вода постали афирмисани бањско – љечилишни и рекративни центри са модерном дијагностичком и опремом за физикалну терапију. Република Српска има око 200 регистрованих минералних, термалних, термоминералних, слабо радиоактивних појава, кисељака и љековитих блата и девет бањских центара за лијечење и рехабилитацију, односно одмор и рекреацију.



Карта бања и љечилишта са топлим или минералним изворима воде у Босни и Херцеговини који су регистровани као медицинске установе (www.kuk.ba/banje.html)

1. Aquaterm – Олово, 2. Дворови – Бијељина, 3. Гата – Бихаћ, 4. Губер – Сребреница,
5. Илиџа – Градачац, 6. Илиџа – Сарајево, 7. Кисељак – Кисељак код Сарајева,
8. Кулаши – Прњавор, 9. Лакташи – Лакташи, 10. Мљечаница – Козарска Дубица,
11. Реумал – Фојница, 12. Санска Илиџа – Сански Мост, 13. Слана Бања – Тузла,
14. Слатина – Лакташи, 15. Вилина Влас – Вишеград, 16. Бања Врућица - Теслић

Бањски центри су:

а) термалне воде

- „Вилина Влас“ (Вишеград), са температуром воде преко 34°C ; термалне воде бање „Вилина Влас“ имају карактеристике радиоактивне, карбонатне хомеотерме; основна љековита својства потичу од њене радиоактивности, чији је носилац радон и његови продукти распадањ; радон смањује бол, подиже општу отпорност организма, повољно дјелује на неке кожне, ендокрине, респираторне и алергијске болести;
- „Бања Лакташи“ (Лакташи), са температуром воде од 34°C; купање у води доприноси побољшању стања организма код следећих група болест: болести очију, болести срца и крвотока, болести локомоторног апарата, рекреација и ревитализација;
- „Бања Кулаши“ (Прњавор), са температуром воде од 30°C; термалне воде „Бање Кулаши“ постижу видне резултате у лијечењу псоријазе и смањењу тегоба и ублажавању клиничких промјена код псоријатичара и других хроничних кожних обољења;

б) термоминералне воде

- „Бања Дворови“ (Бијељина), са температуром воде од 71°C; термоминерална љековита вода ефикасно лијечи, између осталог: реуматска обољења у смиреној клиничкој и лабораторијској фази, дегенеративна реуматска обољења, стања након повреда, стања након оперативних захвата на локомоторном апарату, обољења периферних артеријских крвних судова, блага кожна обољења, обољења желуца, жучи и жучних путева пијењем воде и др;
- „Бања Шехер“ (Бањалука), са температуром од 34°C; термоминерални извори помажу у лијечењу кожных, реуматских и срчаних обољења.

в) угљично – киселе термалне воде

- „Бања Врућица (Теслић), са температуром воде од 39°C; по хемијским и физичким особинама вода Бање Врућице је калцијум – натријум хидрокарбонатна и хлоридна кисела вода; рехабилитација кардиоваскуларних обољења, стања након акутног инфаркта миокарда и др.

г) арсено – жељезна минерална вода

- Бања „Губер“ (Сребреница)³⁴⁵, са температуром воде од 14°C; љековита природна минерална вода бање „Губер“ је жељезно – арсенска вода, која у једном литру садржи 0.123 грама жељеза у двовалентном облику; минерална вода може се користити на разне начине: купањем у кадама и базенима, примјеном различитих купки и подводних туш масажа и пијење воде а намијењена је за лијечење: хипохромних анемија, склерозе, поремећаја општег стања, оштећења коже и слузнице и др;

д) сумпорасто – минерална вода

- Бања „Мљечаница“ (Козарска Дубица), са температуром воде од 14.2°C; минерална вода „Мљечанице“ користи се пијењем, бањањем, а може и у виду инхалације, а индикациона подручја која се у бањи успјешно третирају, између осталог, су: неуролошка обољења, постоперативна стања, превенција и лијечење остеопорозе, гинеколошка обољења, гастроинтестинална обољења и др;

ђ) угљично – кисела минерална вода

- „Бања Слатина“ (Лакташи), са температуром воде на извору од 40-42°C; вода дјелује на сљедећа обољења: запаљенски реуматизам у мирној фази, дегенеративни реуматизам, посљедице траума, извјесни облици стерилитета и др.

е) Бањско – рекреативни центар „Слатина – Љешљани“ налази се у истоименом селу, на југозападним падинама планине Козаре, удаљен од Новог Града/Босанског Новог око 18 илометара. Овај центар је још у изградњи, његова љековита вода тренутно се користи у рекреативне сврхе и лијечење на основу досадашњих искустава. Природна вода из бање „Слатина – Љешљани“, по савременој класификацији спада у натријумхлоридне хидрокарбонатне хипертермалне високо алкалне воде, са температуром од 31 – 35°C.

У Федерацији Босне и Херцеговине познате су бање:

- Aquaterm – Олово
- Гата – Бихаћ
- Илица – Градачац
- Илица – Сарајево
- Кисељак – Кисељак код Сарајева
- Реумал – Фојница
- Санска Илица – Сански Мост
- Слана Бања - Тузла

³⁴⁵ Позната је и под називом Бања Црни Губер.

Осим наведених бања и љечилишта са топлим и минералним изворима воде, које су регистроване и као медицинске установе, у Федерацији Босне и Херцеговине познате су још неке појаве минералних вода („кисељаци“) : Бистрички кисељак – село Бистрица код Жепча, Ораховачка кисела вода – код Жепча, Тузлански кисељак, Тешањски кисељак и др.

Љековите бање у иностраним земљама. У Србији има око 370 извора минералних вода и 59 бања³⁴⁶, а према љековитим компонентама (М.Леко) је заступљено свих десет класа љековитих вода. Већина бања има 2-3 извора љековите воде; у Сијаринској бањи каптирано је 16 извора љековите воде. Неке од најпознатијих бања у Србији су: Буковичка бања – извор „Књаз Милош“, Сијаринска бања, Врњачка бања, Ковиљача, Сланкамен, Бања Русанда, Матарушка бања, Нишка бања, Сокобања а од природних љековитих блата познати су Палић, Гамзиградска бања и др.

У Црној Гори је десетак љековитих вода и бања а најпознатија бања је Игало (слана вода од 14.5°C и љековито блато).

У Словенији је регистровано више познатих бања и љечилишта/купалишта са водама различитог хемијског састава и температурама. Најпознатије су: Чатешке Топлице (Terme Čatež), Добрна Топлице, Лендава Топлице, Моравске Топлице, Топлице Тополшица, Рогашка Слатина, Раденска Слатина, Долењске Топлице, Римске Топлице и др., а постоји и 12 савремено опремљених термалних купатила.³⁴⁷

Најпознатије бање у Хрватској, у групи хипотерми су Тухељске Топлице, међу хомеотермама Даруварска бања; у Хрватској има и доста хипертерми а најзначајније су: Крапинске Топлице, Стубичке Топлице, Вараждинске Топлице, Липик, два извора у бањи Дарувар. Познато је такође Сисачко јодно купатило и бања Топуско.

Македонија се одликује хипотермама (са доста сумпорних материја): Бањско код Струмице, те Штипска, Кочанска, Косовратска, Катлановска, Дебарска, Негорачка бања и још низ минералних и термалних извора.

Заједница Независних Држава (бивши СССР) има преко 4000 извора минералне воде; Мађарска има значајан број термоминералних извора – само на подручју главног града Будимпеште регистровано је око 120 таквих извора; у Румунији је каптирано преко 2000 извора минералне воде и има око сто бања а постоје и десетине језера са љековитим блатом. Чешка има низ извора минералне, термалне и термоминералне воде, али је позната по бањи Карлови Вари. Карлове Вари је бања удаљена 125 километара од Прага са 14 термоминералних извора. Француска има преко 1200 минералних извора а најпознатији су у бањама Виши, Дакс, Лишон, Верн и др.

Хидрогеотермална енергија. Наша планета представља комплексну геолошко – хидрогеолошку средину, која самим тим, условљава постојање великог броја минералних, термалних и термоминералних вода. У подручјима Земље егзистирају поменуте воде у различитим хидрогеолошким структурама а настале су као последица комплексних геолошко – тектонских релација. Посебан значај има геотермална енергија за коју већина хидролога сматра да је, практично, неисцрпна. Према Љ. Гавриловић (2006) она се појављује у четири облика:

- петрогеотермална енергија – акумулирана у чврстим стијенама,
- магмогеотермална енергија – акумулирана у магми,
- геотермална енергија у виду топлих гасова и
- хидрогеотермална енергија – акумулирана у термалним подземним водама и прегријаној воденој пари.

Хидрогеотермална енергија је најпрактичнија појава топлотне енергије из унутрашњости Земље, код које се топлота из литосфере подземним термалним водама и воденом паром трансферује до топографске површине. Топла подземна вода се користи, данас, за разне намјене:

- балнеологији и рекреацији,

³⁴⁶ Д. Дукић, Љ. Гавриловић, цит. изд., стр 55 – 57.

³⁴⁷ Видјети више: www.slovenia.info/si/Zdravilišča

- добијање струје,
- загријавање просторија,
- пољопривреда,
- индустрија и др.

2.6. Енвиронметални приступ подземним водама

2.6.1. Хидросферни комплекс и загађивање животне средине

Један од најактуелнијих и најакутнијих проблема животне средине је загађивање хидросферног комплекса. Хумана популација је све више свјесна чињенице да будућност наше планете зависи од количине, али још више од квалитета воде којом ћемо у будућности располагати. У процјени вода које стоје хуманој популацији и многобројним организмима фито и зооценозе на располагању основна је грешка идентификовати *водне ресурсе* (VR) са водом која је присутна у одређеном географском простору, било да је она подземна или површинска, акумулирана или текућа.³⁴⁸ *Присутна вода* (PV) на неком простору/подручју је искључиво геофизичка категорија,³⁴⁹ која се дефинише као: $[PV = (L, Q, K)]$, односно матричким структурама које дефинишу:

L – локацију воде,

Q – количину воде и

K – квалитет воде.

Водни ресурс је у суштини социјална, економска и енвиронментална/еколошка категорија. Наиме водни ресурс подразумева постојање услова за експлоатацију и заштиту квалитета вода, чиме јасно долазимо до кључне синтагме³⁵⁰ *употребљива вода*. Уколико само један од геогених или антропогених параметара не задовољава стандарде и мјерила квалитета и квантитета за безбједно коришћење вода на одређеном подручју, тешко да се може реализовати адекватан водопривредни систем. Најважнији услови који дефинишу обим и вријеме коришћења вода су : геолошки, петрографски, физичкогеографски, економскогеографски, хидрографевински, као и услови заштите хидросферног комплекса. Сваки од наведених услова се може евалуирати у складу са националним и међународним оквирима за стратешка опредјељења у области вода, односно у области геосфера и геокомпоненти географског омотача.

Логично је да се услови за коришћење вода мијењају, зависно од природних и људских активности, зависно од потреба и намјене, али и зависно од техничко – технолошких капацитета да се, до тада „одбачене“ воде учине „корисним“. Многи релевантни субјекти, посебно институције и владе многих земаља у свијету, инсистирају на смањивању воде као ресурса током наредног периода а то објашњавају све ригорознијим енвиронменталним/еколошким ограничењима, урбаним, али и руралним ограничењима и, ништа мање битним друштвеним лимитима. Но, то нас доводи до нове синтагме, и одговора на њу: *проблем воде*, који је све више наглашен на глобалном нивоу. Мислимо, сасвим аргументовано, да проблем воде, на почетку трећег миленијума, још увијек није резултат недостатка воде, већ профитабилних размишљања (оних који доносе зараду) у могућности коришћења воде (*употребљива вода*). „Проблем воде“ је присутан (или ће бити) у оним подручјима наше планете гдје резерве употребљиве воде нису у

³⁴⁸ Видјети опширније: Влада Републике Српске, Министарство пољопривреде, шумарства и водопривреде, Републичка дирекција за воде – Бијељина, Оквирни план развоја водопривреде Републике Српске, Бијељина, 2006.

³⁴⁹ Геофизика (грч. *ge* – Земља + *fysis* – природа), наука о Земљи, која изучава унутрашњу грађу, физичка својства и процесе који се одвијају у сферама географског омотача (атмосфери, хидросфери и литосфери). Примијењене гране геофизике помажу у рјешавању геолошких, геохидролошких и др. задатака.

³⁵⁰ Синтагма (грч. *syntagma* – оно што је заједно стављено у ред), *грам.* група ријечи која образује један појам или има једну функцију у реченици.

стању да подмире све веће потребе водоснабдијевања становништва и привреде. У протеклом, XX вијеку, у посљедњој деценији тог вијека, због несташице „употребљиве воде“, годишње је умирало око 3.5 милиона људи у свијету.³⁵¹

Све присутнији страх од жеђи савремене цивилизације, која се одликује интензивном урбанизацијом и све бројнијим градским агломерацијама и све већим обимом индустријске производње, доприноси да је све теже обезбиједити квалитетну/употребљиву воду данашњој хуманој популацији. Најразвијеније државе наше планете све више, користећи надмоћност свог техничко – технолошког потенцијала и новац којим располажу, практикују вишеструко циркулисање (рециклажу) воде. Али, то је данас само око 30% технолошки супериорног дијела наше планете, док осталих 70% становника не може рачунати на квалитетну воду, посебно воду за пиће. Експерти УН (и не само они) сматрају да глобално водоснабдијевање чистом водом је један од основних фактора који би могао ублажити нарасле супротности у свијету. Осим што је вода битна детерминанта здравља људи, она је битна и за низ других активности (наводњавање земљишта, водоснабдијевање привреде, енергија, саобраћај, рекреација и др.).

Проблем воде се на почетку трећег миленијума посебно наглашава, и то из два разлога: притисак на воду као природни ресурс је све интензивнији а преко ње се добрим дијелом преламају проблеми и у осталим сферама географског омотача. Потрошња воде у свим видовима коришћења рапидно расте, док се због све већег обима загађења површинскиј и подземних вода смањују залихе употребљиве воде, односно воде коју можемо дефинисати као водни ресурс. Заштита квалитета водених станишта и заштита од штетног дјеловања вода (спровођење активности и мјера у циљу смањења или спречавања угрожености људи и материјалних добара од штетног дјеловања вода и отклањања посљедица њиховог дјеловања – поплаве, лед на водотоцима, заштита од ерозије и бујица и др.) је један од приоритетних задатака Хумане популације. Имајући у виду наведене чињенице један од најбитнијих закључака Даблинске конференције (*Development issues for the 21st century, Dublin, 1992*) био је да је „*одрживост /усклађеност* постала базни принцип свих развојних стратегија, посебно у домену развоја водних ресурса“.

2.6.2. Међународна документа у области вода³⁵²

У циљу очувања геосфера и геокомпоненти географског омотача, основан је велики број међународних организација чија је класификација могућа на основу више критерија. Као базни елемент узима се област дјеловања одређене организације, па се на основу тога може извршити сљедећа подјела:

1. Међународне организације универзалног карактера:
 - ОУН и организације у оквиру „система“ ОУН;
 - организације ван „система“ ОУН;
2. Међународне организације регионалног карактера:
 - организације европског карактера;
 - организације које немају европски карактер;
3. Међународне невладине организације;
4. Локалне невладине организације.

³⁵¹ Други свјетски форум о води, Хаг, 17 – 22. март 2000. године (Први форум је одржан у Маракешу, 1997. године). Скуп у Хагу се одређио за став да је вода „потреба“ а не „право“, чиме се дефинише став да „треба утврдити реалну цијену воде“ или сведено на разумљивији језик, *треба је знатно поскупити*. Против оваквог „концепта и филозофије“, смишљеном да би се приватном капиталу омогућило да успостави своју моћ над водним ресурсима, од стране UNESCO – а је одговорено да извори воде не могу да се сматрају робом, јер представљају битан услов природног опстанка неког народа/етничке заједнице, односно стуб његовог културног и политичког интегритета.

³⁵² Више видјети: Оквирни план развоја водопривреде Републике Српске, цит. изд., стр. 9 – 16.

На стратегију управљања водама у било којој држави свијета битан утицај има међународна заједница са својим документима који се односе на хидросферни комплекс. Неки од тих докумената имају карактер међународних конвенција,³⁵³ односно такве конвенције су обавезујуће. За разлику од обавезујућих конвенција, неки документи имају карактер упутстава, смјерница или препорука за различите нивое власти, од локалних заједница до влада одређених држава. Већина тих докумената партиципира у водном законодавству многих земаља, стварајући значајан правни, организациони и управљачки оквир који се уграђује у стратегију развоја сектора вода. Но, врло често остаје отворено питање уградње одређених докумената у водно законодавство и оквирне планове развоја водопривреде многих земаља (регија, ентитета, кантона и др.) због недефинисаног степена обавезности и чињенице да ли су та документа формално ратификована.³⁵⁴

2.6.2.1. Хелсиншка конвенција (Конвенција о коришћењу и заштити прекограничних водотока и међународних језера)³⁵⁵

Хелсиншка конвенција, донијета је 17. 03. 1992. године у главном граду Финске а поводом низа акција Економске комисије за Европу (ЕЦЕ) да се усвоји обавезујући оквир за заштиту међународних површинских и подземних вода путем превенције (предупређивања), контроле (надзора) и енвайронментално (са становишта животне средине) прихватљивог управљања дијелом хидросферног комплекса. Основни принципи (начела) ове конвенције су:

- превентивно дјеловање у области заштите вода,
- принцип усклађености потрошње воде садашње и будућих генерација,
- принцип „загађивач пречишћава и плаћа“, и „корисник плаћа“;

С обзиром на још један битан хидролошки принцип – „цјеловитост сливова“ – за државе које заједнички користе/дијеле воду међународних/међуентитетских ријека битне су обавезе³⁵⁶:

- прикупљање и размјена података у оквиру заједнички дефинисаних мониторинг програма у области свих компоненти водних режима (квантитет, квалитет, прекогранични утицаји (узводни и низводни интерес, оп.а.) – обавеза формирања савременог мониторинга (посматрања) и информационог система (ГИС) у области вода);
- смањење ефлуентних³⁵⁷ загађења из концентрисаних и расутих загађивача;
- благовремени систем обавјештавања међу сусједним географским или административно - политичким просторима на појаву акцидента.³⁵⁸

2.6.2.2. Барцелонска конвенција (Конвенција за заштиту животне средине мора и приобалног подручја Медитерана)³⁵⁹

³⁵³ Конвенција (лат. conventio, према convenire – здружити се; договор, споразум), међународни споразум о неком питању.

³⁵⁴ Ратификација - потписивање и одобравање међународног уговора или споразума од стране уставом овлашћеног представника највише државне власти; ратификовати – потврдити (одобрити) међународни уговор.

³⁵⁵ Convention on Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes

³⁵⁶ Оквирни план развоја водопривреде Републике Српске, цит. изд., стр. 11.

³⁵⁷ Ефлуент (effluent), отпадна вода која је подвргнута третману или непрерађена испуштена из постројења за прераду, из канализације или индустријског објекта. Термин се генерално односи на испуштање отпадне воде у површинске токове.

³⁵⁸ Accident Site: мјесто удеса; мјесто неочекиваног удеса, хаварије или испуштања опасних материја у неком постројењу или током транспорта

³⁵⁹ Convention for the Protection of the Marine Environment and Coastal Region of the Mediterranean; конвенција је допуњена 1995. године када је и добила садашње име. У оквиру Конвенције дефинисано је и неколико протокола од којих за област вода посебно су значајни: Протокол о заштити против загађивања са копна (1996) и Протокол о сарадњи у борби против загађења нафтом и другим штетним материјама у хитним случајевима (1976).

Ова конвенције је усвојена у Барселони (1976) од стране представника влада Медитерана. Као инструмент Медитеранског акционог плана, ступила је на снагу након двије године од усвајања (1978). Основна начела и обавезе које проистичу из Барселонске конвенције су:³⁶⁰

- принцип предострожности и превенције кроз процјену утицаја на животну средину свих управљачких одлука у области хидросферног комплекса;
- принцип „загађивач чисти и плаћа“;
- цјелокупна контрола загађења управљањем ријекама и обалним подручјем;
- заштита посебно енвайронменталних подручја;
- слободан приступ информацијама о стању животне средине;
- информисање о имисији полутаната у геокомпоненте географског омотача.

2.6.2.3. Конвенција за заштиту ријеке Дунав

Конвенција о сарадњи за заштиту и одрживо коришћење ријеке Дунав³⁶¹ даје смјернице за управљање свим водотоцима у ријечном сливу и систему Дунава. Циљ ове конвенције је остваривање одрживог управљања у сливу Дунава, при чему се, између осталог, наглашавају сљедећи циљеви:³⁶²

- рационално коришћење површинских и подземних вода слива;
- активно се ангажовати на смањењу загађења Црног мора полутантима из слива Дунава;
- међудржавана и међурегионална сарадња у свим областима управљања водама слива.

У оквиру Конвенције за заштиту ријеке Дунав формирана је Међународна комисија за заштиту ријеке Дунав (International Commission for the Protection of the Danube River – ICPDR). Комисија је покренула свеобухватну активност да земље потписнице Конвенције ураде планове управљања водама у секундарним сливовима ријечног система Дунава.

2.6.2.4. Споразум о сливу ријеке Саве

Оквирни споразум о сливу ријеке Саве и Протокол о режиму пловидбе су потписани у Крањској Гори 03. децембра 2002. године и допуњени у Љубљани 02. априла 2004. године. Наведеним споразумом и протоколом, између осталог, регулисано је: успостављање међународног режима пловидбе ријеком Савом, успостављање одрживог управљања водама слива и предузимање мјера за предупређење опасности од испуштања ефлуената, смањивање посљедица од поплава, суше и леда.

У складу с потписаним документима формирана је Привремена комисија за слив ријеке Саве а њен задатак је координација наведених активности.

2.6.2.5. Директива о водама Европске Уније (Directive of the European parliament and of the Council 2000/60/EC establishing a framework for community action in the field of water policy)

Ова директива је усвојена од стране Парламента и Савјета Европске Уније крајем 2000. године и она је важећа за све државе, чланице Европске Уније. Њима је остављен рок до 2003. године да принципе Директиве о водама уграде у своја законодавства о водама; до 2015. године чланице Европске Уније треба да изврше њену примјену. У склопу одговарајућег нормативног оквира Директиве о водама, посебно се истичу сљедећи ставови:³⁶³

- свеобухватна заштита хидросферног комплекса и усклађивање циљева водопривреде и животне средине;

³⁶⁰ Према Оквирном плану развоја водопривреде Републике Српске, цит. изд., стр. 11.

³⁶¹ Convention on Co-operation for Protection and Sustainable Use of the Danube River, потписана у Софији 29. јуна 1994. године а ступила на снагу 22. октобра 1998. године.

³⁶² Према Оквирном плану развоја водопривреде Републике Српске, цит. изд., стр. 11.

³⁶³ Видјети опширније: Оквирни план развоја водопривреде Републике Српске, цит. изд., стр. 12-13.

- утврђивање строгих норматива и критерија за имисију полутаната и високи стандарди за валоризовање квалитета воде у хидросферном комплексу;
- „интегрално управљање ријечним сливовима и формирање компетентних служби за управљање водама на нивоу великих хидрографских цјелина (Директива такву “основну јединицу за управљање ријечним сливом“ дефинише као „дистрикт ријечног слива“)“;
- координација управљања ријечним сливом у складу са цјеловитошћу ријечног слива, односно да излази ван административних граница једне државе;
- реална, економска цијена воде; усаглашавање цијена воде за три категорије потрошача: индустрија, пољопривреда и домаћинства;
- укључивање корисника и представника јавности у тијела која одлучују о управљању водама и др.

2.6.2.6. Други прописи Европске Уније који су сада на снази³⁶⁴

На географском, економском и политичком простору Европске Уније постоји низ прописа у области вода који су обавезујући за земље чланице и на које се понекад позива и Директива о водама. За кључне документе сматрају се, између осталих, слjedeће директиве:³⁶⁵

- Директива о заштити површинских вода (79/659/ЕЕС и 79/869/ЕЕС);
- Директива о квалитету воде за рибарство (78/659/ЕЕС);
- Директива о заштити подземних вода од загађивања посебно опасним супстанцама;
- Директива о води за пиће и др;

2.6.2.7. Ставови из докумената на нивоу смјерница и препорука

У суштини ради се о необавезујућим смјерницама које ипак треба уважавати и по могућности уврштавати у водно законодавство; наиме на глобалном плану низ ових докумената је већ рутински приступ у хидросферном комплексу.

Конференција Уједињених Нација о животној средини (Штокхолм, 1972) (*UN Conference on the Human Environment*), у својој декларацији препоручује формирање управљачких тијела на нивоу ријечних сливова;

Конференција Уједињених Нација о водама (*UN Conference on Water, Mar del Plata, 1977*) дефинисала је неке стратешке детерминанте а најбитније су:

- изузетно велики притисак на хидросферни комплекс,
- недоследно управљање водама, све интензивније загађивање и недостатак адекватне заштите могу да смање садашње залихе употребљиве воде;
- вода је ресурс који има своју цијену као сви други ресурси (в. поглавље 2.6.1. и Даблинску конференцију, оп.а.);
- само цјеловитим рјешењима у домену коришћења, заштите вода, али и заштите од вода могу се реализовати најповољније социјалне, економске и енвайронменталне користи.

- Даблинска конференција (*International Conference on Water and the Environment, Dublin, 1992.*) је дефинисала да је вода економска категорија те се према њој треба односити као економском добру (роби) у свим видовима експлоатисања;
- Конференција Уједињених Нација о животној средини и развоју (*Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro, 03. – 14. 06. 1992.*)³⁶⁶ усвојио је неколико битних докумената, од којих издвајамо:

³⁶⁴ Односи се на крај 2006. године.

³⁶⁵ Већином су уграђене или ће се уградити у законодавну регулативу земаља чланица, односно земаља које су кандидати за пријем у Европску Унију.

- Декларација о животној средини и развоју,
- Конвенција о климатским промјенама,
- Конвенција о биодиверзитетима и
- Агенда 21 – збирка од око 2500 препорука за глобалан усклађен развој. За област вода је најважније поглавље 18 и које се односи на управљање слатким водама. Занимљива је препорука владама држава наше планете да сачине националне програме акција усклађеног развоја у области хидросферног комплекса до 2025. године уз обавезу и да их реализују.

Кључни ставови релевантних докумената. Упоредјујући напријед наведене документе, без обзира на обавезујући ниво или ниво препоруке, могу се дефинисати сљедећи закључци:³⁶⁷

- хидросферни комплекс је важан састојак социјалног (друштвеног) и економског (привредног) развоја, као и чинилац очувања и заштите животне средине; није могуће очување животне средине без одговарајућег енвайронменталног приступа хидросферном комплексу;
- неопходно је цјеловито управљање водама;
- вода је ресурс и као таква она је економска категорија као сви други ресурси;³⁶⁸
- потребно је увести поштивање начеља: „корисник плаћа“, „загађивач пречишћава или плаћа“, „потпуна накнада свих трошкова“ у које су укључени и сви трошкови заштите вода и ријечних сливова, као и неопходну заштиту животне средине;
- могућност вишекратног коришћења вода;
- неопходна координација управљања ријечним сливовима када се он налази на територији двије или више држава (принцип цјеловитости сливова) и др.
- рационално управљање ресурсима мора (Међународна власт за морско дно – SA, институција о морском праву, основана је 1982. године);

Најважнији услови за коришћење вода су: физичкогеографски услови, геотехнички услови, социјално – економски услови, просторно планирање и степен урбанизације одређеног географског простора и услови који се дефинишу међународним конвенцијама. Услови за коришћење вода мијењају се тако да водни ресурси у одређеним историјским, социјалним и економским етапама развитка хумане популације се различито валоризују. Стога се водни ресурс третира као динамичка категорија, односно ресурс који је способан за брзе и енергичне промјене.

2.6.2.8. *Опште дугорочне детерминанте заштите вода.*³⁶⁹

Кључне дугорочне одреднице заштите вода заснивају се на низу начела, од којих су најважнија:

- заштита вода се мора вршити координираном и усклађеном акцијом која уважава цјеловитост сливова;
- заштита вода не смије бити временски лимитирана;
- заштита вода се преноси на ниво већих ријечних система и остварује се интеракцијом³⁷⁰ више мјера заштите;

³⁶⁶ Скуп је познат и под називом Earth Summit; Циљ ове конференције је био остваривање новог и равноправног глобалног партнерства путем отварања нових нивоа сарадње међу државама уважававајући интересе свих и штитећи цјеловитост глобалних система животне средине и усклађеног развоја.

³⁶⁷ Према: Оквирни план развоја водопривреде Републике Српске, цит. изд., стр. 15 – 16.

³⁶⁸ Вода се може третирати као економска категорија само за одређене категорије потрошње, посебно у условима када се нерационално/ненамјенски троши

³⁶⁹ Видјети опширније: Оквирни план развоја водопривреде Републике Српске, цит. дјело, стр. 117 – 122.

Технолошке мјере заштите су нераздвојни дио опште стратегије, која је одређена и прихваћена низом докумената међународне легислације,³⁷¹ са акцентом на принцип „заштита вода на самим изворима загађења“. Најважније технолошке мјере су:

- постројења за пречишћавање отпадних вода (ППОВ) општег типа као завршетак канализационих система насеља;
- постројења за поступак пречишћавања отпадних вода производних објеката (фабрика, занатских радњи и сл.);
- посебна намјенска постројења за пречишћавање отпадних вода производних јединица које своје воде испуштају посебним евакуаторима директно у ријечна корита;
- супституција „прљавих“ технологија „чистијим“ технологијама;
- увођење нових производних програма када је то неопходно због заштите вода, посебно код заштите значајних изворишта.

Водопривредне мјере заштите вода, између осталог, подразумевају:

- побољшање режима малих вода – „оплемењивање малих вода“; у критичним маловодним ситуацијама намјенски се испушта чиста вода из акумулационих базена;
- управљање и контрола „термичке загађености“ (температура воде и количина кисеоника у води, посебно код ријечних потеса низводно од акумулација);
- рационализација потрошње воде, првенствено примјеном мјера у оквиру водовода и кућних инсталација за водоснабдијевање.

Организационе мјере заштите предвиђају:

- законодавне и друге нормативне мјере;
- забрана употребе токсичних и других штетних материја;
- организовање ефикасних инспекцијских служби;
- ефикасно дјеловање у случају одређених акцидената;
- затварање производних погона који емитују опасне или токсичне ефлуенте.³⁷²

Економске мјере заштите вода имају широк спектар дјеловања:

- стимулисање свих облика улагања у заштиту вода;
- мјере економске принуде (накнада за загађивање вода, као дио стратегије „загађивач плаћа“); битно је да накнаде за испуштање ефлуената буду више од суме инвестиционих и експлоатационих трошкова пречишћавања;
- смањење карактеристичних начина потрошње воде мјерама економске политике, односно довођење цијене воде на реалну економску цијену; таква цијена воде је веома ефикасан инструмент рационалне потрошње воде, али и мјера заштите вода.³⁷³

Посебне мјере заштите морају се предузимати за заштиту изворишта подземних и површинских вода за снабдијевање становништва. За свеобухватну и трајну заштиту подземних и површинских вода неопходно је организовање савременог мониторинг система. *Првенство рјешавања згуснутих загађивача.* Основним начелом заштите вода – заштита на самим изворима загађења, утврђују се и критеријуми по којима се одређује првенство заштите. Предност, код одређивања првенства заштите, имају сљедећи извори загађења:

³⁷⁰ Међусобни утицај, узajамно дјеловање; дејство два или више система једног на други.

³⁷¹ Легислација (лат. *legislatio*, од *lex* – закон + *latio* – доношење), доношење закона и законских прописа, законодавство; зб. законски прописи, закони.

³⁷² Једна од мјера заштите је лоцирање објеката и уређаја за водоснабдијевање низводно од властитих испуста отпадних вода; у свијету се показало као ефикасна мјера заштите вода.

³⁷³ Код мјера рационализације индикативан је примјер Шведске: са некадашњих 400 – 500 л/становник · дан потрошња је сведена на 250 л/становник · дан; ниска специфична потрошња воде је важан показатељ високе социјалне и економске уређености неког друштва, односно индикатор свијести о очувању животне средине.

- загађивачи који угрожавају значајна изворишта регионалних система и великих урбаних система;
- највећи концентрисани загађивачи оних индустријских погона којима су неопходна властита постројења за пречишћавање отпадних вода;
- загађивачи у горњим дијеловима слива (сукоб „узводног интереса“ и „низводног интереса“, као и загађивачи узводно од акумулација (заштита од процеса еутрофикације);
- загађивачи опасним и токсичним материјама (тешки метали, феноли, одређене киселине, соли и базе и др.);
- загађивачи са изливима отпадних вода у насељима или у њиховој близини, односно загађивачи на регионалним канализационим системима гдје се често уводе и отпадне воде занатских и фабричких производних погона и др.

2.6.3. Загађење подземних вода

Подземне воде имају изузетан значај за хуману популацију тако да свако загађење издани има дугорочне посљедице. Загађеност у првом реду погађа фреатске издани гдје ефлуенти релативно лако се инфилтрирају и могу да задрже дужи временски период. Проблем загађивања постаје комплексан у подручјима гдје изданске воде имају доминацију у водоснабдијевању становништва и привреде.

Све чешће смо свједоци епидемија хидричних болести чији су узрок загађене подземне воде, посебно оне намијењене водоснабдијевању становништва. Узроци су бројни а најчешћи је да велики дио хумане популације свијета нема организовано водоснабдијевање преко централних водоводних система.³⁷⁴ Обезбјеђивањем здраве воде за пиће, из бројних подземних резервоара подземне воде, спречавају се хидричне епидемије а то се позитивно рефлектује на укупни друштвени стандард и квалитет животне средине одређеног географског простора.

Широм наше планете, али и на нашим географским ширинама, многа насеља (и не само сеоска) за пријем отпадних вода користе септичке јаме а није риједак случај да улогу ових јама у бројним насељима преузимају копани бунари. Септичке јаме најчешће не представљају стандарлизоване водонепропусне грађевинске објекте, него се користи бржи и јефтинији начин градње, односно зидање циглом без употребе везивног материјала чиме се постиже спорије пуњење запремине јаме. Не треба ни наглашавати колико лако и несметано различите материје (токсичне, фекалне, хемијске и др.) се инфилтрирају у издани.

Овај проблем је посебно присутан на географском простору бивше СФРЈ (као и низу многих земаља у развоју и/или транзицији). Наиме, развој канализационе инфраструктуре и санитације насеља (изградња неопходних просторија у којима се одржава лична хигијена) је знатно каснио иза водоснабдијевања становништва и водоснабдијевања привреде тих истих насеља. Посљедице су за многа насеља биле катастрофалне: инфраструктуром којом се обезбједило водоснабдијевање енормно је повећана количина отпадних вода у тим насељима због непостојања савремених система за одвођење отпадних вода. То је, наравно, доводило и доводи до излијевања отпадних вода из септичких јама и њима сличних импровизованих реципијената³⁷⁵ а одатле до подземних вода пут ефлуената није далек.

³⁷⁴ Водоснабдијевање становништва Републике Српске је организовано преко 51 централног водоводног система, односно водоводима је обухваћено око 45% укупне хумане популације а градским канализационим системима око 33% становништва Републике Српске (Оквирни план развоја водопривреде Републике Српске, 2006).

³⁷⁵ Хем. посуда за скупљање течних и гасовитих материја.

Подземне воде угрожавају и дисперзивни (расути) извори загађења, прије свега они из пољопривреде (вјештачка ђубрива). Дисперзивна загађења из пољопривреде су пропорционална са настојањима да се повећају приноси многих култура уз употребу све већих количина хемијских средстава. Њихова употреба је масовна, посебно пестицида и хербицида. Стални раст хумане популације, уз истовремено смањење обрадивих површина (урбанизација, индустријализација и миграције село – град) детерминишу нови приступ у пољопривредној производњи,³⁷⁶ односно трансформацију екстензивне пољопривредне производње у интензивну производњу. *Хемизација* је дуготрајна и неконтролисана употреба хемијских средстава (пестициди, минерална ђубрива, адитиви и др.) и доприноси отпорности штеточина на пољопривредним културама а смањује плодност земљишта. Нове генерације хемијских средстава су (све) ефикасније у односу на своје претходнике, али за подземне воде све опасније. Тиме се ствара још један од парадокса животне средине: хумана популација улаже све значајније умне и финансијске капацитете у производњу стимулативних и заштитних хемијских супстанци, истовремено излажући све већем ризику своје здравље.

Ништа мања опасност нису ни лоше лоцирана сеоска ђубришта (стајско ђубриво) и пољски WC-и, који су често извор заразних обољења, првенствено домицилног становништва.

Бројни индустријски објекти, мала и средња предузећа, занатске радионице, али и неке активности домаће радиности испуштају отпадне/загађене воде у бројне површинске токове, ријечне канале и вјештачке и природне акумулације. У сушном периду, при ниском стању подземних вода, из споменутих водних тијела се наводњава издан а могући ефлуенти инфилтрирају се у издан и загађују је. Овај утицај је посебно изражен код акумулација које се формирају на алувијалним ријекама, са ниским приобаљем. Режији подземних вода у зони ниских приобаља долинских ријека морају се контролисати заштитним системима који обезбјеђују максималну заштиту од загађивања. Системеза заштиту пробаља требарјешавати вишенамјенски.

Ефлуентно оптерећење подземних вода је, углавном, изражено на подручјима гдје се развија базична и прерађивачка индустрија, рударство, затим изградња термоелектрана и неконтролисано коришћење вјештачких ђубрива и хемијских средстава у пољопривреди. Није риједак случај у земљама у развоју и/или транзицији да многи производни/индустријски погони отпадне воде свјесно испуштају у површинске водотоке и за то не плаћају или понекад плате казну.³⁷⁷ Због ограничених новчаних, средстава контрола квалитета вода врши се повремено³⁷⁸ и углавном само за ријечне токове, тако да највећи број акцидената, ако се и десио не региструје се (не увијек званично).

Водни ресурси се могу непромишљеним акцијама минимизирати а понекад и обезвриједити за одређене намјене. Посебно се то односи на подземне воде у одређеним алувијумима, јер су то стационарне хидролошке компоненте, и могу се користити само на мјесту формирања. Услов за њихово коришћење у одређеном временском периоду јесте њихова заштита од узурпације тог простора и спречавање изградње оних објеката/садржаја који ће (евентуалним) испуштањем ефлуената обезвриједити квалитет подземних вода.

Радиоактивно загађивање подземних вода. Коришћење нуклеарне енергије у мирнодопске сврхе (нуклеарни реактори, нуклеарне електране, радиоактивни изотопи³⁷⁹ и други извори који се користе у медицини и индустрији, RTG апарати, површинске, подземне и подводне нуклеарне пробе) довело је нашу цивилизацију пред низ комплексних изазова: акциденти (несреће) у нуклеарним електранама, нуклеарни војни арсенал, демонтажа нуклеарних

³⁷⁶ Видјети опширније: Црногорац,Б.Ч., Географске основе заштите животне средине, стр. 289-291, Бањалука, 2005.

³⁷⁷ Због симболичних казни важи начело: „Јефтиније је платити казну него уградити одговарајуће филтре“.

³⁷⁸ У Републици Српској, четири пута годишње, врши се контрола на петнаест водотока и 23 профила.

³⁷⁹ Од половине XX вијека нуклеарним фисијама (цијепањем атомским језгара) људи су произвели неколико стотина вјештачких изотопа.

електрана и депортовање нуклеарног отпада. Нуклеарне пробе у атмосферском комплексу омогућавају да радиоактивне материје (честице, прашина и сл.) доспијевају у литосферни и хидросферни комплекс. Подземни нуклеарни експерименти омогућавају интензивну пенетрацију радиоактивних компоненти у изданске воде а последице радијације по хуману популацију, зооценозу и фитоценозу често имају летални исход.

Радиоактивне материје у организме живих бића доспијевају контаминираним ваздухом, водом и храном. У воду доспијевају таложењем полутаната из ваздуха, (и)спирањем контаминираним земљишта и испуштањем радиоактивног материјала у водотоке а потом и у подземне воде, хлађењем нуклеарних реактора ријечном водом, случајним (немарним) испуштањем и др.

Проблем осиромашеног уранијума. Природни уранијум има више изотопа. Код обраде уранијума и његовог коришћења настаје велика количина нуклеарног отпада, што постаје све озбиљнији проблем наше планете. Одређене државе (у првом реду САД) израдом пројектила на бази осиромашеног уранијума рјешавају проблем нуклеарног отпада на својој територији, али употребом муниције са осиромашеним уранијумом стварају се нова жаришта загађења животне средине. Осиромашени уранијум је веома токсичан а количина ^{235}U редукована је са 0.7% на 0.2%. Осиромашени уранијум има већу густину од олова па је идеалан за пробијање оклопа и других преграда. Приликом ракетирања и ударом у тврду препреку пројектил се запали и оксидише, прелазећи у уранове оксиде који контаминирају животну средину. Чињеница је да осиромашени уранијум емитује α – зрачење, које је опасно искључиво у случају да у већој количини доспије у организам. Много већа опасност је могућност да радиоактивна прашина преко хидросферног комплекса контаминира сусједне географске просторе.

На основу претходног текста о загађивању подземних вода можемо закључити да су извори загађивања бројни, ефлуенти разноврсни а мјере заштите све неопходније.

ЛИТЕРАТУРА И ИЗВОРИ

1. Зеленхасић Емир, Руски Матилда, Инжењерска хидрологија, ИДП „Научна књига“, Београд, 1991.
2. Бушатлија Ибрахим, Спахић Муриз, Пецел Милован, Географски омотач (ландшафтна сфера), посебно издање, Географско друштво Босне и Херцеговине, Сарајево, 1991.
3. Геренчук, К.И., Боков, В.А., Червонов, И.Г., Обшћеје земљоведеније, Москва, Висшаја школа, 1984.
4. Дукић Душан, Хидрологија копна, Научна књига, Београд, 1984.
5. Јосип Риђановић, Хидрогеографија, Школска књига, Загреб, 1989.
6. Мاستило Наталија, Речник савремене српске географске терминологије, Географски факултет Универзитета у Београду, 2001.
7. Душан Дукић, Љиљана Гавриловић, Хидрологија, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 2006.
8. Сребреновић Дионис, Примијењена хидрологија, Техничка књига, Загреб, 1986.
9. Војна енциклопедија, том 1 – 11, Издање редакције Војне енциклопедије, Београд, 1960.
10. Федосеев И.А., История извучения основных проблем гидросферы, „Наука“, АН СССР, Москва, 1976.
11. Филиповић Иван, Липановић Стјепан, Опћа и аорганиска кимија, Школска књига, Загреб, 1978.
12. Аполов Б.А., Учение о реках, МГУ, Москва, 1963.
13. Бојановић В., Штајнер Д., Кеврешан С., Чегар Н., Хемија, Пољопривредни факултет Универзитета у Бањој Луци, Бања Лука, 1999.
14. Драгишић Веселин, Хидрогеологија лежишта минералних сировина, Рударско – геолошки факултет, Београд, 2005.
15. Петровић Ј., Богдановић Ж., Хидрологија – подземне воде, II издање, Институт за географију, Нови Сад, 1995.
16. Радичевић Петар, Геологија за географе, Научна књига, Београд, 1991.
17. Николић Предраг, Основе геологије, Научна књига, Београд, 1988.
18. Лазаревић Раденко, Геоморфологија, Природно – математички факултет у Бањалуци, Београд, 2000.
19. Милојевић М.С. Појаве и проблеми крша, Посебна издања САНУ, СХХIII, Београд, 1938.
20. Силва Оторепец, Агрометеорологија, Научна књига, Београд, 1991.
21. Милојевић Н., Хидрологија, Завод за издавање уџбеника Универзитета у Београду, Београд, 1967.
22. Алескин А.О., Основи гидрохемије, Санкт Петербург, 1953.
23. Альтовский М.Е., Справочник гидргеолога, Москва, 1962.
24. Арсенијевић Р. С., Хемија, општа и неорганиска, Научна књига, Београд, 1994.
25. Крешић Н., Квантитативна хидрогеологија карста са елементима заштите подземних вода, Научна књига, Београд, 1991.
26. Коматина, М., Хидрогеолошка истраживања I – Методе истраживања, Геозавод, Београд, 1984.
27. Knebel, von W., Höhlenkunde mit Berücksichtigung der Karstphänomene, Braunschweig, 1906.
28. Keilhack, K., Lehrbuch der Grundwasser und Quellenkunde, Berlin, 1940.
29. Katzer, F., Karst und Karsthydrographie, Sarajevo, 1909.
30. Martel, E.A., Les abimes, les eaux souterraines, les cavernes, les sources, la spéléologie, Paris, 1894.

31. Martonne de Em., *Traité de géographie phisigue*, II, 1948.
32. Јахић, М., Квалитативно и квантитативно проучавање подземних вода, Геолошки гласник – посебна издања, Књига XII, Сарајево, 1974
33. Леко, А. Хемиска анализа минералних вода, Бање – морска и климатска места у Југославији, стр. 47 – 57, Београд, 1936.
34. Влада Републике Српске, Министарство пољопривреде, шумарства и водопривреде, Републичка дирекција за воде – Бијелина, Оквирни план развоја водопривреде Републике Српске, 2006.
35. Црногорац, Б.Ч., Географске основе заштите животне средине, Природно – математички факултет Универзитета у Бањој Луци, Бањалука, 2005.