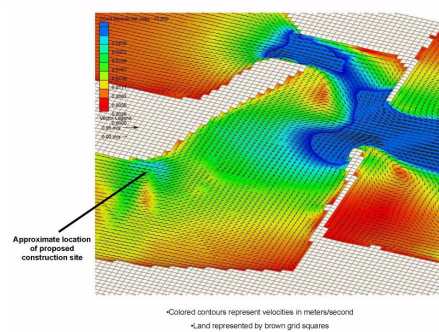
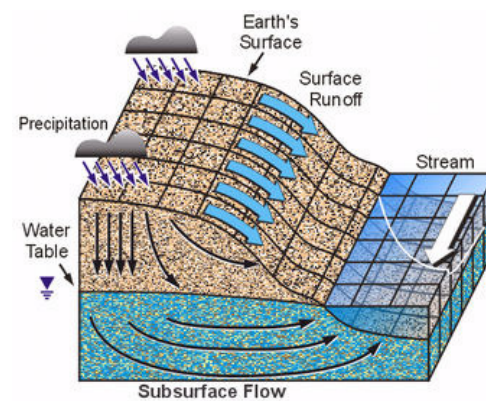


HIDROLOGIE ȘI HIDROGEOLOGIE

-suport de curs-

Giuliano TEVI



CUPRINS

Hidrologie C1 - Introducere.....	3
Hidrologie C2 – Fundamentele chimiei apei	12
Hidrologie C3 - Factorii fiziografici ai bazinului hidrografic și ai rețelei hidrografice ...	21
Hidrologie C4 - Elemente de hidrometrie.....	27
Hidrologie C5 – Elementelor morfometrice ale bazinului și ale subbazinelor.....	33
Hidrologie C6 - Procese de scurgere – rețeaua hidrografică	35
Hidrologie C7 - Alimentarea râurilor	41
Hidrologie C8 - Regimul termic și de îngheț al râurilor, limnologie	47
Hidrologie C9 - Hidrogeologie 1	61
Hidrologie C10 - Hidrogeologie 2	68
Hidrologie C11 - Hidrogeologie 3	74
Hidrologie C12 - Schematizarea hidrostructurilor.....	81
Hidrologie C13 – Contaminarea apelor subterane.....	85
Bibliografie	104

Hidrologie C1 - Introducere

- ❖ **Locul hidrologiei și hidrogeologiei între științele mediului;**
- ❖ **Distribuția apei pe glob;**
- ❖ **Circulația apei**

Locul hidrologiei și hidrogeologiei între științele mediului

Hidrologia – este disciplina care se ocupă de studiul proprietăților generale ale apelor de la suprafața scoarței terestre, ale mișcării și distribuției apei pe pământ, legile generale care dirijează procesele din hidrosferă, atmosferă, litosferă și biosferă, precum și prognoza evoluției elementelor hidrologice, în vederea folosirii raționale a acestora în economie.

Subdomenii ale hidrologiei:

- Potamologia – se ocupă cu studiul apelor curgătoare;
- Limnologia – studiază geneza, evoluția și proprietățile unităților lacustre;
- Glaciologia – studiază răspândirea zăpezilor permanente și a ghețarilor, geneza și mișcarea lor, tipurile de ghețari;
- Oceanologie – se ocupă cu studiul marilor și oceanelor
- Hidrometria – se ocupă cu organizarea posturilor și stațiilor hidrometrice din rețeaua de râuri, lacuri, mlaștini, ale unui bazin hidrografic, cu metodele și măsurătorile hidrometrice (niveluri, debite, temperatură, chimism, etc.)

Hidrogeologia – este o ramură a geologiei care se ocupă cu distribuția și dinamica apei subterane în sol și în roci permeabile din crusta terestră.

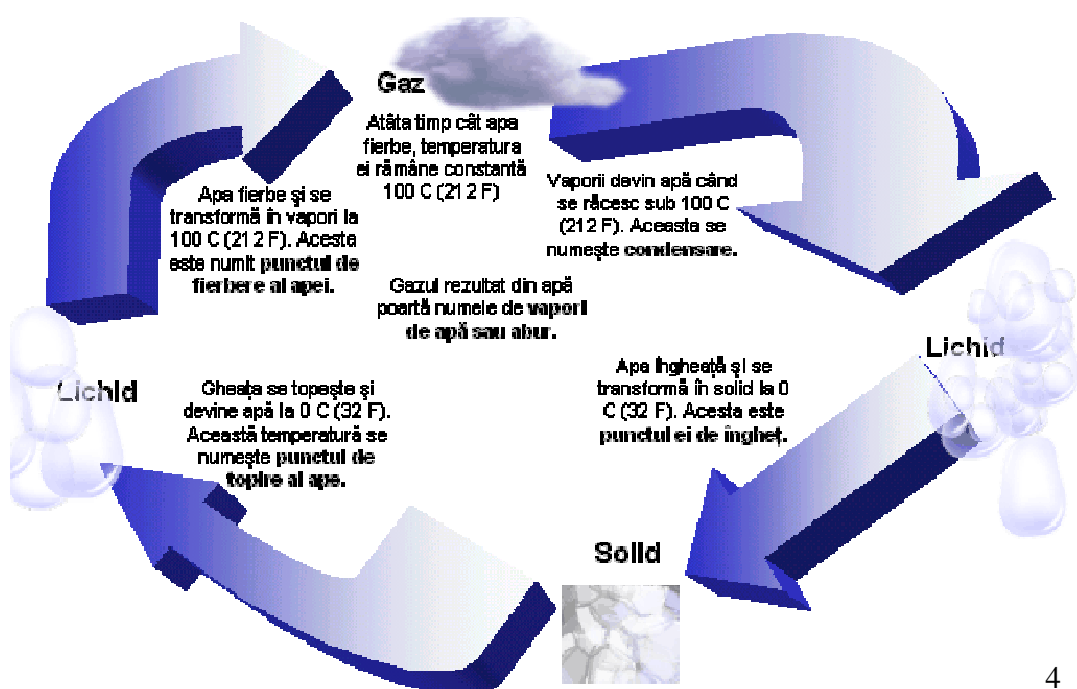
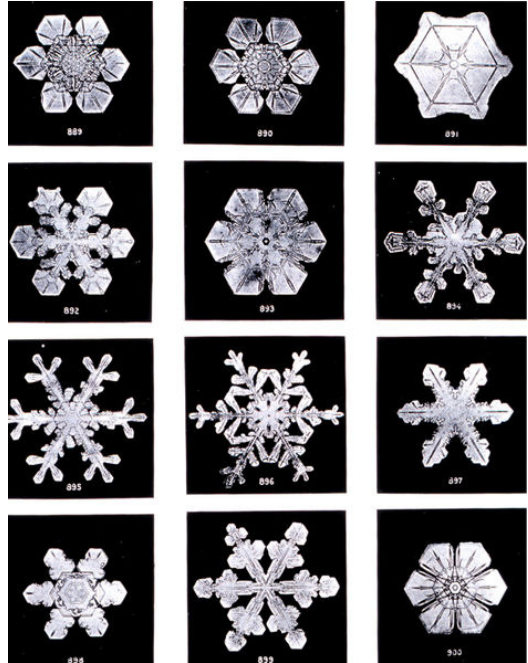
Domenii de aplicare a hidrologiei și hidrogeologiei:

- Alimentări cu apă pentru diverși utilizatori (industrie, agricultura, consum menajer, etc.);
- Amenajări piscicole;
- Amenajări hidrotehnice;
- Navigație.

Apa

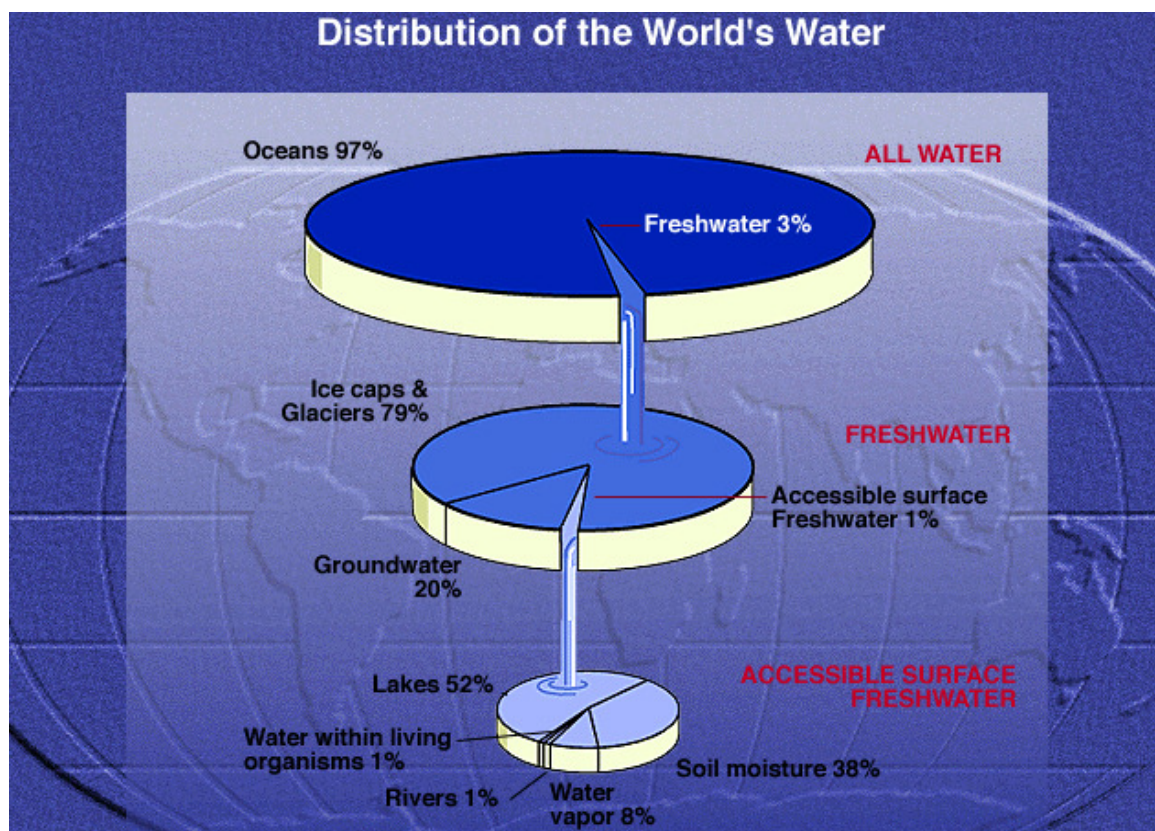
Apa în natură:

- **apa de ploaie** - poate prezenta dizolvate anumite impurități de tipul: CO_2 , NH_3 sau chiar H_2S , SO_2 - ca urmare a contactului prelungit cu aerul;
- **apele subterane** – au cea mai variată compoziție dintre toate apele naturale;
- **Apele din râuri** - au o compoziție variabilă. Sunt în general slab mineralizate. Conțin Ca^{2+} și HCO_3^- și mai rar SO_4^{2-} și Cl^- .
- **Apele mărilor și oceanelor** - sunt puternic mineralizate. Mările interioare au concentrații în săruri, fie mai mari (Marea Mediterană), fie mai mici (Marea Neagră - în special NaCl) comparativ cu apele oceanelor. Sărurile apei de mare conțin 89% cloruri, 10% sulfati, 0,2% carbonați.



Răspândirea apei pe glob

Apa ocupă 361,3 mil. km² ceea ce reprezintă 70,8 % din suprafața globului. Din volumul total de apă, 97,3% îi revin apei sărate în timp ce din totalul apei dulci 77,30% revin ghețarilor, 22,40% apelor subterane și doar 0,36% lacurilor, râurilor, etc.



Ocean	S (mil. km ²)	%	Continent	S (mil. km ²)	%
Pacific	178,7	49,5	Europa	10,5	7
Atlantic	91,7	25,4	Asia	44,35	29,8
Indian	76,2	21,1	Africa	29,8	20
Arctic	14,7	4,0	America de N și de S	42,12	28,2
			Australia	8,93	6
			Antarctica	13,3	9
Ocean planetar	361,3	100	Uscat	149	100

Circuitul apei

Din volumul total al apelor subterane, 8,467 milioane km² corespund acviferelor situate până la adâncimea de 200 m (Scrădeanu, 2005). Din datele UNESCO rezultă că numai 0,63% din volumul total de apă al globului este disponibil pentru om.

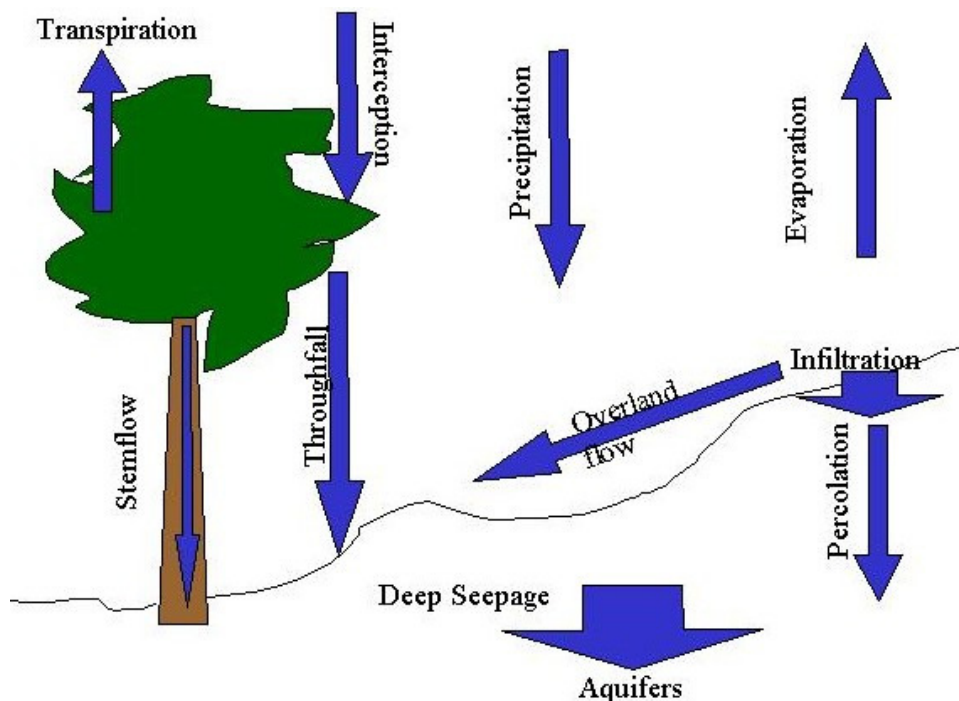
Circulația apei în natură se realizează sub influența a doi factori:

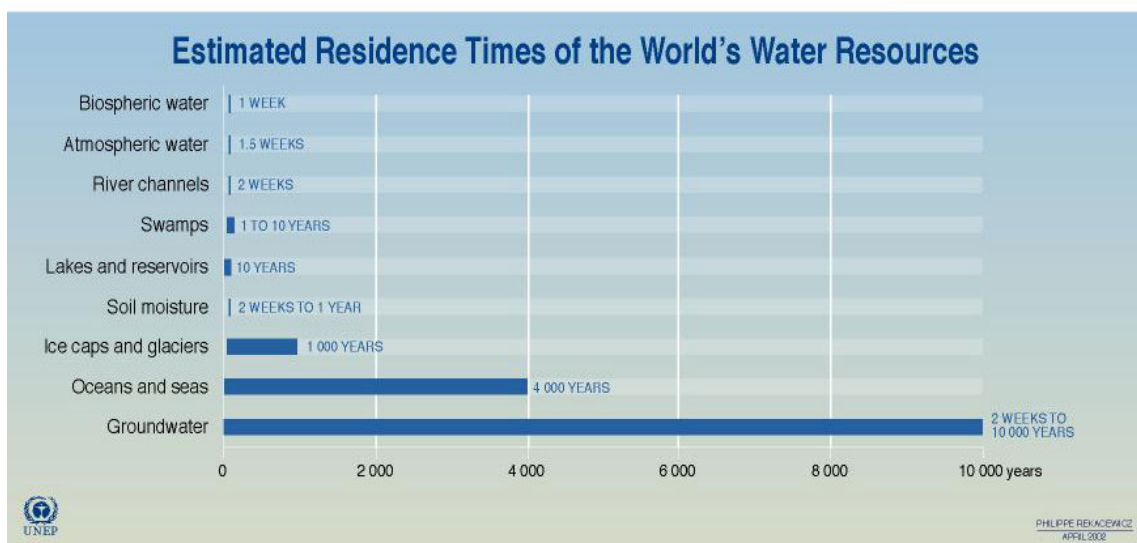
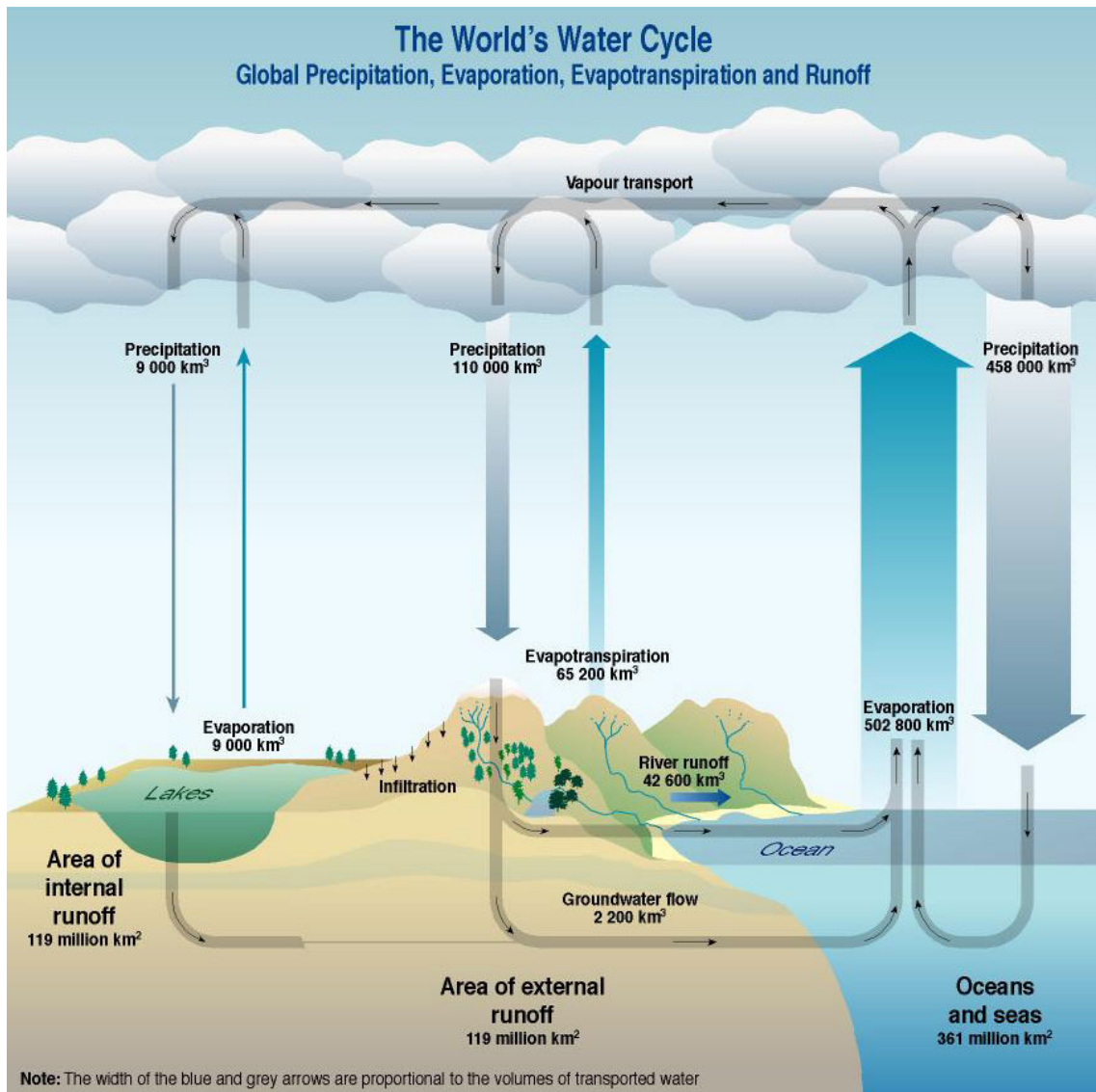
- evaporare;
- gravitație.

Mare parte din schimbul de apă (80 – 90%) are loc deasupra oceanului

Circuitul hidrologic este un sistem deschis în care radiația solară este principala sursă de energie. Trecerea apei dintr-o stare de agregare în alta este asociată cu schimbarea energiei termice a acesteia.

- **Circuit local**
- **Circuit universal**

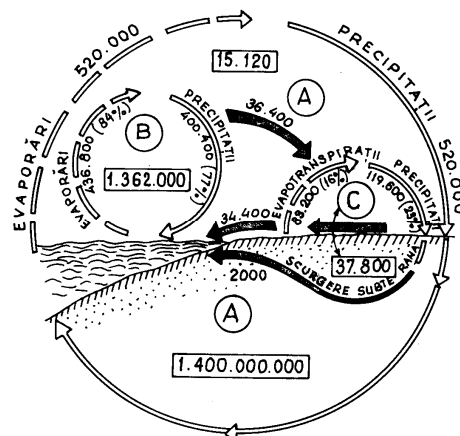
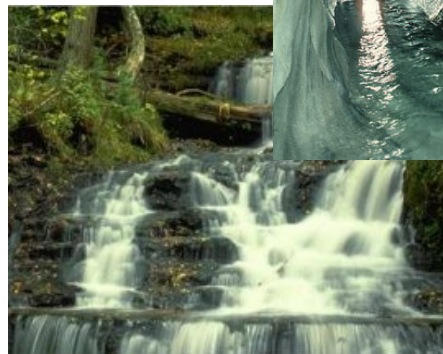




Apa se evaporă de la suprafața oceanelor (în mod convențional descrierea dinamicii circuitului hidrologic începe cu oceanul), **vaporii de apă** din atmosferă, în condiții favorabile, se transformă în precipitații care ajung pe pământ sau se evaporă înainte să atingă suprafața acestuia.

Precipitațiile care ajung la sol intră pe diferite căi în circuitul hidrologic:

- **evaporare** la suprafața solului și revenirea în atmosferă;
- **stocarea pe suprafața topografică** sub formă de gheață, zăpadă sau apă lichidă
- **curgere de suprafață** – difuză sau organizată în rețeaua hidrografică;
- **infiltrare** în formațiuni permeabile.



Factori ce influențează circuitul apei în natură

Energia necesară ciclului hidrologic global este furnizată în principal de *radiațiile solare*. Radiația solară este parțial reflectată în atmosferă, fracțiunea reflectată este numită **albedou** și se exprimă în procente

Radiațiile solare la contactul cu *solul* și *apele* curgătoare de suprafață se transformă în *energie calorică* provocând încălzirea *aerului* atmosferic, *solului* și *apelor* de suprafață și subterane.

Regimul termic al solului

Energia calorică recepționată de sol de la radiația solară este separată în două componente distincte:

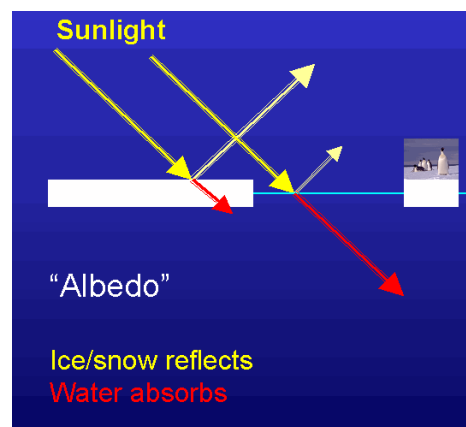
- o componentă care se propagă în profunzime și contribuie la modificarea temperaturii unui strat relativ subțire de sol de la suprafața (maximum 8...10 m);
- a doua componentă care contribuie la modificarea temperaturii aerului cu care vine în contact (aerul atmosferic și cel din zona de aerare a acviferelor).

Regimul termic al aerului

Sursa de căldură principală care determină regimul termic al aerului este solul. Prin difuzia energiei calorice din sol spre păturile superioare ale aerului se produce o stratificare a temperaturii aerului.

Variabilitatea radiației solare care “încălzește” solul condiționează variația temperaturii aerului care are *valori maxime* vara când intensitatea insolației este maximă și *valori minime* (negative) iarna când insolația este minimă. Variația diurnă a intensității insolației determină diferențe mari între temperaturile aerului din timpul *zilei* față de cele din timpul *noptii*.

Tipul suprafeței	Albedou [%]
Zăpada curată	75...90
Nisipul	35...43
Argila	16...23
Iarba verde	26
Pădure de conifere	10...18
Suprafața apelor	2



Factori ce influențează circuitul apei în natură

Regimul termic al apelor

Variabilitatea intensității radiației solare, modalitatea de transfer a energiei calorice și dinamica maselor de apă determină diferențierea regimul termic al apelor de suprafață în raport cu cel al apelor subterane.

Precipitațiile atmosferice

Datorită circulației maselor de aer de la temperaturi mai ridicate la temperaturi mai reduse, aerul devine suprasaturat și vaporii de apă în exces se transformă în precipitații. Factorii principali care determină repartitia precipitațiilor sunt: poziția față de oceane și mări, direcția vânturilor dominante, relieful, gradul de împădurire.

Evaporarea – este procesul natural, prin care apa, în contact cu aerul atmosferic, trece din stare lichidă în stare de vapor. Acest proces are loc fie la suprafața apei, fie la suprafața terenului, vegetației, etc.

Vântul – este un factor ce influențează direct procesul de evaporare, intensitatea acestuia crește direct proporțional cu creșterea vitezei vântului.

Solul – influențează pe de-o parte procesul de evaporare, prin culoarea și structura sa și pe de altă parte procesele de infiltrare și scurgere de suprafață.

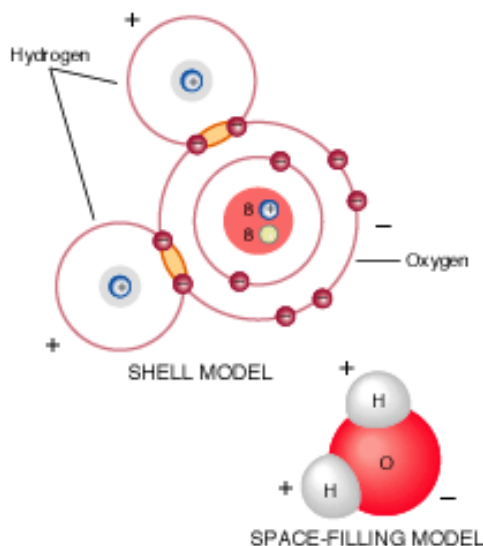
Relieful – creează condiții deosebite în procesul de evaporare prin expunerea versanților, iar prin pantă, controlează raportul infiltrare / scurgere de suprafață.

Prezența vegetației – controlează evaporarea, în zonele lipsite de vegetație sau cu vegetație redusă, evaporarea este mai scăzută. Un rol important îl are pierderea apei de către plante, care prezintă valori caracteristice pentru tipuri de plante și chiar pentru specii.

Hidrologie C2 – Fundamentele chimiei apei

Introducerea în chimia acvatică

Fenomenele chimice caracteristice mediului acvatic implică reacții acid-bază, de solubilizare, de oxido-reducere și de complexare. Procesele biologice joacă un rol important în chimia mediului acvatic. Spre exemplu, algele fotosintetizante pot crește pH-ul apei prin eliminarea CO_2 -ului. În sistemele acvatice naturale este mult mai greu de descris fenomenul chimic, deoarece acestea reprezintă sisteme deschise cu intrări și ieșiri de energie, și masă variabile și de asemenea conțin faze minerale. Astfel, neputându-se realiza o descriere exactă a chimiei unor sisteme naturale de apă se folosesc metode simplificate, de multe ori bazate pe concepte chimice de echilibru. Cu toate că nu sunt exacte sau realiste în totalitate astfel de modele pot furniza generalizări folositoare și o bună cunoaștere ce aparține naturii proceselor chimice acvatice și pun la dispoziție ghidare pentru descrierea și măsurarea acestor sisteme.



Gazele din apă

Gazele dizolvate – O_2 pentru pești și CO_2 pentru algele fotosintetizante – sunt cruciale pentru bunăstarea speciilor vii din apă. Unele gaze din apă pot cauza de asemenea probleme cum ar fi moartea peștilor din cauza bulelor de azot formate în sânge prin expunerea la apă suprasaturată cu azot. Solubilitatea gazelor din apă este calculată conform Legii lui Henry, conform căreia solubilitatea unui

gaz dintr-un lichid este proporțională cu presiunea parțială a gazului în contact cu lichidul.

Oxigenul din apă

Fără un nivel apreciabil al oxigenului dizolvat, multe organisme acvatice nu pot trăi în apă. Oxigenul dizolvat este consumat prin degradarea materiei organice. O caracteristică importantă a unui sistem acvatic este capacitatea de a se reoxigena. Oxigenul din apă provine din acțiunea fotosintetizantă a algelor, dar aceasta nu este o metoda eficientă, deoarece cantitatea de oxigen este pierdută pe timpul nopții în procesele metabolice.

Este important să se facă diferența dintre solubilitatea O_2 -ului care reprezintă concentrația O_2 -ului maxim dizolvat la echilibru și concentrația oxigenului care nu este în general concentrația la echilibru și este limitată de rata la care se dizolvă oxigenul. Nivelul oxigenului dizolvat se poate apropia repede de 0 dacă nu este acționează un mecanism eficient de reaerare a apei. Problema devine în mare una de cinetică, în care există o limită a ratei la care oxigenul este transferat prin suprafața de contact dintre apă și aer. Această rată depinde de turbulență, mărimea bulelor de aer, temperatură și alți factori. Degradarea mediată de microorganisme a numai 7 sau 8 mg de material organic poate consuma complet oxigenul dintr-un litru de apă inițial saturat cu aer la temperatura de 25° C. Efectul temperaturii asupra solubilităților gazelor din apă este important în mod special în cazul oxigenului. Solubilitatea oxigenului în apă scade de la 14.74 mg/L la 0°C la 7.03 mg/L la 35° C. La temperaturi mai mari solubilitatea scăzută a oxigenului combinată cu rata respirației crescute a organismelor acvatice cauzează frecvent condiții în care o cerere mai mare de oxigen însoțită de o solubilitate scăzută a gazului în apă duc la epuizarea drastică a oxigenului.

Aciditatea apei și dioxidul de carbon în apă

Fenomenul acid-bază în apă implică cedare și acceptare de ioni de H^+ . Multe specii se comportă ca acizi în apă eliberând ioni de H^+ , iar altele se comportă ca baze prin acceptare de H^+ , molecula de apă având caracter amfoter. O specie importantă în chimia apei este ionul bicarbonat HCO_3^- ce se poate comporta și ca acid și ca bază. Cu toate că teoretic toate apele au o anumită alcalinitate, apa acidă nu este întâlnită des, cu excepția cazurilor de poluare severă. Aciditatea rezultă în general din prezența acizilor slabi în special CO_2 , dar câteodată mai cuprinde și alții cum ar fi $H_2PO_4^-$, H_2S , proteine și acizi grași. Termenul de “acid liber mineral” este aplicat acizilor tari ca H_2SO_4 și HCl în apă. Caracterul acid al unor ioni metalici hidrați poate contribui la aciditate.

Dioxidul de carbon în apă

Cel mai important acid slab din apă este dioxidul de carbon. Datorită prezenței sale în aer și a producerii lui din descompunerea microbială a materiei organice, dioxidul de carbon dizolvat este prezent teoretic în toate apele naturale și poluate. Ploaia căzută chiar și dintr-o atmosferă complet nepoluată este foarte puțin acidă datorită prezenței dioxidului de carbon dizolvat. Dioxidul de carbon și produșii săi de ionizare, ionul bicarbonat HCO_3^- și ionul CO_3^{2-} au o influență extrem de importantă asupra chimiei apei. Multe minerale sunt depozitate ca săruri ale ionului carbonat. Algele din apă utilizează dioxid de carbon dizolvat în sinteza biomasei.

Echilibrul dioxidului de carbon dizolvat cu cel gazos din atmosferă și echilibrul ionului CO_3^- între soluțiile apoase și mineralele carbonice au un puternic efect de tampon asupra pH-ului apei. Ca o consecință a nivelului scăzut de dioxid de carbon atmosferic, apa lipsită de alcalinitate (capacitatea de a neutraliza H^+ în echilibru cu atmosfera) conține un nivel foarte scăzut de dioxid de carbon. Totuși,

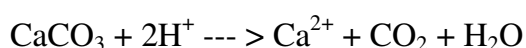
formațiile CO_3^{2-} și HCO_3^- cresc foarte mult solubilitatea dioxidului de carbon. Concentrațiile mari de dioxid de carbon pot afecta în mod negativ respirația și schimbul de gaze cu alte animale acvatice, însă nu ar trebui să depășească nivele de 25 mg/L. O mare parte din dioxidul de carbon din apă este un produs al degradării materiei organice de către bacterii. Chiar algele fotosintetizante îl produc în timpul proceselor metabolice în absența luminii. Concentrația de dioxid de carbon gazos în atmosferă variază cu locația și anotimpul, ea crește cu o parte la milion (ppm) în volum pe an.

Alcalinitatea

Alcalinitatea este capacitatea apei să accepte ioni pozitivi de H (protoni). Aceasta este importantă în tratarea apei și în chimia și biologia apelor naturale. Apa puternic alcalină are deseori un pH mare și conține în general nivele superioare ale solidelor dizolvate. Alcalinitatea servește drept tampon pentru pH și rezervor pentru carbonul neorganic. De asemenea, ea poate fi folosită măsură pentru fertilitatea apei deoarece ajută la determinarea abilității acesteia de a susține creșterea algelor. În general, speciile bazice responsabile pentru alcalinitatea din apă sunt ionul hidroxil, ionul bicarbonat și ionul carbonat. Alte specii ce contribuie în mică măsură sunt amoniacul și bazele conjugate ale acizilor fosforic, de siliciu, boric. La valori ale pH-ului sub 7 $[\text{H}^+]$ se diminuează alcalinitatea.

Este important să se facă diferența între bazicitatea mare manifestată prin pH ridicat și alcalinitate mare, capacitatea de a accepta ioni de H^+ . În timp ce pH-ul este un factor de intensitate, alcalinitatea este un factor de capacitate.

În termeni de inginerie alcalinitatea este frecvent exprimată în unități de $\text{CaCO}_3/\text{mg/L}$ bazându-se pe următoarea reacție de neutralizare a acidului:



Exprimarea alcalinității în termeni de mg/L a CaCO_3 poate totuși genera confuzie și notarea preferabilă pentru chimiști este echivalenți/L, numărul de moli de H^+ neutralizați de alcalinitatea unui litru de soluție.

Substanțe ce contribuie la alcalinitate la diferite valori ale pH-ului

Apa naturală are în mod normal o alcalinitate, numită aici [alk] de 1.00×10^{-3} echivalenți/L. Contribuțiile realizate de diferite specii la alcalinitatea depind de pH. Acest lucru este demonstrat aici prin calcularea contribuțiilor relative la alcalinitate a HCO_3^- , CO_3^{2-} sau OH^- la pH 7.00 și la pH 10.00. Pentru apa la pH 7 [OH⁻] e prea scăzut pentru a aduce o contribuție semnificativă, așadar alcalinitatea este datorată H_2CO_3 -ului. La pH mai mare atât OH^- cât și CO_3^{2-} sunt prezente în concentrații semnificative comparativ cu HCO_3^- .

Carbonul anorganic dizolvat și alcalinitatea

Din valorile deduse mai sus, se poate arăta faptul că la aceeași valoare a alcalinității concentrația carbonului anorganic dizolvat variază cu pH-ul. Concentrația mai scăzută de carbon anorganic la pH 10 arată că sistemul acvatic poate dona carbon anorganic dizolvat pentru folosirea în fotosinteză, cu o schimbare a pH, dar nici una a alcalinității. Această diferență în concentrație de carbon anorganic dizolvat, dependentă de pH, reprezintă o importantă sursă potențială de carbon pentru algele din apă, ce fixează carbonul prin reacții complexe. Dacă carbonul anorganic dizolvat este folosit pentru sinteza biomasei, apa devine mai bazică. Cantitatea de carbon anorganic dizolvat ce poate fi consumat înainte ca apa să devină prea bazică pentru a permite reproducerea algelor este proporțională cu alcalinitatea.

Influența alcalinității asupra solubilității dioxidului de carbon

Solubilitatea crescută a dioxidului de carbon din apa cu o alcalinitate ridicată poate fi ilustrată prin compararea ei în apă pură (alcalinitatea 0).

Calciul și alte metale în apă

Ionii de metal din apă, există sub numeroase forme. Pentru a asigura cea mai mare stabilitate a învelișurilor exterioare ale electronilor, ionii de metal sunt uniți cu apa sau coordinați cu alte specii. Acestea pot fi molecule de apă sau alte baze mai tari. Așadar, ionii metalici în soluție apoasă sunt prezenți sub formă de cationi metalici hidratați. Ionii metalici în soluție apoasă tind să atingă o stare de stabilitate maximă prin reacții ce include reacțiile acid-bază.

Ionii metalici hidratați ca acizi

Ionii metalici hidratați, în special cu sarcina $^{3+}$, sau mai mare, tind să piardă ioni de H^+ din moleculele de apă legate de ei în soluții apoase și se potrivesc definiției acizilor a lui Brönsted conform căreia acizii sunt donori de H^+ și bazele sunt acceptori. Aciditatea unui ion metalic crește cu sarcina și scade cu creșterea razei. Ionii metalici trivalenți hidratați, cum ar fi fierul, au în general minus cel puțin un ion de H^+ la valori neutre ale pH-ului sau chiar mai mici. Pentru ionii metalici tetravalenți formele complet protonice sunt rare chiar la valori foarte scăzute ale pH-ului. În general, ionii metalici bivalenți nu pierd un ion de H^+ la valori ale pH-ului mai mici decât 6 în timp ce ionii monovalenți ca Na^+ nu se comportă deloc ca acizi, ei există în soluție apoasă ca ioni simpli hidratați. Tendința ionilor metalici hidratați de a se comporta asemenea acizilor poate avea un efect important asupra mediului acvatic.

Calciul din apă

Dintre cationii găsiți în majoritatea sistemelor acvatice continentale, calciul are în general cea mai mare concentrație. Chimismul calciului, deși destul de complicat, este totuși mai simplu decât al ionilor metalici de tranziție găsiți în apă. Calciul este un element cheie în multe procese geochimice. Mineralele constituie sursa primară de ioni de calciu din apă. Printre mineralele primare ce contribuie, se numără gipsul $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$, anhidritul CaSO_4 , dolomitul $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Apa ce conține un nivel ridicat de CO_2 dizolvă rapid calciul din mineralele sale: $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2 \text{HCO}_3^-$. Când această reacție are loc invers și CO_2 e eliberat din apă se formează depozite de CaCO_3 . Dioxidul de carbon caștigat de apă prin echilibrare cu atmosfera nu justifică nivelele de calciu dizolvate în ape naturale în special în ape subterane. Respirația microorganismelor, degradarea materiei organice în apă, sedimente și sol sunt factori de creștere a nivelului de CO_2 și HCO_3^- .

Dioxidul de carbon dizolvat și mineralele carbonatului de calciu

Echilibrul dintre dioxidul de carbon dizolvat și mineralele carbonatului de calciu este important pentru determinarea mai multor parametri naturali ai chimiei apei cum ar fi alcalinitatea, pH-ul și concentrația calciului dizolvat.

Legătura și structura complexilor metalici

Această secțiune discută unele dintre fundamentele ce ajută în înțelegerea reacției de complexare din apă. Un complex constă într-un atom central de metal pentru care sarcinile neutre sau negative ale liganzilor ce dețin proprietatea de electron-donor sunt legate. Complexul rezultat poate fi netru, poate avea o sarcină pozitivă sau negativă. Liganzii se spune că sunt conținuți în interiorul sferei de

coordinare a atomului central de metal. Numărul de coordinație al unui atom de metal sau ion este numărul de liganzi al grupurilor electron-donor care sunt legați de el. Cele mai comune numere de coordinație sunt 2, 4, 6.

Selectivitatea și specificitatea în chelare

Cu toate că agenții de chelare nu sunt niciodată complet specifici pentru un ion de metal particular, anumiți agenți complicați de chelare de origine biologică se apropie de specificitate completă pentru anumiți ioni ai metalelor. S-a observat că cianobacteria din speciile *Anabaena* secretă cantități semnificative de agenți de chelație în timpul perioadei de înflorire a algelor.

În concluzie, agentul de chelare are o dublă funcție de promovare a creșterii anumitor cianobacterii în timp ce suprimă creșterea speciilor competitive, permițând cianobacteriilor să existe ca specie dominantă.

Calculul concentrației speciilor

Stabilitatea ionilor complecși în soluție este exprimată în termeni ai constantelor de formare. Acestea pot fi constante de formare (expresii K) ce reprezintă legătura liganzilor individuali cu un ion metallic sau constante globale de formare (expresii β) ce reprezintă legătura dintre doi sau mai mulți liganzi și un ion de metal.

Reacția de complexare realizată de liganzi

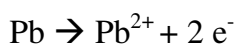
În general agenții de complexare, în special compușii de chelație sunt bazele conjugate ale acizilor lui Brønsted. La pH-ul aproape neutru întâlnit în apele naturale, majoritatea liganzilor sunt prezenți sub formă de acid conjugat. Pentru a

înțelege competiția dintre ionul de hidrogen și ionul de metal pentru un ligand, este folositor să se cunoască distribuția speciilor de liganzi ca o funcție a pH-ului.

Se ia în considerare acidul nitrilotriacetic denumit în general H_3T . Sarea trisodică a acestui compus (NTA) este un puternic agent de chelație. Procesele biologice sunt necesare pentru degradarea NTA-ului. Datorită abilității NTA-ului de a solubiliza și a transporta ionii de metale grele acest material este de o importanță considerabilă pentru mediu.

Procesele de complexare si cele redox

Complexarea poate avea un efect puternic asupra echilibrului oxidoreducător prin reacțiile de transfer, ca cea pentru oxidarea plumbului.



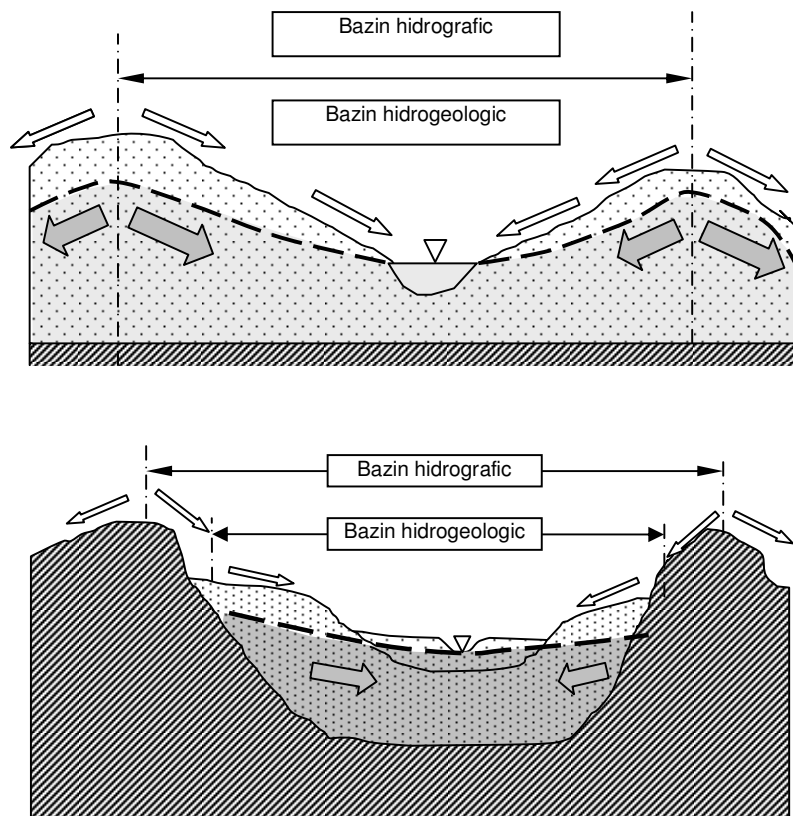
Multe metale formează învelișuri autoprotective de oxizi, carbonați și alte specii insolubile care împiedică reacțiile chimice în continuare. Cuprul, aluminiul și fierul sunt exemple de metale autoprotective. Un agent de chelare, în contact cu asemenea metale, poate duce la disoluția continuă a învelișului protector astfel încât metalul expus corodează repede.

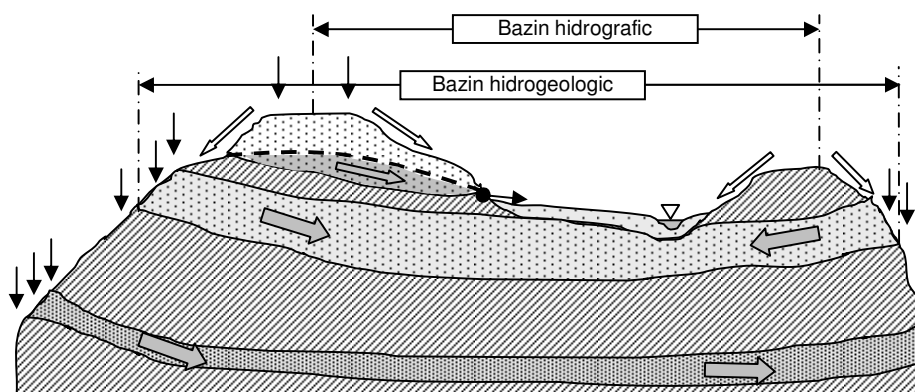
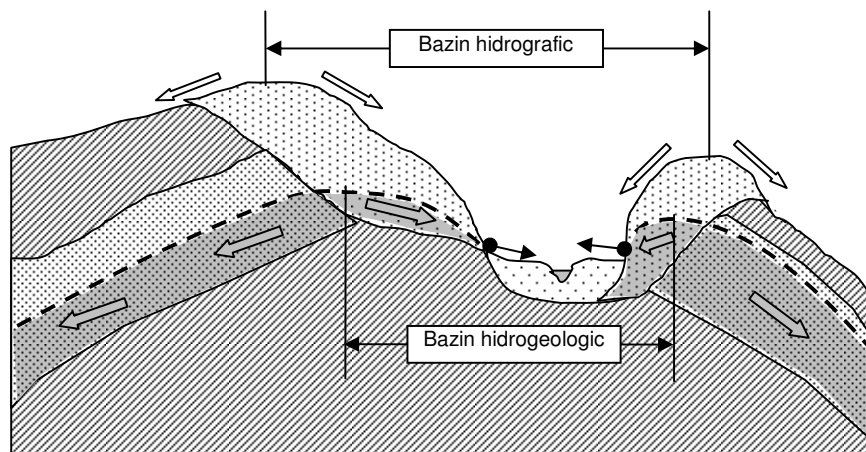
Hidrologie C3 - Factorii fiziografici ai bazinului hidrografic și ai rețelei hidrografice

Bazinul hidrografic reprezintă domeniul scurgerii de suprafață, el fiind delimitat de cumpăna apelor de suprafață, care urmărește punctele de cotă maximă de pe harta topografică.

Bazin hidrogeologic - domeniu acvifer, simplu sau complex, în care apele curg spre o aceeași ieșire sau grup de ieșire. Este delimitat de o linie de partajare a apelor subterane.

Evoluția oricărui bazin hidrografic este rezultatul interacțiunii dintre regimul fluxului de materie și de energie care pătrunde și circulă în limitele lui și rezistența opusă de suprafața topografică. În condiții normale, principala sursă de materie o constituie precipitațiile, iar principala sursă de energie o constituie radiația solară. Așadar, bazinul hidrografic îndeplinește o funcție de transfer, primind materia concretizată în precipitații și transformând-o în materie care se scurge în albia minoră a râului.





Morfometria rețelei hidrografice

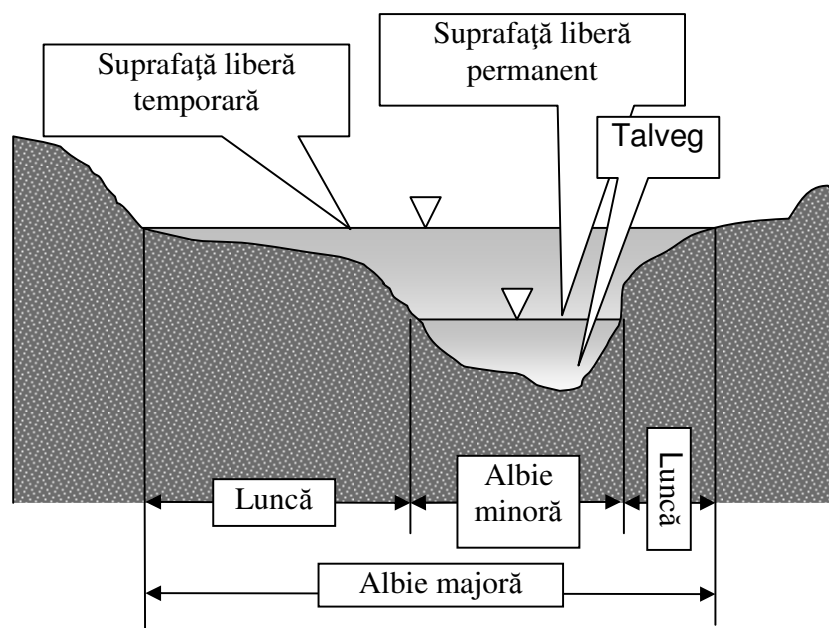
Profilul transversal al albiei

- albia minoră – suprafața “udată” permanent sau în cea mai mare parte a anului;
- albia majoră – cuprinde albia minoră și zonele de luncă, udată la debite maxime;
- talvegul – linia imaginară corespunzătoare adâncimilor maxime ale albiei minore.

Profilul longitudinal al albiei - este o reprezentare în plan vertical a liniei talvegului și a liniilor suprafeței libere la un anumit nivel. Morfologia talvegului în

profil longitudinal este cu pante abrupte în sectoarele muntoase și cu pante din ce în ce mai reduse în zonele deluroase și de câmpie.

Denivelările din plan vertical ale talvegului produc pante variabile ale suprafeței libere la debite mici ale râului, pante care se egalizează la debite mari.



Densitatea rețelei hidrografice, condiționează capacitatea râurilor de colectare a apelor din precipitații și subterane.

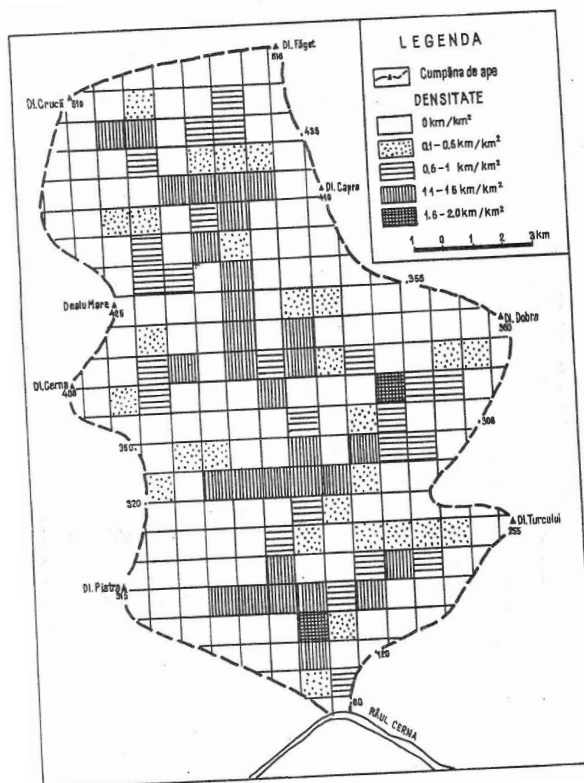
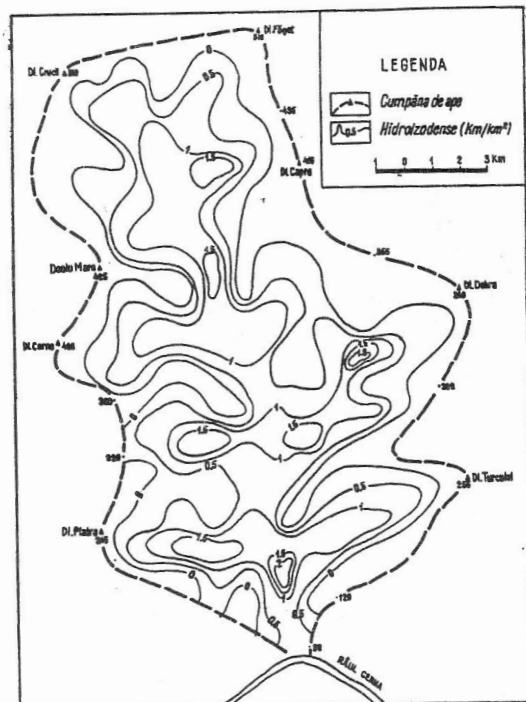
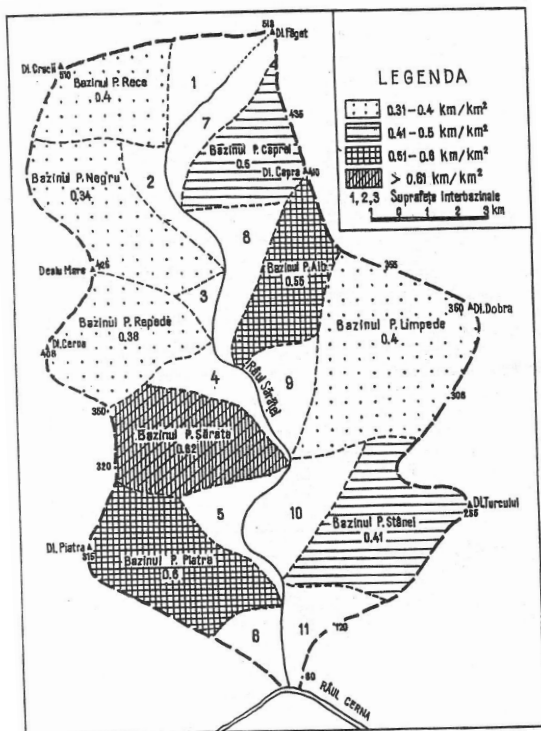
Densitatea rețelei hidrografice exprimă raportul dintre suma lungimii râurilor dintr-o suprafață oarecare, care în mod frecvent este considerată chiar suprafața bazinului.

$D = L/S$ (D – densitatea rețelei, L – lungimea tuturor ramificațiilor rețelei, S – suprafața care înscrie rețeaua hidrografică)

Reprezentări grafice:

- densitatea rețelei redată pe bazine hidrografice de ordinul I;
- densitatea rețelei redată prin metoda pătratelor cu latura de 1 km;
- densitatea rețelei redată prin metoda izodenselor.

Densitatea rețelei hidrografice este cu atât mai mică cu cât terenurile sunt mai dure și mai rezistente la eroziune (granite, gnaise etc.), în timp ce pentru terenuri slabe (argile) este suficient un debit redus pentru a se dezvolta o rețea de drenaj cu densitatea mare. Terenurile foarte permeabile (nisipuri, pietrișuri) condiționează o densitate redusă a rețelei hidrografice datorită infiltrării rapide, în timp ce terenurile practic impermeabile determină o valoare mare a densității acestora.



Suprafața bazinului hidrografic - reprezintă spațiul geografic în cadrul căruia se desfășoară toate procesele și fenomenele care privesc schimbul și transferul de masă și energie cu mediul înconjurător. Pentru același curs de apă, suprafața bazinului hidrografic crește în raport cu creșterea lungimii cursului de apă.

Perimetrul bazinului - este considerat ca fiind egal cu proiecția orizontală a lungimii cumpenei de ape a unui bazin.

Coeficientul de compactitate al bazinului (k_c) - indică gradul de compactitate al suprafeței respective. Acest parametru se ia în considerare, pentru a se putea stabili gradul de drenare a apelor de suprafață pe anumite suprafețe, lucru ce se realizează, ținându-se cont de faptul că pe suprafețele circulare, apa este drenată mult mai ușor. Parametrul k_c se calculează ca raport între perimetrul real (P_r) și perimetrul cercului echivalent (P_{ce}).

$$k_c = \frac{P_r}{P_{ce}} = \frac{P_r}{2\sqrt{\pi A}}$$

Unde A reprezintă suprafața analizată și P reprezintă perimetrul suprafeței

Coeficientul de sinuozitate - este un parametru important pentru evoluția unui râu sau pârâu și arată gradul de maturitate a râului în corelație cu substratul geologic al albiei. În zona de câmpie, acest coeficient crește brusc, datorită scăderii energiei de relief și a intensificării proceselor de eroziune laterală, care accentuează gradul de sinuozitate a cursurilor de apă.

Coeficientul de sinuozitate este dat de raportul dintre lungimea reală (L_r) și lungimea măsurată în linie dreaptă (L_d): $k_s = \frac{L_r}{L_d}$

Coeficientul de asimetrie - scoate în evidență repartitia suprafeței bazinului față de axa de drenaj. În acest caz se impune a cunoaște suprafețele existente pe partea stângă (S_{st}) și pe cea dreaptă (S_{dr}) a cursului principal.

$$a = \frac{2(S_{st} - S_{dr})}{S_{bh}}$$

Hidrologie C4 - Elemente de hidrometrie

Hidrograful și graficul de durată și frecvență a nivelurilor

Nivel – cota (absolută sau relativă) a oricărui punct situat pe suprafața liberă a apei. Nivelul ¹ Adâncime. Pentru măsurarea nivelului se utilizează: *mirele hidrometrice, limnigrafele, etc.*

Hidrograful – reprezentarea grafică a variației nivelurilor în funcție de timp. Graficul de frecvență și cel de durată a nivelurilor, se realizează pe baza datelor măsurate și este util pentru o caracterizare mai corectă a evoluției regimului de curgere al apelor.

“Hidrologie și hidrogeologie”- Suport pentru curs și lucrări practice

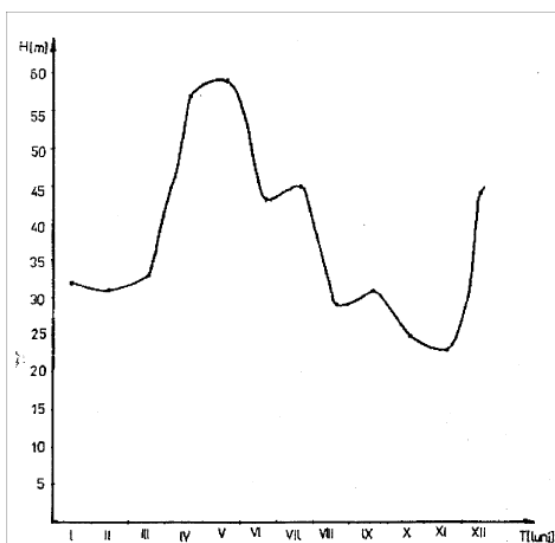
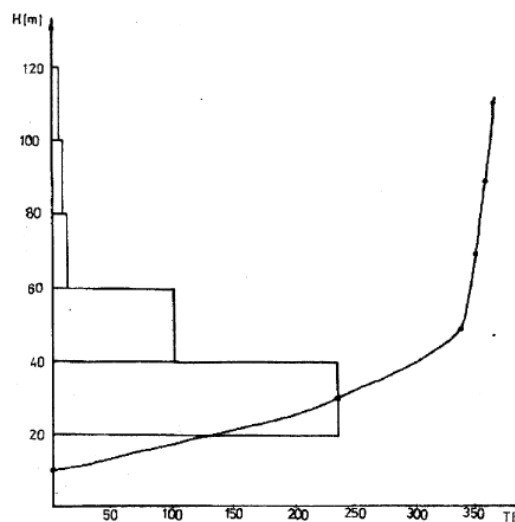


Fig. 2.2 Hidrograful nivelurilor medii lunare măsurate pe râul Olt, la postul hidrometric Râmnicu-Vâlcea



2.3 Graficul de frecvență și de durată a nivelurilor măsurate pe râul Olt, la postul hidrometric Râmnicu-Vâlcea

Calculul vitezelor folosind metoda flotorilor de suprafață

Flotorii de suprafață – corpuri plutitoare ce pot fi deplasate de către curentul de apă. Sunt utilizați pentru determinarea vitezei de suprafață a curentului de apă, în diferite secțiuni. În general metoda flotorilor se utilizează pe râuri cu adâncimi și viteze mici, viteza flotorului este practic viteza cursului de apă. Aceasta este determinată prin raportarea distanței parcurse de flotor la intervalul de timp. $V = D/T$ (m/s)

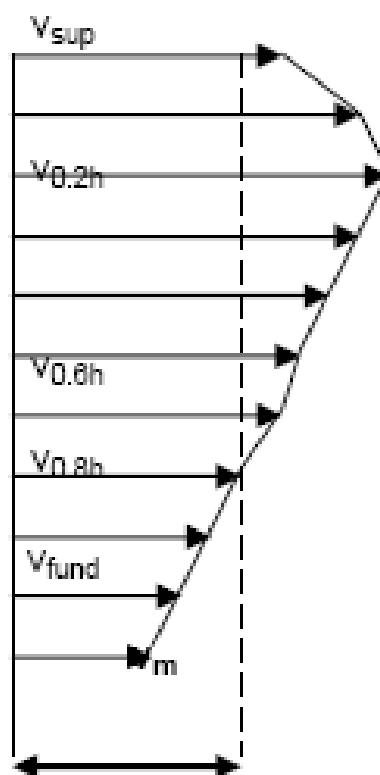
Calculul debitelor într-o secțiune, pe baza vitezelor măsurate, folosind metoda grafo-analitică

În albiile naturale, viteza medie a întregii secțiuni rezultă din mulțimea de viteze punctuale distribuite pe toată suprafața secțiunii. În mod practic, se recurge la măsurători de viteze punctuale, în cadrul unui număr de verticale din secțiunea de curgere.

Dispozitivele utilizate la măsurarea vitezelor sunt: flotorii, prăjinile hidrometrice, tubul hidrometric, morișca hidrometrică.

Distribuția vectorilor viteză variază pe verticală funcție de adâncimea apei, panta talvegului, etc.

Distribuția vectorilor de viteză pe verticală se reprezintă grafic prin “epura vitezelor” sau “hodograful vitezelor”. Pe verticala de adâncime se fixează punctele unde s-a măsurat viteza apei, adică la suprafață (v_{sup}), la 0.2 din adâncimea râului ($v_{0.2h}$), la 0.6h ($v_{0.6h}$), la 0.8h ($v_{0.8h}$), și la fundul albiei (v_{fund}).



În dreptul fiecărui punct unde s-au făcut măsurători se reprezintă valoarea vectorilor de viteză. Prin unirea capetelor vectorilor de viteză, se obține curba vitezelor pe verticală, ce reprezintă “*epura vitezelor*”.

Viteza medie pe verticală se determină prin mai multe metode: analitică, grafo-analitică, Chézy. Una dintre formulele utilizate pentru calculul vitezei medii este media aritmetică ponderată la adâncimile măsurate, sau media aritmetică:

$$V_m = \frac{v_{\text{sup}} + 3v_{0.2h} + 3v_{0.6h} + 2v_{0.8h} + v_{\text{fund}}}{10} \qquad V_m = \frac{\sum v_i}{n}$$

unde **n** reprezintă numărul porțiunilor în care s-a împărțit epura (10);
v_i reprezintă vitezele corespunzătoare celor n porțiuni în care s-a împărțit epura.

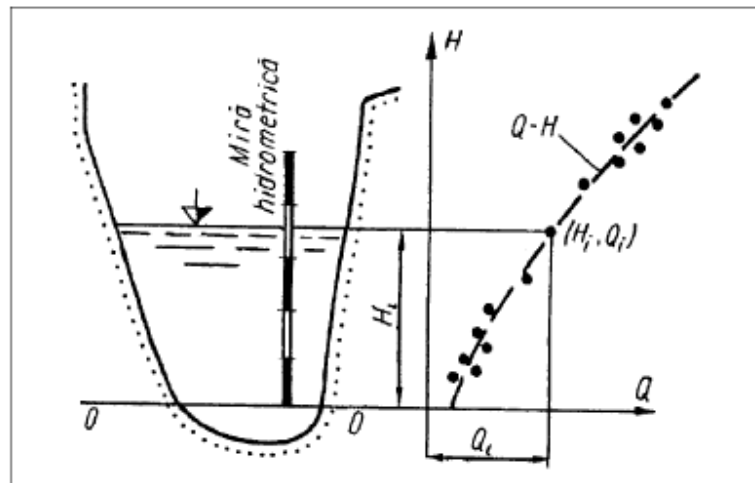
Debitul de apă – cantitatea de apă ce curge prin secțiunea activă în unitatea de timp Q (m³/s sau l/s).

Metode de determinare a debitelor:

- metoda deversorilor;
- metoda diluției;
- metoda volumetrică;
- cheia limnometrică;
- metodele grafo – analitice.

Determinarea cheii limnometrice prin metoda Chézy

Cheia limnometrică exprimă grafic sau analitic legătura dintre debitul de apă care se scurge printr-o anumită secțiune a albiei și nivelul apei măsurat în acea secțiune.



În condiții naturale nu există întotdeauna o corelație uniformă a debitelor în funcție de nivelurile apei. Astfel, există cazuri când la același debit al apei se pot observa diferite niveluri și invers.

Acest fapt se poate produce datorită schimbării bruște a pantei oglinzii apei (de exemplu, la creșterea sau scăderea nivelurilor) precum și datorită modificării albiei din cauza eroziunii sau colmatării. În toate aceste cazuri, punctele debitelor măsurate se situează dispersat pe graficul de corelație, iar curba va fi posibil să se traseze numai printre puncte (cu aproximație).

Această curbă, care mai poate fi întâlnită și sub denumirea *cheie a debitelor*, permite determinarea debitului râurilor printr-o singură măsurare și anume, aceea a nivelurilor. Cheia limnometrică se poate determina prin măsurători directe, în urma cărora se determină punctele aferente acestei curbe.

Curgerea uniformă – curgerea în care vectorul viteză este constant în lungul fiecărei linii de curent.

Curgere neuniformă - curgerea în care vectorul viteză nu este constant în lungul fiecărei linii de curent.

- În cazul curgerii uniforme, gradientul hidraulic se determină cu relația:

$$I = \frac{H_1 - H_2}{L} \cdot 1000$$

- În cazul curgerii neuniforme, situație frecvent întâlnită în albiile râurilor, debitul se poate determina fie prin măsurători directe ale secțiunii de curgere și ale vitezelor, fie prin utilizarea formulei lui Chézy pentru calculul vitezei medii de curgere în albia râului:

$$V = C\sqrt{RI} \quad R = \frac{A}{P}$$

I – gradientul hidraulic, R – raza hidraulică, C – coeficientul lui Chézy cu A și P, suprafața udată în secțiune transversală, respectiv perimetrul suprafeței udate.

Debite caracteristice:

- *Debitul maxim maximorum* – reprezintă cel mai mare debit înregistrat de cursul de apă respectiv;
- *Debitul extraordinar* – debitul cel mai mare produs într-o perioadă de 30 de ani consecutivi;
- *Debitul maxim anual* – debitul cel mai mare înregistrat în cursul unui an;
- *Debitul mediu anual* – media aritmetică a debitelor zilnice din cursul unui an;
- *Debitul normal* sau *debitul modul* – media aritmetică a debitelor anuale pe un șir îndelungat de ani;
- *Debitul mediu* – se stabilește pentru o anumită perioadă de timp (decadă, lună, anotimp);
- *Debitul minim anual* – debitul cu valoarea cea mai mică înregistrat o zi în cursul a 365 zile;
- *Debitul minim minimorum* – reprezintă debitul cel mai mic produs până în prezent.

Raportul dintre debitul maxim și cel minim – indică un coeficient de torențialitate (1/16 – Dunăre, 1/130 – Someșul Mic, 1/933 - Bârlad)

Debitul de aluviuni

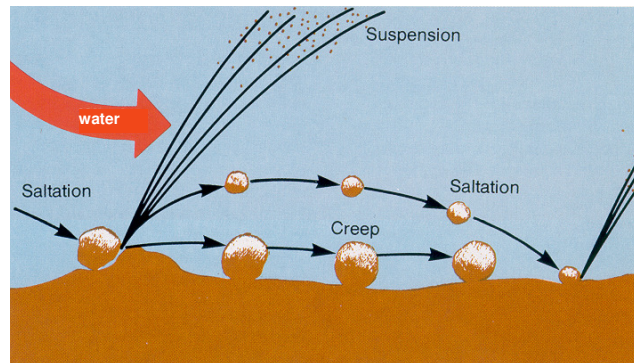
Aluviuni – materiale solide, cu greutate specifică și dimensiune a granulelor diferită ce sunt transportate de apele curgătoare. Aceste materiale sunt rezultatul acțiunii de eroziune exercitate de apă asupra malurilor și patului albiei minore, precum și din procesul de spălare a versanților și a întregului bazin hidrografic.

Procese desfășurate de apa curgătoare:

- eroziune (implică procese fizice și chimice);
- transport;
- acumulare.

Transportul:

- rostogolire;
- târâre;
- suspensie;
- suspensie;
- soluție.



Hidrologie C5 – Elementelor morfometrice ale bazinului și ale subbazinelor

Panta medie

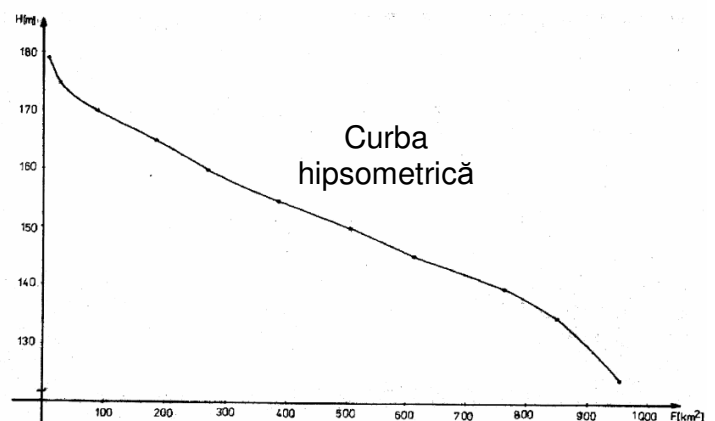
Curba hipsometrică – reprezintă distribuția altitudinii din bazinul hidrografic în funcție de creșterea succesivă a spațiului bazinal de la izvor la vărsare. Curba hipsometrică oferă posibilitatea de a estima suprafețele aflate deasupra unor cote date sau suprafețele aferente bazinului dintr-o regiune muntoasă, deluroasă sau de câmpie.

Altitudinea medie a bazinului hidrografic – este media ponderată a altitudinilor medii dintre curbele de nivel cu suprafețele cuprinse între acestea

$$H_{med} = \frac{\sum f_i \cdot \frac{h_i + h_{i+1}}{2}}{\sum f_i}$$

$$\sum f_i = F$$

H_i, h_{i+1} – altitudinile medii dintre curbele de nivel;
 f_i – suprafețele cuprinse între curbele de nivel



Panta medie a unui bazin hidrografic se determină funcție de cota curbilor de nivel, lungimea și echidistanța acestora. Acest parametru este important pentru aprecierea scurgerii apei pe suprafața bazinului hidrografic.

În cazul unor valori ridicate ale pantelor medii scurgerea apei este rapidă și este favorizată eroziunea și transportul materialelor pe versant.

$$f_i = b_i \cdot l_i$$

l_i – lungimea mediană a suprafeței parțiale f_i – dintre două curbe de nivel; b_i – lățimea medie a suprafeței respective.

$$I_i = \frac{\Delta H}{b_i}$$

I_i – panta medie a terenului între cele două curbe de nivel, DH – echidistanța dintre două curbe de nivel

$$I_i = \frac{\Delta H}{\frac{f_i}{l_i}} = \frac{\Delta H \cdot l_i}{f_i} \quad I_{med} = \frac{\sum I_i \cdot f_i}{\sum f_i} = \frac{\sum \frac{\Delta H \cdot l_i}{f_i}}{F} = \frac{\Delta H}{F} \sum l_i$$

Media ponderată a valorilor parțiale I_i cu suprafețele corespunzătoare – panta medie a bazinului hidrografic (I_{med}); S_{li} – lungimea totală a curbelor de nivel

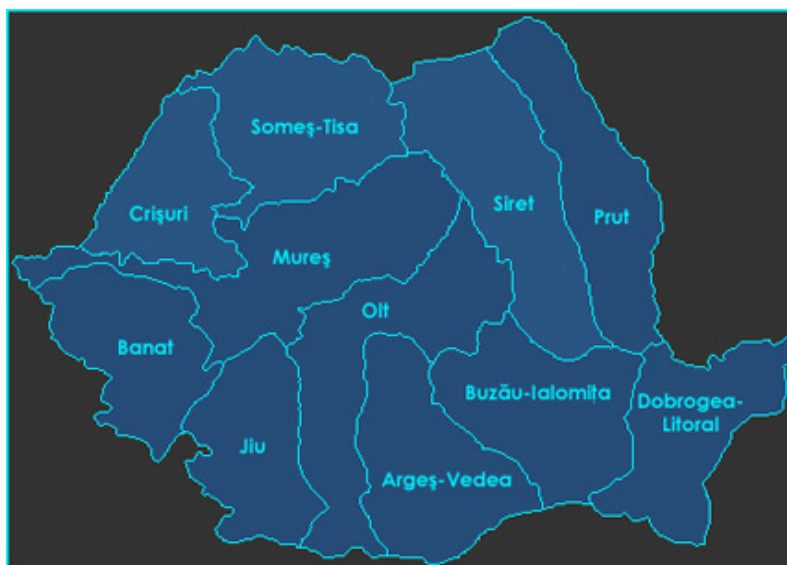
Hidrologie C6 - Procese de scurgere – rețeaua hidrografică

Dunărea – al doilea curs de apă din Europa, după Volga, bazinul hidrografic, în lungime totală de 2850 km (38% în România) traversează 13 țări

Râurile interioare – densitate medie a rețelei hidrografice – 0,5 km/km², lungime totală 118.000 km.

Gestionate de *Administrația Națională Apele Române*:

Dirrecția Apelor SOMEȘ-TISA
Dirrecția Apelor CRIȘURI
Dirrecția Apelor MUREȘ
Dirrecția Apelor BANAT
Dirrecția Apelor JIU
Dirrecția Apelor OLT
Dirrecția Apelor ARGES-VEDEA
Dirrecția Apelor BUZĂU-IALOMIȚA
Dirrecția Apelor SIRET
Dirrecția Apelor PRUT
Dirrecția Apelor DOBROGEA-LITORAL



Evoluția scurgerii

- scurgere difuză
- scurgere concentrată:
 - temporară
 - ogașe;
 - ravene;
 - torenți – cursuri de apă cu scurgere temporară, se formează de regulă primăvara după topirea zăpezilor sau după ploi torențiale.



Elementele componente ale unui organism torențial:

- **bazin de recepție** – este suprafața de alimentare a torentului, în timpul ploilor procesul de eroziune regresivă este foarte intens, rezultând un bogat material solid;

- **canalul de scurgere** – partea mijlocie a torentului, aici acționează eroziunea lineară ce determină adâncirea canalului;
- **conul de dejecție** – este rezultatul depunerii materialului transportat, determinată de scăderea pantei, are forma unui evantai, ușor bombată la partea mijlocie.

Formarea torenților are o acțiune negativă asupra terenurilor agricole, așezărilor omenești, căilor de comunicație, etc.

Cursurile de apă permanente:

- *Pârâu* - curs de apă natural, în mod normal mai mic decât un râu și care se varsă de regulă într-un râu;
- *Râu* - Curs de apă relativ mare care servește drept canal natural de drenaj pentru un bazin hidrografic;
- *Fluviu* – apă curgătoare de mari dimensiuni și cu debit considerabil, care se varsă în general într-o mare sau un ocean și în care se varsă la rândul lor râurile din bazinul respectiv. Fluviile sunt navigabile pe porțiuni mari, iar în zona de vărsare se formează în general delte sau estuare.

Componente:

- Izvorul – o zonă mlăștinoasă, limba unui ghețar, un lac, un con de dejecție – acvifer freatic;
- cursul râului – albia minoră, se pot delimita 3 sectoare în profil longitudinal:
 - Cursul superior - zona de izvor, cuprinde zona cu altitudini ridicate (munte sau deal), albia minoră are pantă mare – 25 – 200 m/km, patul albic este rugos, prezintă cascade, praguri, profilul transversal are forma literei V, eroziunea de adâncime este puternică.
 - Cursul mijlociu – specific zonelor de deal și podiș, valea se lărgeste, se conturează mai bine albia minoră, albia majoră și versanții. Procesul de eroziune se desfășoară atât în linie dreaptă cât și

orizontal, determinând apariția malurilor concave și convexe – început de meandrare. Rugozitatea este mai puțin accentuată, crește aportul de materiale transportate în suspensie. Valea are forma literei V mai deschisă.

- Cursul inferior – specific zonelor de câmpie sau podiș, apele au viteze mici de curgere dar debite mari, albia minoră este meandrată.
- gura de vărsare – în râuri colectoare, în lacuri, mări, oceane, “sorburi” – în calcare, capete “oarbe” – zonele aride.



Deltele

Se formează la gura de vărsare a râurilor sau a fluviilor în mări și oceane, datorită reducerii vitezei și accentuării procesului de decantare și de depunere a

aluviunilor. Astfel se formează grindurile și ostroavelor nisipoase iar organismul fluviatil se ramifică în brațe secundare.

Tipuri de delte:

- *delta barată* – presupune mai multe faze – faza de golf, apoi închiderea golfului cu cordoane și grinduri, transformarea în liman marin, formarea ostroavelor și brațelor secundare – delta Dunării;
- *delta răsfirată* – se formează în mările închise cu platforme continentale largi, are numeroase brațe secundare și canale de legătură – delta Volgăi;
- *delta unghiulară* – se caracterizează printr-un singur braț principal care înaintează în mare și depune aluviunile sub formă de grinduri longitudinale, cu timpul apar mici brațe secundare – delta Tibrului;
- *delta digitată* – pătrunde adânc în apele lipsite în general de curenți litorali, brațul principal transportă un debit bogat de apă și aluviuni ce participă la formarea deltei. La capătul brațului principal, datorită intensei depuneri de aluviuni, se formează în evantai brațele secundare – delta Mississippi



Limanurile

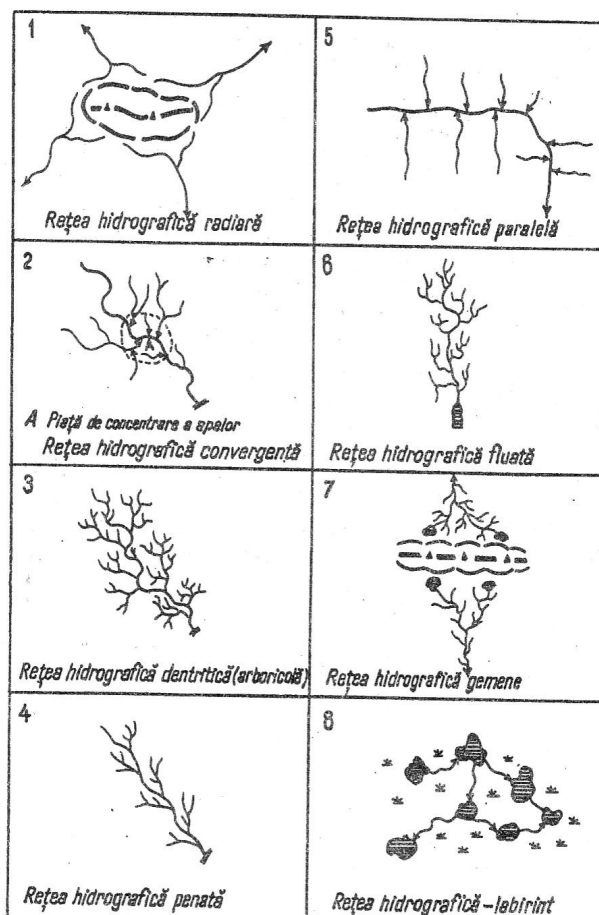
Guri de vărsare lărgite – de natură fluvială sau maritimă. Cele fluviale se produc prin bararea cu aluviuni a gurilor de vărsare a unor afluenți secundari – limanurile Ialomiței (Snagov, Căldărușani, Fundata). Limanurile maritime se formează la gura de vărsare în mare a unor râuri datorită barării cu cordoane nisipoase aduse la gura râurilor - Techirghiol.

Estuarele

Gura de vărsare a unor fluvii la țărmul unor mări sau oceane cu maree. Estuarul are aspectul unei pungi sau a unui golf prin care în timpul fluxului apa preia toate materialele rezultate din eroziune și le transportă în larg.

Tipuri de rețele hidrografice:

- **radiară** – specifică masivelor muntoase;
- **convergentă** – prezența centrelor de adunare a apelor;
- **dendritică** – densitate mare – Amazon, Congo, etc.;
- **penată** – întâlnită rar;
- **paralelă** – confluența în unghi aproximativ drept perpendiculară pe râul principal;
- **fluată** – zonele muntoase sau unde afluenții se varsă sub un unghi de 65 – 90°;
- **gemene** – zona muntoasă – sistem hidrografic dublu;
- **labirint** – caracteristică zonelor de vărsare sau deltelor



Hidrologie C7 - Alimentarea râurilor

Alimentarea râurilor, clasificarea după sursele de alimentare

Regimul de alimentare al râurilor este influențat de condițiile climatice locale și regionale. Râurile din zonele calde au un regim de alimentare predominant pluvial, cele din zonele reci au un regim predominant nival iar cele din zonele temperate un regim mixt.

În funcție de factorii fizico-geografici și geologici, alimentare râurilor se face din surse de suprafață (scurgere de suprafață) precum și din surse subterane.

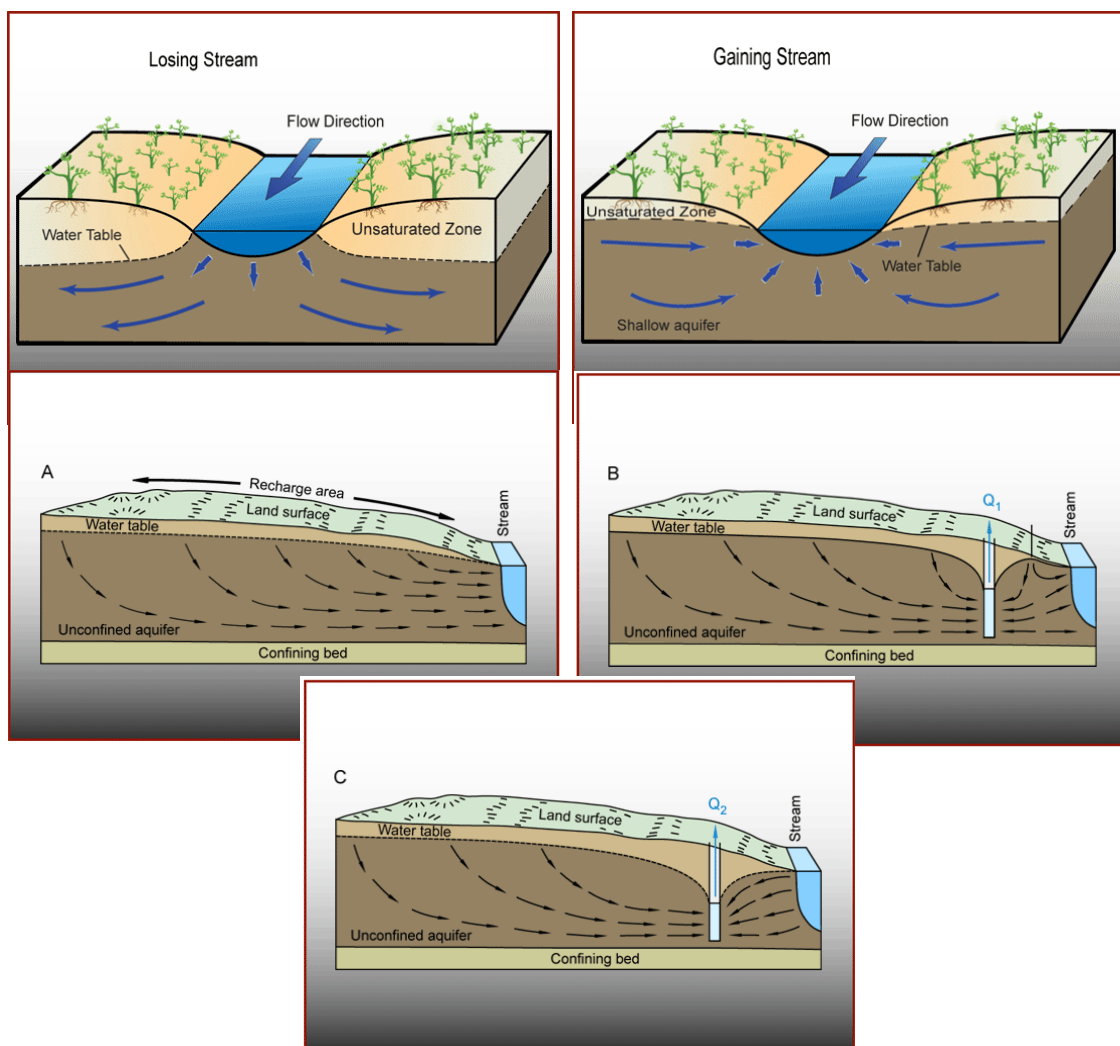
Alimentarea râurilor din surse de suprafață

- ***Alimentarea din ploi*** – caracteristică zonelor calde și temperate. În zona ecuatorială alimentarea este exclusiv pluvială. Organismele fluviatile din această regiune au debite bogate (Congo, Amazon, etc.). În regiunea tropicală alimentare este tot pluvială dar este asociată doar sezonului ploios, iar în zona temperată alimentare pluvială se desfășoară tot în anotimpul cald.
- ***Alimentarea din apa provenită din topirea zăpezilor*** – este caracteristică zonei temperată și rece. În perioada de iarnă se acumulează o cantitate variabilă de zăpadă, care în perioada caldă se topește, contribuind la alimentare râurilor. Râurile din aceste zone au un regim de alimentare nival sau pluvio-nival, după caz. Debitul râurilor crește la începutul primăverii începând de la izvoare spre vărsare (Mackenzie, Ottawa, Lena, Enisei, Obi, etc.)
- ***Alimentarea din apa provenită din topirea ghețarilor și zăpezilor permanente*** – apa provine din ghețarii de vale ce iau naștere în regiunile muntoase mai înalte de 3000 m, situate în zona temperată, zonă în care ghețurile și zăpezile nu se topesc de la un an la altul (în Asia centrală, Caucaz, etc.).

Alimentarea râurilor din surse subterane

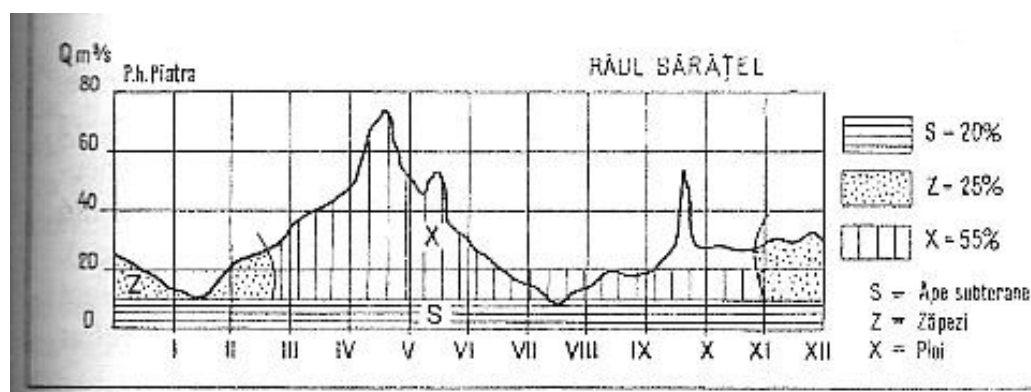
- *Alimentarea râurilor cu apa provenită din acviferele freatice* – în perioadele cu deficit de umiditate apa subterană poate constitui o importantă sursă de alimentare a rețelei hidrografice.
- *Alimentarea râurilor cu apa provenită din apele subterane de adâncime* – volumul mare de apă a acestui tip de acvifere determină alimentare cu un debit relativ constant tot timpul anului.

Se apreciază că alimentarea râurilor din surse subterane nu depășește în general 30 – 35 %.



Determinarea surselor de alimentare

- *Metoda de separare a surselor de alimentare redată prin hidrograful debitelor medii zilnice*
 - prin unirea cu o dreaptă a debitelor minime de iarnă și de vară se obține scurgerea provenită din sursele de alimentare subterane;
 - pentru lunile de iarnă se calculează procentul provenit din topirea zăpezilor;
 - pentru lunile de primăvară, vară și toamnă se stabilește valoare procentuală a scurgerii provenite din alimentarea pluvială



Date hidrologice referitoare la perioadele caracteristice ale regimului râurilor din România

- *perioada de iarnă* – temperaturi medii sub 0 grd C, precipitații sub formă de zăpadă, sursa principală o constituie apele subterane, pe râuri se instalează “perioada apelor mici de iarnă”. Uneori, în sud-vestul țării, datorită unui proces de încălzire timpurie, se pot forma viiturile de iarnă;
- *perioada de primăvară* – creșterea temperaturii aerului (cu medii între 0 – 10 grd C.), zăpada începe să se topească, podul de gheață format pe râuri curge sub formă de sloiuri, iau naștere “apele meri de primăvară”. Dacă

peste topirea zăpezilor se suprapun ploi abundente, iau naștere viiturile de primăvară. Dacă anotimpul rece a fost sărac în precipitații solide, perioada poate fi caracterizată de “ape mici de primăvară”;

- *perioada de vară* – este caracterizată de temperaturi medii între 18 – 22 grd. C, precipitațiile sunt reduse cantitativ, evapotranspirația este intensă. Rețeaua hidrografică este caracterizată de “apele mici de vară”. În urma unor ploi torențiale se pot produce viituri de vară;
- *perioada de toamnă* – este caracterizată de scăderea fluxului termic, reducerea evapotranspirației și creșterea cantitativă a precipitațiilor. Scurgerea apelor se caracterizează prin debite mai bogate - “ape mari de toamnă”.

Tipurile de regim ale râurilor din România

1. *Tipul pontic și tipul panonic* – situate în Dobrogea și în Câmpia de Vest, scurgerea se caracterizează prin debite medii mari la sfârșitul lunii februarie, apoi apele mici persistă aproape tot cursul anului. Râurile de tip panonic, în unele primăveri, pot prezenta viituri cu caracter brutal. La râurile pontice, viiturile se produc în general în lunile de vară (Casimcea, Topolog, Slava, Telița, etc.);

2. *Tipul moldavo – valah* – cuprinde râurile din Câmpia Română și din Podișul Moldovei. Sunt caracterizate de ape mari în timpul primăverii cu un maxim în luna martie. Viiturile se pot forma în orice anotimp (Călmățui, Vedea, Teleorman, Neajlov, Crasna, etc.);

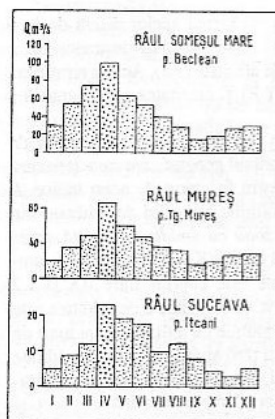


Fig. 145. Tipul de râuri Transilvan cu scurgerea maximă în luna aprilie.

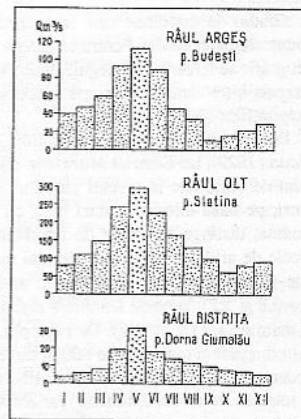


Fig. 146. Tipul de râuri carpatic cu scurgerea maximă în luna mai

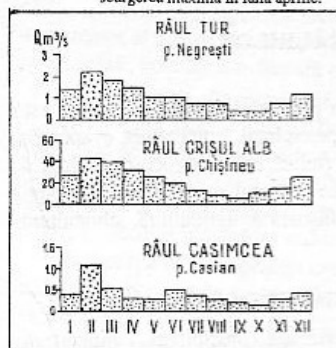


Fig. 143. Tipurile de râuri pontic și panonic cu scurgerea maximă în luna februarie.

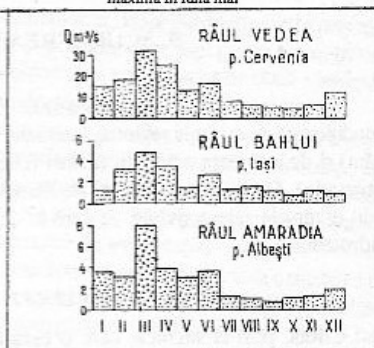


Fig. 144. Tipul de râuri Moldavo-Valah cu scurgerea maximă în luna martie.

Scurgerea râurilor

Factori climatici ai scurgerii

Clima, prin elementele ei, este factorul principal care influențează procesul de scurgere a apelor.

Evaporația - emiterea de vapori la suprafața liberă a apei lichide la o temperatură inferioară punctului de fierbere

Evaporația este condiționată de evoluția temperaturilor și de gradul de saturare a atmosferei cu vapori de apă. Evaporația de pe suprafața unui bazin hidrografic este cantitatea de apă care se evaporă de pe suprafața solului, vegetației și unităților acvatice.

Precipitațiile – cad sub diverse forme pe suprafața bazinului hidrografic, cantitatea se evaluează cu pluviometre. Datorită repartiției neuniforme a precipitațiilor în cadrul bazinului hidrografic, se apelează la exprimarea valorilor medii, maxime și minime.

Factori “neclimatici” si scurgerii

Relieful – gradul de fragmentare a reliefului și panta;

Constituția geologică – permeabilitate și solubilitatea rocilor;

Solurile – structura, compoziție, permeabilitate;

Vegetația – prezența vegetației – crește ponderea infiltrației;

Factor antropic – lucrări agrotehnice, desecări, lucrări de drenaj, instalații hidrotehnice, etc.

Hidrologie C8 - Regimul termic și de îngheț al râurilor, limnologie

Temperatura apelor curgătoare – este dependentă de o serie de factori:

- variațiile de temperatură ale aerului;
- relieful;
- sursele de alimentare;
- poziția geografică;
- dinamica apelor (mișcarea turbulentă, etc.).

Apele cu adâncimi relativ reduse (de ordinul zecilor de cm, câțiva metri) prezintă în general o homotermie, în cazul râurilor și fluviilor cu adâncimi foarte mari (50 – 100 m) se manifestă o ușoară stratificație termică. Apare un orizont superior gros, caracterizat de o permanentă amestecare și omogenizare a temperaturii și un orizont de apă situat la adâncime, unde temperatura este cu cca. 1,5 – 1 grd. C mai mică.

În profil transversal – în general temperatura apei este uniformă de la un mal la

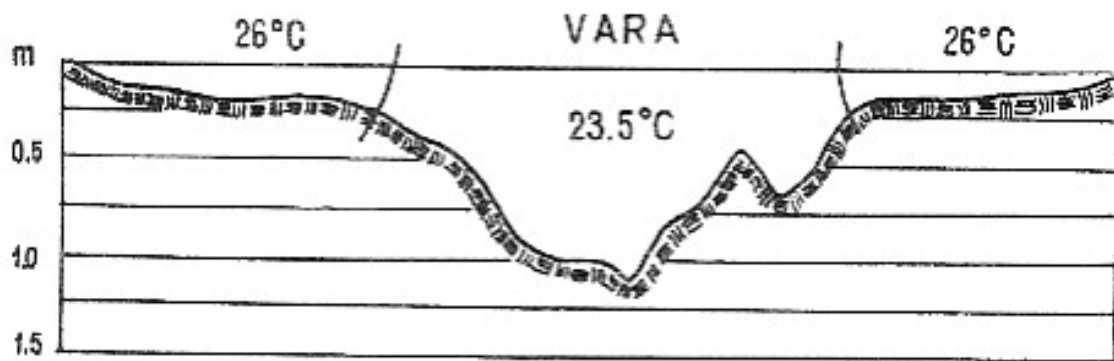


Fig. 184. Distribuția temperaturii apei în profil transversal pe râul Argeș (Buda-Pod) 14.VIII.1973).

celalalt, însă vara, temperatura este uneori mai ridicată în zona malurilor cu 1 până la 3 grd. C.

În profil longitudinal – temperatura apelor poate avea variații semnificative între zona de izvor și zona de vărsare, această variație este mai accentuată în cazul cursurilor de apă a căror direcție de curgere este dezvoltată predominant N – S și mai redusă în cazul cursurilor de apă ce curg pe direcția paralelelor.

Dunărea, care are o direcție de curgere aproximativ V – E evoluează de la o temperatură medie anuală de 8,5 grd. C la Ulm, 9,5 grd. C la Lintz, 11 grd. C la Budapesta până la 12,7 grd. C la Sulina, rezultă o amplitudine medie anuală de 4,2 grd. C între cursul superior și cel inferior. Amplitudinea în sezonul cald este mai pronunțată: 16,4 grd. C la Lintz până la 26 grd. C la Tulcea.

Variații mari de temperatură, în regim transversal se remarcă la râurile care străbat diverse unități de relief (în cazul Oltului – temperatura medie anuală diferă cu 3 până la 6 grd. C între sectorul superior și cel inferior, iar în timpul verii amplitudinea ajunge la valori de 7 – 11 grd. C).

Pe râurile din zona temperată și zona rece se remarcă variații termice lunare și diurne.

Râurile din zonele calde prezintă variații mici de temperatură de la un sector la altul, precum și de la un sezon climatic la altul.

Regimul de îngheț al râurilor

- formarea acelor de gheață – imprimă apei un aspect de vată înmuiată;
- gheață la maluri – datorită vitezei mai scăzute a apei;
- sloiuri plutitoare;
- năboi (zai) - gheață buretoasă în masa apei;
- gheață la fund – cristale de gheață formate pe blocurile de piatră – mai ales la munte unde temperaturile scăzute persistă

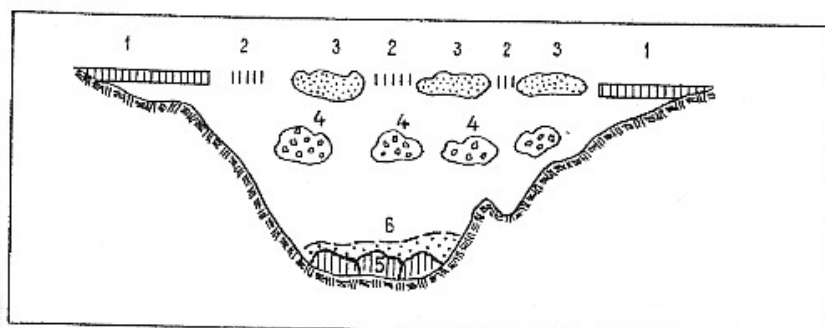


Fig. 186. secțiunea activă a râului cu formațiunile de gheață: 1 – gheață la mal; 2 – ace gheață; 3 – sloiuri; 4 – zai sau năboi; 5 – blocuri de piatră; 6 – gheață de fund.

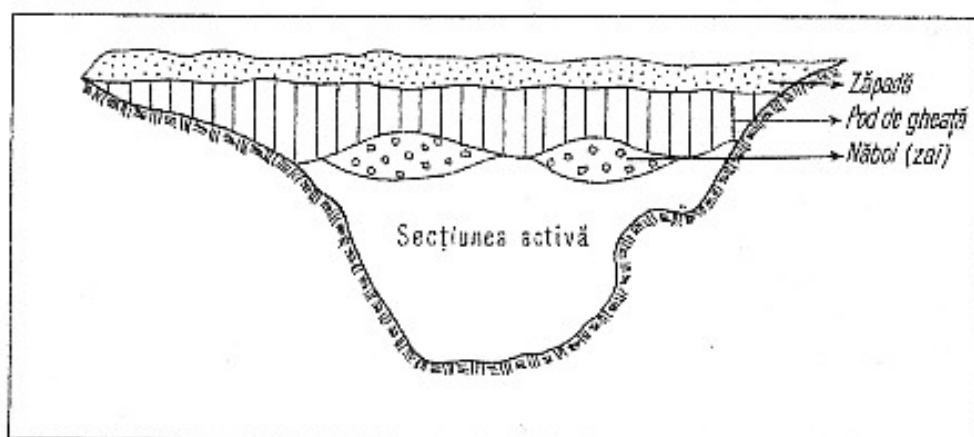


Fig. 187. Profilul secțiunii active cu pod de gheață.

Înghețul complet al râurilor

Datorită scăderii continue a temperaturii și creșterii densității sloiurilor de gheață, care încep să se sudeze între ele – se formează *podul de gheață*. Aceste procese sunt specifice cursurilor de apă din zonele temperată și rece.

Date asupra chimismului apei din râuri

Pâraiele, râurile și fluviile, datorită acțiunii de dizolvare exercitate, precum și prin debitul solid pe care îl tranzitează, conțin în general o anumită cantitate de săruri minerale dizolvate. Gradul de mineralizație este influențat de sursele de alimentare (râurile alimentate din ape subterane au în general o mineralizație mai ridicată decât cele cu alimentare pluvio-nivală)

Clasificarea râurilor din România în funcție de compoziția lor chimică:

- clasa apelor bicarbonatate – predomină anionul bicarbonat (HCO_3^-);
 - clasa apelor clorurate – predomină anionul Cl^- ;
 - clasa apelor sulfatate – anionul sulfat (SO_4^-) are o pondere mai mare de 50%
-
- *Râurile din clasa de ape bicarbonatate, cu grad de mineralizație de până la 200 mg/l* – râuri răspândite în Carpații Olteniei (munți vulcanici), Meridionali și apuseni (cursul superior al Mureșului, Târnavelor, Bistriței, Moldovei, Argeșului, Jiului, etc.);
-
- *Râurile din clasa de ape bicarbonatate, cu grad de mineralizație mediu (200 – 500 mg/l)* – sunt răspândite în regiunile calcaroase și argiloase din Podișul Transilvaniei, Câmpiei de Vest, Câmpiei Române, Subcarpații Moldovei (Cursul mijlociu al Siretului, Moldovei, Bistriței, mijlociu și inferior al Dâmboviței, Argeșului, Vedei, Begăi, Someșului, etc.);
-
- *Râurile din clasa de ape bicarbonatate, cu grad de mineralizație cuprins între 500 - 1000 mg/l* – caracteristice pentru regiunile secetoase din sudul Olteniei, Dobrogea de Nord și Podișul Moldovei (Bârlad și afluenții săi, Telița, Slava, Casimcea, etc.);

- *Râurile din clasa apelor clorurare* – străbat regiunile cu depozite de sare, fapt de determină o mineralizație de 500 – 1000 mg/l NaCl (Trotușul, Tazlăul, Râmnicu-Sărat, Slănic de Prahova, Târnava Mica la Sovata, etc.);
- *Râurile din clasa apelor sulfatate* – restrânse ca număr, mineralizație ridicată (2000 mg/l), se întâlnesc în Câmpia Moldovei (Jijia, Bahlui, , etc.)

Limnologie

Originea cuvetelor lacustre

Lacurile din zonele cu climă umedă și temperată sunt cele mai numeroase, au un volum apreciabil de apă, au un regim de alimentare pluvială, pluvo-nivală sau nivală. Sunt dulci, și sunt caracterizate prin scurgere de suprafață, au în general legătură cu oceanul planetar și formează categoria de lacuri cu scurgere.

Lacurile din zonele cu climă aridă sunt mai puține numeric, sunt lipsite de scurgere, au un volum redus de apă și sunt adesea sărate. Regimul de alimentare este pluvial sau pluvio-nival. Nu au legătură cu Oceanul Planetar și formează categoria de lacuri fără scurgere.

Pe suprafața Terrei există cca. 1 milion lacuri, reprezentând 2,1 mil. km². (1,4% din suprafața uscatului) ceva mai puțin decât suprafața Mării Mediterane, însumând un volum de cca. 700 mii km³ apă.

Clasificarea lacurilor după geneză:

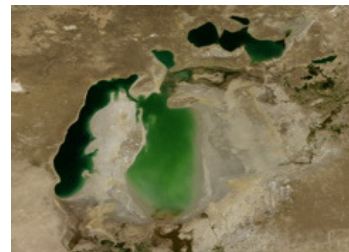
Lacuri formate sub acțiunea factorilor interni

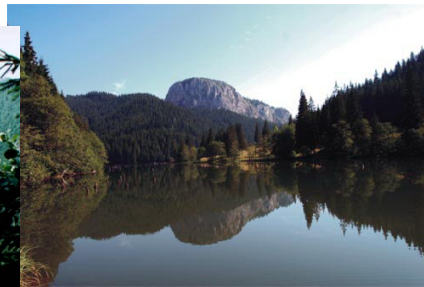
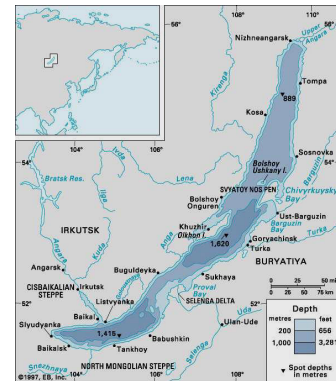
1. Lacuri de origine tectonica:

- *Lacuri sinclinale* – destul de rare;
- *Lacuri situate în bazine intramontane* – au suprafețe și adâncimi mari (lacul Titicaca)



- Lacuri situate în cuvete rezultate din scufundarea sau din ridicarea scoarței terestre – ca urmare a mișcărilor tectonice se pot produce, scufundări, tasări sau ridicări ale scoarței terestre;
- Lacuri relict, izolate prin mișcări epirogenetice – au fost izolate de oceanul planetar prin mișcări epirogenetice – Marea Caspică, **Lacul Aral**, etc.
- Lacuri situate în regiuni faliatate – se întâlnesc fie în falii simple fie în grabene – **Baikal** (cel mai adânc lac de origine tectonică – 1741 m)





- Lacuri formate prin baraj natural – au la origine de prăbușirile declanșate de cutremure sau de alunecări de teren - **Lacul Roșu** pe cursul superior al Râului Bicz.

2. Lacuri de origine vulcanică:

- Lacuri din cratere de explozie – ocupă mari suprafețe – Marele Lac Sărat din Nevada;
- Lacuri din craterele de scufundare (caldere vulcanice) – **lacul Crater** din Oregon (SUA);

- Lacuri situate în denivelările învelișului de lavă – lacuri din Yellowstone, vestul Australiei;
- Maarele – bazine circulare rezultate din explozia produsă de gazele vulcanice și umplute ulterior cu apă meteorică;
- Lacuri formate prin baraj vulcanic – iau naștere prin bararea văilor unor râuri cu lavă – **Lacul Sf. Ana**

Lacuri rezultate din acțiunea factorilor externi

Factori dominanți:

- apele curgătoare;
- apele marine;
- ghețarii;
- vântul;
- organismele și omul.

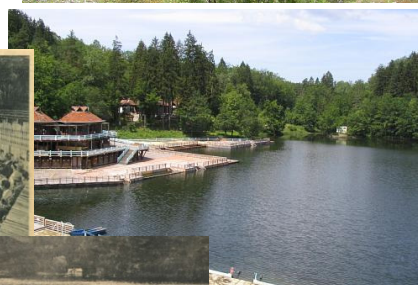
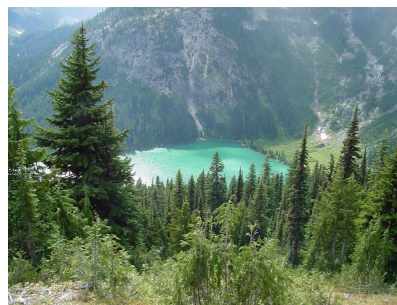
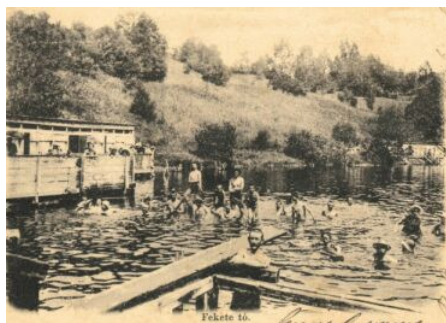
Lacurile fluviatile – sunt în general dispuse de-a lungul luncilor, se pot forma prin bararea meandrelor, a brațelor secundare, etc. Sunt prezente în luncile inundabile ale unor râuri sau fluvii: Dunărea, Ialomița, Buzău, Mureș, Volga, Don, Nipru.

Lacuri rezultate în urma acțiunii apei marine – țărmurile marine sunt în permanență supuse acțiunii valurilor, mareelor și curenților. Din procesele de eroziune și acumulare marină, micile intrânduri sau golfurile, pot fi barate de cordoane litorale și cu timpul separate de mare. Iau astfel naștere lagunele sau lacurile marine. Cele mai frecvente sunt pe țărmul golfului Mexic, între peninsulele Florida și Yucatan. În România:

- Razim;
- Sinoe;
- Golovița;
- Zmeica

Lacurile rezultate în urma acțiunii de dizolvare a apei – se formează în rocile solubile (ghips, calcar, sare), formându-se astfel excavații, goluri sau depresiuni, care umplute cu apă dau naștere lacurilor.

- *Lacuri de dolină* – formate în depresiunile cu aspect de pâlnie, ce iau naștere în rocile calcaroase. **Deep Lake** – Florida;
- *Lacuri de polii* - geneză asemănătoare lacurilor de dolină, dimensiuni mai mari – (*polii seci, polii inundabile și polii lac*);
- *Lacuri pe formațiuni de ghips* – formate tot prin acțiunea de dizolvare, dar în număr mult mai redus – lacul Învârtita, de la Nucșoara – jud. Argeș;
- *Lacuri pe formațiuni de sare* – iau în general naștere în urma dizolvării sării și prăbușirii locale a învelișului acoperitor. Un rol important în procesul de dizolvare îl joacă apele subterane. În România – la Sovata – Lacurile **Ursu**, Aluniș, **Negru**
- *Lacuri clastocarstice* – se formează în orizonturile de loess și loessoide, cuveta rezultă din acțiunea de tasare a loessului – crovuri – Movila Miresii, Colțea, Tătarul.



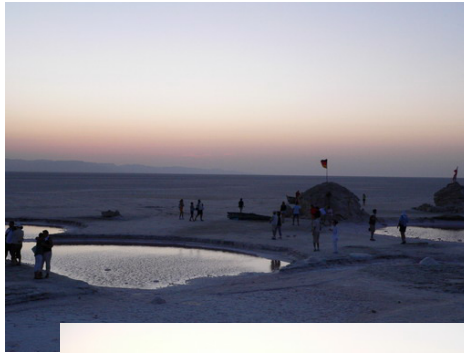
Lacuri rezultate din acțiunea ghețarilor – Au o largă răspândire în regiunile afectate de glaciațiunea cuaternară (Nordul Americii de Nord, Europei, o parte din Siberia Centrală au fost acoperiți de gheață, ca și lanțul alpino-carpato-balcanic, la altitudini de peste 1500 m). După retragerea gheții au rămas o serie de depresiuni în care s-au format lacuri – *lacuri formate pe suprafața ghețarilor*, *lacuri formate în spatele barajelor de gheață*, *lacurile formate în micile denivelări de rocă*, ***lacurile formate în căldări sau circuri glaciare***, *lacuri formate în văi glaciare*, *lacuri formate în fiorduri*, *lacuri de piemont*, *lacuri de baraj morenic*.





Lacuri rezultate din acțiunea vântului (eoliene) – se formează fie în micile depresiuni generate de eroziune (*deflație*), fie în locurile joase dintre dune, care rezultate al acțiunii de acumulare a apei. Sunt în general răspândite în regiunile cu umiditate scăzută, dimensiunile lor sunt reduse. au în general un caracter temporar. În Africa poartă numele de “șoturi”.

Chott El Jerid - Tunisia



Elemente de morfologia lacurilor

În regiunea de țărm se formează:

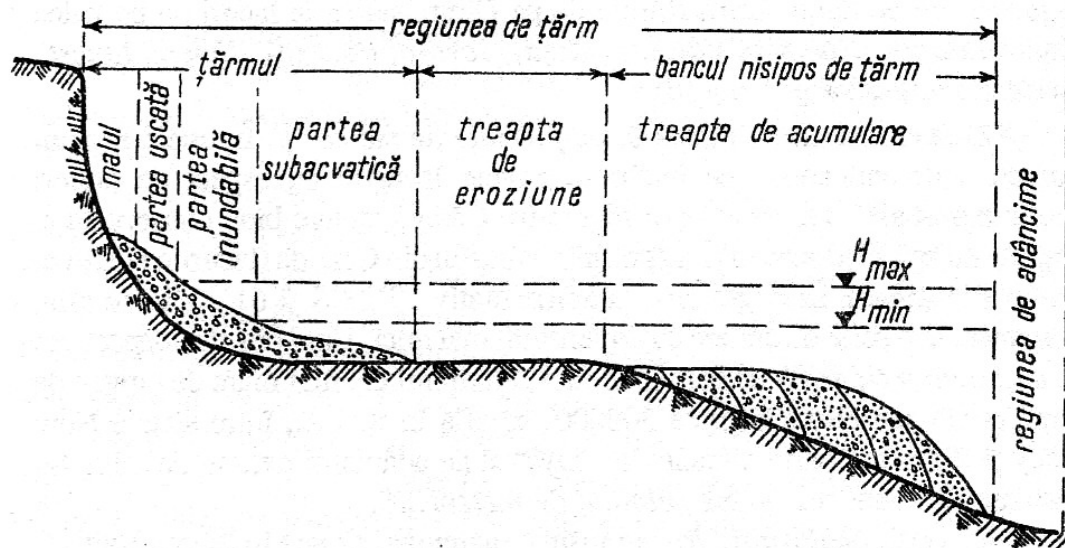
- faleze;
- platforme sau prispe lacustre;
- cordoane nisipoase;
- delte lobate...etc.

În regiunile adânci ale lacurilor se formează câmpii sublacustre formate din sedimente fine, uniforme. În cazul lacurilor glaciare sau de natură tectonică relieful de la adâncimi mari este caracterizat prin forme accidentate.

Orice cuvetă lacustră prezintă în profil transversal două regiuni:

- *regiunea de țărm – în care predomină în general procesele de eroziune și cuprinde: malul, țărmul și bancurile nisipoase litorale;*

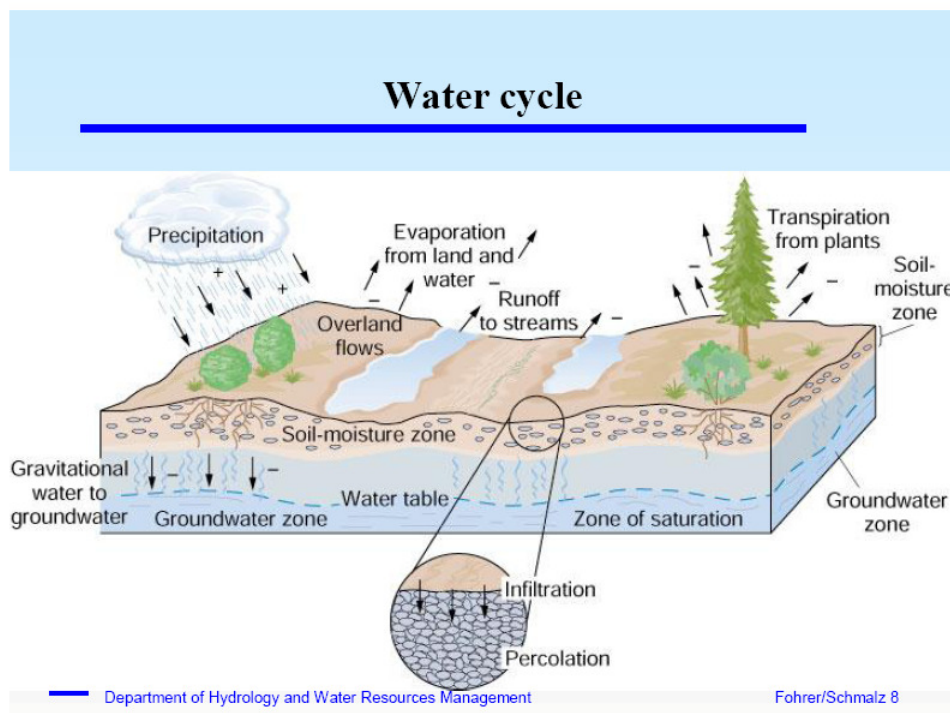
- regiunea de adâncime – în care predomină procesele de acumulare, relieful sublacustru este mai uniform și rar afectat de acțiunea valurilor.



Profil morfologice în regiunea de țărm.

Hidrologie C9 - Hidrogeologie 1

Componenta circuitului apei la nivelul schimbului sol-subsol



Factori naturali ce influențează alimentarea și regimul apelor subterane

- **factori climatici** – regimul termic, precipitațiile, evapotranspirația, umiditatea aerului;
- **factori hidrologici** – scurgerea de suprafață, scurgerea totală din rețeaua hidrografică;
- **factori geologici** – litologia și structura geologică.

Originea apelor subterane

Apa vadoasă – se formează din infiltrarea apelor provenite din ploi și zăpezi, precum și prin condensarea vaporilor aflați la suprafața terestră. Infiltrarea se produce prin porii și fisurile capilare ale rocilor, conform legii lui Darcy;

Apa juvenilă sau magmatică – provine din condensarea vaporilor rezultați din degazeificarea magmelor, au temperaturi ridicate și conținut ridicat de săruri;

Apele de zăcământ – sunt asociate zăcămintelor petroliere, acumularea lor s-a făcut în perioada proceselor de sedimentare.

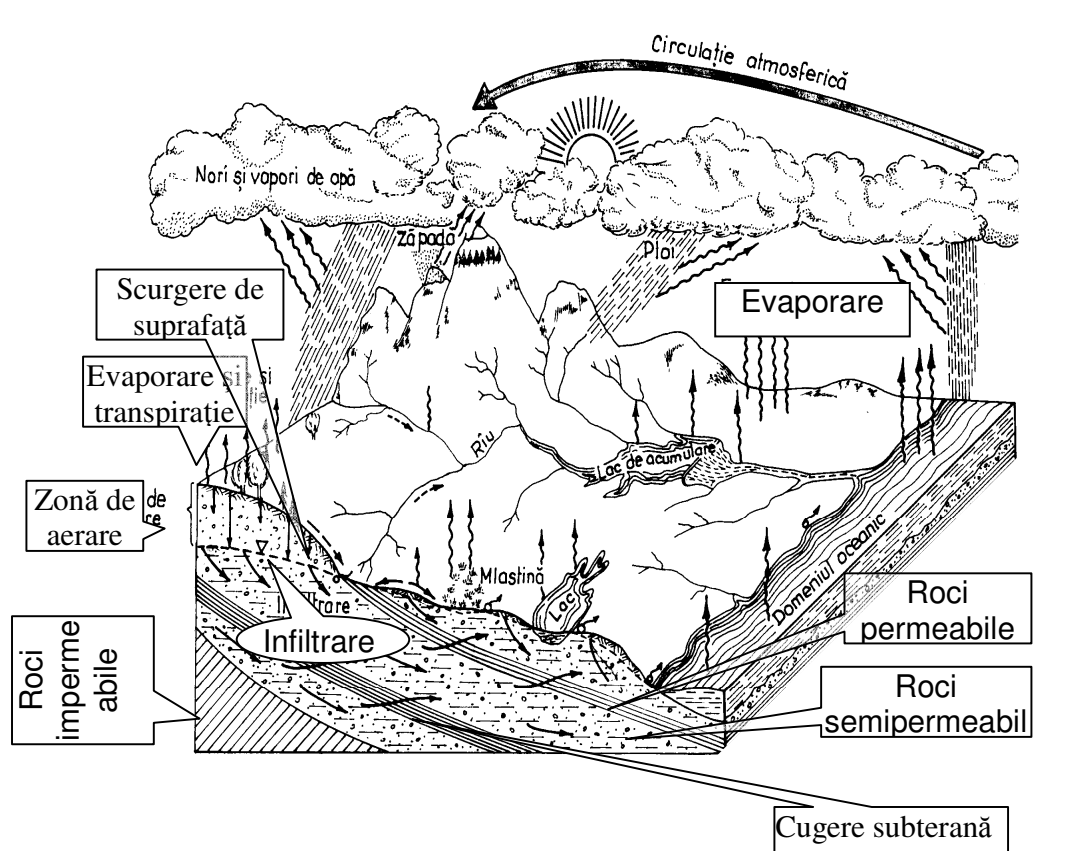
Distribuția apelor subterane:

Forme de apă din scoarța terestră:

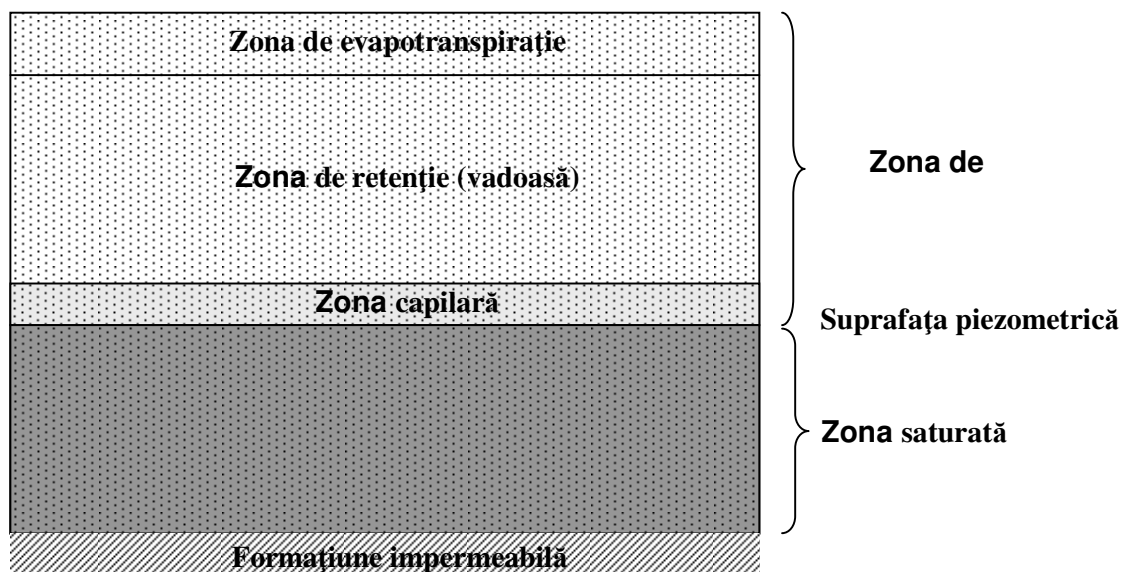
În scoarța terestră apa se găsește în diverse stări specifice:

- **Apa în stare de vapor** – se găsește în zona vadoasă, dinamica ei fiind controlată de distribuția presiunilor.
- **Apa legată fizic** – menținută de forțele de atracție moleculară (de natură electrostatică), care se manifestă la contactul particulelor cu moleculele de apă. În funcție de nivelul energetic deosebim *apa higroscopică* și *apa peliculară*, aceasta din urmă se poate deplasa între particule funcție de grosimea peliculei de apă din jurul fiecărei particule.
- **Apa legată chimic** – ea poate fi *apă de cristalizare*, caracterizată de prezența moleculei H₂O și *apă de constituție*, caracterizată de prezența grupării (OH)-. Mineralele hidratate cedează apa la temperaturi maxime de 300 – 4000C iar mineralele hidroxilice pierd apa la temperaturi ce pot ajunge la 13000C, odată cu distrugerea moleculei.
- **Apa capilară** – este menținută în pori și fisuri de către forțele de capilaritate. În funcție de poziția în profilul terenului și umiditatea acestuia deosebim: apă capilară suspendată; apă capilară mobilă; apă capilară discontinuă; apă capilară legată.
- **Apa liberă** – este considerată hidrodinamic activă și include *apa gravitațională* și *apa capilară mobilă*.

- ***Apa în stare solidă*** – are un caracter sezonier și se formează până la adâncimea de îngheț (cca. 0,4 m pentru București și cca. 1,2 m în zonele montane din România).
- ***Apa în stare supracritică*** – apare la temperaturi și presiuni ridicate, la adâncimi mari.



Zonarea umidității pe verticală



În cazul unui teren poros, permeabil, umiditatea în plan vertical este distribuită după următorul model tipic:

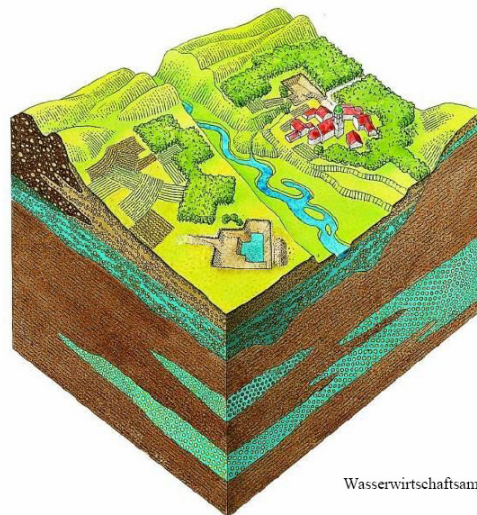
- **Zona de aerare** – aflată în partea superioară a profilului, între suprafața topografică și suprafața acviferului. Ea este împărțită în mai multe zone:
 - **Zona de evapotranspirație** – corespunzătoare practic profilului de sol. Umiditatea în această zonă este controlată de pierderea apei prin evapotranspirație, aici este prezentă o cantitate mare de apă sub formă de vapori.
 - **Zona de retenție (zona vadoasă)** – evapotranspirația este neglijabilă, apa este reținută de către forțele higroscopice și capilare, iar surplusul de apă din zona de evapotranspirație se deplasează descendent sub influența gravitației. Grosimea acestei zone este variabilă funcție de poziția nivelului piezometric (de la 0 la sute de metri în zonele aride).
 - **Zona capilară** – este generată de suprafața piezometrică, grosimea acestei zone este invers proporțională cu granulometria (cca. 2,5 cm pentru pietrișuri până la 700 cm pentru silturi).

- **Zona saturată** – se dezvoltă sub suprafața piezometrică și caracterizată de faptul că întregul volum al porilor este saturat de apă lichidă în diverse stări. La nivel general, limita inferioară a acestei zone este determinată de apariția temperaturilor și presiunilor critice (12 – 20 km. în domeniul continental).

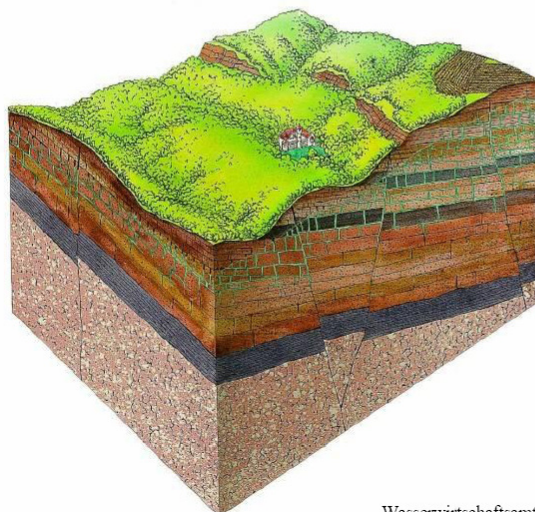
O componentă importantă a bilanțului hidrologic o reprezintă *apa infiltrată*. *Capacitatea de infiltrare* este definită ca viteza maximă cu care apa poate fi absorbită de sol pe unitatea de suprafață în condiții date. Această caracteristică este influențată direct de o serie de factori (Barcelona et. al., 1990):

- Umiditatea solului. Dacă solul este uscat, în parte superioară a sa potențialul capilar este foarte ridicat. În situația apariției unor precipitații, o cantitate mare de apă se va infiltra în sol, cantitate ce va scădea odată cu creșterea gradului de umiditate al solului.
- Compactarea solului determinată de precipitații.
- Colmatarea porilor din sol cu material fin transportat de fluxul infiltrat.
- Prezența unor microstructuri în sol determinate de activitatea organismelor, degradarea sistemului radicular etc., favorizează infiltrarea.
- Existența covorului vegetal favorizează infiltrarea prin faptul că reprezintă un mediu de viață pentru o serie de organisme care trăiesc în sol, precum și prin faptul că reduce scurgerea de suprafață și eroziunea solului generată de picăturile de ploaie.
- Temperatura – valorile scăzute ale acesteia cresc vâscozitatea apei, reducându-se astfel infiltrarea;
- Conductivitatea hidraulică verticală a terenului.
- Prezența aerului captiv în zona nesaturată, care determină reducerea conductivității hidraulice.
- Panta terenului;
- Acțiunea antropică.

Acvifere formate teren cu porozitate și în roci fisurate



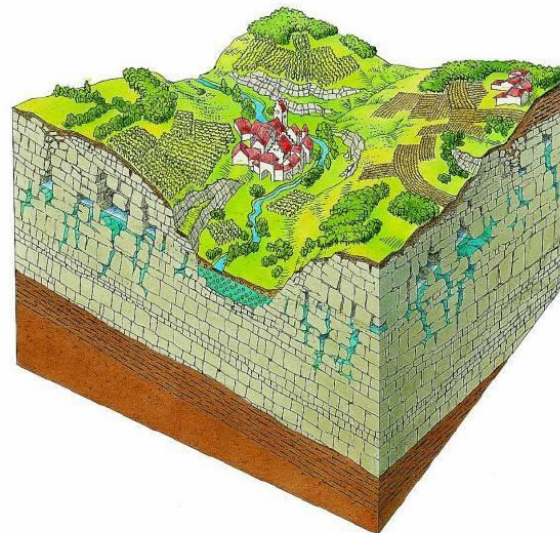
**Groundwater
in porous
media**
(Poren-
grundwasserleiter)



**groundwater
in fissured
rocks**
(Kluftgrundwasser-
leiter)

Wasserwirtschaftsamt Landshut

Acvifere formate teren cu porozitate și în carst



**groundwater
in Karst
formations**
(Karst-
grundwasserleiter)

Wasserwirtschaftsamt Landshut

Calitatea apei subterane funcție de tipul acviferului

Parameter	Quarzit	Sandstone	Carbonate rocks	Gypsum rocks
pH	6	7	7	7
el. conductivity (μS)	55	240	–	1250
total water hardness($^{\circ}\text{dH}$)	1	6	20	50
Ca^{++} (mg/l)	4	27	79	205
Mg^{++} (mg/l)	2	11	39	96
HCO_3^- (mg/l)	24	126	427	421
SO_4^{2-} (mg/l)	3	10	22	529

Hidrologie C10 - Hidrogeologie 2

- **Mișcarea apei;**
- **Caracteristicile terenurilor permeabile**

MIȘCAREA APEI

Caracteristicile zonei nesaturate, alături de proprietățile poluanților, regimul de precipitații și adâncimea nivelului hidrostatic, influențează în mod direct cantitatea de poluant ce poate pătrunde în acvifer. Zona nesaturată poate constitui un adevărat tampon între suprafața solului și apa subterană.

Transportul contaminanților la nivelul zonei nesaturate este în primul rând guvernat de deplasarea apei. În regim staționar, mișcarea apei în mediul poros este descrisă de ecuația lui *Darcy*:

$$q = K(\theta) \frac{\partial H}{\partial z}$$

q reprezentând volumul de apă ce curge prin unitatea de suprafață, în unitatea de timp ($\text{cm}^3/\text{cm}^2/\text{zi}$), $K(\theta)$ conductivitatea hidraulică funcție de conținutul volumetric de apă θ (cm^3/cm^3), H sarcina piezometrică (cm) iar z distanța (cm).

În zona mediu nesaturat, conductivitatea hidraulică descrește rapid odată cu scăderea conținutului de apă, dar ritmul acestei descreșteri este determinat de caracteristicile solului și în special de tensiunea sol-apă. Astfel, cu creșterea tensiunii sol - apă, conductivitatea hidraulică scade exponențial, observându-se scăderi ale conductivității cu 10 sau chiar 100 ordine de mărime, pentru mici reduceri ale conținutului de apă.

Ecuația lui Darcy satisface doar regimul de curgere staționar, pentru regim tranzitoriu, aceasta trebuie să fie combinată cu o ecuație de continuitate:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial q}{\partial z}$$

unde t este timpul. Din combinarea ecuațiilor rezultă *ecuația lui Richards*:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K(h) \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right]$$

Un alt element important în evaluarea conținutului de apă îl constituie infiltrarea acesteia în sol, ca urmare a precipitațiilor, activității de irigații, etc. Infiltrarea este determinată frecvent cu ajutorul *ecuației lui Horton*:

$$i = At^{-1/2}$$

unde i este rata de infiltrare (cm/zi), A este un parametru iar t este timpul.

Solurile cu un conținut inițial ridicat de apă au o conductivitate hidraulică ridicată și o capacitate de stocare redusă pentru apa infiltrată.

Porozitatea

Porozitatea este sistemul de goluri din masa unui sediment sau a unei roci. Din punct de vedere cantitativ porozitatea este reprezentată de raportul dintre golurilor și volumul total al terenului respectiv:

$$n = \frac{V_g}{V} \cdot 100$$

unde n – porozitatea; V_g – volumul golurilor; V – volumul total.

Porozitatea primară are în general un caracter interstițial și ia naștere odată cu formarea depozitului sau rocii și este dependentă de dimensiunea și forma particulelor constituente. Porozitatea primară poate suferii în timp modificări în sensul creșterii sau reducerii, rezultatul fiind **porozitatea secundară**. Aceasta din urmă este în general cauzată de acțiunea de dizolvare a apei, de alterarea

minerales din rocă, de cristalizare sau deshidratare, de fisurarea rocilor din cauza mișcărilor tectonice.

Depozitele solubile (calcar, sare, ghips, etc.), au o porozitate de tip secundar ca urmare a proceselor de dizolvare ce se dezvoltă pe sistemele de fisuri.

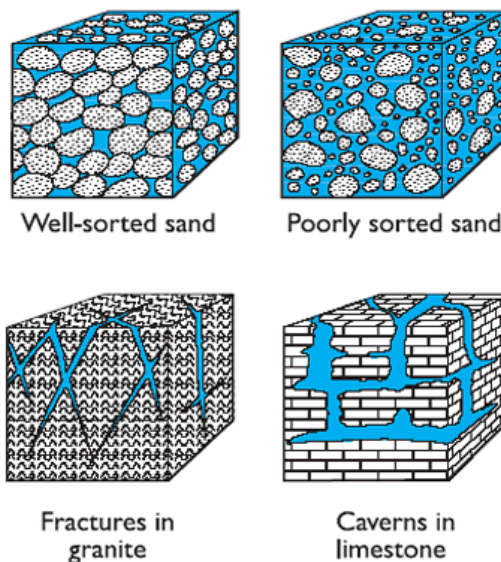
Din punct de vedere al “disponibilității” sistemului de pori pentru deplasarea apei, deosebim două componente ale porozității :

Porozitatea activă este reprezentat de volumul de goluri prin care apa poate circula liber și poate fi complet drenată gravitațional ;

Porozitatea de retenție este reprezentată de golurile care nu comunică între ele și nu participă la formarea permeabilității.

$$n = n_a + n_r$$

unde n – porozitatea totală ; n_a – porozitatea activă ; n_r – porozitatea de retenție.



Permeabilitatea

Permeabilitatea este proprietatea unui mediu poros de a permite lichidelor și gazelor să se deplaseze prin el, sub acțiunea combinată a gravitației și presiunii. Cantitativ permeabilitatea se exprimă prin coeficientul de permeabilitate :

$$K_p = C \cdot d^2$$

unde: C coeficient adimensional determinat de forma particulelor; diametrul mediu al particulelor, unitatea de măsură este *Darcy*.

Permeabilitatea este direct proporțională cu granulozitatea, cu cât aceasta este mai fină, permeabilitatea se reduce.

Umiditatea

Umiditatea reprezintă cantitatea de apă conținută în sol, ea este dependentă de condițiile meteorologice în zona de aerare și este maximă în zona saturată. Cel mai frecvent umiditatea se exprimă prin *umiditatea volumică* și *gradul de saturație*.

Umiditatea volumică reprezintă raportul dintre volumul apei și volumul total al rocii:

$$w_v = \frac{V_a}{V}$$

unde V_a – volumul apei iar V – volumul total al rocii.

Gradul de saturație reprezintă raportul dintre volumul de apă din pori și volumul total al porilor:

$$S_r = \frac{V_a}{V_p}$$

unde V_p – volumul porilor.

Vâscozitatea

Vâscozitatea este proprietatea fluidelor de a se opune deformațiilor relative care se manifestă între straturile adiacente de fluid aflate în mișcare relativă fără ca deformațiile să fie însoțite de variații ale volumului. Vâscozitatea lichidelor este direct proporțională cu temperatura, iar cea a gazelor este invers proporțională.

Tensiunea superficială

Tensiunea superficială este energia pe unitatea de suprafață la interfața a două medii (ex: apă - aer) care dă naștere *capilarității*. Are ca unitate de măsură *dyne/cm*. Acest fenomen este deosebit de important, el guvernând relațiile solid - lichid la interfața dintre acestea.

Conductivitatea hidrolică

Conductivitatea hidrolică este o proprietate a unui mediu poros saturat care determină relația, numită *legea lui Darcy*, între debitul specific și gradientul hidrolic care provoacă mișcarea.

Legea lui Darcy :

$$U = K \cdot i$$

unde K – conductivitatea hidrolică, i – gradientul hidrolic, U – viteza de filtrare.

De aici rezultă semnificația atribuită în mod curent conductivității hidrolice – viteza de filtrare la un gradient hidrolic unitar.

Conductivitatea hidrolică este determinată de:

permeabilitatea intrinsecă a formațiunii geologice (K_p);

proprietățile fizice ale apei (γ , μ);

gradul de saturație al formațiunii (wv).

$$K = \frac{K_p \gamma}{\mu}$$

Pentru o formațiune geologică conductivitatea hidrolică K este:

unde Kp – permeabilitatea intrinsecă, γ – greutatea volumică a apei și μ – vâscozitatea dinamică a apei.

Domeniul de variație al conductivității hidraulice este între 10^{-9} – 10^{-6} cm/sec pentru argile și 10^{-2} – 1 cm/sec pentru pietriș sortat (C.W. Fetter, 1994).

Hidrologie C11 - Hidrogeologie 3

Tipuri de acvifere

Acviferul este zona saturată cu apă a unei formațiuni permeabile, prin care poate avea loc o curgere semnificativă (conductivitatea hidraulică, $K > 0,1 \text{ m/zi}$) a curentului de apă.

Clasificarea acviferelor – criterii:

- condițiile de acumulare ale apelor subterane;
- variabilitatea parametrilor terenurilor permeabile;
- caracteristicile fizico-chimice ale apelor subterane;
- starea energetică a apei subterane.

Condițiile de acumulare ale apelor subterane – sunt dependente de litologia și structura formațiunii acvifere, deosebim astfel:

- acvifere formate în sedimente neconsolidate;
- acvifere formate în roci sedimentare consolidate;
- acvifere formate în roci magmatice sau metamorfice.

Variabilitatea parametrilor terenurilor permeabile – în funcție de acest criteriu deosebim două tipuri fundamentale:

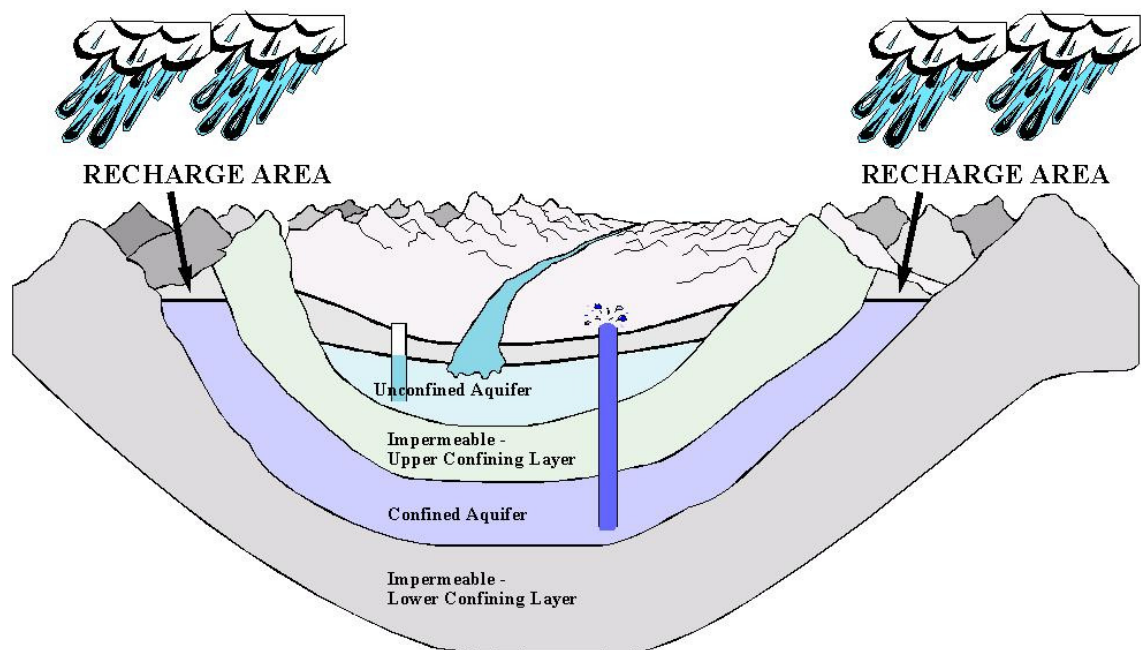
- *omogene și izotrope* – valoarea parametrilor este aceeași în întreg spațiul reprezentat de acvifer și variabilitatea este constantă în toate direcțiile;
- *neomogene și anizotrope* – valoarea parametrului este diferită de la un punct la altul iar variabilitatea se modifică cu direcția.

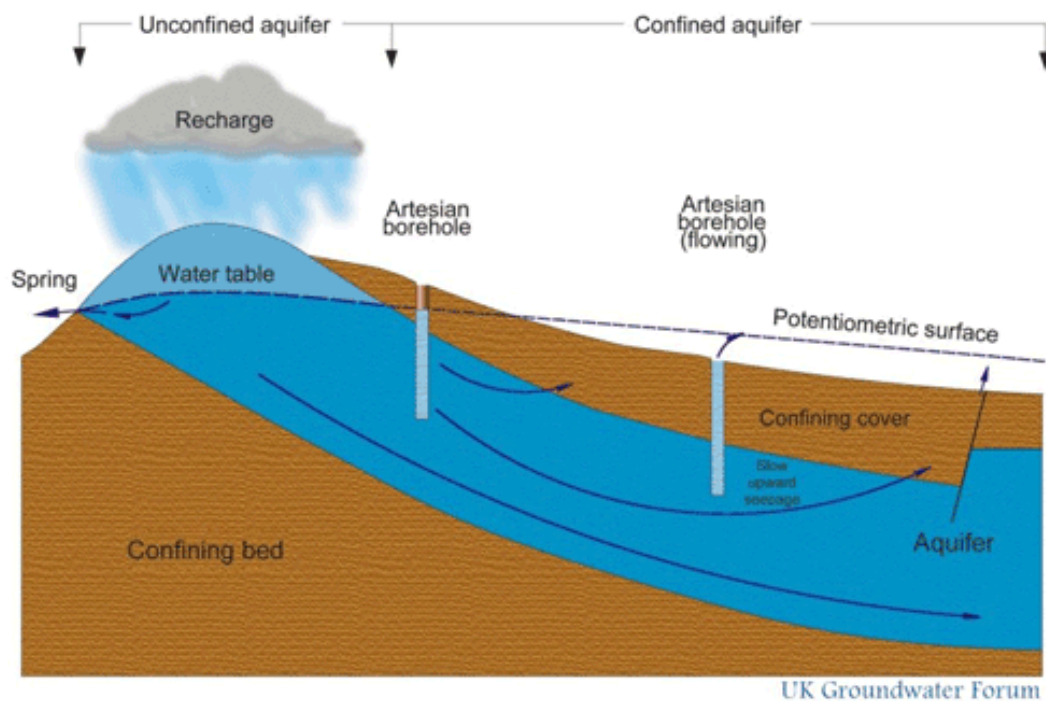
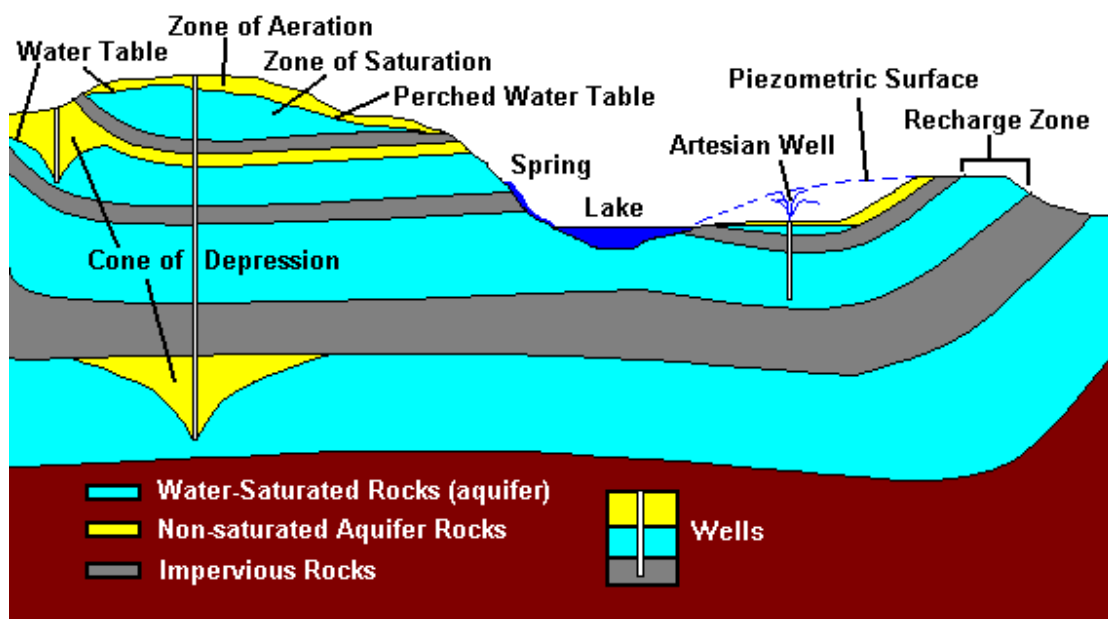
Caracteristicile fizico-chimice ale apei subterane – condiționează modul de utilizare al resurselor de apă, deosebim:

- acvifere termale - temperatura apei > 23 grd C
 - hipotermale – temperatura este cuprinsă între 23 – 36 grd C ;
 - mezotermale – temperatura apei este cuprinsă între 36 – 42 grd C ;
 - hipertermale – temperatura este mai mare de 42 grd C ;
- acvifere minerale – apele subterane au anumite caracteristici chimice (mineralizație totală mai mare de 1 g/l pentru apele terapeutice ; conținutul de bioxid de carbon mai mare de 10 g/l).

Cel mai utilizat criteriu de clasificare este cel al stării energetice a apei subterane, clasificare ce va fi prezentată în detaliu, se va ține cont și *gradul de deschidere hidrogeologică*. Din aceste puncte de vedere deosebim:

- *acvifere cu nivel liber;*
- *acvifere sub presiune.*



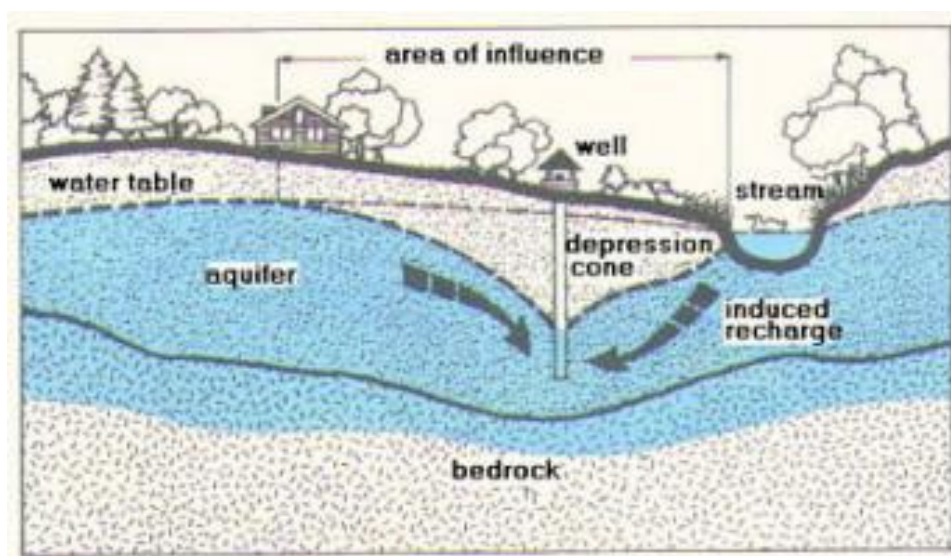
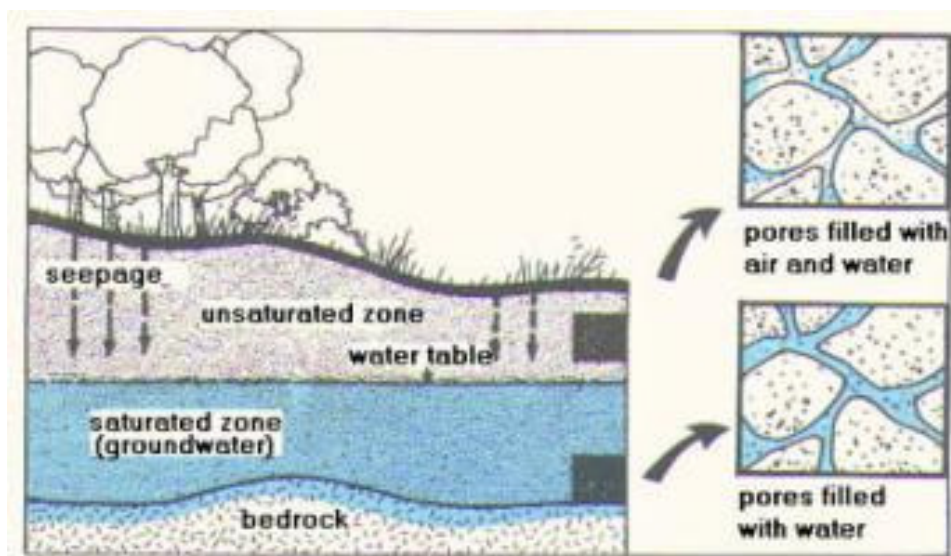


Acviferele cu nivel liber

Morfologia nivelului hidrostatic este influențată de morfologia suprafeței topografice, fiind în general similară cu aceasta dar cu variații mult mai atenuate.

Deplasarea apei în acvifer se face gravitațional în virtutea unui *gradient hidraulic*. Ca și în cazul rețelei hidrografice această deplasare a curentului subteran este condiționată de poziția *bazei locale de eroziune*.

Apa subterană ajunge la suprafață, atunci când nivelul hidrostatic intersectează în mod natural suprafața topografică, situație în care apar izvoare sau acviferul se află în legătură hidraulică cu rețeaua hidrografică.



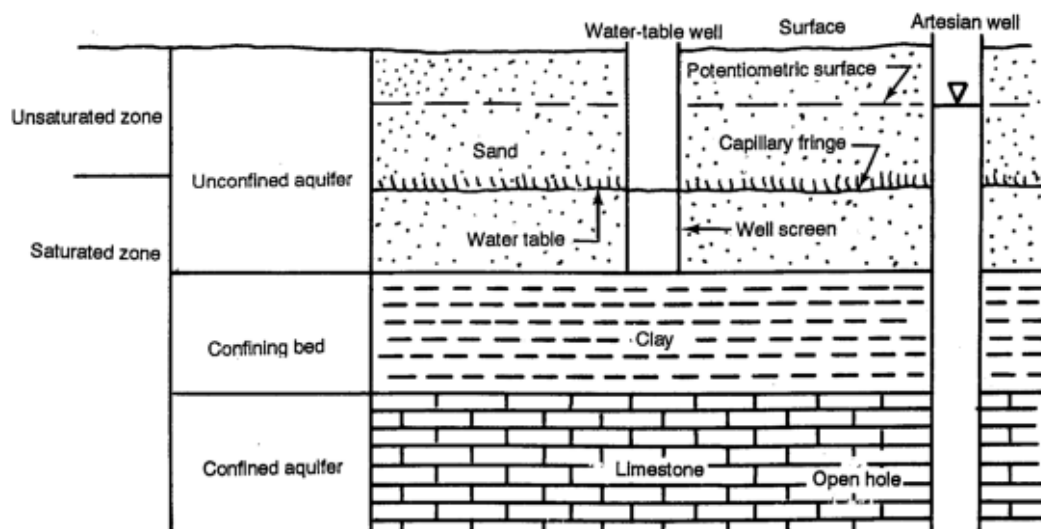
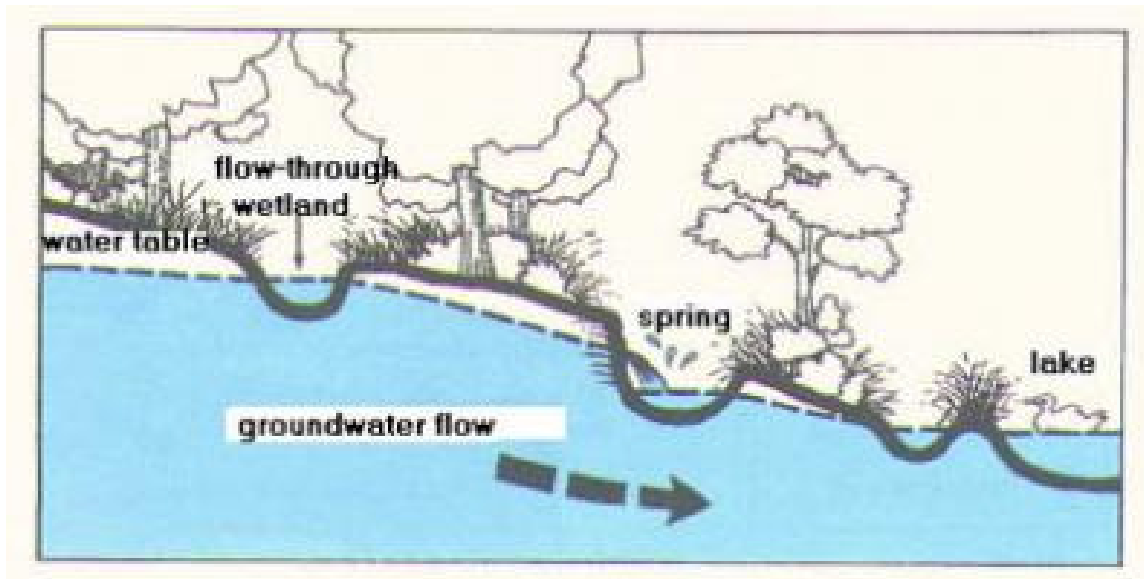


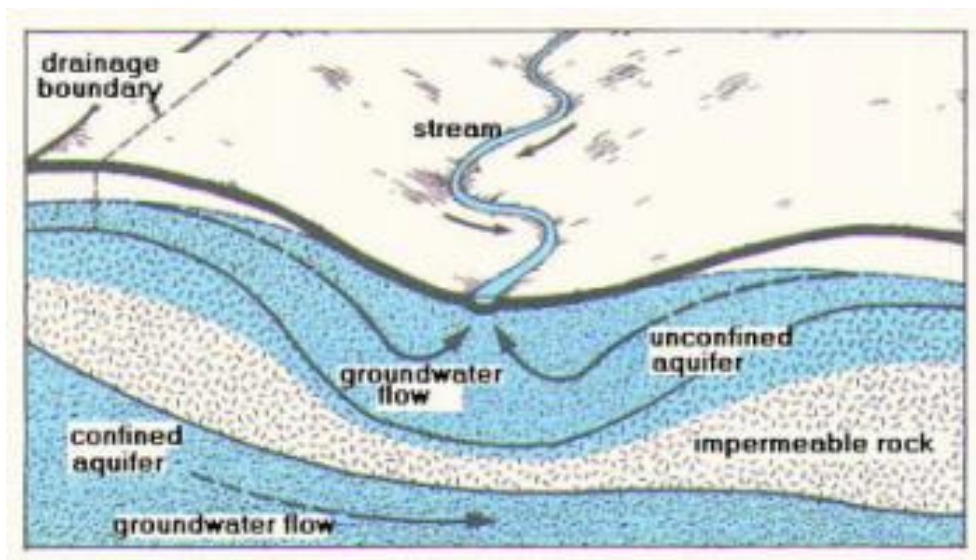
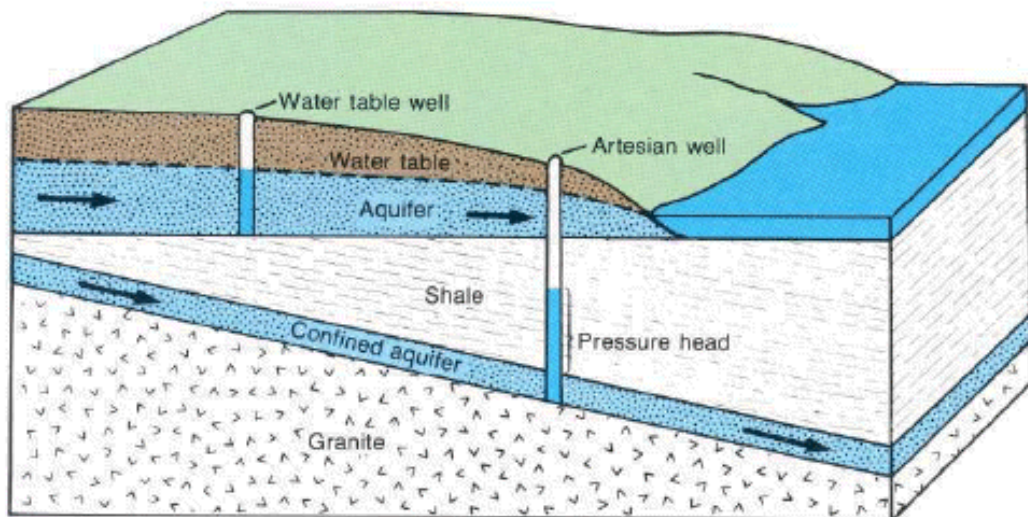
Figure 2-12. Unconfined aquifer

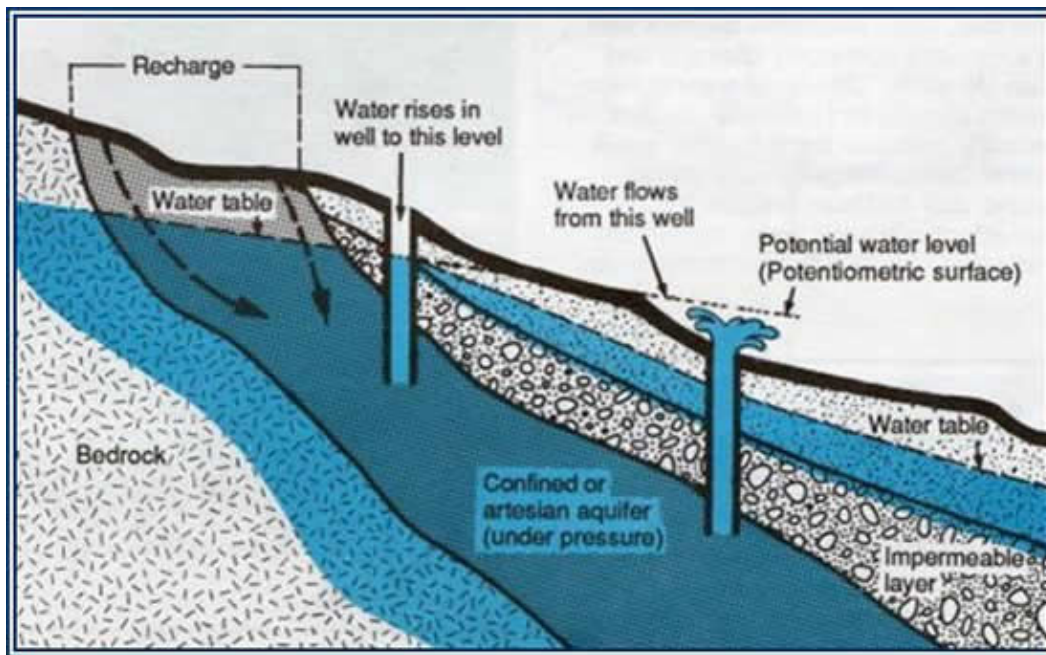
Acviferele sub presiune

Se formează în terenurile permeabile delimitate în partea superioară de formațiuni acoperitoare impermeabile sau cu permeabilitate redusă.

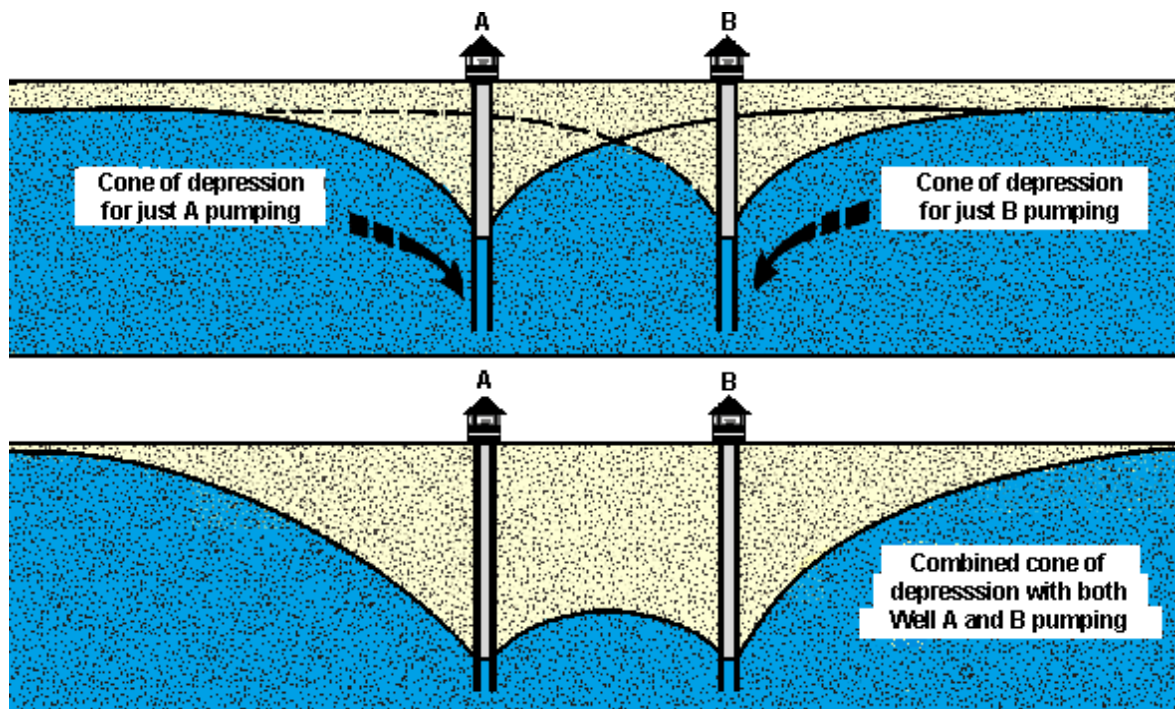
În funcție de sarcina piezometrică acviferele sub presiune pot fi ascensionale sau arteziene (situație în care sarcina piezometrică este mai mare decât cota suprafeței topografice).

O caracteristică importantă ce deosebește cele două tipuri principale de acvifere (cu nivel liber și sub presiune) este poziția și extinderea zonei de alimentare a acviferului. În cazul acviferelor cu nivel liber, alimentarea se face prin infiltrații pe toată suprafața lor, practic zona de extindere a acviferului coincide cu zona de alimentare. În cazul acviferelor sub presiune, zona de alimentare nu se extinde pe întreaga suprafață a acviferului, frecvent alimentarea se face prin capetele de strat. În multe cazuri, zonele de alimentare ale acviferelor sub presiune pot fi situate la distanțe mari față de zonele eventualelor captări ale acestor acvifere.





Această „comportament” al acviferelor impune necesitatea realizării unor calcule precise în ceea ce privește parametrii de exploatare precum și delimitarea zonelor de influență a exploatării, în care regimul natural de curgere este perturbat. Dinamica poluanților în mediul geologic (zona vadoasă, acvifer) este de cele mai multe ori influențată direct de modul de exploatare de către om a acestei resurse naturale.



Hidrologie C12 - Schematizarea hidrostructurilor

Simplificarea complexității hidrostructurilor în condițiile menținerii caracteristicilor reprezentative pentru:

- spațiul în care are loc scurgerea subterană;
- caracteristicile hidrofizice ale terenurilor a căror distribuție spațială condiționează caracteristicile curgerii apei subterane;
- condiții hidrodinamice ale curgerii la limitele hidrostructurii și în interiorul acesteia.

Etapele schematizării:

- *Schematizarea spațială* – precizează geometria spațiului în care are loc curgerea apelor subterane;
- *Schematizarea parametrică* – evaluarea distribuției spațiale a parametrilor care descriu caracteristicile hidrofizice ale terenului;
- *Schematizarea hidrodinamică* – precizarea frontierelor hidrodinamice ale sistemului acvifer și a condițiilor hidrodinamice inițiale în interiorul acestuia.

Reprezentativitatea modelului matematic utilizat pentru evaluarea curgerii apelor subterane este condiționat de reprezentativitatea modelului conceptual al hidrostructurii și asigură similaritatea reacției modelului cu cea a hidrostructurii reale, la o perturbare hidrodinamică sau fizico-chimică.

Schematizarea spațială

- ❖ Urmărește simplificarea formei suprafețelor care definesc spațial hidrostructura.

Morfologia este schematizată sub formă grafică prin secțiuni geologice, bloc diagrame, harți structurale. Datele provin în general din cartarea de suprafață, foraje geologice și hidrogeologice și prospecțiuni geofizice.

Alături de elementele morfologice caracteristice ale hidrostructurii o atenție deosebită se acordă precizării continuității hidrodinamice a depozitelor permeabile (determinări de niveluri piezometrice)

- Extinderea cercetării:
 - *extinderea regională* (evaluarea resurselor naturale ale hidrostructurii) – modelul conceptual se extinde până la limitele fizice ale structurii (zone de aflorare, falii impermeabile, zone de drenaj...);
 - *extinderea locală* (studii hidrogeologice de interes local) – modelul se extinde în general până la limita zonei de influență (estimată prin metode analitice simplificate sau prin măsurători de nivel)

Schematizarea parametrică

❖ metodologia este aplicată tuturor parametrilor hidrostructurii, în special:

- porozității active;
- conductivității hidraulice;
- coeficientului de difuzivitate hidraulică și înmagazinare;
- coeficientului de realimentare;
- coeficientului dispersiei hidrodinamice, etc.

Rezultatul acestei schematizări este imaginea distribuției spațiale a parametrilor studiați (estimare prin kriging, simulare condiționată pe baza legii de distribuție a parametrului)

Variabilitatea parametrului este tradusă prin:

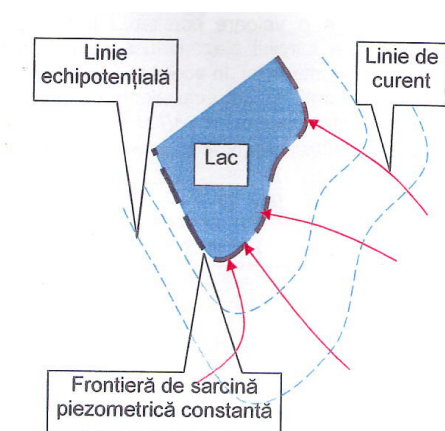
- variabilitatea parametrului de la un punct la altul (omogenitate sau neomogenitate);
- variația valorii pe diverse direcții (izotropie sau anizotropie)

Mediul poate fi omogen și izotrop sau neomogen și anizotrop

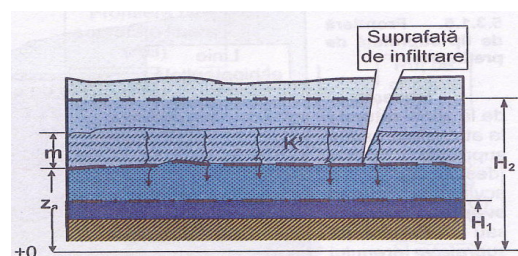
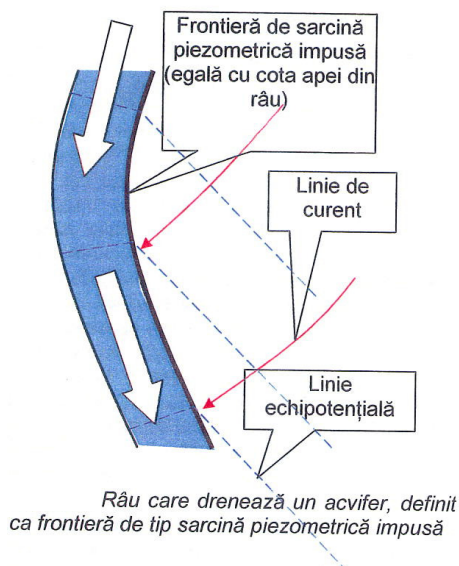
- Extinderea cercetării:

- *extindere regională* – presupune în general estomparea variabilității parametrilor, se tinde spre adoptarea unei distribuții omogene și izotrope;
- *extinderea locală* – presupune o rigurozitate specifică legată de descrierea distribuției parametrilor.

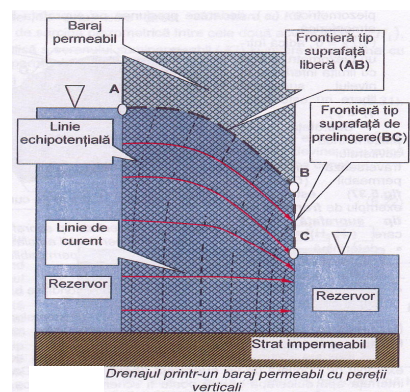
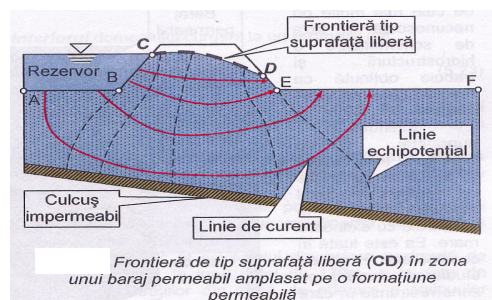
Schematizarea hidrodynamică



Malul unui lac definit ca frontieră/margine de tip sarcină piezometrică constantă pentru acviferul drenat



după Scrădeanu D., Gheorghe



după Scrădeanu D.,

- ❖ se materializează prin precizarea:
- condițiilor hidrodinamice pe frontierele modelului;
- condițiilor hidrodinamice inițiale în interiorul frontierelor.

Condițiile hidrodinamice pe frontierele modelului

- frontieră de tip sarcină piezometrică impusă (Dirichlet);
- frontieră de tip debit impus (Newmann);
- frontieră de tip dependent de sarcina piezometrică;
- frontieră de tip suprafață liberă;
- frontieră de tip suprafață de prelingere.

Hidrologie C13 – Contaminarea apelor subterane

Principiile contaminării apelor subterane

CAUZELE ȘI SURSELE CONTAMINĂRII

Contaminant al apelor subterane - orice substanță sau materie de natură fizică, chimică, biologică sau radiologică din apa subterană. Contaminanții pot fi introduși în apa subterană prin activități ce decurg natural, cum ar fi alunecările naturale de teren și amestecarea cu alte surse de apă subterană având diferite tipuri de chimism. Ele sunt de asemenea, introduse de acțiuni umane planificate cum ar fi eliminarea deșeurilor, activități miniere sau agricole.

Cele mai răspândite activități umane ce cauzează contaminarea apelor subterane sunt: (1) eliminarea deșeurilor, (2) stocarea și transportul materialelor, (3) activități miniere, (4) operațiunile agricole și (5) alte activități

Eliminarea deșeurilor

DEȘEURILE LICHIDE

Fosele septice și hăznalele aduc o contribuție la scurgerea apei de canal filtrată direct în solul care poate introduce concentrații mari de BOD, COD, nitrați, substanțe chimice organice și posibil bacterii și virusuri în apele subterane (Mallmann și Mack 1961; Miller 1980). De asemenea, clorinarea apelor cu deșeuri ce se scurg și folosirea substanțelor chimice organice pentru a curăța sistemele septice care produc potențiali poluanți suplimentari (Council on Environmental Quality 1980).

Cu privire la deșeurile lichide municipale, aplicarea pe teren a apei de canal scurse și a nămolului este poate cel mai mare contribuitor la contaminarea apelor subterane. Apa cu deșeuri tratată și nămolul au fost aplicate pe terenuri de-a lungul mai multor ani pentru a reîncărca apele subterane și pentru a pune la dispoziția solului nutrienți ce fertilizează pământul și stimulează creșterea plantelor (Bauer 1974; U.S. EPA 1983). Cu toate acestea, aplicarea pe teren a apelor de canal ce se scurg pot introduce bacterii, virusuri și chimicale organice și anorganic în apele subterane (U.S. EPA 1983).

O altă sursă majoră municipală de contaminare a apelor subterane o reprezintă scurgerile de suprafață din zonele urbane. În multe zone urbane, cantități mari de săruri și aditivi sunt aplicate pe șosele în timpul lunilor de iarnă. Aceste săruri și aditivi facilitează topirea gheții și a zăpezii; cu toate acestea, aceștia se pot strecura alături de apa din pământ și cauzează contaminarea apelor subterane a acviferelor superficiale (Field et al. 1973). În plus, solubilitatea ridicată a acestor săruri în apă și mobilitatea relativ ridicată a contaminanților ce rezultă cum ar fi ionii clorurilor din apele subterane pot cauza extinderea zonei contaminate (Terry 1974).

Cu privire la deșeurile lichide industriale, injectarea acestora în structuri hidrogeologice aduce probabil cea mai mari contribuție la contaminarea apelor subterane. După cum legislația care protejează resursele de apă de suprafață a devenit mai strictă, folosirea injectării deșeurilor în colectoare hidrogeologice devenit o soluție atractivă de eliminare a deșeurilor lichide din multe ramuri industriale. Cu toate acestea, migrarea fluidelor dintr-un puț de injecție, într-un acvifer, printr-o legătură hidrolică cu alte structuri, poate cauza contaminarea apelor subterane (Council on Environmental Quality 1981). Extinderea și severitatea contaminării apelor subterane din aceste surse este și mai complicată datorită dinamicii de multe ori imprevizibile și caracterului persistent al compușilor chimici contaminanți.

DEȘEURILE SOLIDE

Eliminarea și stocarea deșeurilor solide industriale și municipale pe terenuri este o altă cauză posibilă a contaminării apelor subterane. Haldele de deșeuri reprezintă o sursă de poluare prin pătrunderea apei de ploaie și a apei de suprafață sau prin contactul direct cu apele subterane.

Levigatul rezultat poate conține un nivel ridicat de BOD, COD, nitrați, cloruri, alcalinitate, elemente urmă și chiar constituenți toxici pot degrada calitatea apelor subterane. În plus, descompunerea biochimică a materiei organice din deșeuri generează gaze cum ar fi metanul, dioxidul de carbon, amoniacul și hidrogenul sulfurat, care pot migra prin zona nesaturată în terenurile adiacente și pot genera explozii datorită metanului (Flower 1976; Mohsen 1975).

Depozitarea și Transportul Materialelor Comerciale

Contaminarea apelor subterane ca urmare a depozitarii și transportului materialelor, rezultă din posibilele scurgeri din containerele de depozitare.

CONTAINERELE DE DEPOZITARE

Containerele utilizate pentru depozitarea subterană și supraterană precum și conductele de transport constituie surse ale contaminării apelor subterane. Dintre toate acestea impactul cel mai mare îl au containerele subterane utilizate la stocarea hidrocarburilor. Aceste conducte și containere sunt adesea supuse acțiunii de coroziune, precum și apariției avariilor structurale, urmate de apariția scurgerilor. Cele mai frecvent afectate sunt containerele construite din oțel și neprotejate împotriva coroziunii.

Produsele din benzină și petrol conțin componente precum: benzen, toluen, xilen, care sunt foarte solubile în apele subterane.

Vaporii de hidrocarburi și compușii imiscibili, ramași captivi în matricea terenului, continuă să constituie surse de poluare pe termen lung pentru apele subterane.

Operațiunile miniere

Apele subterane pot fi contaminate prin intermediul canalizărilor de la mine și prin uleiul și gazul de la operațiunile miniere.

MINELE

Sistemele de canalizare de la carierele abandonate cât și de la minele subterane pot produce o varietate de probleme de poluării apelor subterane.

Apa de ploaie, în special ploaia acidă, suprafețele miniere expuse excesiv produc deșeuri puternic mineralizate la care se face referire ca *scrugeri miniere acide*.

Aceste resturi se pot infiltra în sol și pot degrada calitatea apelor subterane. În plus, scurgerea apei prin minele subterane poate contribui la levigarea metalelor toxice, care astfel ajung în apa subterană.

Oxidarea și scurgerea corelate cu exploatarea minieră a cărbunelui produc concentrații mari de fier și sulf și un pH scăzut al apei.

ULEIUL ȘI GAZUL

Operațiunile de exploatare minieră a gazului și a uleiului pot provoca de asemenea contaminarea apelor subterane. Aceste operații generează o cantitate substanțială de apă încărcată cu deșeuri, de multe ori cunoscută sub numele de *apă sărată*. Apa sărată este de obicei injectată în colectoare adânci. Așadar, componenții ei (amoniacul, borul, calciul, solide dizolvate, sodiul, sulful și

metalele urmă) pot ajunge la apa subterană și pot degrada ulterior calitatea acesteia.

Activitățile agricole

Folosirea fertilizatorilor și a pesticidelor în activitățile agricole poate contamina apa subterană.

FERTILIZATORII

Fertilizatorii sunt cauza primordială a contaminării apelor subterane din zonele agricole.

Atât fertilizatorii anorganici cât și cei organici (rezultați din dejecții umane și animale), aplicați pe terenurile agricole, pun la dispoziție nutrienți precum azotul, fosforul și potasiul, care fertilizează solul și favorizează creșterea plantelor.

O parte din acești nutrienți, trece de obicei prin sol și ajunge la stratul de apă subterană. Fertilizatorii cu fosfați și potasiu sunt repede absorbiți de particulele de sol și constituie rar o problemă de poluare. Cu toate acestea numai o parte din azot este absorbită de sol și folosită de plante iar restul este dizolvat în apă pentru a forma nitrați în procesul numit *nitrificare*. Nitrații sunt mobili în apa subterană și au potențial nociv asupra oamenilor și animalelor domestice dacă sunt consumați în mod regulat.

PESTICIDELE

Pesticidele, ierbicidele și fungicidele folosite pentru distrugerea paraziților animalii nedoriti, a plantelor nedorite și a fungilor pot de asemenea cauza contaminarea apelor subterane.

Când sunt aplicate pe teren sau împrăștiate pe câmpurile de cultură aceste substanțe chimice degradează mediul printr-o diversitate de mecanisme. Cu toate acestea, compușii lor de bază și cei rezultați anterior persistă destul timp pentru a cauza un impact negativ asupra solului și a apelor subterane.

Alte activități

Comunicarea acviferelor și intruziunea apelor sărate sunt alte două activități umane care cauzează contaminarea apelor subterane.

SCHIMBUL INTERACVIFER

În cazul în care două acvifere sunt conectate hidraulic, contaminarea poate avea loc atunci când contaminanții sunt transferați de la un acvifer contaminat la altul curat. Schimbul interacvifer este întâlnit când un puț adânc traversează mai mult decât un acvifer pentru a pune la dispoziție un randament crescut sau în cazul în care o fântână abandonată sau folosită necorespunzător servește drept legătură între două acvifere cu sarcini piezometrice diferite sau de calitate diferite. Legătura hidraulică poate permite contaminanților din acvifere cu sarcini hidraulice mai mari să se deplaseze în acvifere cu sarcini hidraulice mai mici.

INTRUZIUNEA APELOR SĂRATE

Intruziunea apelor sărate în apa subterană dulce, este o altă sursă de contaminare a apelor subterane. Intruziunea apelor sărate se produce de obicei când echilibrul hidrodinamic dintre apa dulce și apa sărată este perturbat, cum ar fi cazul în care apa subterană dulce este supraexploată din acviferele de coastă.

Intruziunea apei sărate poate de asemenea apărea când barierele naturale care separă apa dulce de apa sărată sunt distruse, cum ar fi construirea unor canale de drenaj pe coastă care permit apei din mare să avanseze spre interiorul terenului și să pătrundă într-o apă dulce.

TRANSFERUL CONTAMINANȚILOR ÎN APELE SUBTERANE

Când un contaminant e introdus în mediul geologic, dinamica și concentrația sa sunt controlate de o varietate de procese fizice, chimice și biochimice care au loc între contaminant și constituenții mediului subteran.

Contaminanții organici

Reacțiile fizico-chimice care pot modifica concentrația unui contaminant organic din apa subterană pot fi grupate în 5 categorii: (Arthur D. Little (1976) și Rao și Jessup (1982)). Acestea sunt: (1) hidroliza contaminantului în apă, (2) oxido-reducerea, (3) biodegradarea contaminantului de către microorganisme, (4) adsorbția contaminantului de către sol și (5) volatizarea contaminantului în aerul prezent din zona nesaturată. Relativa importanța a fiecăreia dintre aceste reacții depinde de caracteristicile fizice și chimice ale contaminantului și de condițiile specifice ale mediului geologic.

Contaminanții anorganici

Informațiile asupra comportamentului majorității substanțelor chimice organice în apele subterane sunt limitate. Compușii importanți din punct de vedere agricol au fost studiați timp de mai mulți ani; cu toate acestea, compușii anorganici cum ar fi metalele au început de curând să atragă atenția la un nivel

larg răspândit, din moment ce contaminarea apelor subterane și a solului devin o problemă. Această secțiune ilustrează unele dintre cele mai importante procese pentru mai multe grupuri de contaminanți anorganici și impactul acestor procese asupra concentrației și mobilității contaminanților.

Constituenții anorganici în mediul subteran pot fi clasificați în următoarele patru categorii:

- nutrienții,
- acizi și bazele,
- halogenuri și metalele.

NUTRIENȚII

Nutrienții ca azotul, fosforul și sulful sunt esențiali pentru creșterea plantelor și a microorganismelor. Ei sunt aplicați fie la suprafața terenului pentru a crește fertilitatea, fie descărcați cu ape curgătoare cu deșeuri care conțin cantități considerabile de asemenea nutrienți. Acești nutrienți, pot avea concentrații considerabile, pot leviga în sol și pot afecta în mod negativ calitatea apelor subterane.

Azotul (N) se află în deșeuri, sol și în atmosferă în forme variate cum ar fi amoniacul, amoniul, nitrați, nitriți și azot molecular. Azotul este transformat în amoniac (NH_4^+) printr-un proces numit *amonificare*. Datorită sarcinii sale pozitive, amoniacul poate fi menținut în sol în locurile caracterizate de schimb cationic. Amoniacul poate fi de asemenea transformat temporar în nitrit (NO_2^-) și apoi în nitrat (NO_3^-) prin intermediul nitrificării aerobice a organismelor prin procesul numit nitrificare.

Amonificarea și nitrificarea apar în mod normal în zona nesaturată când microorganismele și oxigenul abundă, dar nitratul poate fi repede levigat dintr-un sol într-o apă subterană unde poate prezenta un risc, nitratul este foarte mobil în apele subterane datorită sarcinii sale negative. Denitrificarea este un proces prin

care NO_3^- este redus la oxidul de azot (N_2O) și la azot elementar (N_2) prin bacterii anaerobice facultative (Downing, Painter și Knowels 1964; Freeze și Cherry 1979; Bemner și Shaw 1958).

Fosforul (P) se găsește în deșeurile organice, în carierele cu roci fosfatice, în fertilizatori și pesticide, în concentrații destul de mari pentru posibila levigare în apele subterane. Descompunerea deșeurilor organice și dezagregarea fertilizatorilor anorganici pun la dispoziție fosfor solubil, ortofosfat solubil și o varietate de fosfați condensați, tripolifosfați, fosfați adsorbiți și fosfați cristalizați (U.S. EPA 1983). Hidroliza și mineralizarea acestor produși pune la dispoziție fosfat solubil care poate fi folosit de plante și microorganisme, adsorbit în particulele solului sau levigat în apele subterane. De asemenea, fosforul nu este un constituent dăunător în apa potabilă, prezența lui în apele subterane este importantă din punct de vedere al mediului dacă apa subterană este drenată de corp de apă în care fosforul poate produce creșterea algelor și fenomene de eutrofizare.

Sulfur (S) se găsește în cantități considerabile în apele curgătoare cu contaminate de la rafinarea zahărului, rafinarea petrolului și în zonele de extragere a cuprului și a fierului. Bacteriile aerobe pot oxida formele reduse ale sulfurului pentru a forma sulfat care poate fi foarte bine adsorbit în sol când cationul adsorbit de argilă este aluminiul; relativ bine adsorbit când cationul este calciul și slab adsorbit când cationul este potasiul (Tisdale și Nelson 1975). Pierderile levigate de sulf în apele subterane pot fi foarte mari din cauza structurilor anionice ale sulfurului și a solubilității majorității sării sale. Levigarea este mai intensă când cationii sunt monovalenți (potasiul și sodiul); levigarea este moderată când predomină calciul și manganul și este minimă când solul este acid și sunt prezente nivele considerabile de aluminiu și fier ce pot fi schimbate.

ACIZII ȘI BAZELE

Deșeurile lichide industriale cuprind cantități mari de acizi și baze anorganice care pot deteriora proprietățile solului. Acizii pot crește cantitatea de aluminiu (Al), de fier (Fe) și alți cationi în faza lichidă a sistemului de sol după cum ionul de hidrogen (H^+) concurează pentru locurile cu schimb de cationi. Dacă cantități semnificative de H^+ sunt prezente, ele se pot dizolva cu atât mai multe minerale acide solide, eliberând cationi care sunt fixați anterior pe structura minerală în faza apoasă (Dragun 1988b). Mai mult, acizii pot cauza dizolvarea unor minerale argiloase și în general pot crește permeabilitatea solului. Bazele pot crește cantitatea de cationi din faza apoasă prin dizolvarea mineralelor solubile ale solului. Bazele pot de asemenea cauza disoluția unor minerale argiloase predominante ale solului și în general scade permeabilitatea solului.

HALOGENURILE

Apar natural în soluri și sunt de asemenea prezente în multe ape curgătoare cu deșeuri industriale.

Fluorul (F) este prezent în fertilizatorii fosfatici, fluorul hidrogenat, hidrocarburile fluorinate și anumite deșeuri ale rafinării petrolului. Levigarea și mobilitatea fluorinei poate fi intensă datorită structurilor anionice ale fluorului și solubilitatea unora din sărurilor sale (Bemner și Shaw 1985). Sărurile de sodiu ale fluorului (NaF) sunt solubile și au ca rezultat în niveluri ale fluorului cu solubilitate ridicată în solurile cu puțin calciu. Fluorurile de calciu (CaF_2), sunt relativ insolubile și limitează cantitatea de fluor levigată în apa subterană. Solubilitatea fluorului depinde de tipul și cantitatea relativă de cationi prezenți în sol, care formează săruri cu ionul de fluor (F^-).

Clorul (Cl) este prezent în producerea de hidrocarbon clorinat și producerea deșeurilor gazului cloric și de asemenea în alte deșeuri. Clorul este solubil și mobil în apele subterane datorită structurii sale anionice.

Bromul (Br) este prezent în vopselele organice sintetice, deșeurile petrochimice amestecate, stocurile fotografice și în deșeurile farmaceutice și anorganice. Alte forme de brom ca bromurile și acidul bromic apar natural în soluri în concentrații mai mici. Majoritatea sărurilor bromului (CaBr, MgBr, NaBr și KBr) sunt solubile și levighează rapid în apă infiltrându-se în sol până la apa subterană (U.S. EPA 1983).

Iodul (I) este prezent în deșeurile industriale farmaceutice și chimice. Iodul este foarte puțin solubil în apă și tinde să fie reținut în soluri prin formarea complexelor cu materia organică și fiind fixat de către fosfați și sulfati.

METALELE

Metalele se găsesc în deșeurile industriale într-o varietate de forme. Când aceste metale sunt introduse în mediul subteran, ele pot reacționa cu apa și solul în diverse procese fizico-chimice pentru a produce concentrații considerabile ce afectează calitatea apelor subterane. Cele mai importante procese care afectează concentrația și mobilitatea metalelor în apele subterane includ filtrarea, precipitarea, complexarea și schimbul de ioni.

Filtrarea apare când materia solidă și dizolvată este prinsă în spațiile dintre pori colmatând aceste spații și scăzând permeabilitatea sistemului de sol.

Precipitarea apare când ionii metalelor reacționează cu apa pentru a forma produși de reacție care precipită în sol ca oxizii și mineralele de oxihidroxizi, sau formează un strat de oxid sau oxihidroxid pe mineralele din sol. Este des întâlnită precipitarea metalelor ca hidroxizii, sulfurile și carbonații.

Complexarea implică formarea complexelor solubile, încărcate sau neutre între ionii metalelor și anionii organici sau anorganici numiți liganzi. Complezele formate influențează mobilitatea și concentrația metalelor din apele subterane. De exemplu, mobilitatea zincului în apele subterane este afectată de formarea unor

specii complexe între ionul de zinc și anionii anorganici prezenți în apă cum ar fi HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- , F^- și NO_3^- .

Specia complexă predominantă în soluțiile apoase este influențată de potențialul de reduce și pH-ul solului. Relația dintre potențialul de reducere, pH și specia complexă este de obicei exprimată în diagramele de Eh-pH pentru fiecare metal; Eh este potențialul electronic.

Folosind diagramele Eh-pH inginerii de mediu pot determina calitativ cele mai importante complexe formate de către metale în apă și pot estima concentrația și mobilitatea metalului în apa subterană. Concentrația cationilor existentă în apele subterane reprezintă în mod normal concentrația totală a fiecărui element din apă. Cu toate acestea majoritatea cationilor există în mai mult de o formă moleculară sau ionică. Aceste forme pot avea valențe diferite și, deci, diferite mobilități datorate diferitelor afinități pentru sorption și diferitelor solubilități controlate.

Adsorbția este un alt proces care afectează concentrația și mobilitatea metalelor din apele subterane. Adsorbția pozitivă implică atracția cationilor metalelor în apă de către particule de sol încărcate negativ. Așadar, adsorbția poate scădea concentrația metalelor dizolvate în apă și întârzia mișcarea lor. Capacitatea schimbului de cationi (CEC) a solului, definită ca și cantitatea de cationi absorbită de către sarcinile negative ale solului, este de obicei exprimată ca miniechivalenți (meq) per 100 grame de sol. În general solurile argiloase și cele cu humus au o CEC mai mare decât alte soluri.

Unii cationi sunt atrași mai puternic de substrat decât alții, funcție de mărimea și sarcina moleculei lor. De exemplu cationul de Cu^{2+} în apă poate disloca și reășeza un cation de Ca^{2+} prezent pe substrat prin procesul cunoscut sub denumirea de schimb ionic. De asemenea, cationii trivalenți sunt adsorbiți preferențial față de cationii bivalenți care sunt absorbiți preferențial față de cei monovalenți. Eliberarea ionilor prin procesele de schimb poate agrava o problemă de contaminare. De exemplu, creșterea durtății apei ce rezultă dintr-o înlocuire a

ionilor de calciu și magneziu cu cei de sodiu sau potasiu din levigatul câmpurilor de cultură.

Schimbul de cationi este reversibil, și extinderea lui poate fi descrisă prin coeficientul de distribuție sau adsorbție.

$$K_d = \frac{C_s}{C_w} \quad 1$$

unde

K_d = coeficientul de adsorbție sau distribuție

C_s = concentrația adsorbită de suprafața solului (ug/g de sol)

C_w = concentrația în apă (ug/ml)

O adsorbție negativă apare când anionii (ionii încărcăți negativ ai metalelor) sunt respinși de sarcinile negative ale particulelor de sol. Această respingere cauzează o mobilitate ridicată și migrația anionilor în apă. Acest proces este cunoscut sub numele de excluderea anionilor.

TRANSPORTUL CONTAMINANȚILOR ÎN APA SUBTERANĂ

Această secțiune tratează transportul contaminanților în apa subterană și descrie procesele de transport și comportamentul frontului de poluare.

Procesul de transport

Când un contaminant ajunge în apa subterană, el se răspândește și se mișcă împreună cu apa subterană ca rezultat al (1) advecției care este cauzată de debitul apei subterane, (2) dispersiei care este cauzată de amestecarea mecanică și difuzia moleculară și (3) retardarea care este cauzată de adsorbție.

ADVECȚIA

Un contaminant se mișcă odată cu curgerea apelor subterane conform legii lui Darcy. Legea Darcy susține că viteza curgerii apei prin sol din punctul 1 în punctul 2 este proporțională cu diferența de sarcina piezometrică și invers proporțională cu lungimea cursului

$$Q = -K \cdot A \frac{h_2 - h_1}{L} \quad 2$$

unde :

Q = viteza curgerii apei subterane

A = aria secțiunii de curgerii

$h_2 - h_1$ = diferența de sarcina piezometrică între punctul 1 și punctul 2

L = distanța între punctul 1 și punctul 2

K = conductivitatea hidraulică

Percolația sau viteza medie a porilor apei pot fi calculate prin

$$V = \frac{Q}{n \cdot A} = -\frac{K}{n} \frac{h_2 - h_1}{L}$$

unde n este porozitatea efectivă.

Viteza medie a apei în pori calculată în Ecuația 2 este o estimare conservativă a vitezei de migrare a contaminantului în apa subterană. Așadar, când este luată în considerare doar advecția, un contaminant se mișcă cu apa subterane la același nivel cu aceasta, și nu se observă diminuarea concentrației. În realitate, cu toate acestea, mișcarea contaminantului este de asemenea influențată de dispersie și retardare.

DISPERSIA

Dispersia este rezultatul a două procese, difuziunea moleculară și amestecul mecanic.

Difuziunea moleculară este procesul în care constituenții ionici și moleculari se mișcă sub influența activității lor cinetice în direcția gradientilor concentrațiilor lor. În acest proces constituenții se mișcă din regiuni cu concentrații mai mari în regiuni cu concentrații mai mici; cu cât sunt mai mari diferențele cu atât este mai mare gradul de difuziune. Difuziunea moleculară poate fi exprimată prin intermediul legii lui Fick

$$F = -D_f \frac{dC}{dx} \quad 3$$

unde:

F = fluxul de masă / unitatea de suprafață / unitatea de timp

D_f = coeficientul de difuzie

C = concentrația contaminantului

dC/dx = gradientul de concentrație

RETARDAREA

Încetinirea migrației contaminanților în apa subterană este datorată mecanismului de adsorbție care a fost descris, atât pentru constituenții anorganici cât și pentru cei organici. Coeficientul de retardare poate fi calculat bazându-ne pe coeficienții de distribuție și adsorbție ai contaminanților și caracteristicile mediului poros

$$R = \left[1 + k K_d \frac{\partial d}{n} \right] \quad 4$$

unde K_d este coeficientul de distribuție sau adsorbție descris anterior. Valorile lui p_d și ale lui n sunt densitatea globală și porozitatea solului. Viteza contaminantului în apa subterană poate fi calculată după cum urmează:

$$V_c = \frac{V}{R} \quad 5$$

unde V_c este viteza mișcării contaminantului în apa subterană, V este viteza apei subterane și R este factorul de întârziere. Un factor de încetinire mare, un coeficient de adsorbție ridicat reduce semnificativ mișcarea contaminantului în apa subterană..

Comportamentul frontului de poluare

Comportamentul și mișcarea contaminanților în apa subterană depind de solubilitatea și densitatea acestuia, regimul de curgere al apei subterane și de geologia locală. Această secțiune discută din punct de vedere calitativ efectele fiecărui dintre acești factori asupra frontului de poluare.

DENSITATEA CONTAMINANTULUI

Fluidele imiscibile cum ar fi uleiurile, nu se amestecă imediat cu apa; ele fie plutesc la suprafața apei fie se scufundă în apa subterană, funcție de densitatea lor. Fluidele imiscibile cu densități mai mici decât a apei, formează o fază separată care poate pluti la suprafața apei subterane. De exemplu, dacă o hidrocarbură cu densitate mică este eliberată dintr-o suprafață de deversare, ea migrează în jos în zona nesaturată datorită forțelor gravitaționale și de capilaritate. Dacă volumul hidrocarburii eliberate este mare, hidrocarbura ajunge la apa subterană și formează o lentilă la suprafața apei. Lentila tinde să se răspândească lateral și în direcția de curgere până când atinge saturația reziduală. O porțiune a lentilei se dizolvă în apa

subterană și eventual migrează odată cu apa. Nivelul maxim de răspândire a lentilei în apa subterană poate fi estimat (CONCAWE Secretariat 1974) prin

$$S = \frac{1000}{F} \left[V - \frac{A \cdot D}{K} \right] \quad 6$$

unde

S = răspândirea maximă a lentilei, m²

F = grosimea lentilei-ului, mm

V = volumul

A = aria de infiltrare, m²

D = adâncimea apei subterane, m

K = constanta dependentă de capacitatea de retenție a solului pentru ulei

Fluidele imiscibile cu densități mai mari decât ale apei, se scurg prin zona saturată, generând un gradient al concentrației în acvifer, devin mai concentrate la baza acviferului. Pătrunderea infimă a unui fluid dens în apă poate avea loc de asemenea funcție de caracteristicile acviferului și de vâscozitatea fluidului (Dragun 1988). Migrarea în jos a fluidului dens poate continua până când este întâlnită o zonă de permeabilitate mai scăzută (un strat limită de argilă sau o suprafață de roci compacte). Hidrocarburile halogenate și păcura sunt principalii solvenți ce au densități mai mari decât a apei.

Un alt factor important atât pentru comportamentul frontului de poluare în cazul poluanților insolubili este contaminarea reziduală. După cum frontul migrează descendent prin zona saturată sau nesaturată, o mică cantitate de fluid rămâne atașată de particulele de sol și în spațiile porilor solului prin intermediul forțelor de capilaritate. Contaminarea reziduală poate rămâne în sol timp de mulți ani și poate servi drept o sursă continuă de contaminare.

SOLUBILITATEA CONTAMINANTULUI

Solubilitatea unei substanțe în apă este definită drept concentrația saturată a substanței în apă la o anumită temperatură și presiune. Acest parametru este important în predicția dinamicii frontului de poluant în apa subterană și în planificarea eventualei recuperări a acestuia. Substanțele cu solubilitate mare în apă au tendința de a rămâne dizolvate în coloana de apă și nu adsorbite de particulele de sol și sunt mai susceptibile biodegradării. În schimb, substanțele cu solubilitate mai mică în apă tind să fie adsorbite de particulele de sol și se volatilizează mai repede din apă. Solubilitatea în apă a mai multor substanțe este listată în Montgomery (1989).

REGIMUL DE CURGERE A APELOR SUBTERANE

Dimensiunile frontului de poluare sunt afectate de viteza apei subterane și de conductivitatea hidraulică a acviferului. Acesta este mai întins în ape subterane cu viteză mai mare decât în ape subterane cu viteze mai mici, el tinde de asemenea să se miște mai încet în formațiuni cu conductivitate hidraulică mică decât în formațiuni cu conductivitate hidraulică mare. Frontul contaminant se mișcă de obicei în aceeași direcție cu apa subterană; cu toate acestea, această mișcare poate să nu apară în cazul fluidelor imiscibile care se scurg spre fundul acviferului și plutesc prin gravitație în direcția opusă curgerii apei subterane. Apa de suprafață este un alt considerent important în efectul unui regim de curgere a apelor subterane. Apa de la suprafață nu urmează de obicei direcția de curgere regională a apei subterane. Așadar, un front contaminant prezent în apa de suprafață se poate mișca într-o altă direcție decât cea a gradientului apei subterane regionale. Fluctuațiile apelor subterane pot mișca contaminanți prinși din zona vadoasă în zona saturată.

GEOLOGIA

Comportamentul unui front contaminant depinde în mare parte de tipul profilului geologic prin care el se mișcă. Structurile geologice cum ar fi straturile de adâncime, faliile, întrepătrunderea straturilor și faciesurilor pot afecta calitatea și direcția unui front de poluare. Straturile din adâncime pot schimba direcția de migrare a poluantului. Faliile pot acționa ca bariere sau ca o conductă pentru contaminant depinzând de materialul din falie. Lentilele argiloase dintre straturi într-o formațiune de nisip impermeabil pot împărți sau întârzia mișcarea contaminantului care se scurge și pot schimba forma și cursul acestuia. Fracturile și crăpăturile din formațiunile de roci masive fracturate pot acționa ca o conductă, depinzând de mărimea lor și legăturile dintre ele. Schimbul interacvifer poate „muta” contaminantul din formațiuni cu sarcina piezometrică mai mare în formațiuni cu sarcina piezometrică mai mică. (Deutsche 1961).

Bibliografie

Andrews, D.J. & Hanks, T.C., *Scarp degraded by linear diffusion : inverse solution for age*, J.Geophys.Res.90, 10193-208, 1985.

Barcelona, M.J., Gibb, J.P., Helfrich, J.A., Garske, E.E., *Practical Guide for Ground-Water Sampling*, SWS Contract Report 374, Illinois, 1985.

Bowen, H.J.M. *Environmental Geochemistry of the Elements*. New York: Academic Press, 1979.

Cheeney, R.F., *Statistical methods in geology*, George Allen & Unwin (publishers) Ltd, London, 1983.

Clarke, G.P.Y. and Dane, J.H., *A simplified theory of point kriging and its extension to cokriging and sampling optimization*, Bulletin 609, Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Alabama, february 1991.

Constantinescu, P., Moldoveanu, T., Ștefănescu, D., Vâjdea, V., Visarion, M., *Geofizică inginerescă*, Editura Tehnică București, 1979.

Creed, J.T., Martin, T. D., *Determination of Trace Elements in Marine Waters by Stabilized Temperature Graphite Furnace Atomic Absorption*, U.S. E.P.A., Cincinnati, 1997.

Davis, J. C., and McCullagh, M. J., *Display of analysis data*, Wiley, New York, 1975.

Fabbri, A.G., *Image processing of geological data*, New York, Van Nostrand reinhold Company, 1984.

Fernandez, F.J., Bourdoulous, R., Vollmer, J., *An Improved Flame Atomization System for AAS*, At. Spectrosc. 17(4), 167, 1996.

Fetter, C.W., *Applied Hydrology*, 2d.ed.New York, Macmillen Publishing Company, 1988.

Fetter, C.W., *Contaminant Hydrogeology*, New York, Macmillen Publishing Company, 1993.

Gheorghe, A., Tevi, G., *Atenuarea naturală monitorizată a apelor subterane – o nouă strategie în remedierea acviferelor*, Simpozionul național “Protecția și conservarea apelor subterane din România” 20 – 21 noiembrie, București 2003.

Houlding, S.W., *Practical Geostatistics, Modeling and Spatial Analysis*, Springer,-Verlag Berlin Heidelberg, 2000.

Healy, R.W., *Simulation of Solute Transport in Variably Saturated Porous Media with Supplemental Information on Modification to the U.S. Geological Survey's Computer Program VS2D.*

Jackson, E.P., *Ion Chromatography in Environmental Analysis*, Encyclopedia of Analytical Chemistry, pp. 2779 – 2801, JohnWiley & Sons Ltd, Chichester, 2000.

Kărpineț Daniela, Vasiliu, A., *Studiu pedologic TC Pantelimon, jud. Ilfov*, 1992.

Kelly, W.E., & Mares (editors), *Applied geophysics in hydrogeological and engineering practice*, Elsevir, Amsterdam, 1993.

Latino J.C., Sears D.C., Portala F., Shuttler I.L., *The Simultaneous Determination of Dissolved Ag, Cd, Pb and Sb in Potable Waters by ETAAS*, *At. Spectrosc.* 16(3), 121,1995.

Liteanu, E., Ghenea, C., *Cuaternarul din România*, C.G. – St.e. Seria H 1, București, 1966.

Manahan E Stanley, *Environmental Chemistry*, Lewis Publishers, 1991.

Mănescu, M. Dimache, A., *Poluarea apelor subterane – studii de caz*, Editura Orizonturi universitare, Timișoara, 2002.

McLean, E. J., Bledsoe, E. B., *Behavior of Metals in Soils*, Ground Water Issue, EPA/540/S-92/018, 1992.

Miller-Ihli, N. J., *A Systematic Approach to Ultrasonic Slurry GFAAS*, *At. Spectrosc.* 13, 1, 1992.

Pascu, M., *Apele subterane din România*, Editura Tehnică, București, 1983.

Piers, K., *An Introduction to Ion Chromatography*, Calvin Environmental Assessment Program (CEAP), 1998.

Posea, GR., Ilie, I., Grigore, M., Popescu, N., *Geomorfologie generală*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1970.

Preston, F.W., and Davis, J.C., *Sedimentary porous materials as a realization of stochastic processes*, in *Random Processes in Geology*, D.R.Merriam, ed., Springer-Verlag, New-York, 1976.

Rosenfeld, A., & Kak, A.C., *Digital picture processing*, Academic press, New york, 1976.

Scrădeanu, D., *Informatică geologică*, Editura Univ.Bucuresti, 1995.

Scrădeanu, D., Popa Roxana, *Geostaistică aplicată*, vol.I, Editura Universității din București, 2003.

Scrădeanu, D, Gheoghe, Al., *Hidrogeologie generală*, Editura Universității din București, 2007

Tevi, G., Scrădeanu, D., *Inițializarea parametrică a modelului de transport al poluanților proveniți din depozitul de deșeuri Acumulatorul – Neferal*, Simpozionul național “Protecția și conservarea apelor subterane din România” 20 – 21 noiembrie, București 2003.

Thöming, J., Stichnothe, S., Mangold, S., Calmano, W., *Hydrometallurgical Approaches to Soil Remediation – Process Optimisation Applying Heavy Metal Speciation*, Land Contamination & Reclamation, 8 (1), EPP Publications, 2000.

Tombul, M., *Relationship Between Infiltration Rate and Contaminant Transport in Unsaturated Zone*, Proceedings of the First International Conference on Environmental Research and Assessment, Bucharest, 2003.

Ujvari, I., *Geografia apelor României*, Editura Științifică, București, 1972.

*** *Enciclopedia Geografică a României*, Editura Științifică și Enciclopedică, București 1982.

Wendroth, O., Koszinski Sylvia, Pena-Yewtukhiv Eugenia, *Spatial Association among Soil Hydraulic Properties, Soil Texture, and Geoelectrical Resistivity*, Vadose Zone J 5:341-355, 2006

Yong S. Chae, Ahmed Hamidi, *Groundwater and Surface Water Pollution*, 1999 CRC Press LLC