

2.1. Teorii privind originea apelor subterane

Originea și modul de formare a apelor subterane au constituit obiectul a numeroase cercetări, unele ipoteze fiind în prezent confirmate prin măsurători experimentale.

Pe baza valorificării unui volum mare de date hidrogeologice, s-a ajuns la o concepție unitară privind clasificarea genetică a apelor subterane, care reprezintă doar latura **calitativă** a problemei.

2.1.1. Teoria infiltrării

Teoria infiltrării este în prezent acceptată ca fiind principala explicație pentru formarea apelor subterane. Această teorie a fost formulată de francezii B.Palissy (sec.XVI) și E.Mariotte (sec.XVII) care susțineau că sursa de formare a acviferelor este infiltrarea apelor din precipitații, din domeniul marin și din lacuri.

În procesul de infiltrare, aceste ape pot întâlni un strat impermeabil care favorizează acumularea apelor infiltrate și implicit formarea unui **acvifer**.

Fizicianul Mariotte a argumentat această ipoteză pe baza bilanțului apei, întocmit pentru bazinul Senei. Această teorie este dovedită de unele observații simple:

- coborârea nivelului hidrostatic al acviferelor freatice în perioadele secetoase;
- ridicarea nivelului hidrostatic al acviferelor freatice în perioadele ploioase;
- variația debitelor izvoarelor generate de acvifere freatice.

Teoria Palissy-Mariotte nu poate explica acumulările de apă subterană cu mineralizație redusă din regiunile cu climat arid, regiuni cu veri lipsite de precipitații și evaporări intense.

2.1.2. Teoria condensării vaporilor de apă

Teoria condensării vaporilor de apă a fost formulată în anul 1877 de hidrotehnicianul vienez O.Volger, care susținea că apele subterane provin din condensarea vaporilor de apă din aerul care circulă prin porii și fisurile rocilor.

Partizanii teoriei condensării combat teoria infiltrării susținând că în urma ploilor terenurile se umezesc pe o **adâncime redusă**, sub care urmează o zonă relativ **uscată** (zona de aerare) și apoi **acviferul**. Din aceasta cauză între precipitațiile atmosferice și acvifere nu ar exista o legătură directă.

Teoria lui Volger se bazează pe faptul că la scăderea temperaturii aerul saturat cu vapori de apă devine suprasaturat iar o parte din vaporii de apă se condensează și trec în stare lichidă. În prezența unui strat impermeabil această apă se acumulează și poate forma un acvifer.

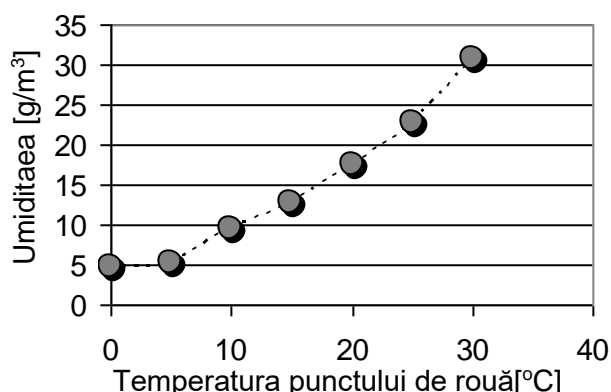


Fig.2.1. Variația umidității aerului în funcție de temperatură

Din variația umidității aerului în funcție de temperatură (**Tabelul 2.1, Fig.2.1**) se poate estima cantitatea de apă cedată. De exemplu, un metru cub de aer saturat la 15°C conține 12,7 grame de apă în stare de vapori iar la +5°C conține 5,36 grame; prin răcire se condensează în stare lichidă :

$$12,7 - 5,36 = 7,34 \text{ grame de apă}$$

Tabelul 2.1 Variația umidității aerului saturat în funcție de temperatură

Temperatura punctului de rouă [°C]		0	+5	+10	+15	+20	+25	+30
Umiditatea	[g/m ³]	4,80	5,36	9,40	12,70	17,50	22,80	30,80
	[mm.col.Hg]	4,56	6,60	9,25	13,20	16,90	22,30	31,40
	[milibar(mb)]	6,17	8,96	12,00	20,60	22,80	30,20	42,50

Alimentarea acestui proces are loc când aerul mai cald din atmosferă pătrunde în teren, la o temperatură mai scăzută, cedând o parte din apă sub formă de picături, care sub acțiunea gravitației se infiltrează până la un teren impermeabil, dând naștere unui acvifer.

Acestei ipoteze i s-au adus o serie de critici, și anume:

- formarea unui acvifer implică o **viteză minimă de 5 cm/sec** pentru aerul cald și saturat cu vapori de apă care pătrunde în teren pentru a ceda apa prin condensare;
- căldura latentă de condensare a apei conduce la **încălzirea terenului** și deci la încetinirea procesului de condensare;
- atmosfera nu poate furniza cantitatea de vapori de **apă necesară** pentru a explica alimentarea exclusivă a acviferelor prin condensare;
- condițiile meteorologice nu sunt întotdeauna **favorabile** formării apei subterane prin condensare deoarece:
 - în timpul **iernii** se produce o **evaporare** a apei din acvifere chiar și în zilele calde;
 - rareori se întâmplă ca aerul să ajungă la **umiditatea de saturație**;
 - numai la valori mari ale **umidității relative** poate avea loc condensarea vaporilor de apă în teren, în urma pătrunderii aerului atmosferic.

A.F.Lebedev (1905) a ajuns la o nouă interpretare a teoriei condensării, considerând că amestecul de aer și vapori de apă constituie **două sisteme termodinamic independente** și deplasarea vaporilor de apă din zonele mai umede și mai calde spre zonele mai uscate și mai reci se poate face fără a antrena întreaga masă de aer. Deplasarea vaporilor de apă este cauzată de diferența tensiunii de vapori dintre cele două zone care se modifică semnificativ de la **vară la iarnă**.

În timpul **verii**, când solul se încălzește puternic, vaporii de apă migrează în adâncime până la **zona neutră**, cu temperatură mai redusă dar **constantă** în timpul anului. Adâncimea zonei neutre variază între 15 m pentru terenuri argiloase și 40 m în cazul granitelor (Schoeller,H.,1962). În limitele acestei zone neutre, vaporii de apă descendenți se pot combina cu cei ascendenți, proveniți din adâncime datorită regimului geotermic și prin condensare pot forma acvifere.

În timpul **iernii**, datorită temperaturii mai scăzute la suprafața terenului, vaporii de apă se deplasează dinspre zona neutră spre orizonturile superioare ale solului, asigurându-i acestuia o umiditate suplimentară.

A.F.Lebedev afirmă că aportul de apă rezultat din condensarea vaporilor atmosferici este insuficient pentru formarea unui acvifer.

Din schematizarea formării acviferelor freatice în conformitate cu teoria condensării vaporilor de apă (**Fig.2.2**) rezultă că formarea apei subterane (lichide) și implicit a acviferelor poate avea loc numai până la adâncimea zonei neutre. Sunt frecvente și situațiile când alimentarea acviferului freatic se face cu vapori de apă din adâncime, și anume atunci când baza acviferului corespunde batimetric cu zona neutră.

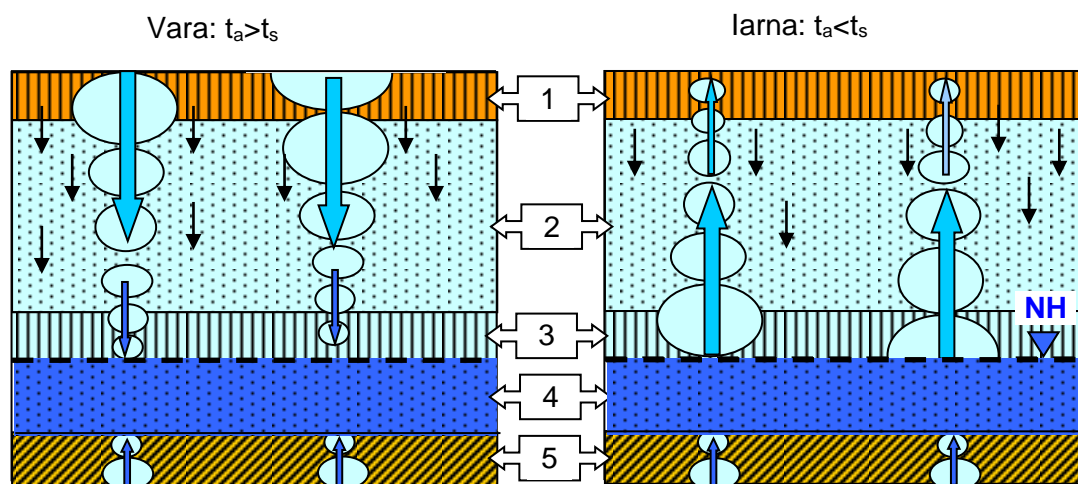


Fig.2.2. Schematizarea formării unui acvifer freatic prin condensare.

1- zona de evapotranspirație (profilul de sol);

2- zona de tranziție; 3- zona capilară;

4- acviferul freatic; 5- rocă impermeabilă

→ infiltrarea apei lichide

→ deplasarea vaporilor de apă

t_a - temperatura atmosferei; t_s - temperatura subsolului

Schoeller H. arată că procesul de condensare poate deveni important din punct de vedere cantitativ prin aportul norilor și al ceții pe crestele munților (mai ales sub influența continuității vânturilor) sau al apei de rouă în vecinătatea domeniului marin.

Un aport important, în procesul de condensare îl au următoarele fenomene:

- **adsorbția higroscopică**, în cazul terenurilor nesaturate, prin care vaporii de apă se formează pe particulele terenului; este suficientă o scădere redusă de temperatură pentru a se forma apa lichidă. Cantitatea de vapori adsorbiți depinde direct de finețea granulometrică a terenului.
- **difuzia vaporilor de apă** care permite pătrunderea lor în adâncime și condensarea în stratele mai reci; fenomenul nu este afectat de natura terenului ci numai de porozitatea activă.
- **respirația solului**, provocată de variațiile diurne ale temperaturii și de infiltrarea apei meteorice, determină circulația aerului atmosferic în și din teren; vaporii de apă care pătrund odată cu aerul pot condensa în zonele mai reci.

Apele subterane provenite din infiltrarea apelor de suprafață și din condensarea vaporilor de apă din atmosferă se numesc **ape vadoase**. Cercetările efectuate pe litoralul românesc au arătat că o sursă de alimentare a acviferului barremian - jurasic este și **condensarea endocarstică**, evaluată la maximum 30% din valoarea precipitațiilor căzute în aceasta zonă, procesul având loc pe o adâncime de circa un metru și numai în anumite perioade ale anului.

2.1.3. Teoria juvenilă

Teoria juvenilă susține că apele subterane provin din condensarea vaporilor de apă formați în urma proceselor fizico-chimice de adâncime. Pentru prima dată această teorie a fost formulată de geologul austriac Suess E. (1902) care a considerat că apele subterane cu **temperatura ridicată**, cu conținut de gaze sau puternic mineralizate constituie ultima fază a diferențierii magmatice.

În funcție de origine, apele juvenile pot fi **magmatice și vulcanice**.

Apele juvenile de origine **magmatică** se formează prin ascensiunea gazelor din magmă, iar la temperaturi de 500-600°C hidrogenul se combină cu oxigenul formând vaporii de apă (apă de sinteză). Datorită energiei potențiale, vaporii de apă își continuă mișcarea ascendentă pe marile fracturi iar la temperaturi scăzute se condensează și apar la suprafață sub formă de

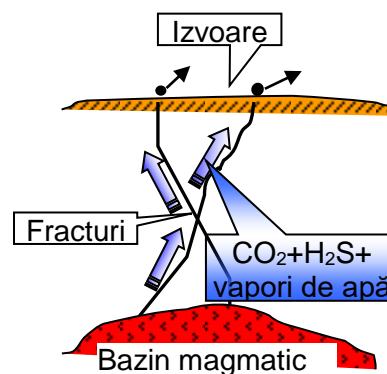


Fig.2.3. Schematizarea condițiilor de formare a apelor geotermale de origine magmatică

izvoare (**Fig.2.3**) sau se acumulează în pătura sedimentară a scoarței terestre formând acvifere. După Suess, prima apă care a apărut la suprafața terenului s-a format în acest mod.

Cu toate că, la scara timpului actual, aportul juvenil este neglijabil (câțiva km³/an) în raport cu masele de apă acumulate în marile rezervoare, dacă se ia în considerare că acest proces se produce în același mod de câteva

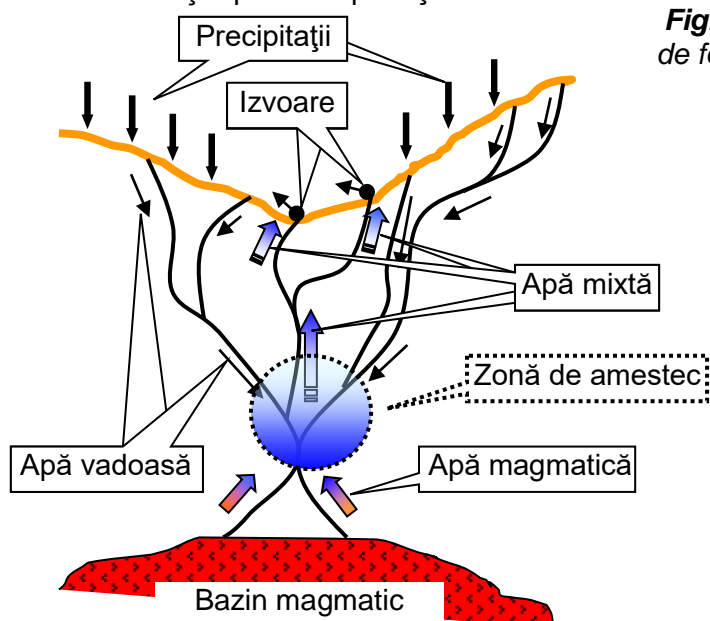


Fig.2.4. Schematizarea condițiilor de formare a apelor geotermale de origine mixtă

miliarde de ani, se ajunge la volumul de apă actual. O intruziune magmatică de 1000m grosime, situată în zona superioară a scoarței terestre, cu un conținut de apă de 5% din greutate, dacă se răcește lent, poate elibera 10⁶m³/(anxkm²) (Castany, G., 1980).

Ipoteza originii magmatice a apelor subterane a apărut și s-a dezvoltat în legătură cu explicarea genezei apelor termominerale. Dacă la începutul secolului XX se considera că toate apele termominerale erau de origine juvenilă, în decursul timpului ponderea acestei ipoteze a scăzut în urma definirii scării geotermice și a unor procese biologice și chimice generatoare de ape minerale. În prezent se admite, în majoritatea situațiilor, o origine mixtă a apelor termominerale, apele de origine magmatică amestecându-se cu cele de origine vadoasă (**Fig.2.4**).

2.1.4. Teoria originii arteziene

Teoria originii arteziene a unor ape termominerale reprezintă o variantă a originii vadoase, apele subterane apărând sub formă de izvoare la suprafața

terenului datorită presiunii proprii (artezianism). În condițiile marilor fracturi tectonice și a unei fisurații deschise, apele meteorice pot ajunge la mari adâncimi. În faza descendentă, apele pot câștiga o anumită termalitate și compoziție chimică. Datorită presiunii vaporilor formați și a termalității, în faza următoare se produce o circulație ascendentă rapidă, apele ajungând la suprafață în puncte cu cote mai mici în raport cu domeniul de alimentare. În contact cu rocile, datorită temperaturii și presiunii ridicate, aceste ape se îmbogățesc în elemente mineralizante.

Apele subterane care ajung la suprafață sub formă de izvoare datorită artezianismului pot avea origine **magmatică**, **vulcanică**, **vadoasă** și de cele mai multe ori sunt amestecate (origine **mixtă**).

Originea **magmatică** corespunde în general unui sistem redus de fracturi (**Fig.2.3**) în timp ce originea **mixtă** se datorează unui sistem de fisuri dezvoltat, cu un grad ridicat de interconexiuni care favorizează o alimentare bogată cu ape vadoase, la care se adaugă și un **regim pluviometric favorabil** (**Fig.2.4**). În condițiile unui aport magmatic numai de gaze (CO₂, H₂S etc.), apele termominerale pot avea origine **vadoasă**, respectiv arteziană, aceeași concluzie fiind valabilă și în cazul fracturilor care se închid la mari adâncimi, ele formând un sistem deschis numai în raport cu suprafața terenului.

Originea **vulcanică** a apei subterane este sprijinită de faptul că în perioadele de erupție vulcanii elimină o mare cantitate de apă prin produsele expulzate, prin consolidarea lavei și prin manifestările de gaze care pot conține uneori până la 75% vapori de apă. O parte din apa expulzată de vulcani este însă de origine **vadoasă** datorită traversării de către coșurile aparatului vulcanic a numeroase acvifere (Preda, I., 1981).

2.1.5. Teoria apelor regenerate

Apele regenerate se formează pe seama unei cantități importante de apă vadoasă care, datorită proceselor geologice de la suprafața terestră, a intrat în compoziția unor minerale ca apă de constituție și de cristalizare. În urma fenomenelor de orogeneză, aceste minerale ajung în zonele de metamorfism unde datorită temperaturii și presiunii ridicate își pierd conținutul în apă care se transformă în vapori ascendenți și apoi în apă lichidă. Aceste ape sunt foarte asemănătoare din punct de vedere fizic și chimic cu cele magmatice, dar provenind în urma procesului de metamorfism au fost numite ape regenerate (Ovcinikov, A.). Tot în categoria genetică a apelor regenerate se pot include și apele eliminate prin consolidare în procesul de diageneză a sedimentelor. Se cunosc situații în care acviferele sunt alimentate cu ape rezultate prin consolidarea naturală a formațiunilor argiloase cu care vin în contact.

2.1.6. Teoria apelor fosile

Teoria **apelor fosile** a căutat să explice originea apelor asociate zăcămintelor de hidrocarburi, considerând că aceste ape cu mineralizații ridicate au aceeași vârstă cu sedimentele care au generat hidrocarburile. În felul acesta s-a ajuns la diferențierea apelor subterane după **principiul stratigrafic**.

Această apă sedimentogenă a rămas captivă în rocă după eliminarea prin procese de diageneză a unei părți importante din apa inițială a sedimentelor și a organismelor marine (vegetale și animale).

Teoria mai precizează că **presiunea de zăcământ** (a acviferelor respective) este dată de **presiunea litostatică** (și nu de cea hidrostatică) iar apele nu participă la circuitul general din natură, structurile respective fiind **închise** din punct de vedere hidrodynamic.

Forajele executate pentru petrol au furnizat însă o serie de date care nu permit generalizarea acestei teorii pentru toate apele asociate. Sunt foraje care au identificat **dinamica** unor acvifere asociate zăcămintelor de petrol. Acest lucru infirmă caracterul închis al acestor hidrostructuri.

În prezent, luându-se în considerare toate situațiile hidrogeologice, teoria apelor fosile prezintă două variante care se referă la:

- **apele fosile singenetice** denumite și *ape de zăcământ* sau *ape veterice* (denumire dată de L.Mrazec);
- **apele fosile epigenetice** cu o vârstă geologică mai recentă în raport cu roca colectoare.

Apele fosile singenetice (asociate zăcămintelor de petrol) se caracterizează prin conținuturi ridicate de iod (peste 100 mg/litru). Atât iodul din apa asociată cât și cel din petrol provin din organismele vegetale și animale care au populat Oceanul Planetar, deci au o origine organică.

Apele fosile epigenetice au fost puse în evidență în urma prospecțiunilor hidrogeologice în zonele aride, lipsite de surse de alimentare actuale. În această situație se încadrează cele două acvifere din subsolul Saharei (acviferul “*continental intercalaire*”, nisipos, de vârstă antecenomaniană și acviferul “*continental terminal*” calcaros, de vârstă cenomaniană), cu extindere regională și importante rezerve exploatabile de apă. Vârsta acestor ape este de circa 35.000 ani, deci ele s-au format în timpul glaciațiunii wurmiene.

Într-o clasificare genetică (**Fig.2.5**) sunt figurate grupele (**apele endogene și exogene**), tipurile și varietățile principale de ape subterane. Această schematizare nu cuprinde toate conexiunile genetice dintre toate categoriile de ape subterane, dar poate conduce la definirea ciclurilor genetice ale apelor subterane.

Evaluarea și valorificarea acviferelor de adâncime, termominerale și geotermale sunt condiționate de cunoașterea **originii** și **vârstei** apelor subterane pentru stabilirea cărora sunt utilizați **izotopii de mediu**.

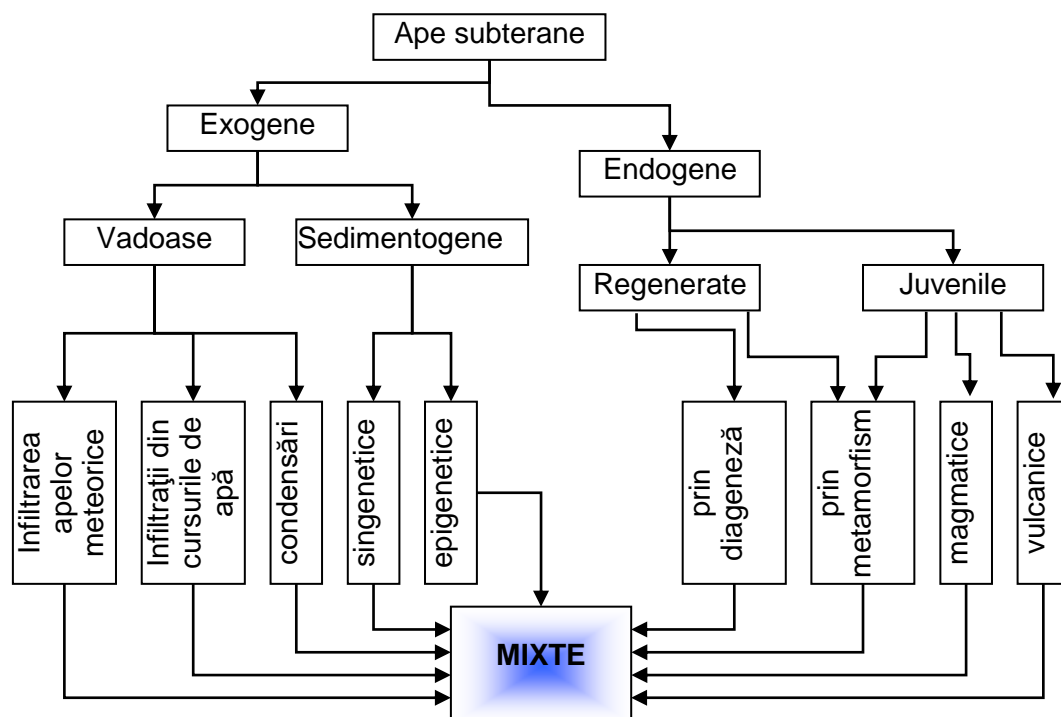


Fig.2.5. Clasificarea genetică a apelor subterane