

NATURALNE WODY ZIEMI

UKD 551.48 + 551.49 + 551.57 + 553.7 + 551.23

W opracowywanej w przyszłości teorii Ziemi naturalna woda powinna bezspornie zająć pierwsze miejsce. Jeszcze w połowie lat trzydziestych W. I. Wiernadskij stwierdził, że: „Woda jest specyficzną substancją w historii naszej planety. Brak jest naturalnych ciał, które by mogły porównać się z nią wpływem na zasadniczy bieg ogromnych procesów geologicznych”.

Nasze wiadomości o naturalnej wodzie Ziemi są niewyczerpujące. Dotyczy to zarówno jakościowej, jak i fizyko-chemicznej i fazowej oceny tej tak ważnej substancji. Mamy rzeczywiście realny pogląd o wodzie w atmosferze, na powierzchni naszej planety i tylko niezbyt głęboko w jej głębiach — ograniczeni głębokością otworów wiertniczych do 7—10 km, gdy tymczasem miąższość kontynentalnego typu litosfery waha się od 20 do 80 km (średnio 35 km), a typu oceanicznego średnio 4,7 km.

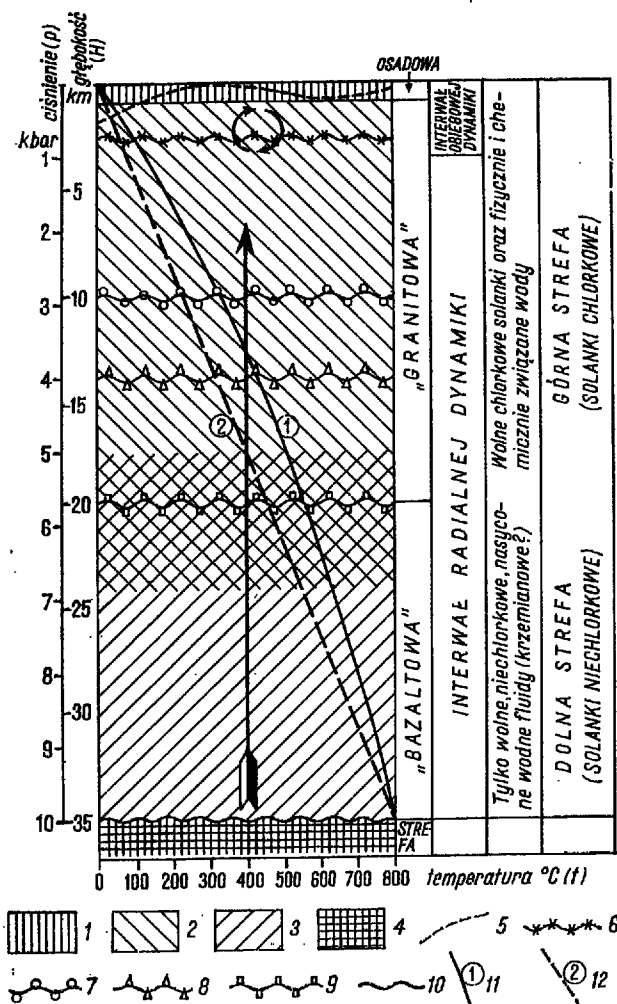
Większość geologów uważa, iż woda może istnieć i to głównie w niedysocjowanym stanie, prawie do przeciętnych głębokości zalegania powierzchni Mohorowicza. Do tych głębokości możliwe jest występowanie porowatości i szczelinowatości. Poza tym niektórzy badacze sądzą, że wgłębne rozłamy i ruch w nich cieczy lub materiału plastycznego może istnieć na głębokościach przewyższających miąższość litosfery i obejmuje górną część płaszcza Ziemi, co potwier-

dzają także i głębokości ognisk sejsmicznych sięgających do 720 km.

Cała hydrosfera dzieli się na powierzchniową i podziemną. Pierwsza wg A. Poldervaarta obejmuje $14,6 \cdot 10^{23}$ g lub 58% całej hydrosfery, a druga wg ostatnich obliczeń W. F. Dörpholza (5) $10,7 \cdot 10^{23}$ g. Wszystkie wgłębne wody Ziemi mogą być rozdzielone na grawitacyjne (przemieszczające się swobodnie) i związane (fizycznie i chemicznie). Według danych tego autora z wszystkich podziemnych wód na oceaniczny typ litosfery przypada 17%, na kontynentalny 83%. W przybliżeniu w proporcji tej podziemne wody rozdzielają się na osadowe i krystaliczne skały całej planety.

Podziemna hydrosfera może być rozdzielona na dwie duże strefy, przy czym przejście między nimi jest stopniowe, a warunkowo może być przyjęte po powierzchni Konrada.

1) górna strefa znajdująca się wyżej nadkrytycznego stanu roztworów wodnych obejmuje ciecz, parę i lód w ilości około $1,5 \cdot 10^{23}$ g oraz fizycznie i chemicznie związaną wodę (H_2O , OH^- , H_3^+) w ilości około $4,2 \cdot 10^{23}$ g. Górna część podziemnej hydrosfery, gdzie możliwe jest istnienie związanej wody jest więc oceniana łącznie ilościowo na $5,7 \cdot 10^{23}$ g, strefa ta obejmuje 53% wody całej podziemnej hydrosfery lub 22% całej hydrosfery.



Schemat hipotetycznego modelu podziemnej hydrosfery typu kontynentalnego.

1 - nadkład skał osadowych, 2 - wolne solanki chlorkowe (u góry sodowe, głębiej wapniowe i magnezowe), a także wody związane (fizycznie i chemicznie), 3 - wolne nasycone niechlorkowe wodne fluide, prawdopodobnie na ogół krzemianowe, 4 - górny płaszcz Ziemi, 5 - górna granica hydrochlorosfery, 6 - górna granica powstawania wody krystalizacyjnej, 7 - górna granica powstawania wody konstytucyjnej, H^+ , OH^- , H_3O^+ , 8 - górna granica metamorfizmu skał, 9 - granica Konrada, 10 - granica Mohorovicica, 11 - krzywa temperatury skał, 12 - krzywa ciśnienia litostatycznego.

2) dolna strefa w całości obejmuje swobodny roztwór wodny w ilości $5 \cdot 10^{23}$ g, przy czym woda ta może głównie występować w stanie wyraźnie fluidalnym.

Należy podkreślić wyraźnie różną dynamikę swobodnych wód grawitacyjnych na różnych głębokościach litosfery. Jeśli w górnej części, gdzie przeważnie przebiegają procesy hipergeniczne charakterystyczna jest dynamika obiegowa (kołowe obiegi wody), to już od głębokości 4-5 km przeważa dynamika „radialna”, tzn. przeważnie ruch fluidu z dołu do góry.

Radialny ruch roztworów z dołu do góry nieuchronnie wynika z warunków termodynamicznych i fizyko-chemicznych, w których one się znajdują. W dolnej części litosfery mamy wysokie potencjały energetyczne, a w górnej niskie dla wszystkich rodzajów energii: mechanicznej, termicznej, chemicznej, elektrycznej, magnetycznej i innych.

Ruch fluidu z dołu ku górze jest możliwy w wyniku filtracji i dyfuzji. W wyniku filtracji ruch fluidu

zachodzi w kierunku spadku ciśnienia i temperatury, a przez dyfuzję w kierunku spadku koncentracji. Te oraz inne przyczyny w ogólnych warunkach działają od dołu do góry.

Ważną okolicznością jest to, że filtracja rozpuszczonych składników charakteryzuje się zróżnicowaną ruchliwością, o czym będzie mowa niżej.

Kinetyczna teoria cieczy opracowana jest jak dotąd niewystarczająco i wszystko, co dotyczy dyfuzji cieczy jest bardzo dużym przybliżeniem rzeczywistości. Jeżeli jest to prawdziwe dla powierzchniowych warunków planety, to tym bardziej można to potwierdzić dla mało znanych nam warunków jej wnętrza. Dyfuzja może być wewnątrzkrystaliczna, międzykrystaliczna i na powierzchni kryształów lub ziarn. Ostatnia z nich przy mniej więcej równych warunkach jest dwa razy szybsza od wewnątrzkrystalicznej. Przypuszczalnie niskie szybkości dyfuzji dla warunków laboratoryjnych w żadnym przypadku nie mogą być ekstrapolowane na głębsze strefy, gdzie szybkości te setki i tysiące razy wzrastają pod wpływem podwyższonych temperatur, różnicy ciśnień, pól elektromagnetycznych itd.

Skały przy obecności różnicy potencjałów mogą przedstawiać filtry elektryczne dla poruszających się z roztworem jonów. Zależnie od własności skał zmienia się i adsorbacja jonów: w glinach spada ruchliwość jonu chlorkowego i hydrowęglanowego, a w skałach węglanowych ruchliwość kationów.

Obecnie eksperymentalnie ustalono, że dodatni ładunek ścian kapilarów wywołuje opóźnienie ruchu kationów, natomiast ujemny — anionów. Np. ujemnie naładowany kwarcyt zatrzymuje 75% kompleksowego anionu $FeCl_4^-$. Jest to znany elektrokinetyczny efekt filtracyjny. Większość minerałów cechuje się ładunkiem elektrokinetycznym, np. kalcyt ujemnym, a krzemiany dodatnim. Poruszający się roztwór sam wywołuje skomplikowanie zmienny filtr, zależny od charakteru skały, roztworu, gradientu temperatury, warunków hydrodynamicznych, pola elektromagnetycznego i wielu innych złożonych warunków.

Przy ruchu roztworów może mieć znaczenie odkryty eksperymentalnie efekt Rebindera-Derjagina, kiedy zarówno przy filtracji, jak i dyfuzji ścianki por oraz mikrokapilarów powlekają się skupieniami soli. Zachodzi przy tym rozdzielające działanie przez rosnące i skupiające się w jedną masę błonki soli. Efekt ten wykorzystuje się w chromatografii.

Badania eksperymentalne za pomocą modelowania warunków termodynamicznych przemieszczania się naturalnych roztworów poprzez drobnoziarniste skały do zbiorników wykazują, że przepuszczalność wody i desorbacja roztworu z głębokością i podwyższeniem temperatury oraz ciśnienia (do 12,5 kilobar) znacznie się zwiększa, a na większych głębokościach powstają dogodnie warunki do migracji strugami z równoległymi fluidodynamicznymi rozrywami spoiwości skał, podobnymi do hydrodynamicznych rozrywów w nieco wyższych strefach.

Rozpatrując hydrosferę w całości (a szczególnie górną strefę podziemnej hydrosfery) okazuje się, iż dla grawitacyjnych wód (poza pierwiastkami rozpuszczalnika wodorem i tlenem) głównym pierwiastkiem jest chlor. Do tego większość wód zalicza się do zmineralizowanych bądź solankowych wód chlorkowych. Obejmują one około 99% wszystkich grawitacyjnych wód. Jeden procent przypada na wody słodkie i należy głównie do lodów arktycznych (99% wszystkich wód słodkich). Zmineralizowane wody węglanowe i siarczanowe obejmują tysięczne części procenta wszystkich wód.

Jeszcze W. I. Wiernadskij zwrócił uwagę na to, że w miarę zgłębiania się wszystkie podziemne wody stają się solankami. Wszystkie solanki zawsze są chlorkowe. Pojawiające się licznie wiercenia głębokich otworów jednoznacznie potwierdziły te przewidywania. Wszędzie, nie wykluczając i granitowych szczytów spotykamy na różnych głębokościach wody chlorkowe, w zasadzie z wzrastającą z głębokością mineralizacją aż do solanek włącznie. Takie na

szeroką skalę zjawisko rozprzestrzeniania się chlorkowych zmineralizowanych wód na naszej planecie pozwoliło jednemu z autorów artykułu zainicjować w 1962 r. nazwanie tego zjawiska „hydrochlorosferą” — bardzo szerokim pojęciem, w które mogą być włączone różne pod względem genezy wody chlorkowe. Chociaż hydrochlorosfera obejmuje sobą tylko część miąższości litosfery ma jednak duże znaczenie w ewolucji litosfery, nie tylko odnośnie do całej historii geologicznej, ale i współcześnie. Nauka jeszcze nie jest w stanie zdać sobie sprawę ze znaczenia roli hydrochlorosfery w formowaniu litosfery.

W aspekcie genetycznym hydrosfera naszej planety jest częścią litosfery, jej ciekłym składnikiem. Substancjonalny skład litosfery może formować się tylko z dwu źródeł dopływającej materii: Kosmosu i górnej części płaszczu Ziemi.

Uzupełnianie składu substancji powierzchni naszej planety z Kosmosu zachodziło przez cały czas. Jednak obliczenia ilości materii dostającej się z otoczenia wykazują, że dla powstania istniejącej litosfery Ziemi jest jej stanowczo za mało.

Głównym źródłem materiału była i jest górna część płaszczu, która przy tym służy jako ogromna prądnicą różnych rodzajów energii (cieplnej, mechanicznej, elektromagnetycznej, chemicznej). Zasoby wody w płaszczu, przyjmując jej zawartość w meteoritach, ocenia się wielkością rzędu $2 \cdot 10^{26}$ g. W konsekwencji masa wód w całej litosferze ($2,5 \cdot 10^{24}$ g) wynosi tylko 25% jej zasobów w płaszczu. Te ogromne potencjalne zasoby przez cały czas uzupełniają podziemną hydrosferę, a przez nią i wody światowego oceanu. Jednocześnie Ziemia ma rozchodową pozycję w bilansie wody. Chociaż współczesne obliczenia rozproszenia w przestrzeni ziemskiego wodoru jako części cząsteczek wody dają nieznacznie wielkości, jednak Kulp obliczył, że w czasie historii geologicznej uciekło 10^{24} g wody. Obecnie obserwuje się wzrost ogólnej masy wód. Za ostatnie tysiąclecie poziom światowego oceanu podniósł się o 1,3 m, co objaśnia się nie tylko podwyższeniem temperatury wody i taniem lodów kontynentalnych, ale i dopływem z głębi nowych mas wody.

Jaki może być skład fluidu w dolnej części litosfery? Prawdopodobnie niechlorkowy. Taki wniosek wynika z wykonanych obliczeń ogólnej ilości chloru i wody w litosferze oraz na jej powierzchni: H_2O — $25 \cdot 10^{23}$ g, Cl — $0,7 \cdot 10^{23}$ g. Stąd średnia koncentracja chloru w dopływającej wgłębniej wodzie wynosi 28 g/l. Licząc ponadkrytyczne warunki termodynamiczne fluid przedstawia prawdopodobnie roztopiony stop krzemianowy z wodą.

Tak woda, jak i chlor należą do najbardziej lotnych składników cechujących się najlepszymi własnościami migracyjnymi. Przy ruchu fluidu w górę i przy spadku ciśnienia oraz temperatury, kiedy fluid przekształca się w przesyconą różnymi składnikami solankę, wypadają z niego różne związki mineralne, w tym także i rudy. Chlor przy tym można rozpatrywać jako aktywny nośnik metali. Szczególną stałość chlorkowych kompleksowych związków obserwuje się dla większości metali. Należy podkreślić, że roztwór chlorku sodu w wysokich temperaturach charakteryzuje się bardzo kwaśną reakcją, stając się silniejszym elektrolitem niż kwas solny.

Przy dalszym ruchu w górę chlor zrzuca swój ciężar „użyteczny” i przechodzi w roztwór chlorku sodu, wapnia i magnezu, zależnie od fizykochemicznych warunków środowiska, strukturalnych i innych. Natomiast sam chlor w niewielkim stopniu uczestniczy w tworzeniu minerałów (wyłączając osady solne). Klarki chloru (w %) dla różnych typów skał wyglądają następująco:

ultrazasadowe	0,005
zasadowe	0,005
obojętne	0,010
kwaśne	0,024
osadowe	0,016
meteoryty kamienne	0,007

Klark chloru dla wód grawitacyjnych podziemnej hydrostrefy wynosi 6,1%, tzn. 2,8 razy więcej niż klark dla wód oceanicznych. W światowym oceanie zawarte jest 44% całego chloru, a w litosferze 56%.

Fakt, że chlorkowa solanka wgłębną przedstawia końcowy produkt pominalizacyjny wynika także ze składu ciekłych wrostków w banieczkach minerałów, reprezentujących solankę chlorkową.

Różnorodne dowody przy wierceniu głębokich otworów wskazują, że chlorkowa strefa hydrostrefy podziemnej hydrochlorosfera (pojęcie i termin wprowadzone przez W. F. Dörpholza w 1962 r.) jest wapniowa lub magnezowa, wyżej przechodząca w sodową.

Planetarne rozwarstwienie chemiczne przy ruchu wód chlorkowych z dołu do góry wywołuje zwiększenie koncentracji chloru (prawie nie uczestniczącego w mineralizacji) wskutek hydratacji minerałów, kiedy cząstki wody powierzchniowej przechodzą w stan związany. Jeśli założymy, że sód, wapń i magnez znajdują się w roztworze w równych ilościach, to przy ruchu chlorkowego fluidu wodnego z dołu do góry będzie zachodziło opóźnienie jonów wapnia oraz magnezu i wyprzedzanie jonów sodu. Taką zróżnicowaną ruchliwość objaśnia się różnymi przyczynami, głównie z nich są przede wszystkim następujące:

1) przy ruchu roztworu chlorkowego z dołu ku górze jego temperatura będzie się obniżać. Przy tym roztwór chlorku wapnia przy obniżaniu temperatury zmniejsza własności filtracyjne 3,5 raza w stosunku do roztworu chlorku sodu, a roztwór chlorku magnezu nawet 7 razy;

2) rozpuszczalność chlorku wapnia przy obniżaniu temperatury spada 2,7 razy szybciej niż chlorku sodu;

3) ze zmniejszeniem wartościowości jonów ruchliwość ich zwiększa się, sód jest bardziej ruchliwy niż wapń i magnez;

4) zgodnie z filtracyjnym efektem D. S. Korżyńskiego doświadczalnie wykryto dużą (wyprzedzającą) ruchliwość chlorków alkalicznych metali w porównaniu z chlorkami dwuwartościowych metali.

Przedstawione argumenty bynajmniej nie mają na celu odrzucenia licznych hipotez powstawania pewnych chlorkowych wód, prawdopodobnie wszystkie są możliwe i sprawdzalne w przyrodzie, w warunkach lokalnych, w czasie i przestrzeni strefy obiegu wód litosfery (strefie hipergenicznej).

Autorzy podkreślają związek wód chlorkowych z procesami głębinowymi i możliwy mechanizm radialnej hydrodynamiki z dołu ku górze dla przeważającej części miąższości litosfery, oraz jako zjawisko nie lokalnego, lecz planetarnego rzędu. Cała litosfera rozpatrywana jest przy tym jako pewien duży energetyczny system hydrodynamiczny, charakteryzujący się głównie wymianą ciepła i mas. Mechanizm tego systemu kontrolowany jest gradientem ciśnienia, temperatury, chemizmu i in. Poza tym ogólnie oprócz samej górnej warstwy wynikowe działanie skierowane jest radialnie od spągu do stropu litosfery, zmieniając po drodze swoje własności fizyko-chemiczne.

(Z języka rosyjskiego przełożył T. Galkiewicz)

LITERATURA

1. Baranow J. J. — Wiecznaja mierzłota i jejo wozniknowienije w chode ewolucji Ziemi kak planety. Astron. Żurnał 1966, t. 43, nr 4.
2. Dörpholz W. F. — O wodoobmienieniu międu Ziemleju i mirowym prostranstwem. Geogr. Sborn. XV (Astrogeologija), Izd. AN SSSR, Moskwa, 1962.
3. Dörpholz W. F. — Gidrohlosfera — planetarnyj pierwoistocznik prirodnych wod narużnych oboloczek Ziemi. IV Sowieszcz, po probl. astrogeologii 1962, Izd. WGO, Leningrad 1962.

4. Derpholts V. F. — The principal planetary source of natural waters. Intern. Geol. Review, Washington 1962, v. 6, nr 8.
5. Dörpholz W. F. — Gidrosfera i chlor. Litol. polezn. iskop., 1963, nr 1.
6. Dörpholz W. F. — Opyt koliczestwiennoj charakteristiki ziemnoj gidrosfery i chlora. Dokl. AN SSSR, 1963, t. 150, nr 3.
7. Dörpholz W. F. — O glubinnoj gidrosfere. Sborn. Probl. proischozhdienija niefti. GIN AN Ukr. SSR, 1966.

8. Firsoff V. A. — The Earth's twin. Science News, v. 52, Penguin Books, Harmondsworth. 1959.
9. Katterfeld G. N. — Lik Ziemli i jezo proischozhdienije, Moskwa, 1962.
10. Rubey W. W. — Geologic history of sea water. Bull. Geol. Soc. Am. 1951, v. 62.
11. Wiernadskij W. I. — Istorija prirodnych wod. Gos, chim. izd. Leningrad, 1933—36.

SUMMARY

New, quantitative character of the Earth's hydrospheres is given, one of these hydrospheres, i.e. the underground hydrosphere, being subdivided into: 1—the upper hydrosphere, free and physical-chemically bounded, and 2 — the lower hydrosphere, free only in the supercritical fluidal state. Down to a depth of about 5 km, the free ground waters of the hypergenesis zone distinguish themselves by a circular dynamics, below — down to the Mohorovičić surface — by a radial dynamics upwards. The last phenomenon depends upon the potential difference between the upper and lower parts of the lithosphere for all kinds of mechanical, thermal, chemical, electromagnetic energy, a.o. This leads, by filtration and diffusion processes, to the transportation of fluid upwards. The filtration of liquids is due to the difference in mobility of constituents. The fluids move in the lower part of the lithosphere, too, probably also in the upper part of the Earth's mantle.

The most part of the free natural water, not only of the surface but also of the upper part of the hydrosphere, belongs to chloride mineralized and brine-like solutions that make the hydrochlorozone of the Earth. These chloride waters from the upper parts of the hydrochlorozones no doubt belong to calcium and magnesium ones; in the upper parts they change into a sodium type here.

The above planetary geochemical stratification may be explained by the mobility of bivalent calcium and magnesium ions, in comparison with the monovalent sodium ions, under changing thermodynamical conditions in the lithosphere upwards.

РЕЗЮМЕ

В статье дается новая количественная характеристика гидросфер Земли, из которых подземная делится на верхнюю, свободную и связанную (физически и химически), и нижнюю, свободную только в суперкритическом флюидообразном состоянии. До глубин примерно 5 км в зоне гипергенеза свободные подземные воды характеризуются круговой динамикой, ниже, до поверхности Моховичича — радиальной динамикой снизу вверх. Последнее обусловлено разностью потенциалов между верхней и нижней частями литосферы для всех видов энергий: механической, температурной, химической, электромагнитной и др. Это приводит к транспортировке флюида путем фильтрации и диффузии вверх. Фильтрация растворов сопровождается дифференциальной подвижностью компонентов. Движение флюида возможно и в низах литосферы и вероятно даже в верхней мантии.

Подавляющая часть свободной природной воды, не только поверхностной, но и верхней половины подземной гидросферы принадлежит хлоридным минерализованным и рассольным растворам, образующим „гидрохлоросферу” Земли. Эти хлоридные воды в нижних частях гидрохлоросферы принадлежат кальциевым и магниевым, а вверху смешиваются с натриевыми. Подобная планетарная геохимическая стратификация, по-видимому, объясняется различной подвижностью двухвалентных ионов кальция и магния в сравнении с одновалентными ионами натрия при изменении термодинамических условий среды в литосфере снизу вверх.