

STEFAN KOTLICKI

Instytut Geologiczny

ZAGADNIENIE WPLYWU BITUMINÓW NA CHEMIZM WÓD PODZIEMNYCH

UKD 551.491.4:553.981/.982:553.94/.97:550.42:543.272.7

Już od dawna znany jest fakt, że wody podziemne występujące w obszarach ropośnych, w bliższym lub dalszym sąsiedztwie złóż ropy naftowej odznaczają się specyficznymi cechami, co spowodowało w hydrochemii wydzielenie tych wód od pozostałych wód podziemnych w odrębną grupę tzw. „wód naftowych”. Wody te zawierają takie składniki, jak: jod, brom, substancje organiczne, dwutlenek węgla, azot. Jedną z charakterystycznych cech wód naftowych jest także niska zawartość jonów siarczanowych (6, 10, 12).

Na ogół w bezpośrednim sąsiedztwie złóż ropnych występują wysoko zmineralizowane solanki. Uważa

się, iż są to wody synsedymencyjne z osadami, w których występują. Obok solanek typu chlorkowo-sodowego, chlorkowo-wapniowego i chlorkowo-magnezowego w niektórych obszarach ropośnych spotyka się wody typu wodorowęglanowego, niekiedy bardzo słabo zmineralizowane.

Wychodząc z założenia, że tylko wysoko zmineralizowane wody typu chlorkowego można genetycznie wiązać z ropą wielu badaczy wszelkie inne typy hydrochemiczne uważa za wody współcześnie infiltrujące, zwłaszcza odnosi się to do wód o niskiej mineralizacji. Stanowisko takie może okazać się w wielu

przypadkach niesłuszne, szczególnie przy niskiej mineralizacji wody, a także wody wodorowęglanowo-sodowej.

Sprawa ta jest już od dawna przedmiotem dyskusji. Niektórzy badacze skłonni są wiązać genezę wód wodorowęglanowo-sodowych z reakcjami redukcji siarczanów. Są jednak także przeciwnicy takiej koncepcji, którzy genezę tych wód wiążą wyłącznie z infiltracją i reakcjami wymiany jonowej (11). Obecność w niektórych obszarach bogatych w bituminy takich anomalii profilu hydrochemicznego, jak występowanie wód słabo zmineralizowanych poniżej horyzontów o mineralizacji wyższej dowodzi jakiegoś procesu demineralizacji wody w złożu, a więc szczególnego procesu metamorfizacji wody. Proces taki należy wiązać z epigenetycznymi lub nawet hipergenicznymi przemianami bituminów i ich bezpośredniego wpływu na chemizm wód. Czynnikiem potwierdzającym taki pogląd może być fakt, iż wody wodorowęglanowo-sodowe o niskiej mineralizacji występują w obszarach, w których zachodził niszczenie złóż ropnych. Ropy z tych obszarów są często smoliste (12). Niekiedy w obszarach ropośnych spotyka się też wody siarczanowe. Występują one tam, gdzie złoża ropne są w dużym stopniu lub nawet całkowicie zniszczone (utlenione).

Ostatnio coraz większą popularność zyskuje pogląd, że wody naftowe mogą być zarówno pochodzenia sedymentacyjnego, paleoinfiltracyjnego, jak i współcześnie infiltracyjnego, a zatem w różnych konkretnych warunkach geneza tych wód może być różna, nie znaczy to jednak, iż proces metamorfizmu wód przebiega tu identycznie jak w obszarach, gdzie bituminy nie występują.

Formowanie mineralizacji wód naftowych w zasadzie podlega ogólnym prawom metamorfizacji wód podziemnych, z tym jednak, że pewien wpływ na ich chemizm wywierają także bituminy. Większość z sześciu podstawowych jonów takich, jak: chlorki, sól, wapń i magnez nie wiąże się genetycznie z ropą naftową. Natomiast jony wodorowęglanowe, jony organiczne, jod, brom, siarkowodór, a także dwutlenek węgla, azot i węglowodory przynajmniej częściowo gromadzą się w wodach, dzięki oddziaływaniu na nie ropy naftowej. Niektóre zaś składniki takie, jak: jony naftowe, fenole, węglowodory, część jodu, bromu, amoniaku i azotu przechodzą do wody bezpośrednio z bituminów. Nie znany jest jednak dokładnie mechanizm tych procesów i warunki, w jakich one zachodzą. Najprawdopodobniej największe oddziaływanie bituminów na środowisko geologiczne, w którym występują, a w szczególności na chemizm wód podziemnych zachodzi pod wpływem reakcji redukcyjno-utleniających. W tym punkcie poglądy badaczy są na ogół zgodne.

Dyskusja, tocząca się od wielu lat w tej dziedzinie, dotyczy przede wszystkim roli mikroorganizmów w tych procesach. Jest to zagadnienie bardzo złożone i obszerne, tak że omówienie jego w krótkim artykule jest niezmiernie trudne. Należy przy tym zauważyć, że na ten temat istnieje bogata literatura. Za klasyków teorii mikrobiologicznych procesów zachodzących w złożach bitumicznych uznaje się dziś Zo Bella (31) i W. Tausona (28). Z nowszych opracowań wymienić należy prace takich autorów jak: A. Woroszyłowa i E. Dianowa (30), N. Nieczajewa (21), A. Luchter (16, 17), E. Bokowa (1), E. Dutowa (4), Z. Kuźniecowa (15) i M. Gurewicz (10).

Argumenty przytaczane przez wymienionych badaczy o udziale mikroorganizmów w reakcjach redukcyjno-utleniających są bardzo przekonujące. Zastanawiające jest jednak to, czy udział mikroorganizmów w tych procesach jest czynnikiem niezbędnym. Szczególne własności redukcyjne leżą już bowiem w naturze chemicznej wielu związków organicznych, wchodzących w skład ropy naftowej, której wiele składników ulega bardzo łatwo utlenianiu. O redukcyjnych właściwościach tych substancji świadczy fakt,

iż produkty naftowe podczas dłuższego magazynowania podlegają procesowi samoutleniania (18). Procesy utleniania bituminów zachodzą również niekiedy przy zawadnianiu złóż ropnych poprzez doprowadzenie wraz z wodą tlenu z powietrza. Niektórzy autorzy sugerują, że czynnikiem powodującym rozkład bituminów może być sama woda (19, 24).

W ostatnich latach coraz więcej uwagi poświęca się badaniu zmian zachodzących w złożach ropy naftowej pod wpływem czynników hipergenicznych. Czynnikiem powodującym przeobrażenia bituminów jest zapewne naruszenie pierwotnych warunków fizyko-chemicznych, a przede wszystkim zmiana warunków redokso-nowych środowiska (14). Utlenianie złóż bitumicznych zachodzi przede wszystkim tam, gdzie bituminy znajdują się poza silnie redukcyjnym środowiskiem. Takie warunki przypuszczalnie zapewniają im silnie zmineralizowane, beztlenowe solanki typu chlorkowego. Tam zaś, gdzie stanowią dostateczną osłonę dla złoża nie obserwowane jest zjawisko starzenia się ropy. Zjawiska takie obserwuje się głównie, gdy w wodach złożowych pojawiają się związki tlenowe takie, jak np. siarczany. Być może w tym przypadku szczególna jest rola wód siarczanowych.

Uważa się także, iż substancje zawarte w bituminach odgrywają rolę aktywnego reduktora nie tylko względem siarczanów, ale również (w pewnym stopniu) wobec innych związków tlenowych (27).

Abstrahując zatem od rozważań nad tym, czy procesy utleniania bituminów zachodzą na drodze nieorganicznej, czy też przy udziale mikroorganizmów, wydaje się, że zjawisko to jest faktem rzeczywistym. Według niektórych autorów procesy te prowadzić mogą do całkowitego rozłożenia pierwotnych złóż bitumicznych (29).

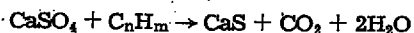
PROCESY REDUKCJI SIARCZANÓW

Jednym z najwyraźniej obserwowanych procesów redukcyjno-utleniających jest redukcja siarczanów w wodach podziemnych. Jest to zjawisko bardzo rozpowszechnione w obszarach występowania bituminów i wielu geochemików uważa je za główny przejaw wpływu bituminów na chemizm wód podziemnych. Problem ten poruszył już J. Nowak (22), tłumacząc niektóre zjawiska geochemiczne w Karpatach. Podobne wyjaśnienia znajdujemy również w literaturze zagranicznej (8). Procesami redukcji siarczanów wyjaśnia się dziś w wielu przypadkach genezę złóż siarki, przy czym wielu badaczy powstanie złóż siarki przypisuje swoistemu oddziaływaniu bituminów na środowisko geologiczne. K. Smulikowski (26) pisze: „Specjalnie uprzywilejowanymi pod względem możliwości tworzenia się złóż siarki rodzimej są takie obszary, gdzie złoża solne normalnie zawsze z siarczanami stowarzyszone sąsiadują ze złożami bituminów. Bituminy stają się wówczas czynnikiem sprzyjającym redukcji siarczanów i w następstwie umożliwiającym wydzielanie siarki... Największe i ekonomicznie najważniejsze złoża siarki są takiego właśnie pochodzenia”.

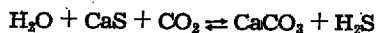
A. Sokołowa (25) stwierdza, że powstanie epigenetycznych złóż siarki rodzimej możliwe jest tylko tam, gdzie w nadkładzie lub sąsiedztwie struktur ropośnych występują minerały siarczanowe. Podobne wyjaśnienie genezy siarki rodzimej w polskim terytorium daje R. Krajewski (13) i J. Czermiński (2), zwracając jednak uwagę na rolę mikroorganizmów w procesie osłankowania.

W wodach podziemnych proces redukcji siarczanów zaznacza się przede wszystkim zmniejszeniem się zawartości jonów siarczanowych, a pośrednio rozkładem soli siarczanowych w środowisku geologicznym. Jest to jednak tylko jeden z wielu aspektów tego złożonego i wielostronnego procesu. Zmiany chemizmu wód podziemnych mogą różnie przebiegać, zależnie od kationów występujących w towarzystwie z jonami siarczanowymi. W przypadku redukcji rozpuszczone-

go w wodzie siarczanu wapnia reakcja będzie następująca:



oraz zależnie od warunków środowiska



Przytoczone schematy reakcji są przykładem utlenienia najprostszego węglowodoru. W przypadku zaś utleniania węglowodorów o większej ilości atomów węgla i wodoru zarówno stosunki ilościowe, jak i sam wzór reakcji może ulegać modyfikacjom. Powstanie bowiem wówczas większa ilość tak CO_2 , jak i H_2O . W przypadku redukcji siarczanu sodu schematyczny wzór reakcji będzie podobny:



i tu również zależnie od fizyko-chemicznych warunków środowiska reakcja może przebiegać dalej:



Należy jednak zwrócić uwagę, że o ile pierwsza część przytoczonych tu reakcji jest jednokierunkowa, o tyle druga jest odwracalna i przy określonej równowadze może się zatrzymać lub przebiegać w kierunku odwrotnym. Końcowymi produktami tych reakcji będą więc: węglan sodu lub wapnia, siarkowodor, kwaśny siarczek sodu lub siarczek wapnia oraz dwutlenek węgla i woda.

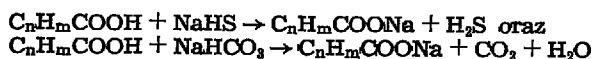
W wyniku procesów redukcji siarczanów następuje zatem wzbogacenie wód w jony wodorowęglanowe oraz dwutlenek węgla, co z kolei sprzyja reakcjom wymiany jonowej (3, 11). Wydaje się, iż jest to główne źródło powstawania wód typu wodorowęglanowo-sodowego, a więc szczaw, na obszarze występowania bituminów.

Zjawiska redukcji siarczanów są jednak tylko jednym z wielu reakcji redukcyjno-utleniających, jakie zachodzą pod wpływem i przy udziale bituminów, niezależnie od tego czy reakcje te zachodzą na drodze biochemicznej, czy też nie. Same zaś reakcje redukcyjno-utleniające pociągają mogą za sobą inne reakcje chemiczne, jak np. reakcje wymiany jonowej.

W złożach bitumicznych obok różnego rodzaju węglowodorów występują także inne substancje, niekiedy bardzo aktywne chemicznie i nietrwałe. Zaliczyć należy do nich przede wszystkim kwasy naftenowe, stanowiące liczną grupę kwasów organicznych. Związki te powstają w wyniku utleniania węglowodorów. Ogólny ich wzór jest następujący:



Wiadomo, iż kwasy te bardzo łatwo reagują z jonami sodu, zwłaszcza w środowisku alkalicznym, odbierając ten pierwiastek jego połączeniem nieorganicznym. Reakcja przebiega według schematu:

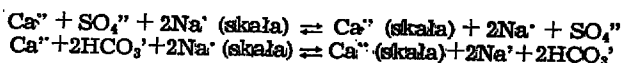


Związki te nawet przy połączeniu sodu są bardzo nietrwałe i ulegać mogą całkowitemu rozkładowi, dając w końcowym efekcie przede wszystkim CO_2 i H_2O . Wydaje się, że rola takich związków organicznych jak kwasy naftenowe jest niedoceniana w procesach hydrochemicznych i geochemicznych. E. P. Mułikowska (20) podaje, że związki takie są dość szeroko rozpowszechnione w wodach podziemnych, szczególnie występujących w aureoli wpływów złóż bitumicznych.

Utlenianie się bituminów może powodować jeszcze inne zmiany w mineralizacji wód podziemnych, przy czym mogą to być zmiany zarówno jakościowe, jak i ilościowe. Zmiany te mogą zachodzić na drodze wymiany jonowej.

REAKCJE WYMIANY JONOWEJ

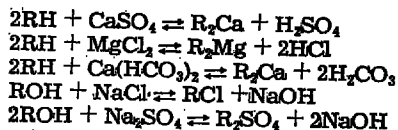
Procesom wymiany jonowej przypisuje się ostatnio szczególnie ważną rolę w formowaniu się składu chemicznego wód podziemnych. Przypisuje się im przede wszystkim główną rolę we wzbogaceniu wód podziemnych w sól (11). W swej klasycznej postaci reakcje te zachodzą według wzoru:



Reakcje takie zachodzą między jonami występującymi w wodzie a jonami adsorbowanymi w skałach, lecz dotyczą jedynie kationów. Najwięcej adsorbowanych kationów występuje w minerałach ilastych. Niektóre z nich, jak np. bentonity, glaukonit i inne stosowane bywają w technice chemicznej jako tzw. jonity, dla zmiękczenia wody. Obecność więc takich minerałów w środowisku geologicznym może sprzyjać wymianie jonowej.

Należy jednak zauważyć, że chociaż reakcje wymiany jonowej są podstawowymi reakcjami chemicznymi i typowe przykłady takich reakcji znaleźć można niemal w każdym podręczniku hydrochemii, to zjawiska te w warunkach geologicznych nie są jeszcze dobrze rozpoznane.

Najnowsze badania nad naturalnymi i syntetycznymi jonitami dowodzą, iż znacznie lepszymi wymiennikami jonów niż minerały nieorganiczne są pewne substancje organiczne takie, jak pewne substancje smoliste, związki fenolowe itp. (7, 23). Substancje te są zdolne nie tylko wymieniać, ale i sorbować z wody zarówno kationy, jak i aniony, oddając w ich miejsce jony H^+ lub OH^- według schematu:



Ponieważ są to wysoko spolimeryzowane związki organiczne mogą one jednocześnie zawierać tak jony H^+ , jak i OH^- , a zatem mogą nie tylko zasadniczo zmieniać skład chemiczny wody, ale powodować także jej demineralizację. Powstanie substancji smolistych wśród bituminów następuje szczególnie wówczas, gdy te ostatnie podlegają utlenieniu. Spotykane więc nisko zmineralizowane wody w obszarach ropoносnych mogą powstawać na drodze demineralizacji wód pierwotnych.

REAKCJE SYNTEZY WODY

Demineralizacja pierwotnej wody pod wpływem bituminów może zająć także, jak należy przypuszczać, na innej drodze, a mianowicie może być spowodowana rozcieńczeniem pierwotnej wody przez tzw. wody hemogeniczne.

Jak wynika z przytoczonych wyżej schematów reakcji redukcyjno-utleniających oraz reakcji z kwasami naftenowymi, w każdym przypadku końcowymi produktami reakcji obok składników takich, jak CO_2 i H_2S jest woda. Jest to woda chemicznie czysta, powstała w wyniku reakcji chemicznych. Tego rodzaju wodę w najnowszej literaturze hydrogeologicznej określa się nazwą wody „syntetycznej” albo „hemogenicznej”. Jeżeli ilość powstałej w ten sposób wody będzie dostatecznie duża, to może ona rozcieńczyć pierwotnie bardziej zmineralizowany roztwór, a zatem zdeminalizować wodę. W obecnym stanie wiedzy na ten temat trudno jest powiedzieć z całą stanowczością jaka ilość wody może powstać w ten sposób. Tak w geochemii, jak i w hydrogeologii pomijano dotychczas milczeniem tego rodzaju źródła pochodzenia wody w skorupie ziemskiej.

Nowsze publikacje podają już szereg przykładów reakcji chemicznych, zachodzących w skorupie ziemskiej, w których wyniku następuje synteza wody. Uważa się jednak obecnie, że wody te „nie tworzą wielkich mas” (12). Jeżeli jednak wziąć pod uwagę skalę, w jakiej zachodzić musiały procesy redukcjno-utleniające, które doprowadziły do powstania np. złóż siarki, to wydaje się możliwe, że przy tego rodzaju zjawiskach może powstać również taka ilość wody, iż jej wpływ może zaznaczyć się na mineralizacji wód podziemnych.

WNIOSKI

Przytoczone przykłady reakcji geochemicznych, jakie zachodzić mogą w wodach towarzyszących bituminom wskazują jak różnorodne zmiany zachodzić mogą również w chemizmie tych wód. Na podstawie analizy stosunków hydrochemicznych wielu obszarów, gdzie występują bituminy, głównie zaś obszarów ropo- nośnych, można wnioskować, że bituminy są tu nie tylko czynnikiem sprzyjającym, ale również motorem wielu przemian zachodzących w wodach podziemnych. Uwzględnienie tego czynnika pozwoli nie tylko na pełniejsze poznanie warunków hydrochemicznych złóż ropnych, ale także na zrozumienie szeregu niewyjaś- nionych dotychczas zjawisk hydrochemicznych, jak np. anomalie profilu hydrochemicznego, wzbogacenie wód w CO₂ i inne.

Bituminy w stanie mniej lub bardziej rozproszonym występują dość szeroko poza obszarami ropo- nośnymi. Dość duża ich ilość może także występować w złożach węgla. Wywierają one niewątpliwie swe piętno na stosunki hydrochemiczne, a pośrednio mogą powo- dować różnorodne epigenetyczne zmiany w środowisku geologicznym.

LITERATURA

1. Bokowa E. N. — Okislenie etana i propana niektórymi widami mikrobakterii. *Mikrobiolo- gija* t. XXIII, 1954, nr 1.
2. Czermiński J. — Struktury mikroorganizmiczne siarki rodzimej w tortonie. *Kwart. geol.* 1960, t. IV, nr 2.
- 2a. Czermiński J., Pawłowski S. — Współ- cześnie zachodzące procesy w złożach siarki i ich znaczenie dla eksploatacji. *Prz. geol.* 1961, nr 1.
3. Czichelidze S. S. — K woprosu sosoobrazo- wanija w podziemnych wodach. *Trudy lab. gidr. probl. AN SSSR.* Moskwa 1958.
4. Dułowa E. N. — O bakteriach razruszajuszczich naftienowyje kisloty i ich rasprostranienii w pod- ziemnych wodach. *Mat. WSEGEL. Wyp.* 18, 1956.
5. Fash R. H. — Theory of origin and accumulation of petroleum. *Bull. Am. Assoc. of Petrol. Geol.* Vol. 28, 1944 nr 10.
6. Glogoczowski J. J. — Nowy geochemiczny wskaźnik ropo- i gazonośności. *Nafta* 1954, nr 1.
7. Griessbach R. — Austauschadsorption in Theorie und Praxis. Berlin 1957.
8. Grupe O. — Bitumenfuhrende Horizonte im nordwestdeutschen Weissen Jura und ihre Bedeu- tung als Bildner schwefelwasserstoffhaltiger grundwasser und Quellen. *Jb. Preuss. Geol. La.* für 1932.
9. Gulajewa L. A., Itkina E. S. — Okislitelno- wosstanowitelnyj potencjal i pH kaustobolitow. *Trudy Inst. Niefti.* 1954, t. 3.
10. Gurewicz M. S. — Paragenesis prirodnych wod i gazow. *Trudy Labor. Gidr. Probl. AN SSSR* 1948, t. 3.
11. Janak J. — Uloha iontoverovnohahy pri tvorbe a metamorfose prirodnych vod v sedimentarnich oblastech. *Geol. Prace, Zprawy* 15, Bratislava 1959.
12. Karcew A. A. — Gidrogeologija nieftianych i gazowych miestoroždienii. Moskwa 1963.

13. Krajewski R. — Złoże siarki w Czarkowach. *Spraw. PIG*, t. 8, z. 2, 1935.
14. Krumbein W. C., Gerrels R. M. — Origin and classification of chemical sediment in terms of pH and oxidation-reduction potentials. *Econ. Geol.* 60, 1952 nr 1.
15. Kuźniecowa Z. J. — Raspniedielenije desul- firujuszczich bakterij po padieniju wodonosnogo plasta (Tierako-Dagestanskaja nieftienosnaja pro- wincja). *Wopr. Gidr. i Inż. Geol. Sb.* 18, 1959.
16. Luchter A. — Rola bakterii przy powstawaniu ropy naftowej. *Nafta* 1952, nr 12.
17. Luchter A. — Próba zastosowania szczepów bakterii jako wskaźników roponośności terenu. *Biał. Inst. Naft.* 1954, nr 2.
18. Maczel H., Reymont M. — Wpływ inhibitorów na stabilność benzyn etylizowanych. *Nafta* 1960, nr 3.
19. Meinschein W. G. — Origin of petroleum. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.* t. 43, 1959, nr 5.
20. Mulikowskaja E. P. — Powiedienije naftie- nowych kislot w prirodnych wodach razlicznogo sostawa. *Mat. WSEGEL. Wyp.* 18, 1956.
21. Nieczajewa N. B. — Obrazowanije metana mikroorganizmami. *Mikrobiologija*, t. 22, 1953, nr 4.
22. Nowak J. — Die Frage der Grenzen des polni- schen Ölbeckens der Flynshzone. *Bull. Intern. Acad. Pol. Ser. A*, 1938, nr 6-7.
23. Riabczikow D. J., Citowicz I. K. — Jono- obmiennye smoly i ich primienienije. *AN SSSR.* Moskwa 1962.
24. Smirnow A. A. — K woprosu o roli podziem- nych wod w formirowanii, sochraniienii i razru- szenii zaleznej gazow preimuszczestwiennie ugle- wodorodnogo, gielwo-azotnogo, azotnogo i ugle- kisloto sostawa. *Trudy WSEGINGEO. Sb.* 14, 1957.
25. Sokołow A. S. — Osnownyje geologiczeskije zakonomiernosti rozmiščzenija siennych miestoroždienij. *Geol. Sborn. Lwowsk. Geol. Obszcz.* 1958, nr 5-6.
26. Smulikowski K. — *Geochemia. PIG, Pr. spec.*, t. I, Warszawa 1952.
27. Szmiejerson W. B., Wasiliewa N. P. — Wlijanije nieftiej na powierchnostnije swojstwa mineralow wchodiaszczich w sostaw nieftianych kolektorow. *Trudy Inst. Niefti* t. III, 1954.
28. Tauson W. O., Aleszina W. I. — O wosta- nowlieni sulfatow bakteriami w prisutstwi ugle- wodorow. *Mikrobiologija*. t. I, wyp. 3, 1932.
29. Wassojewicz N. B., Amosow G. A. — Izmenienija nieftiej w ziemnoj korie. *Geol. Sb. WNIGRI* 11(v), 1953.
30. Worosziłowa A. A., Dianowa E. W. — Okislajuszczije nieft bakterii pokaziteli intensi- wnosti biologičeskogo okislenija niefti w prirod- nych usłowijach. *Mikrobiol.* t. XXI, nr 4, 1952.
31. Zo Bell C. E. — *Marine Microbiology. A Mono- graph on hydrobacteriology. Chronica botan. Comp.* 1926.

SUMMARY

The article presents some examples of geochemical reactions that can take place in the waters connected with bitumens, and points to the changes appearing in chemical properties of the waters. Basing on the analysis of hydrochemical relations in various areas, in which bitumens occur, we may draw conclusions that bitumens represent here not a favourable factor only, but are also a driving power for numerous transformations in underground waters. No doubt they also intensely influence the hydrochemical relations and may indirectly cause various epigenetical changes of geological environment.

РЕЗЮМЕ

В статье приведены примеры химических реакций, происходящих в водах сопровождающих битумы, и изменения химизма таких вод. На основании изучения гидрохимических условий в ряде районов распространения битумов можно судить,

что битумы являются не только благоприятствующим фактором изменения химизма вод, но во многих случаях представляют причину таких изменений. Они несомненно отражаются на гидрохимических условиях и косвенно могут вызывать различные эпигенетические изменения геологической среды.