

SMOKERSY W ŚWIETLE TEKTONIKI PŁYT

Zarys problematyki

UKD 553.24.065:551.242

Zagadnienie genezy i składu chemicznego smokersów, zarówno współczesnych, jak również ich form kopalnych, znane jest jedynie bardzo wąskiej grupie specjalistów, zwłaszcza w aspekcie surowcowym – występowania koncentracji rud głównie siarczkowych, manganowych i barytowych.

Dodatkowym argumentem przemawiającym za prezentacją powyższego zagadnienia jest wzrastająca liczba ewidencjonowanych przez autora różnych kopalnych form smokersów w obrębie dewonu środkowego i górnego Gór Świętokrzyskich (Pr. PIG, w druku) oraz jury górnej, kredy górnej i trzeciorzędu z rejonu Busko–Pińczów (20, 21). Na uwagę w tym względzie zasługuje również obszar krakowidów (13).

W rozumieniu autora termin smoker (l.mn. smokersy) oznacza syngedymantacyjne źródło hydrotermalne pochodzenia zarówno oceanicznego, jak również kontynentalnego, o hybrydowej genezie roztworów (woda morska zmodyfikowana przez pierwotne roztwory magmowe¹ oraz składniki metasomatyczne), związane ze strefą ryftową lub też z dyslokacją. Formami strukturalnymi współczesnych i kopalnych smokersów są natomiast kominy, kopuły, nieregularne strefy, powłoki itp. Wymienione formy mogą tworzyć się zarówno na dnie zbiorników, jak również w obrębie zdeponowanych osadów o różnym stopniu lityfikacji.

Celem niniejszego artykułu jest jedynie nakreślenie problemu występowania, składu i genezy głównie współczesnych smokersów oceanicznych, bez szczegółowego omawiania związanej z nimi problematyki złożowej. W takim ujęciu autor pragnie zwrócić uwagę czytelnika na daleko szerszy aspekt przedmiotowego zagadnienia – rolę skałotwórczą niektórych odmian smokersów.

Hipoteza ekspansji dna oceanicznego, przedstawiona pierwotnie przez A. Holmesa (1945), została rozwinięta w latach sześćdziesiątych przez szereg badaczy, wśród których największy wkład wnieśli H.H. Hess, R. Dietz oraz J. Wilson (25). Ostatni z wymienionych wprowadził ideę gorących plam (hot spots) dla wyjaśnienia przyczyny mobilności litosfery (28). Mimo obarczenia wieloma niejasnościami, czy wręcz sprzecznościami, wielokrotnie modyfikowana, teoria Holmesa-Hessa-Dietza-Wilsonska dokonała rewolucyjnego przewrotu w naukach geologicznych, dając

impuls licznym nowym ideom w tektonice, petrologii (29), geologii złóż itp.

W zarysie wymieniona teoria zakłada, iż skorupa ziemska jest złożona z mozaiki, przemieszczających się wzdłuż uskoków przekształcających (transformujących), płyt oceanicznych. Nowa skorupa tworzy się nieprzerwanie w obrębie grzbietów śródoceanicznych (strefy akrecji). Materiału potrzebnego do jej powstania dostarczają wstępujące z głębi płaszczka prądy konwekcyjne. Skorupa „rozpływa się” w obu przeciwnych kierunkach, oddalając się od osi grzbietu (doliny ryftowej). Na obszarach rowów oceanicznych, opisana skorupa wchodzi z powrotem w obręb płaszczka (strefa subdukcji). Tak więc podstawowym rysem tektoniki płyt jest obecność stref spredingu oraz kompensacji.

Występowanie współczesnych smokersów oceanicznych związane jest głównie z wymienionymi strefami spredingu (spreading centers). Badania smokersów, zapoczątkowane w 1976 r. przez wyprawę „Pleiades” (27), kontynuowano w rejonie ryftu Galapagos (7, 22), Grzbietu Wschodniopacyficznego (2, 8, 14, 15, 24), Zatoki Kalifornijskiej (18), Grzbietu Juan de Fuca (4), Grzbietu Środkowoatlantyckiego (23) itp.

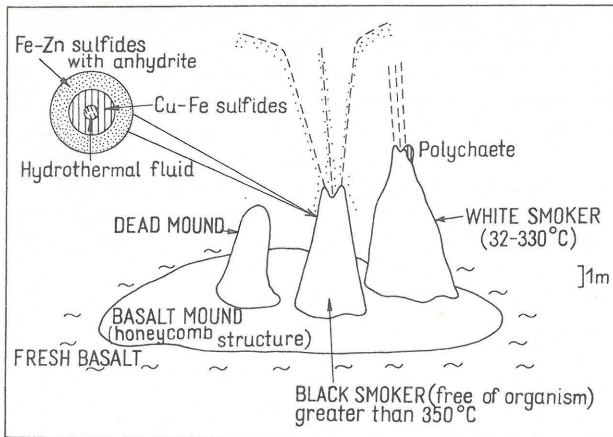
Smokersy występują na głębokości² do 2,5 km, tworząc formy w postaci pagod – kominowe (active chimneys) lub kopulaste (dead mounds), o średnicach odpowiednio do 4 m (15) i 25 m (22) oraz wysokości do 20 m (23), grupując się w strefach o rozciągłości do 100 m (18) (ryc. 1). Czynne smokersy wydzielają gorące roztwory z prędkością ok. 2–10 cm/sek, w postaci pióropusza dryfującego poziomo (buoyant plume) do 150 m od dna basenu (7). Niektóre z wymienionych smokersów ujawniają swoją aktywność tylko przez okres kilku lat (23).

W zależności od zróżnicowania składu chemicznego i związanej z nim barwą wypływającego pod ciśnieniem roztworu hydrotermalnego (hydrothermal jet), wyróżnia się dwa podstawowe rodzaje smokersów – czarne i białe (black and white smokers).

Kominy i kopuły czarnych smokersów są zbudowane głównie z siarczków, z tym iż w środkowych partiach występują masywne siarczki Cu–Fe, natomiast w strefach

¹ Primary magmatic waters wg J. Hoefsa (16).

² Smokersy kontynentalne z Silvermines (3) były związane z brzeżnymi partiami basenu dolnkarbońskiego (o głęb. ok. 100–200 m), co tłumaczy mniejszą średnicę kopalnych kominów smokersów (0,1–20 mm).



Ryc. 1. Formy czarnych i białych smokersów zlokalizowanych w obrębie grzbietu wschodniopacyficznego 21°N (wg F.N. Spieca et al., 24, zmodyfikowane przez autora)

Fig. 1. Forms of black and white smokers of the East Pacific Rise 21°N (after Spieca F.N. et al., 24, modified by the author)

zewewnętrznych odpowiednio siarczki Fe i Zn, poprzerastane anhydrytem z niewielką domieszką bezpostaciowej krzemionki, talku, minerałów ilastych, uwodnionych tlenków i wodorotlenków żelaza itp. (7, 9, 14, 15, 24, 27). Typowe formy czarnych smokersów, występujące na dnie Pacyfiku, zawierają 31% Zn, 14% Fe, 1% Cu, 165 ppm Ag i śladowe ilości Au (23). Większość siarczków wymienionych smokersów jest rozsiana w postaci czarnych cząstek i tylko niewielka ich część jest zawarta w opisanych formach strukturalnych, tworząc koncentracje złożowe.

Kominy i kopuły białych smokersów są natomiast zbudowane z barytu z domieszką Sr i Fe (18, 24), z amorficznej krzemionki i barytu z domieszką siarczków (4), lub też z naprzemianległych (stratyfikowanych) koncentracji nontronitu oraz uwodnionych tlenków i wodorotlenków żelaza i manganu, o zabarwieniu odpowiednio zielono-pomarańczowo-czarnym (7, 17, 22). W rejonie ryftu Costa Rica nontronit tworzy warstwy miąższości do kilku metrów, przewarstwiające się z osadem pelagicznym (10). Skład chemiczny dwóch kominów białych smokersów, obecnych w kalderze Axial Seamount w rejonie Grzbietu Juan de Fuca (4) oraz odpowiednio roztworu hydrotermalnego i wody morskiej z głębokości ok. 1600 m przedstawiono w tabelach I i II.

Wymienione rodzaje smokersów różnią się temperaturą wydzielanych roztworów. Czarne smokersy ujawniają temperaturę do $380 \pm 30^\circ\text{C}$ (przy temperaturze pobliskiej wody morskiej wynoszącej ok. $+2^\circ\text{C}$) oraz pH 4, natomiast białe smokersy odpowiednio w granicach od 32 do 330°C (24). Interesujący jest fakt zasiedlenia białych smokersów przez kolonie pierścienic, krabów, mięczaków itp. (4, 18, 24), bez względu na temperaturę wydzielanych roztworów hydrotermalnych (!).

Na szczególną uwagę zasługują wyniki badań izotopowych i to zarówno stabilnych izotopów siarki w koncentracjach siarczkowych i barytowych, jak również izotopów tlenu w wodzie morskiej w rejonach grzbietów śródoceanicznych. Wartości $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ w obrębie masywnych siarczków budujących kominy czarnych smokersów w rejonie Grzbietu Wschodniopacyficznego zawierają się w granicach od 0 do $+6\%$ (dominują w przedziale od $+1,4$ do $+3,0\%$) i są charakterystyczne dla siarki pochodzącej głównie (ok. 90%) ze skorupy bazaltowej (M. Arnold, S.M.P. Shepard, 1981, *vide* 3). Publikowane wyniki oznaczeń

Tabela I
SKŁAD CHEMICZNY KOMINÓW
DWÓCH BIAŁYCH SMOKERSÓW W REJONIE
GRZBIETU JUAN DE FUCA - 46°N i 129°W (4)

| Składniki | 1. | 2. |
|------------------|------|------|
| | w % | |
| Zn | 10,1 | 28,2 |
| Fe | 5,8 | 3,2 |
| Cu | 0,1 | 0,3 |
| Pb | 0,6 | 0,1 |
| Ba | 15,0 | 14,2 |
| Ca | 0,2 | 0,1 |
| SiO ₂ | 41,4 | 20,4 |
| CO ₂ | 0,3 | 0,3 |
| w ppm | | |
| Ag | 342 | 233 |
| Cd | 110 | 740 |
| Mo | 45 | 32 |
| Co | 3 | 3 |
| Ni | 32 | 11 |
| Mn | 470 | 1300 |

Tabela II
SKŁAD CHEMICZNY ROZTWORU
HYDROTHERMALNEGO* ORAZ WODY MORSKIEJ
(Z GŁĘBOKOŚCI 1600 m)
W REJONIE GRZBIETU JUAN DE FUCA - 46°N i 129°W (4)

| Składniki | Roztwór hydrotermalny | Woda morska |
|---|-----------------------|-------------|
| Mg (mmol kg ⁻¹) | 49,39 | 52,04 |
| Si (mmol kg ⁻¹) | 1,10 | 0,16 |
| Cl (mmol kg ⁻¹) | 531,9 | 538,6 |
| Ca (mmol kg ⁻¹) | 11,06 | 10,13 |
| SO ₄ (mmol kg ⁻¹) | 25,94 | 27,83 |
| ΣC (mmol kg ⁻¹) | 4,32 | 2,37 |
| pH | 6,18 | 7,7 |
| Alk (meq kg ⁻¹) | 2,66 | 2,42 |
| Fe (μmol kg ⁻¹) | 2,6 | - |
| H ₂ S (μmol kg ⁻¹) | 330 | - |
| Mn (μmol kg ⁻¹) | 27,7 | - |
| Li (μmol kg ⁻¹) | 58,0 | 28 |
| Rb (μmol kg ⁻¹) | 4,4 | 1,3 |
| Ba (μmol kg ⁻¹) | 1,31 | 0,15 |
| Sr (μmol kg ⁻¹) | 92 ± 3 | 88 |

* Z komina smokera 1 (tab. I)

stabilnych izotopów siarki z różnych obszarów występowania współczesnych i kopalnych form smokersów ujawniają wartości $\sigma^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ dla siarczków od $-42,3$ do $+28\%$, natomiast dla barytów od $+14$ do $+22\%$ (3, 11, 15 oraz M. Arnold, S.M.P. Shepard, 1981 i M.M. Styr, 1981, *vide* 3).

³ Najbardziej ujemne wartości $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ (od $-18,4$ do $-42,5\%$) ujawniają siarczki występujące w kopalnych formach smokersów kontynentalnych z Silvermines (3). Wymienione wartości interpretuje się jako wynik reakcji hydrotermalnego Fe²⁺ z siarką powstałą w procesie niskotemperaturowej (poniżej 150°C) redukcji bakteryjnej siarczanów. Opisana redukcja przebiegała w stratyfikowanym zbiorniku dolnokarbońskim na granicy „normalna” woda morska - izolowane solanki podmorskie (tzw. halocline). Strefa ta spełniała podwójną rolę - dzięki stosunkowo niewielkiemu zasoleniu umożliwiała rozwój bakterii oraz jednocześnie stanowiła pułapkę dla substancji organicznej, niezbędnej dla procesu redukcji. Baryt w opisanym złożu powstał natomiast w wyniku reakcji hydrotermalnego Ba²⁺ z siarczanami morskimi. Stąd wartości $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ barytu (od $+14,2$ do $+20,4\%$) zbliżone do dolnokarbońskich siarczanów morskich ($+14$ do $+22\%$, *vide* 6).

Oznaczenia stabilnych izotopów tlenu w wodzie morskiej w obrębie grzbietów śródoceanicznych dały wartości $\delta^{18}\text{O}$ w przedziałach od -1 do $+1\text{‰}$ (informacja L.S. Landa), co świadczy, iż system cyrkulacji woda morska – roztwór hydrotermalny nie prowadził do dramatycznych zmian w rozkładzie wymienionych izotopów. $\delta^{18}\text{O}$ wody morskiej jest więc wartością stałą ($= 0$) i prawdopodobnie nie ulegała większym zmianom począwszy od paleozoiku (m.in. 12, 19, 26).

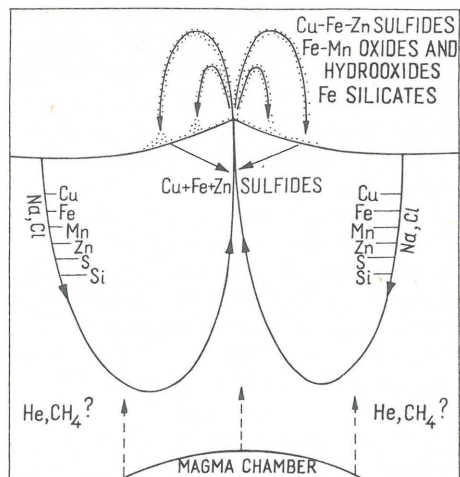
Oznaczenia wieku bezwzględne ($^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$, $^{210}\text{Pb}/\text{Pb}$ i $^{228}\text{Th}/^{228}\text{Ra}$) radionuklidów obecnych w siarczankach oraz odpowiednio w tlenkach i wodorotlenkach Fe i Mn z ryftu Galapagos, Grzbietu Wschodniopacyficznego 21°N i 13°N , jak również Grzbietu Środkowoatlantyckiego 26° i 37°N ujawniły, iż działalność hydrotermalna w obrębie niektórych partii wymienionych stref spredingu trwa już kilkadziesiąt tysięcy lat (17).

Genezę wielu złóż występujących w basenach oceanicznych tłumaczono do lat sześćdziesiątych procesem akumulacji materiału z pobliskiego ładu dostarczanego w sposób mechaniczny lub chemiczny. W miarę rozwoju teorii tektoniki płyt okazało się, iż same baseny oceaniczne są źródłem ciepła i metali. Skupienia tych ostatnich powstają w wyniku procesów wymiany, zachodzących między wodą morską a skorupą oceaniczną (ryc. 2). Alkaliczna i zimna woda morska przenika przez spękania w skorupie do głębokości 6 km (przy wzroście spredingu odpowiednio do 1 km), gdzie ulega podgrzaniu i zhybrydyzowaniu przez pierwotne roztwory magmowe, a następnie wyniesieniu do góry. Efekt penetracji skorupy przez wodę morską zwielokrotnia się w przypadku wzrostu ruchu skorupy w strefach spredingu oraz w wyniku ciśnienia słupa cieczy. Źródłami ciepła są komory magmy (magma chambers), reakcje chemiczne zachodzące między wodą morską a niektórymi składnikami skał skorupy i płaszczu oraz gradient geotermiczny (ciepło wydzielone w wyniku rozpadu pierwiastków promieniotwórczych). Komory magmy występują wzdłuż granic płyt oraz pod wulkanami zlokalizowanymi w centralnych partiach rozległych płyt (np. Hawaje).

Skala wymiany ciepła oraz pierwiastków chemicznych między cyrkulującą wodą morską a skorupą oceaniczną jest ogromna. T. Waleri i N. Slip (vide 23) wyliczyli, iż cała masa wody oceanicznej przechodzi przez skorupę w strefach spredingu w ciągu 10 mln lat. Roczna masa odpowiadająca wielkości rocznego spływu Amazonki.

Woda morska jest źródłem Mg^{2+} , Na i siarczanków, natomiast skorupa odpowiednio Cu, Fe, Mn, Zn, K, Li, Rb, Ba, Ca, Si (As, Sb, Hg i Se pochodzą prawdopodobnie z płaszczu Ziemi). Geneza chlorków jest niejasna. Anion SO_4^{2-} zawarty w wodzie morskiej reaguje z minerałami żelazistymi skał wulkanicznych dając anion S^{2-} , który w połączeniu z jodem H^+ (powstałym w wyniku reakcji Mg z wodorotlenkami i Si) przechodzi w H_2S . W powstałym kwaśnym roztworze rozpuszczają się metale, zawarte w skorupie nawet w minimalnych ilościach (rzędu ppm).

E. Spooner i W. Fyfe (vide 23) wyliczyli teoretycznie, iż 350 km^3 magmy nagrzewa 1000 km^3 wody do temperatury 300°C , dając ok. 1 mln t metalu, przy jego założonej koncentracji wynoszącej ok. 1 ppm. Magma krzepnie jednocześnie z prędkością ok. $1 \text{ km}^3/1000 \text{ lat}$ (5). Metale są obecne w podgrzanej wodzie w postaci związków kompleksowych lub chlorków. Mieszanie się zhybrydyzowanych roztworów hydrotermalnych oraz wody morskiej zachodzi



Ryc. 2. Diagram ilustrujący proces tworzenia się rud w obrębie śródoceanicznych stref spredingu (wg P.A. Rony, 23)

Fig. 2. Diagram of ore-forming processes within the mid-ocean spreading centers (after Rona P.A., 23)

wówczas, gdy ciśnienie słupa wody morskiej nie dopuszcza do ich wrzenia, to znaczy na głębokości poniżej 2000 m (i temperaturze ok. 350°C). Następuje wówczas obniżenie temperatury roztworu hydrotermalnego, przy jednoczesnym wzroście jego pH. W sprzyjających warunkach redukcyjnych osadzają się siarczki (anion S^{2-} pochodzi głównie z wody morskiej), natomiast w warunkach utleniających dochodzi do wytrącenia wodorotlenków, siarczanów, węglanów itp.

W płytkich partiach basenu (do głębokości 2000 m) dochodzi do rozdzielania się fazy ciekłej (NaCl) od fazy gazowej (H_2S). Roztwór wówczas wrze, a wytrącanie metali zachodzi bezpośrednio pod dnem oceanu – do głębokości kilkuset metrów (2) lub w izolowanych i stratyfikowanych (warstwy o różnej gęstości) solankach podmorskich. Ten ostatni przypadek ma miejsce w Morzu Czerwonym, które jest związane ze strefą spredingu o małej prędkości (wczesne stadium rozwoju oceanu – constrained ocean). Złoże Atlantis II (położone na zachód od Mekki) zawiera 100 mln t rudy o składzie: 29% Fe, 2 do 5% Zn, 0,3 do 0,9% Cu, 60 ppm Ag i 0,5 ppm Au.

W stadiach dojrzałego oceanu następuje zmiana warunków od redukcyjnych do utleniających oraz zmniejszenia zasolenia roztworów hydrotermalnych (odpowiednik normalnej wody morskiej), co prowadzi do powstania stratyfikowanych skupień uwodnionych tlenków i wodorotlenków żelaza i manganu, o zawartości tego ostatniego do 50% (np. Grzbiet Środkowoatlantycki 26°N).

Złoża polimetaliczne (masywnych siarczaków), związane z działalnością smokersów, tworzyły się w różnych okresach dziejów Ziemi, począwszy od archaiku i to zarówno w obrębie stref spredingu (typ cyprijski – np. Masyw Troodos), jak również w obrębie samych łuków wysp oraz na obszarach usytuowanych między wymienionymi łukami a rowami oceanicznymi, czyli strefami subdukcji (typ kuroko – np. „czarne rudy” Honsiu). Gorące roztwory hydrotermalne, przechodzące przez osady wzbogacone w substancję organiczną powodują jej cracking, co prowadzi do powstania węglodorów gazowych i ciekłych (np. Zatoka Kalifornijska – 18). Sprawą otwartą pozostaje jednak zasięg tego procesu.

Rekapituluując, dalsze badania zarówno rejonów współczesnych grzbietów śródoceanicznych, jak również różno-

⁴ Pomiaru wykonane w rejonie Grzbietu Juan de Fuca (4) sugerują, iż tylko 5% Mg pochodzi z pierwotnych roztworów magmowych.

wiekowych formacji kopalnych, doprowadzą z pewnością do odkrycia form smokersów o zupełnie odmiennym składzie mineralnym. Do takiego wniosku skłania zróżnicowany skład chemiczny roztworów gorących źródeł, zlokalizowanych w strefach spreduingu. Nie bez znaczenia może tu być również zmieniający się udział, w poszczególnych przypadkach, czterech głównych źródeł pochodzenia pierwiastków chemicznych, tj. wody morskiej, skorupy, płaszczu i pierwotnych roztworów magmowych.

Zdaniem autora smokersy należy rozpatrywać nie tylko jako potencjalne źródło złożowych koncentracji siarczkowych, barytowych, żelazisto-magmowych i pokrewnych, lecz również w aspekcie ich roli skałotwórczej (np. problem genezy niektórych skał krzemionkowych – porównaj tab. I i II). Ten drugi kierunek badań, w zasadzie stanowiący dotychczas „białą plamę” w przedmiotowym zagadnieniu, może wywołać znaczne reperkusje o wielowarstwowym charakterze, prowadząc do rewizji poglądów dotyczących genezy wielu rodzajów i odmian petrograficznych skał, konstrukcji modeli sedimentacyjnych i diagenetycznych itp.

LITERATURA

1. Baker E.T., Massoth G.J. – Hydrothermal plume measurements – regional perspectives. *Science* 1986 vol. 234.
2. Bischoff J.L. – Geothermal system at 21°N, East Pacific Rise: physical limits on geothermal fluid and role of adiabatic expansion. *Ibidem* 1980 vol. 207.
3. Boyce A.J., Coleman M.L., Russell M.J. – Formation of fossil hydrothermal chimneys and mounds from Silvermines, Ireland. *Nature* 1983 vol. 306.
4. Canadian American Seamount Expedition – Hydrothermal vents on an axis seamount of the Juan de Fuca ridge. *Ibidem* 1985 vol. 313.
5. Cann J.R., Strens M.R. – Black smokers fuelled by freezing magma. *Ibidem* 1982 vol. 298.
6. Claypool G.E., Holser W.T. et al. – The age curves of sulfur and oxygen isotopes and their mutual interpretation. *Chemical Geology* 1980 no. 28.
7. Corliss J.B. et al. – Submarine thermal springs on the Galapagos Rift. *Science* 1979 vol. 203.
8. Edmond J.M., Damm von K. – Hot springs on the ocean floor. *Scientific American* 1983 vol. 248.
9. Francheteau J., Needham H.D. et al. – Massive deep-sea sulphide ore deposits discovered on the East Pacific Rise. *Nature* 1979 vol. 277.
10. Friedrichsen H. – Oxygen and hydrogen isotopic composition in metalliferous sediment from Costa Rica rift area. Program and abstracts. Intern. Conf. „Isotopes in the Sedimentary Cycle” Obernai, France, July 1–5, 1985.
11. Goodfellow W.D., Jonasson I.R. – Environment of formation of the Howards Pass (XY) Zn–Pb deposit, Selwyn Basin, Yukon. *Mineral Deposits of Northern Cordillera* 1986 vol. 37.
12. Gregory R.T., Taylor H.P. Jr. – An oxygen isotope profile in a section of Cretaceous ocean crust, Samoil ophiolite, Oman: evidence for ¹⁸O buffering of the oceans by deep (>5 km) seawater hydrothermal circulation at mid-ocean ridges. *J. Geophys. Res.* 1981 no. 86.
13. Harańczyk C. – Krakowidy jako górotwór kaledoński. *Prz. Geol.* 1982 nr 11.
14. Haymon R.M. – Growth history of hydrothermal black smoker chimneys. *Nature* 1983 vol. 301.
15. Hekinian R., Fevrier M. et al. – Sulfide deposits from the East Pacific Rise near 21°N. *Science* 1980 vol. 207.

16. Hoefs J. – Stable isotope geochemistry. Springer – Verlag 1987.
17. Lalou C., Brichet E. – On the isotopic chronology of submarine hydrothermal deposits. *Chem. Geology* 1987 no. 65.
18. Lonsdale P. – A deep-sea hydrothermal site on a strike-slip fault. *Nature* 1979 vol. 281.
19. Luz B., Kolodny Y., Kovach J. – Oxygen isotope variations in phosphate of biogenic apatites, III. Conodonts. *Earth and Planetary Science Letters* 1984 vol. 69.
20. Migaszewski Z., Siuda T. – Charakterystyka petrograficzno-litologiczna utworów jury, kredy i trzeciorzędu Pińczowskiego Okręgu Surowców Skalnych. *Arch. Przeds. Geol. w Kielcach* 1987.
21. Migaszewski Z., Siuda T., Walaszczyk I. – Utwory piroklastyczne i hydrotermalne kredy górnej południowo-zachodniego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich (rejon Busko-Pińczów). *Prz. Geol.* 1987 nr 8–9.
22. Natland J.H. et al. – Galapagos hydrothermal mounds: stratigraphy and chemistry revealed by deep-sea drilling. *Science* 1979 vol. 204.
23. Rona P.A. – Obrazowanie miastorożdienii iz goriaczich istocznikow na dne okieana. *W Mirie Nauki* 1986 nr 3 (przedruk z *Scientific American* 1986 no. 1).
24. Spiege F.N. et al. – East Pacific Rise: hot springs and geophysical experiments. *Science* 1980 vol. 207.
25. Takeuchi H., Uyeda S., Kanamori H. – Wędrówka kontynentów. PWN 1973.
26. Taylor H.P. Jr. – Oxygen and hydrogen isotope relationships in hydrothermal mineral deposits. [In:] *Geochemistry of hydrothermal ore deposits* – H.L. Barnes, ed. John Wiley and Sons 1979.
27. Weiss R.F., Lonsdale P. et al. – Hydrothermal plumes in the Galapagos Rift. *Nature* 1977 vol. 267.
28. Wilson J.T. – Mantle plumes and plate motions. *Tectonophysics* 1973 vol. 19.
29. Wintch S. – The blueschists enigma. *Geology Today* 1986 no. 2.

SUMMARY

Hydrothermal vents jetting out water at 32–410°C have been discovered from the diving saucers primarily along mid-ocean ridges within the rift valleys (mid-ocean spreading centers). The hottest waters are blackened by sulfide precipitates (black smokers). These hydrothermal springs are the sites of actively forming massive ore-grade zinc, iron and copper sulfide deposits. Cooler springs are clear to milky (white smokers) and provide a major source of barite, amorphous silica, green mud, iron and manganese oxides and hydroxides. The deposits form conical and tabular structures lying upon a basalt basement. The $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ values of sulfides range from -42 to $+28$ ‰ whereas of barites vary from $+14$ to $+22$ ‰. The further investigation of active and fossil hydrothermal chimneys may reveal much more mineralogical and chemical varieties. The results obtained thus far by the author indicate that the most promising are the rock-forming synsedimentary hydrothermal formations (embracing various forms of continental smokers) primarily derived from the Devonian, Upper Jurassic and Upper Cretaceous of the Holy Cross Mts (central part of Poland) (20, 21 and in print).

Translated by the author