


## Geneza węglowodorów. Nowe perspektywy prospekcji złóż ropy i gazu.

Autor Bogdan Góralski



Geneza węglowodorów. Nowe perspektywy prospekcji złóż ropy i gazu. by [Bogdan Góralski](http://bogdangoralski.manifo.com) is licensed under a [Creative Commons Uznanie autorstwa-Na tych samych warunkach 3.0 Unported License](http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.pl).

[Licencja Creative Commons](http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.pl)  
 <http://i.creativecommons.org/l/by-sa/3.0/88x31.png> [Geneza węglowodorów. Nowe perspektywy prospekcji złóż ropy i gazu.](http://purl.org/dc/terms/) by [Bogdan Góralski](http://bogdangoralski.manifo.com) is licensed under a [Creative Commons Uznanie autorstwa-Na tych samych warunkach 3.0 Unported License](http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.pl).

### Abstrakt

Współczesna geologia naftowa zbudowana jest na teorii organicznego pochodzenia węglowodorów. Twierdzi się, że utworzone są one w wyniku pograżenia na znaczne głębokości zasobnych w węgiel organiczny warstw osadowych i ich termicznego przeobrażenia, w wyniku którego z organicznej substancji macierzystej generowane są węglowodory. Konwencjonalne spojrzenie na tworzenie się ropy naftowej zakłada pogrzebanie w basenie sedymentacyjnym biomasy z obumarłych organizmów i ich długotrwały rozkład mikrobiologiczny w środowisku beztlenowym z jednoczesnym oddziaływaniem temperatury i ciśnienia. Tworzy się przeobrażona materia organiczna o dużej masie cząsteczkowej nazywana kerogenem. Około 1% żywej masy organicznej może być zachowane w kerogenie w korzystnych warunkach. Niezależnie od typu kerogenu, rosnąca temperatura i ciśnienie prowadzi do temperaturowej dysocjacji albo krakingu i tworzy ropę naftową lub gaz ziemny. Wtórny kraking w wyższej temperaturze i ciśnieniu może powodować powstanie najmniejszych cząsteczek węglowodorów, metanu (Sephton, Hazen 2013). Teoria ta nie odpowiada na pytanie skąd się biorą ogromne nagromadzenia węglowodorów idące w setki milionów ton gdy ich uznawane dotąd za warstwy macierzyste, skały źródłowe, są tak mało rozprzestrzenione w profilu geologicznym? Innym poglądem na powstawanie węglowodorów jest broniona przez wielu autorów teza o nieorganicznym pochodzeniu ropy i gazu. Argumentem przeciwko niej są biomarkery zawarte w ropie, które jednoznacznie wskazują na jej organiczne pochodzenie. Niemniej jednak są zbadane

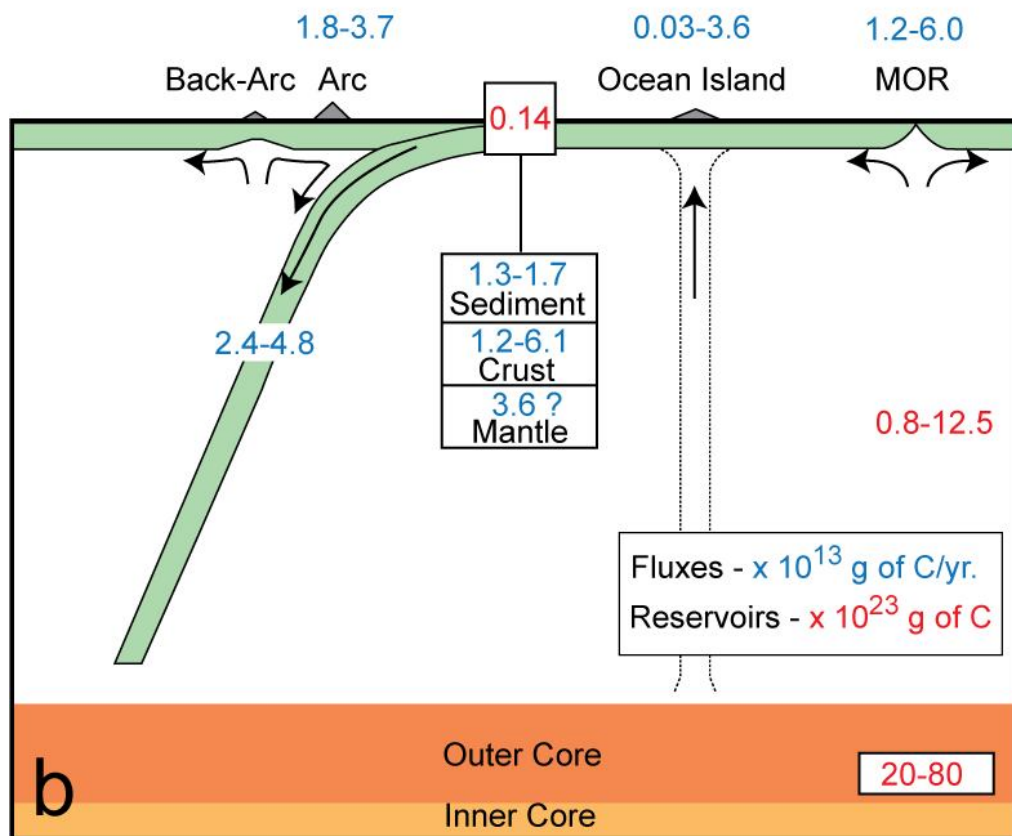
eksperymentalnie różne reakcje prowadzące do syntezy nieorganicznej węglowodorów w płaszczu ziemskim. Wątpliwości, która teoria jest prawdziwa, usuwa moja teoria generacji węglowodorów oparta o najnowszą wiedzę geologiczno-geofizyczno-oceanologiczną. Uznaje ona tezę o głównie organicznym pochodzeniu węglowodorów, ale wskazuje, że ich głównym źródłem są strefy subdukcji płyt oceanicznych w płaszcz ziemski. Zachodzące tam reakcje chemiczne wsparte wysoką temperaturą i ciśnieniem powodują przeobrażenie zgromadzonej w subdukowanej płycie oceanicznej materii organicznej oraz utworów organogenicznych np. wapieni, w węglowodory, które gromadzone są w płaszczu ziemskim. Masowość skali zjawiska oraz długość jego trwania (około 2 mld lat) doprowadziła do nagromadzenie w płaszczu ziemskim ogromnej ilości związków węgla. Związki węgla, w tym węglowodory, migrują przez rozłamy litosfery i gromadzą się w zeszcelinowanych skałach magmowych i pokrywie osadowej w pułapkach, których wiek jest skorelowany z kolejnymi fazami aktywności tektonicznej górotworu. Przyjęcie tej koncepcji genezy węglowodorów zmieni zasady prospekcji naftowej rozszerzając ją również na skały krystalicznego podłoża. Występowanie w profilu pokryw depozytów wulkanicznych będzie wskaźnikiem istnienia łuków wulkanicznych związanych z kopalnymi strefami subdukcji. Rejony zaplecza wulkanicznego stref subdukcji są prawdopodobnymi formacjami ropogazonośnymi.

## Wstęp

Cechą charakterystyczną basenów naftowych, wspierającą teorię pochodzenia węglowodorów z płaszczu ziemskiego, jest rosnąca z głębokością zawartość metanu (Sephton, Hazen 2013:451). Wiadomo, że kraking termiczny cięższych węglowodorów, którego końcowym produktem jest metan, zachodzi w wysokich temperaturach czyli na większej głębokości. Prawdopodobnie rosnąca z głębokością basenu naftowego ilość metanu jest wytłumaczalna przy przyjęciu założenia, że to głównie płaszcz ziemski, a ściślej strefa subdukcji płyty oceanicznej w gorący płaszcz, generuje większość węglowodorów. Prawdopodobnie organiczny węgiel ze strefy subdukcji zasila nieustannie płaszcz ziemski i jego ogromne w nim ilości są wytłumaczalne.

Długość współczesnych stref subdukcji to około 20 000km (długość stref stoków kontynentalnych wynosi około 107 000km ) i przyjąwszy szybkość zanurzania w niej płyty oceanicznej (0,6-10cm/rok), zawierającej w górnej warstwie 2km organogenicznych osadów wraz z klatratami metanu (ich zasoby w głębiach oceanicznych są szacowane na 3000 Gigaton C), na ok.5 cm rocznie, to otrzymujemy w ciągu 2 mld lat ich przypuszczalnego funkcjonowania obszar, pochłonięty przez płaszcz ziemski, o powierzchni 2 mld km<sup>2</sup>. Zakładając jego miąższość 2km otrzymujemy 4 mld km<sup>3</sup> pochłoniętej objętości osadu. Średnią zawartość pierwiastka C przyjmijmy na 3% wagowo (co jest prawdopodobne przy bardzo wysokiej produktywności C organicznego w obrębie rowu oceanicznego) przy gęstości średniej osadu 2,1 g/cm<sup>3</sup>, co daje 63 mln ton pierwiastka C w 1km<sup>3</sup> osadu, który mnożąc przez objętość osadu pochłoniętą przez strefy subdukcji w ciągu 2 mld lat –4 mld km<sup>3</sup>, otrzymujemy szacunkową zawartość węgla C w płaszczu ziemskim równą 252 000 bilionów ton czyli 252 mln Gigaton (Gigatona=miliard ton) zgromadzoną w ciągu 2 mld lat.

Inne wyliczenie subdukowanego węgla przedstawił **Rajdeep Dasgupta w pracy *Carbon Cycling in Subduction Zones implications for mantle-exosphere exchange*** z którego pracy pochodzi poniższy rysunek.



Rys.1. Przepływy węgla C pomiędzy płaszczem ziemskim, oceanem i atmosferą. Autor: **Rajdeep Dasgupta** w *Carbon Cycling in Subduction Zones implications for mantle-exosphere exchange*

Wyliczył on, że rocznie strefy subdukcji pochłaniają 24 do 48 mln ton pierwiastka węgla C, co jest moim zdaniem znacznie zaniżonym szacunkiem (o dwa rzędy wielkości), bo według moich obliczeń jest to 1.26 Gigatony rocznie. Wynika to może z tego, że przyjąłem do obliczeń wysoką miąższość subdukowanych osadów a także dużą zawartość węgla organicznego w osadzie rowu oceanicznego. Być może moje szacunki są zawyżone z tego względu, że do dzisiaj nie dysponujemy wiarygodnymi informacjami o charakterze i miąższości osadu rowu oceanicznego towarzyszącego strefie subdukcji. Założenia swoje oparłem na obliczeniach oceanografów oraz stwierdzonym eutroficznym środowisku życia w obrębie rowu oceanicznego (Danovaro et al. 2003), gromadzącym węgiel produkowany w kolumnie wody i spływający w osadach stoku kontynentalnego. W moich obliczeniach nie brałem pod uwagę głębokowodnych złóż klatratów metanu, które prawdopodobnie istnieją w osadach rowu.

Porównując ilość węgla w płaszczu ziemskim do udokumentowanych zasobów gazu, ropy i węgla wynoszących ok. 1000 Gigaton pierwiastka C i zasobów klatratów metanu 3000 Gigaton C, widzimy, że potencjalne pozostające zasoby węgla w płaszczu ziemskim wystarczą nam na jeszcze bardzo długo, pod warunkiem, że istniejące złoża będą odnawiane lub, że znajdziemy wiele innych. Dla przykładu obecne zasoby pierwiastka węgla C w oceanie wynoszą 38100 Gigaton. Węgiel ten trafia stale do płaszczu ziemskiego ponieważ strefy subdukcji, to wolniej to szybciej, ale stale działają. Mechanizm powodujący ich przemieszczanie wraz z płytami litosfery opisałem w pracy *Nowa tektonika płyt litosfery*

**Ziemi** (Góralski 2013 B). Szybkość subdukowania waha się w granicach 0,6-10cm/rok-średnio 5cm/rok, co oznacza, że corocznie pochłaniają one około 20 km<sup>3</sup> osadu w którym jest zawarte około 1,26 Gigatony pierwiastka węgla. Węgiel ten gromadzi się w płaszczu ziemskim gdzie w różnych reakcjach dochodzi do krakingu, syntezy, dysocjacji i polimeryzacji węglowodorów, które następnie głębokimi rozłami tektonicznymi migrują gromadząc się w skałach magmowych, wulkanicznych i osadowych gdzie są znajdowane przez człowieka. Reakcje chemiczne prowadzące do generowania węglowodorów w strefie subdukcji opisano w wielu pracach, a ich zgrabną syntezą jest referat napisany w 2013 roku przez Sephtona Marka A, Hazena Roberta M. o tytule *On the Origins of Deep Hydrocarbons*, który pobrałem z Internetu. Jedną z opisanych złożonych reakcji jest synteza Fischera-Tropscha, katalityczna [reakcja chemiczna](#) tworzenia [węglowodorów](#) z mieszaniny [tlenku węgla](#) (lub dwutlenku węgla) i [wodoru](#) (Wikipedia 2013), którą obecnie wykorzystuje się do produkcji syntetycznej benzyny z węgla w RPA. Inną jest tworzenie węglowodorów naftowych aż do C<sub>10</sub>H<sub>22</sub> przy reakcji tlenku żelaza, marmuru i wody w temperaturze 1,500°C i ciśnieniu powyżej 3Gpa, odpowiadającym głębokości >100km (Kutcherow et al.2002).

Nagromadzenia węglowodorów będą prawdopodobnie tworzyły się i migrowały pierwotnie wzdłuż frontu wulkanicznego równoległego do strefy subdukcji w odległości od niej 50-150 km (możliwe są także dalsze odległości). Wyniki modelowania, które zakłada, że strefa temperatur 300-500 stopni Celsjusza ciągnie się wzdłuż powierzchni subdukującej płyty oceanicznej powyżej głębokości 300 km w głąb „zimnej” strefy subdukcji (Rys. 5), pozwalają przypuszczać, że strefa generowania węglowodorów ciągnie się prawdopodobnie nawet na głębokości powyżej 300 km, czyli w strefie ciśnienia od 3 do ponad 5 GPa. Wyznacza to nowe parametry generowania węglowodorów z substancji organicznej, które zachodzi w obecności glinokrzemianów i wodoru obecnych w SS, podczas wysokociśnieniowych procesów krakingu termiczno-katalitycznego. W warunkach wysokiego ciśnienia i temperatury oraz obecności wodoru, wody oraz licznych katalizatorów i promotorów reakcji występujących w strefie subdukcji, dochodzi do wieloetapowej przemiany substancji organicznej i osadów zawartych w rowie oceanicznym towarzyszącym strefie subdukcji. Przemiana tej organicznej substancji osadowej a także węgla zawartego w skałach subdukującej płyty jest źródłem związków węgla w płaszczu ziemskim. Metan występujący w płaszczu ziemskim podlega prawdopodobnie licznym przeobrażeniom o czym świadczy poniższy fragment:

*Remarkably, under high pressure, methane becomes unstable and dissociates into ethane C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> at 95 GPa, butane C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> at 158 GPa, and further, carbon diamond and hydrogen above 287 GPa at zero temperature ( Gao et al. 2010)*

Powszechne występowanie metanu w Kosmosie jest prawdopodobnie dowodem życia biologicznego wypełniającego Wszechświat, bowiem prawdopodobnie głównym źródłem metanu w głębi Ziemi jest życie biologiczne w oceanach. Biomarkery występujące w ropie wskazują na organiczne pochodzenie węglowodorów, ale występowanie nagromadzeń węglowodorów w skałach krystalicznych podłoża przykrytego kompleksem osadowym jednoznacznie wskazuje na główne źródło węglowodorów, którym jest płynny płaszcz ziemski, z którego węglowodory wydostają się głębokimi rozłami w skorupie ziemskiej.

Głębokie rozłamy są wykorzystywane przez intruzje magmowe, z którymi migrują związki węgla, gazowe i płynne węglowodory. Przykładem są wielkie nagromadzenia hydrotermalnego krystalicznego węgla-grafitu w stwierdzone wulkanicznych depozytach Borrowdale (Wielka Brytania) i Huelma (Hiszpania) (Luque et al.2013) oraz liczne złoża węglowodorów w skałach magmowych występujące na całym świecie.



▲ Distribution of hydrocarbon-bearing igneous rocks. Gold dots represent locations of hydrocarbon seeps, shows and reservoirs in igneous rocks. (Adapted from Schutter, reference 36).

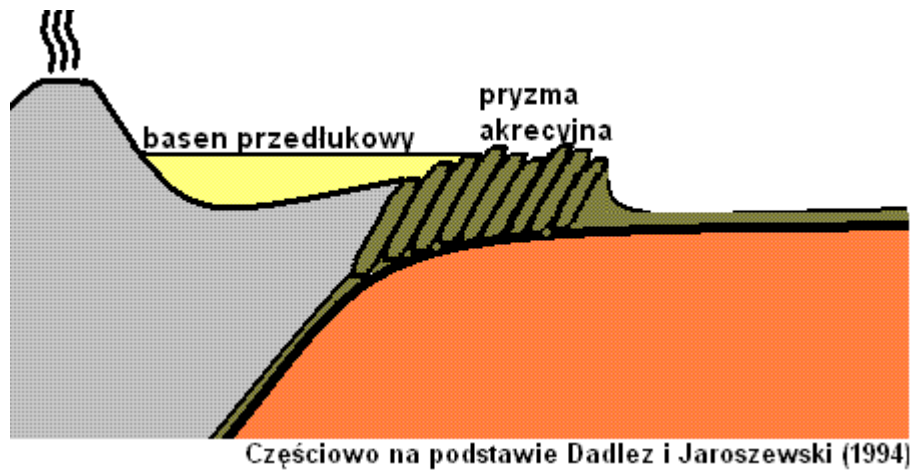
Rys.2. Występowanie węglowodorów w skałach magmowych lub miejscach aktywności magmowej. Powyższy rysunek pobrałem z pracy będącej zespołowym dziełem wielu autorów: Farooqui M.Y.,Huijun Hou, Guoxin Li, Nigel Machin, Neville Tom, Aditi Pal, Chandramani Shrivastva, Yuhua Wang, Fengping Yang, Changhai Yin, Jie Zhao, Xingwang Yang (2009), *Evaluating Volcanic Reservoirs*, Oilfield Review Spring 21, no.1. Pobrano z Internetu w 2013 r.

W poszukiwaniach naftowych stwierdzono wiele przypadków występowania węglowodorów w podłożu krystalicznym (patrz Schutter [w] Petford, McCaffrey 2003), mającym bezpośredni kontakt z płaszczem ziemskim. Charakterystyczne jest nagromadzenie wystąpień węglowodorów w skałach magmowych na wschód od strefy subdukcji zlokalizowanej na zachodnim wybrzeżu USA. Jest to związane z licznymi w tamtym rejonie intruzjami i ekstruzjami występującymi w strefie łuku wulkanicznego towarzyszącego strefie subdukcji. Poszukując takich pogrzebanych łuków wulkanicznych i towarzyszących im rozłomów skorupy ziemskiej, prawdopodobnie odnajdziemy nowe bogate złoża węglowodorów.

Występowanie węglowodorów w skałach osadowych jest końcowym etapem przeobrażania i migracji węglowodorów, uruchamianych przez kolejne orogenezy i ich fazy związane z przemieszczeniami położenia biegunów ziemskich. Zmiany położenia biegunów związane są z kolei z aktywnością magnetyczną Słońca, kreowaną przez oscylacje grawitacyjne w

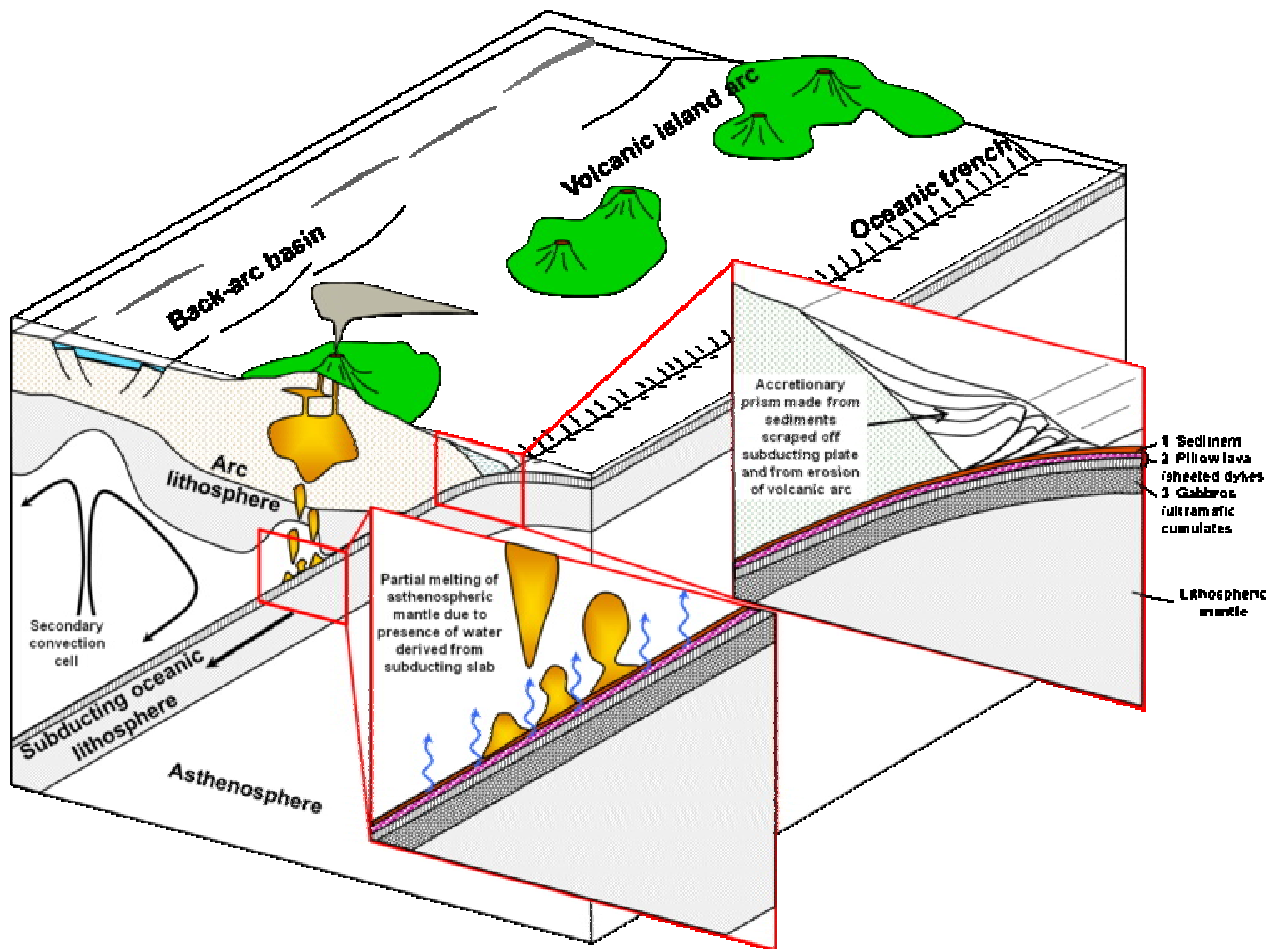
Układzie Słonecznym. Wynikają one z wędrówki Układu Słonecznego przez kolejne ramiona Galaktyki (cztery główne ramiona i kilka mniejszych), których oddziaływanie wywołuje na Ziemi kolejne orogenezy i zmiany klimatu (Góralski 2013A), co jest skutkiem ubocznym mechanizmu gwiazdowego.

### Osady rowów oceanicznych



Rys. 3. Pryzma akrecyjna w rowie oceanicznym strefy subdukcji <http://www.sloownik-geologiczny.pl/pryzma-akrecyjna> autorzy: Dadlez, R., Jaroszewski, W. 1994. *Tektonika*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa





Rys. 4. Strefa subdukcji z pryzmą akrecyjną (Pobrano z Wikipedii w 2013r.)

Wieloletnie prace studialne z dziedziny oceanologii i geologii basenów oceanicznych doprowadziły mnie do wniosku, że występujące w strefach subdukcji rowy oceaniczne, są bogatym źródłem materii organicznej zasilającej deponowane w nich osady.

Strefy subdukcji przemieszczały się po powierzchni Ziemi w trakcie zmian położenia jej biegunów, co miało miejsce podczas przejść Układu Słonecznego przez spiralne ramiona Drogi Mlecznej-naszej galaktyki. Towarzyszyły tym przejściom okresy zmian położenia biegunów Ziemi, które powodowały zmiany siły odśrodkowej działającej na płyty skorupy ziemskiej (Góralski 2013B). Zmiany te wywoływały ruch płyt litosfery po powierzchni Ziemi i przemieszczanie się stref subdukcji, które dawniej były prawdopodobnie dłuższe z powodu większej prędkości obrotu Ziemi. Okresom przemieszczeń biegunów towarzyszyły zmiany klimatu i zwiększone ruchy mas wodnych oceanu, które powodowały intensyfikację produkcji materii organicznej w oceanach (Góralski 2013A:376). Materia ta, gromadząc się w osadach morskich płyt oceanicznych oraz w strefach ekstremalnych jej zawartości, którymi są rowy oceaniczne, zanurzała się w strefach subdukcji generując węglowodory. Przyjęcie tego modelu generacyjnego węglowodorów powoduje daleko idące konsekwencje w poszukiwaniach nagromadzeń węglowodorów. Główne okresy macierzyste dla generowania węglowodorów będą bowiem ograniczone do faz intensywnego funkcjonowania stref

subdukcji, zaś nagromadzenia węglowodorów będą występowały wzdłuż dawnych stref subdukcji w pewnej odległości od nich w rejonie bliższych i dalszych łuków wulkanicznych.

Kluczowym zadaniem geochemii naftowej jest odpowiedź na pytanie: Jakie skały macierzyste były źródłem ropy naftowej i gazu ziemnego? Było to ważne ze względu na przyjęty model generacyjny węglowodorów w którym tworzyły się one w pograżonych na znaczną głębokość skałach osadowych bogatych w substancje organiczne zawierające węgiel. Dotychczasowe badania warstw o dużej zawartości węgla organicznego TOC >1% wagowo tzw. warstwy sapropelowe przynoszą wątpliwości dotyczące warunków w jakich osadzały się te skały. Uważam, że w osadach rowów oceanicznych deponują się warstwy sapropelowe o dużej miąższości i wysokiej zawartości węgla C. Istnieje kilka teorii tłumaczących powstawanie warstw sapropelowych o dużej zawartości TOC. Do dalszych rozważań przyjąłem hipotezę, że warstwy sapropelowe powstają w rejonach o wysokiej produktywności biologicznej kolumny wody przeważającej nad destrukcją związków węgla w głębszych warstwach wody. Warstwy sapropelowe poznano najlepiej we wschodniej strefie Morza Śródziemnego zasilanej przez Nil oraz w Morzu Czarnym do którego wpływa wiele dużych rzek. Wydaje się prawdopodobnym twierdzenie, że warstwy sapropelowe osadzają się w zbiornikach zasilanych materiałem terygenicznym przynoszonym przez rzeki. Rzeki przenoszą duże ilości osadu w okresach ochłodzenia klimatu, kiedy ilość opadów jest większa, i wtedy rzeki użyźniają niesionym materiałem mineralnym zbiorniki morskie, co prowadzi do zwiększonej produkcji biologicznej mórz, i warstwy sapropelowe osadzają się. Rowy oceaniczne są zasilane materiałem terygenicznym niesionym przez rzeki i strumienie spływające z górzystego zwykle wybrzeża oceanu. Dodatkowo, okresy zwiększonych opadów towarzyszą okresom zwiększonego upwellingu oceanicznego (Góralski 2013A:376), wpływającego także na podwyższenie produktywności biologicznej mórz, co zwiększa depozycję węgla w osadach morskich i oceanicznych.

Oceanografowie podają, że grubość osadów deponowanych na płytach oceanicznych sięga 100 metrów w strefie grzbietu pośrodku oceanu i 2 kilometrów w strefie marginalnej basenu, w rejonie stoków kontynentalnych i rowu oceanicznego towarzyszącego strefie subdukcji. Dodatkowo miąższość osadów rowu powiększa pryzma akreacyjna tworząca się w rowie oceanicznym w strefie subdukcji. W miarę jak nowo tworzące się dno ekspanduje w strefie ryftu i przesuwa się, w tempie kilku centymetrów na rok, w kierunku kontynentu, deponowane na nim morskie osady (głównie Ca CO<sub>3</sub> powyżej lizokliny) zwiększają swoją miąższość i są tym grubsze im dno oceaniczne jest starsze. Kiedy ocean osiąga głębokość większą od lizokliny deponują się osady krzemionkowe. Rosnąca w kierunku rowu oceanicznego miąższość osadów jest prawdopodobnym czynnikiem powodującym zanurzenie się płyty oceanicznej PO pod płytę kontynentalną PK. Także inne czynniki decydują o tym (Góralski 2013B). Oceanolodzy podkreślają, że zawartość materii organicznej w osadach stref abysalnych, mierzonej wagowo współczynnikiem TOC (Total organic carbon), rzadko przekracza 1% a najczęściej zawiera się w przedziale 0.2-0.5%. Natomiast w osadach rowów oceanicznych TOC osiąga wartości kilkuprocentowe np. w strefie Benguela upwelling system osiąga przeciętnie 3.97%, podczas gdy szybkość sedymentacji wynosi 25-62 m/milion lat.



Tempo akumulacji osadów zależy głównie od topografii dna i prądów przydennych a nie od produkcji pierwotnej w kolumnie wody (Zaborska 2013).

Najgłębsze zbadane osady pochodzą z Rowu Peruwiańskiego, części rowu Peru-Chile, który jest największym rowem na Ziemi rozciągającym się na długości 5900 km i szerokości około 100km. Maksymalna głębokość rowu przekracza 8050m np. w rejonie Rowu Atacama, a minimum dystansu od lądu do głębokości 6000m wynosi 80km. Jest to rejon wzmożonego upwellingu, który jest odpowiedzialny za bardzo wysoką produktywność biologiczną (primary production) tego rejonu tj. około 19,9 grama węgla C/m<sup>2</sup>/dziennie (Danovaro 2003).

*The presence of high concentrations of functional chlorophyll-a at 7800m depth indicates that large quantities of fresh organic material produced in the Peru–Chile upwelling system reached hadal depths largely undegraded. Protein concentrations in the Atacama trench were 10 times higher than average abyssal values (Table 1), double the highest values reported for the phytodetritus rich sediments of the northern Atlantic at abyssal depths, and 26 times higher than values reported in more oligotrophic deep-sea ecosystems (such as the bathyal Mediterranean (Danovaro et al., 2003).*

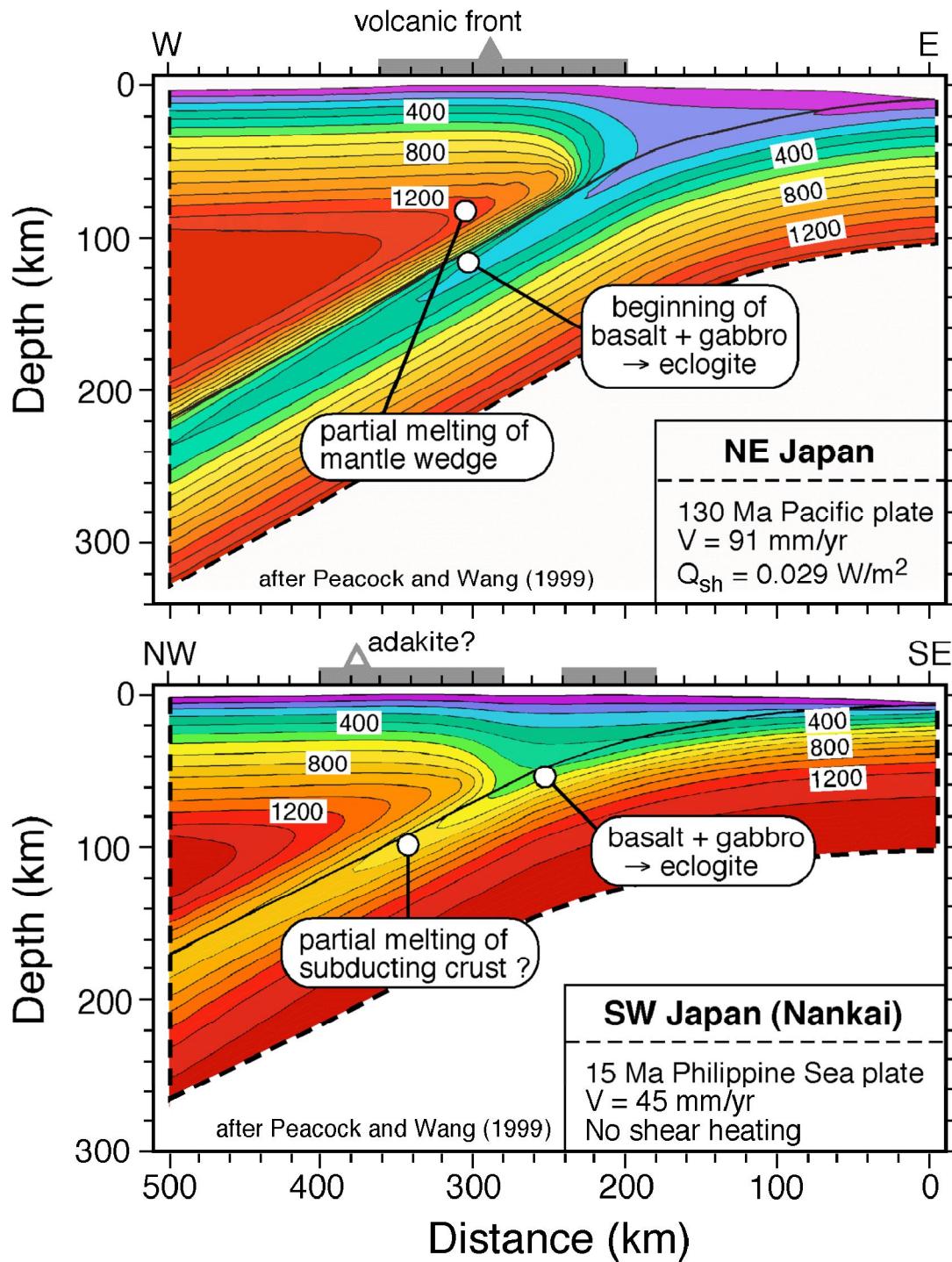
Osady pobrane z głębokości ponad 7800m zawierały TOC 57.42 grama +/-22.7g C /m<sup>2</sup> w warstwie osadu o grubości 1 cm z powierzchni dna rowu. Gdyby taka zawartość węgla występowała w całej objętości osadu rowu oceanicznego oznaczałoby to, że w metrze sześciennym osadu występuje 5,742 kg pierwiastka C. Badanie osadu rowu było jednak wycinkowe i trudno na jego podstawie wyciągnąć szersze wnioski. Gdyby przyjąć istnienie złóż klatratów metanu w głębiach rowów oceanicznych i większą zawartość węgla w kolumnie subdukowanych osadów byłoby wtedy zrozumiałe, że procesy stokowe (spalanie bogatych w węgiel osadów szelfowych i zbocza kontynentalnego w prądach zawieszinowych generowanych przez trzęsienia ziemi) i akumulacja biogenicznego osadu na płycie oceanicznej, doprowadzają do ogromnego nagromadzenia węgla w osadach rowu oceanicznego (ich miąższość jest niezbadana!) towarzyszącego strefie subdukcji. Osady te, wraz z hydratami metanu, zanurzone w strefę subdukcji i poddane działaniu wysokiej temperatury (0-1500°C i ciśnienia (do 10GPA) w obecności katalizatorów glinokrzemianowych i wodoru, są najprawdopodobniej skałami macierzystymi dla węglowodorów i źródłem związków węgla w płaszczu ziemskim.

### **Warunki temperaturowe i ciśnieniowe strefy subdukcji**

Istotne, dla wyjaśnienia warunków przeobrażenia substancji organicznej osadów morskich w węglowodory, a także termiczno-ciśnieniowego przeobrażenia skał zawierających węgiel, jest modelowanie warunków termiczno-ciśnieniowych strefy subdukcji np. występującej wzdłuż wysp Japonii (Peacock 2000). Poniżej zawarłem tłumaczenie fragmentów pracy (Peacock 2000) przerywane moimi uwagami.

Niskotemperaturowe i wysokociśnieniowe metamorficzne skały blueschist i eklogity charakteryzują dawne strefy subdukcji i dostarczają istotnych zapisów o niezwykle niskich temperaturach w dużych głębokościach stref subdukcji. Pewnym tego wyjaśnieniem może być fakt, że wszystkie reakcje zachodzące w podczas syntezy Fischera-Tropscha w subdukowanych skałach są silnie egzotermiczne i tym zapewne należy tłumaczyć względnie

niskie temperatury panujące na powierzchni subdukującej płyty oceanicznej wyliczone w modelowaniu termiki subdukującej płyty. Zachodzące w głębi strefy subdukcji prawdopodobne reakcje syntezy Fischera-Tropscha pochłaniają ciepło z klina płaszcz ziemskiego, ochładzając powierzchnię subdukującej płyty i pozwalając na kontynuowanie reakcji syntezy węglowodorów nawet na głębokości 300km, co wynika z modelowania. Względnie chłodna powierzchnia subdukującej płyty (około 400 °C do głębokości ponad 300km) była zaskakującym i nie wytłumaczalnym wynikiem modelowania przeprowadzonego przez Peacocka i Wanga (1999) dla japońskiej NE strefy subdukcji. Egzotermiczne reakcje syntezy węglowodorów mogą być logicznym wytłumaczeniem tak niskich temperatur powierzchni subdukującej płyty oceanicznej. Termika subdukującej płyty i klina nadległego płaszcz zależna jest także od kąta zapadania płyty oceanicznej (Peacock et al. 2005).



Rys. 5. Calculated thermal structure of NE Japan and SW Japan (Nankai) subduction zones [after Peacock and Wang, 1999].

Temperatury w strefie subdukcji-SS zależne są od wieku zanurzającej się litosfery a także od hydrotermalnego chłodzenia i izolujących osadów. Widoczne zmiany termalnej struktury zależą od różnych wartości ciepła ścinania=naprężenie ścinające x wskaźnik zbieżności, czyli od kąta natarcia subdukującej płyty. Wiele współczesnych prac sugeruje, że naprężenia ścinające w SS są rzędu 10-30MPa. Indukowana klinem płaszczą konwekcja podgrzewa subdukującą płytę i formuje się chłodna warstwa graniczna w przylegającej do klina płaszczą chłodnej płycie. Oceaniczna skorupa subdukująca pod SW Japonią jest 300 do 500°C stopni cieplejsza niż ta subdukująca pod NW Japonią.]. Na głębokości 50 km, obliczona temperatura wzdłuż sprzęgu płaszcz-płyta jest tylko 200°C stopni dla NW, a 500°C dla SW Japonii. Poniżej wulkanicznego frontu temperatury wewnątrz sprzęgu są 500°C w NW Japonii i 800°C w SW Japonii. W obu strefach subdukcji maksymalne temperatury poniżej wulkanicznego frontu wynoszą około 1200°C stopni.. Subdukująca płyta i jej osady oraz klin płaszczą ulega metamorficznemu przeobrażeniu podnoszącemu gęstość subdukującej płyty. Wiele z tych reakcji powoduje rozpad uwodnionych minerałów i uwolnienie znacznych ilości H<sub>2</sub>O. . Pewna ilość wody uwolniona z subdukującej płyty nawadnia leżący powyżej klin co znacznie modyfikuje jego własności reologiczne. W Marianach forearc, aktywne błotne wulkany dostarczają dowodów uwodnienia klina płaszczą. Na głębokości ponad 100km woda uwolniona z subdukującej płyty rozpoczyna częściowe stopienie nadległego klina płaszczą. Objętość i skład pelagicznych i terygenicznych subdukowanych osadów zmienia się znacznie. Na relatywnie małej głębokości <10km woda porowa jest wyciskana przez kompaktację osadów a woda związana jest usuwana w temperaturze 80-150°C w czasie transformacji opalu na kwarc a gliny na mikę. Większość wody uwolnionej z subdukującej płyty na głębokości powyżej 10km jest otrzymywana ze zmiennie uwodnionych bazaltów i gabr płyty oceanicznej.

W temperaturze 300-500°C znaczne ilości wody porowej mogą być usuwane z najwyższej bazaltowej sekcji przez spadek porowatości. Alternatywnie, ta porowa woda może reagować do form niskotemperaturowych minerałów takich jak zeolity, które są następnie odwadniane. Najważniejsza reakcja w subdukującej płycie dotyczy transformacji do eklogitu, względnie gęstej, bezwodnej, składającej się głównie z granatu i omfacytu. W danej SS, głębokość i sposób tworzenia się eklogitu i reakcje odwodnienia zależą od P-T warunków napotykanym przez subdukującą płytę. W relatywnie gorącej SW Japonii SS transformacja do eklogitu może występować na głębokości około 50 km. Dla kontrastu obliczona P-T ścieżka dla relatywnie zimnej SS jak NW Japonii SS wskazuje przejście przez facje blueschist i eklogitu, która może nie tworzyć się aż do >100km. W gorących strefach subdukcji takich jak SW Japonii subdukowane osady oraz najwyższa część bazaltowej płyty mogą prawdopodobnie stapiać się. Obliczone P-T ścieżki przecinają częściowo reakcje topienia na głębokości około 100km w zgodzie z obecnością adakitów (law dacytowych wnioskowanych do reprezentowania stopionych skał maficznych) w gorących SS.

I suggest that deep-focus earthquakes (>300 km depth) may be caused by explosive combustion of carbon stored in Earth's mantle. Sugeruję, że trzęsienia ziemi o głębokim (>300 km) ognisku mogą być spowodowane przez wybuchowe spalanie związków węgla zgromadzonych w płaszczu ziemskim.

Paleo SS zawierające blueschist i niskotemperaturowe eklogity umożliwiają wejście w termiczną i petrologiczną strukturę subdukującej płyty. Te skały metamorficzne zapisują subsolidus warunki i są zgodne z modelem temperaturowym ze średnimi, do warunków bez ciepła ścinania.

Okruczy metabasaltowe facji blueschist z serpentynitowych wulkanów błotnych w Mariana forearc zapisują  $T=150-250^{\circ}\text{C}$  i  $P=0,5-0,6\text{ GPa}$  i sugerują naprężenia ścinające rzędu około 20Mpa wzdłuż subdukcyjnego parcia.

Wiele uwodnionych minerałów jest stabilnych w facji blueschist i nisko-temperaturowych eklogitach, włączając sodowe amfibole, lawsonit, fengit (mica), chloryt i zoisit. Te minerały są zdolne transportować wodę do głębokości ponad 200km. Lawy łuków wulkanicznych dostarczają ważnych informacji o termalnej i petrologicznej strukturze SS. Bazalty są powszechne w wielu łukach co przekonuje o częściowym topieniu ultramaficznego klina płaszcza w przeciwieństwie do maficznej oceanicznej skorupy. Specyficzne mniejszościowe i śladowe elementy w łukowych lawach wydają się być otrzymywane z subdukującej płyty. Większość tych elementów jest łatwo transportowanych w płynach wodnych, ale ostatnie eksperymentalne dane sugerują, że wydajny transport Be i Th z subdukującej płyty do magm łukowych może wymagać topienia osadów. Topienie osadów wymaga temperatury  $>800^{\circ}\text{C}$  w ciśnieniu 3 GPa; takie temperatury są niespójne z większością modeli temperaturowych i seismologicznych obserwacji. Niespójność polega na niskich temperaturach płyty subdukującej i jednoczesnego topienia się sąsiadującego klina płaszcza w temperaturze bliskiej  $800^{\circ}\text{C}$ . Prawdopodobnie węglowodory generowane w facji blueschist przedostają się do gorętszych skał klina płaszcza, gdzie spalają się podnosząc temperaturę klina płaszcza do temperatury topienia skał.

#### Podsumowanie i wnioski

Osady głębokich rowów oceanicznych, zawierające prawdopodobnie ogromne nagromadzenie związków węgla, trafiając wraz z zanurzającą się bazaltową płytą oceaniczną w głąb strefy subdukcji, są przeobrażane termicznie i ciśnieniowo i generują węglowodory podczas procesów zachodzącego w głębinach Ziemi w obecności glinokrzemianów i wodoru, wody. Węglowodory i związki węgla trafiają do płaszcza ziemskiego, gdzie podlegają przemianom. Węglowodory z płaszcza migrują pęknięciami tektonicznymi skorupy kontynentalnej oraz intruzjami magmowymi wydobywającymi się ze strefy subdukcji, gromadząc się w nadległych skałach zbiornikowych-magmowych i osadowych.

Lokalizacja dawnych stref subdukcji powinna zaowocować skuteczniejszą lokalizacją nowych nagromadzeń węglowodorów, które prawdopodobnie powinny się znajdować blisko pozytywnych anomalii magnetycznych oraz grawimetrycznych związanych ze skałami wulkanicznymi a zawierać się w rejonie lokalnych ujemnych anomalii grawimetrycznych korelowanych ze skałami zbiornikowymi otoczonymi skałami wylewnymi i metamorficznymi.

Ponieważ w systemie naftowym odnajdujemy złoża na różnych poziomach stratygraficznych, prawdopodobnym jest uruchamianie wielu faz migracji węglowodorów z płaszcza ziemskiego. Towarzyszą one dynamicznym wzrostom ciśnienia magmy związanym z przemieszczaniem się materiału płaszcza podczas zmian położenia osi obrotu ziemi i biegunów ziemskich. Migracja odbywa się głębokimi rozłamanami w skorupie ziemskiej, którym towarzyszą intruzje magmowe. Potwierdzone to jest licznymi przykładami nagromadzeń węglowodorów towarzyszących intruzjom magmowym. Prospekcja naftowa powinna się zatem skupiać na lokalizowaniu kopalnych stref subdukcji, głębokich rozłamów litosfery oraz intruzji i ekstruzji skał magmowych, które zeszczelinowane wieloetapową aktywnością tektoniczną, są drogami migracji węglowodorów z płaszcza ziemskiego.

Przyjęcie hipotezy o istnieniu głównego źródła węglowodorów w płaszczu ziemskim i wielu fazach ich migracji ku powierzchni Ziemi może wyjaśnić zróżnicowanie geochemiczne węglowodorów w złożach:

*Uwzględniając skład biomarkerów i obliczone na ich podstawie różne wskaźniki geochemiczne, dla wszystkich utworów na przedgórzu Karpat zarysowują się pewne charakterystyczne cechy z uwagi na typ substancji macierzystej, środowisko jej sedymentacji, jak i stopień przeobrażeń termicznych, co będzie zbiorem cennych informacji dla przyszłych prac prowadzonych w tym obszarze. Odmienność cech genetycznych jest widoczna nie tylko pomiędzy wydzieleniami stratygraficznymi, ale nawet w obrębie jednego wydzielenia (Matyasik 2013).*

Ustalenie związków genetycznych pomiędzy skałą macierzystą ze strefy subdukcji oraz zbiornikiem związków węgla w płaszczu ziemskim a akumulacjami gazu i rop naftowych pozwala na przewidywanie kierunków poszukiwań nowych akumulacji, zmniejszając równocześnie ryzyko prowadzonych prac poszukiwawczych.

Lokalizowanie w profilu pokryw wulkanicznych, związanych z łukami wulkanicznymi i głębokimi rozłamanami w podłożu, powinno być wskazówką istnienia dróg migracji węglowodorów z węglonośnego płaszcza. Ich rozpoznawanie w Polsce można prowadzić kompleksem metod geofizycznych-sejsmiką, magnetoteluryką, magnetometrią i grawimetrią przy wykorzystaniu archiwalnych kompleksowych badań wykonanych za czasów PRL. Rozszerzy to zakres badań naftowych również na skały krystaliczne podłoża jako potencjalne zbiorniki węglowodorów w polskich kompleksach naftowych. Prowadzone w Polsce badania nad przeobrażeniem termicznym węglowodorów naftowych powinny pomóc w ocenie przedstawionej powyżej hipotezy pochodzenia związków węgla z płaszcza ziemskiego, która łączy w jedno przeciwstawne koncepcje o organicznym i nieorganicznym pochodzeniu węglowodorów. Wskazując na strefę subdukcji, będącą tygłem geochemicznym dla przeobrażenia materii osadowej i węgla zawartego w skałach subdukującej płyty oceanicznej, otwieram nowe kierunki poszukiwań geochemicznych, które mogą doprowadzić do zmniejszenia ryzyka błędu i większych sukcesów w poszukiwaniach ropy naftowej i gazu ziemnego.

Być może zostaną odkryte nowe prawidłowości w rozmieszczeniu dotychczas odkrytych w Polsce różnowiekowych złóż ropy i gazu (Wagner, Pokorski 2013), które dopomogą nam w



odkryciu nowych pól ropy i gazonośnych. Złoża węglowodorów odkrywane w skałach paleozoiku Europy być może są związane ze strefą subdukcji funkcjonującą w ordowiku (<http://www.scotese.com/images/458.jpg>) na Oceanie Iapetus, w zasięgu której znalazł się prakontynent Awalonian stanowiący część obecnego obszaru Polski. Może warto szukać łuku wulkanicznego na obszarze dawnej Awalonii, który być może kryje nowe złoża węglowodorów?

Warszawa, dnia 23 listopada 2013r.

Bogdan Góralski

Literatura:

Danovaro R., Della Croce N., Dell'Anno A., Pusceddu A. (2003), A depocenter of organic matter at 7800m depth in the SE Pacific Ocean, *Deep-Sea Research I* 50 (2003) 1411–1420. Pobrano z Internetu 2013 r.

Farooqui M.Y., Huijun Hou, Guoxin Li, Nigel Machin, Neville Tom, Aditi Pal, Chandramani Shrivastva, Yuhua Wang, Fengping Yang, Changhai Yin, Jie Zhao, Xingwang Yang (2009), Evaluating Vulkanic Reservoirs, *Oilfield Review* Spring 21, no.1. Pobrano z Internetu w 2013 r.

Gao Guoying, Artem R. Oganov, Yanming Ma, Hui Wang, Peifang Li, Yinwei Li, Toshiaki Iitaka, and Guangtian Zou (2010), Dissociation of methane under high pressure, *THE JOURNAL OF CHEMICAL PHYSICS* 133, 144508 \_2010\_

Góralski Bogdan(2013A), Mechanizm klimatyczny Ziemi i społeczne skutki zmian klimatu, praca opublikowana w Repozytorium Centrum Otwartej Nauki CEON w 2013 roku.

Góralski Bogdan (2013B), Nowa tektonika płyt litosfery Ziemi, praca opublikowana w Repozytorium Centrum Otwartej Nauki CEON w 2013 roku..

Kutcherov V.G., Bendeliani N. A., Alekseev V. A., Kenney J. F. (2002), Synthesis of Hydrocarbons from Minerals at Pressures up to 5 GPa, *Doklady Physical Chemistry*, Vol. 387, Nos. 4–6, pp. 328–330. Pobrano z Internetu w 2013 r.

Luque F. J., Ortega L., Barrenechea J.F., Huizenga J.-M., Millward D. (2013), Key factors controlling massive graphite deposition in volcanic settings: an example of a self-organized critical system, Pobrano z Internetu w 2013 r.

Matyasik Irena (2013), Biomarkery - nowoczesna charakterystyka genetyczna systemów naftowych, *Prace INiG Nr 177(???)*, Kraków. Pobrano z Internetu w 2013 r.

Peacock, S.M., Wang, K., (1999), Seismic consequences of warm versus cool subduction zone metamorphism: examples from northeast and southwest Japan, *Science* 286, 937–939. Pobrano z Internetu w 2013 r.

Peacock, S. M.(2000), Thermal Structure and Metamorphic Evolution of Subducting Slabs, Pobrano z internetu w 2013 roku.

Peacock S.M., van Keken P.E., Holloway S.D., Hacker B.D., Abers G.A., Ferguson R.L.(2005), Thermal structure of the Costa Rica – Nicaragua subduction zone, *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 149 (2005) 187–200. Pobrano z Internetu w 2013 r.

Petford Nick, Mc Caffrey Ken (2003), Hydrocarbons in crystalline rocks: an introduction, Geological Society Special Publication v.214, p.1-5. Pobrano z Internetu w 2013 r.

Rajdeep Dasgupta (2013)\_*Carbon Cycling in Subduction Zones implications for mantle-exosphere exchange*. Prezentacja pobrana z Internetu w 2013r.

Schutter S.R. (2003), Occurrences of Hydrocarbons in and Around Igneous Rocks, [w] Petford Nick, Mc Caffrey Ken (2003) (red), Hydrocarbons in crystalline rocks: an introduction, Geological Society Special Publication v.214, p35-68.

Scotese Christopher R. (2013), Paleomap Project. Pobrano z Internetu w 2013r.

Sephton Mark A, Hazen Robert M. (2013), On the Origins of Deep Hydrocarbons, Reviews in Mineralogy & Geochemistry Vol. 75 pp. 449-465. Pobrano z Internetu 2013 r.

Wagner Ryszard, Pokorski Jędrzej (2013), W poszukiwaniu ropy i gazu, <http://www.pgi.gov.pl/pl/geologia-naftowa-uslugi/448-w-poszukiwaniu-ropy-i-gazu.html>.  
Pobrano z Internetu w 2013 r.

Zaborska Agata (2013), Akumulacja osadów dennych oraz odkładanie substancji organicznej w północno-zachodnim Morzu Barentsa, Zakład Chemii i Biochemii Morza Instytutu Oceanologii PAN. Pobrano z Internetu w 2013r.