

Nagroda I stopnia ministra spraw wewnętrznych i administracji
za „Atlas map magnetycznych Bałtyku”

Bałtyk skartowany

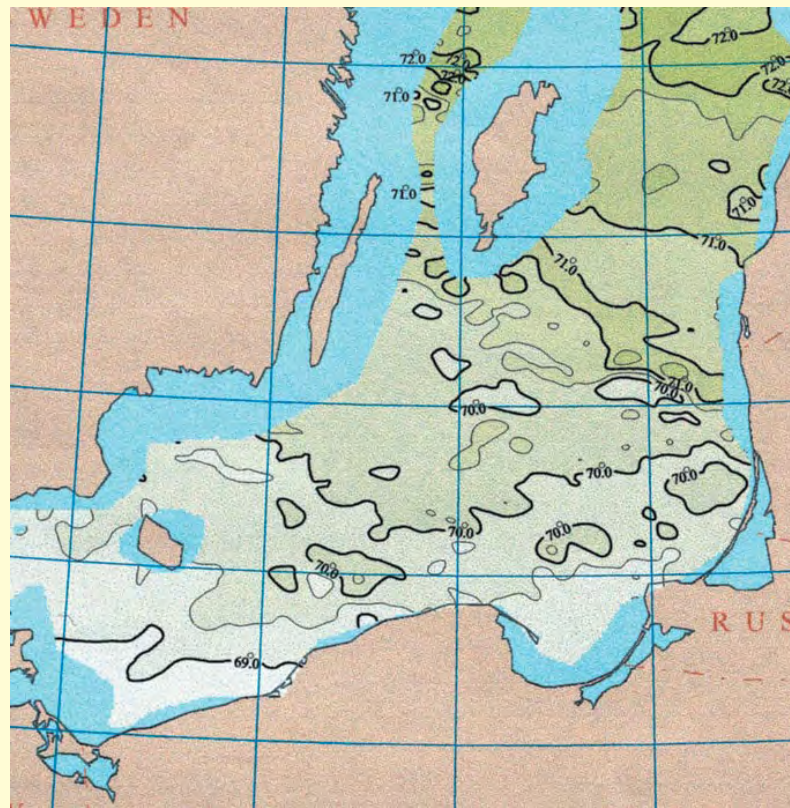
ANDRZEJ SAS-UHRYNOWSKI

Nagrodzony atlas jest pierwszym jednorodnym i kompleksowym opracowaniem obejmującym wszystkie elementy pola geomagnetycznego, które swoim zasięgiem pokrywa obszar całego Morza Bałtyckiego z wyjątkiem Zatoki Botnickiej i pasa wód terytorialnych państw okołobałtyckich. Atlas jest także pierwszym opracowaniem tego typu wykonanym na podstawie materiału źródłowego przetworzonego do postaci numerycznej. Numeryczna forma danych umożliwia kartograficzne opracowanie map w wielu wariantach, które mogą się różnić skalą, odwzorowaniem mapy podkładowej, cięciem izolinii, doбором barw itp.

Dotychczas opracowane mapy magnetyczne Bałtyku miały charakter bardzo ogólny lub dotyczyły tylko wybranych rejonów. Były to mapy anomalii modułu wektora indukcji magnetycznej, o bardzo zgeneralizowanym obrazie izolinii, opracowane w skali 1:5 mln i mniejszej. Przez wiele lat mapy te nie mogły być też udostępnione przeciętnemu użytkownikowi z powodu ich zastrzeżonego charakteru. Materiałem źródłowym dla wszystkich tych opracowań były wyniki pomiarów, wykonywanych na statku badawczym „Zaria” i gromadzonych sukcesywnie od 1954 r. Tak było do roku 1970, kiedy podjęto decyzję o wykonaniu zdjęcia magnetycznego Bałtyku.

Historia pomiarów magnetycznych na Bałtyku

Po zakończeniu II wojny światowej w stocznicach fińskich, w ramach reparacji wojennych na rzecz byłego ZSRR, zbudowana została seria 19 drewnianych statków żaglowych dla radzieckich szkół rybackich. W tym samym czasie w leningradzkim oddziale Instytutu Magnetyzmu Ziemskiego, Jonosfery i Propagacji Fal Ra-



Fragment mapy inklinacji magnetycznej I, skala 1: 5 mln

diowych Akademii Nauk ZSRR (IZMIRAN) powstała idea przeznaczenia ostatniego statku z tej serii do badań ziemskiego pola magnetycznego na morzach i oceanach. Realizacja tego pomysłu była niezmiernie trudna z uwagi na zwiększenie kosztu budowy (należało zamienić wszystkie żelazne elementy statku na wykonane z metali kolorowych) oraz zbudowanie specjalnej aparatury do pomiarów na morzu. Najtrudniejszym zadaniem było przekonanie decydentów do zamierzenia. W tym celu autor idei, nieżyjący już profesor Michaił M. Iwanow, dotarł nawet do Stalina, którego jednak potrafił przekonać do budowy takiego żaglowca. Statek ten otrzymał imię „Zaria”. Wyposażony w odpowiednią aparaturę wyruszył w pierwszy rejs naukowo-badawczy w 1954 roku, co dało początek nowoczesnym kompleksowym badaniom magnetycznym na Bałtyku. Od tamtej pory, przez prawie czterdzieści lat, „Zaria” wykorzystywana była do pomiarów magnetycznego pola Ziemi na wszystkich prawie morzach i oceanach. W 1970 r. pomiędzy Instytutem Geodezji i Kartografii (IGiK) a IZMIRAN podjęta została współpraca nad badaniami przestrzen-

no-czasowego rozkładu pola geomagnetycznego na Bałtyku. W ramach tej współpracy IGIK uczestniczył w pracach nad magnetycznym zdjęciem Bałtyku Południowego oraz w badaniach magnetycznych zmian wiekowych na tym obszarze. Wynikiem tej współpracy jest między innymi Atlas Map Pola Geomagnetycznego Bałtyku. Prace pomiarowe do zdjęcia magnetycznego były wykonywane w latach 1970-90 na statku badawczym „Zaria”. Tak długi, bo aż dwudziestoletni okres prac pomiarowych nad zdjęciem magnetycznym Bałtyku wynikał z faktu, że program wykorzystania „Zarii” do badań na oceanach miał pierwszeństwo nad pracami o skali lokalnej, jakimi były prace pomiarowe na Bałtyku.

W roku 1990 IZMIRAN, mając na uwadze udział IGIK w wieloletnich pomiarach i badaniach magnetycznych na Bałtyku, zwrócił się z propozycją wspólnego opracowania ich wyników w celu przedstawienia pozyskanych danych magnetycznych w formie dostępnej dla użytkowników. Z powodu braku środków finansowych w latach 1990-94 prace ruszyły dopiero w 1995 r., a poparcie Komitetu Badań Naukowych PAN w postaci przyznania odpowiednich funduszy umożliwiło podjęcie tematu. Uporządkowano zatem 20-letni materiał pomiarowy oraz przetworzono go do jednolitej postaci numerycznej, uwzględniono krótkookresowe wariacje pola geomagnetycznego, zredukowano do wspólnej epoki i przeprowadzono edycję kartograficzną.

W całości prac pomiarowych na Bałtyku uczestniczyli specjaliści z IZMIRAN i naszego Instytutu Geodezji i Kartografii oraz okresowo z Instytutu Badania Atmosfery i Geomagnetyzmu Akademii Nauk byłej NRD, ze Szwedzkiej Służby Geologicznej, a także Fińskiego Instytutu Meteorologicznego. Prace obliczeniowe zostały wykonane przez Rosjan przy udziale IGIK, a prace kartograficzne wyłącznie przez IGIK.

Pomiary dla przyszłego atlasu

Do 1970 roku pomiary magnetyczne na Bałtyku były wykonywane podczas przejścia statku badawczego z dzisiejszego Petersburga na Atlantyk i z powrotem. Systematyczne prace nad zdjęciem magnetycznym Bałtyku rozpoczęto w 1970 r. Pomiary wykonano podczas dziewięciu ekspedycji magnetycznych statku „Zaria”. W sześciu z nich uczestniczyli specjaliści z IGIK.

Zdjęcie wykonywano metodą profilową. Odległość pomiędzy poszczególnymi profilami wynosiła około 4,5 km. Co 1 minutę, co odpowiada w przybliżeniu odległości 250 m, pomiary na profilu były lokalizowane, tzn. pomierzona wartość elementów pola geomagnetycznego była odnoszona do punktu o wyznaczonych współrzędnych geograficznych. Suma długości profili pomierzonych podczas wszystkich ekspedycji wynosiła ponad 55 tys. kilometrów, materiał źródłowy liczył zatem ok. 220 tys. punktów.

Część profili została tak zaprojektowana, aby przecinały się one z profilami już pomierzonymi. Umożliwiło to uzyskanie w punktach przecięcia dwóch wyinterpolowanych wartości pola geomagnetycznego, które po wprowadzeniu poprawek powinny być jednakowe. Najczęściej wartości te różniły się nieco od siebie. Różnice te stanowiły podstawę do przeprowadzenia analizy poprawności materiału pomiarowego, oceny jego dokładności, a także do analizy rozkładu błędów pomierzonych elementów pola geomagnetycznego na obszarze Bałtyku.

Początek pomiarów miał miejsce na morskim poligonie testowym w pobliżu Kołobrzegu. Ich celem było sprawdzenie warunków morskich polskiego magnetometru protonowego PMP1

USŁUGI

Szkolenia

Pierwsze w Polsce
Autoryzowane Centrum Szkoleniowe
Autodesk w tym również dla GIS

Skanowanie do A0

Kalibracja

Wektoryzacja

Plotowanie

SYSTEMY

AutoCAD MAP

GeoDesK'a 1
(aplikacja zgodna z K1
dla AutoCAD'a,
umożliwia m.in. obsługę
rejestratorów polowych,
baz danych itp.)

CADRaster

 **Autodesk.**
Autodesk Systems Center



DESIGNERS S.C.

ul. Powstańców Śląskich 10
01-381 Warszawa
Tel. 665-39-21 (8 linii)

SPRZĘT

Plotery
(HP, OCE)

Stacje graficzne
(OPTIMUS, DELL,
IBM)

Monitory
(ELSA, SAMSUNG,
SONY)

Drukarki
(HP, CANON)

Skanery OCE

**Najniższe ceny
w Polsce**

zainstalowanego na statku oraz przetestowanie sposobu wprowadzania do wyników pomiarów poprawek wariacyjnych, obliczanych z danych magnetycznego obserwatorium PAN w Helu i wariacyjnej stacji polowej pod Kołobrzegiem. Pomiar testowe były także okazją do dopracowania zagadnień organizacyjnych związanych z pobytem zagranicznego statku badawczego i jego załogi w polskim porcie.

W latach 1971-72 kontynuowano badania w południowej części Bałtyku. Do nawigacji wykorzystano szwedzki południowy łańcuch OA systemu nawigacyjnego DECCA. Dla podniesienia dokładności lokalizacji punktów pomiarowych na morzu zastosowano oryginalną metodę obliczania systematycznych poprawek do współrzędnych położenia punktów, wyznaczonych za pomocą tego systemu. Na lądzie, na specjalnie wybranych stanowiskach, ustawiono dodatkowe stacje odbiorcze sygnałów systemu DECCA, które posłużyły do określenia poprawek pomiędzy współrzędnymi znanymi i współrzędnymi wyznaczonymi za pomocą ustawionego odbiornika. Wielkości tych poprawek dla punktów na morzu były ekstrapolowane na podstawie danych lądowych i odległości od stacji lądowej do punktu.

W latach 1980-82 pomiary przeprowadzono w środkowej części Bałtyku, najmniej rozpoznanej z punktu widzenia geomagnetyzmu (długość pomierzonych profilów 17700 km). W roku 1986 we współpracy ze Szwedzką Służbą Geologiczną wykonane zostały pomiary w zachodniej i kontynuowane były w środkowej części Bałtyku (długość pomierzonych profilów 5300 km). Natomiast w okresie 1989-90 do pomiarów został zaproszony Fiński Instytut Meteorologiczny (długość pomierzonych profilów 26 500 km). Była to okazja do kolejnego unowocześnienia aparatury oraz ulepszenia procedury pomiarowej i metod obliczeniowych.

Opracowanie wyników

Materiał obserwacyjny zawiera wyniki pomiarów zmian elementów pola geomagnetycznego wzdłuż profilów oraz wyniki pomiarów o charakterze absolutnym, które oprócz tego, że stanowiły podstawowy materiał źródłowy do dalszych prac obliczeniowych, definiowały poziom odniesienia dla pomierzonych zmian. Zmiany mierzonych elementów były rejestrowane nieprzerwanie przez cały czas pomiarów profilu.

Absolutne wyznaczania deklinacji D były wykonywane za pomocą busoli Kawrajskiego (średnica 127 mm). Kierunek na północ geograficzną wyznaczano metodą astronomiczną, najczęściej z obserwacji Słońca. Pomiary wykonywano rano i przed zachodem Słońca. Średni błąd wyznaczania D z 12-30 obserwacji, przy spokojnym stanie morza, był rzędu 0,1 stopnia.

Absolutne wyznaczania modułu wektora indukcji magnetycznej F były określane za pomocą magnetometru protonowego co 60 sekund. Przy szybkości statku 7-8 węzłów jeden pomiar przypadał na odcinek profilu o długości ok. 250 m.

Podczas pierwszych trzech ekspedycji sonda magnetometru umie-

szczana była na pokładzie dziobowym żaglowca, możliwie najdalej od źródeł sztucznych zakłóceń pola geomagnetycznego, pochodzących od urządzeń zainstalowanych na statku, a zgrupowanych w jego części rufowej. Podczas następnych ekspedycji, sonda była holowana w odległości 70 metrów za statkiem, co pozwoliło na całkowite wyeliminowanie wpływu zakłóceń na wskazania magnetometru. Absolutne wyznaczenia składowej poziomej H były wykonywane za pomocą magnetometru kwantowego. Pomiary były lokalizowane również co 60 sekund, zatem zarówno wyznaczenie wartości F, jak i H przypadało na 250-metrowy odcinek profilu. Dokładność tych wskazań wynosiła 1 nT.

Pomierzone zmiany D, H i Z oraz wyniki pomiarów F i H były rejestrowane początkowo w formie analogowej, a od 1986 r. w formie numerycznej.

Pozycja statku była wyznaczana co 15 minut. Do wyzna-



Żaglowiec „Zaria” w pełnej krasie

ależnie od roku pomiarów i rejonu Bałtyku, wykorzystywany był wspomniany wyżej szwedzki łańcuch OA hiperbolicznego systemu nawigacyjnego DECCA, polskie, rosyjskie i skandynawskie systemy przybrzeżne, a także systemy satelitarne. Pozycja statku była nanoszona na mapę nawigacyjną, najczęściej w skali 1:200 000. Jedynie na niektórych wodach przybrzeżnych i w miejscach niebezpiecznych z nawigacyjnego punktu widzenia korzystano z map w większej skali. Obok naniesionej pozycji statku wpisywano czas wyznaczenia tej pozycji. Ten sam moment był zapisywany na taśmach i na wydrukach z zarejestrowanymi wynikami pomiarów magnetycznych wzdłuż profilu.

Pozycja statku na profilu, wyrażona w mierze czasowej, była przeliczana na wartości współrzędnych geograficznych drogą interpolacji liniowej pomiędzy dwiema kolejnymi pozycjami statku, wyznaczonymi co 15 minut metodami nawigacyjnymi. Błąd wyznaczenia pozycji statku był zależny od użytego systemu nawigacyjnego, pory dnia i rejonu Bałtyku oraz stanu morza. Błąd ten w dzień wynosił 100-400 m, o świcie i zmroku 400-800 m, a w nocy 800-1200 m.

Zarejestrowane wartości zmian elementów pola geomagnetycznego i wyniki pomiarów absolutnych, po zastosowaniu odpowiedniej procedury obliczeniowej, pozwoliły przypisać każdemu

punktowi na profilu, usytuowanemu co 250 m, wartości pomierzonych elementów pola – D, F, H i obliczoną wartość Z. W celu dokonania oszacowania i analizy rozkładu sumarycznych błędów przypadkowych mierzonych elementów pola E wykorzystano różnice wyinterpolowanych wartości E w punktach przecięcia się profilów. Z przeprowadzonej analizy różnic wartości E z liczby 7000 punktów przecięcia się profilów wynika, że średni błąd deklinacji magnetycznej D zawarł się w przedziale 0,2-0,4, średnie błędy modułu wektora F i składowej H zawarły się w przedziale 20-30 nT, a średni błąd składowej pionowej Z – w przedziale 20-35 nT.

Gromadzony przez 20 lat materiał pomiarowy, składający się z olbrzymiej liczby punktów nieregularnie rozmieszczonych na obszarze Bałtyku, został użyty do opracowania cyfrowych map magnetycznych Bałtyku. W tym celu materiał przetworzono do postaci regularnej siatki drogą odpowiedniej procedury obliczeniowej. Rozmiar siatki był funkcją parametrów danych źródłowych, w tym także funkcją nieregularnego ich rozmieszczenia.

W przypadku naszych pomiarów, odległości pomiędzy profilami wynoszące ok. 4,5 km wynikały nie tyle z analizy i rozeznania charakteru anomalii magnetycznych, ich wielkości, kształtu i częstotliwości, co z możliwości finansowania tak wielkiego i kosztownego projektu. Odległość ta jest oczywiście głównym parametrem określającym rozmiary anomalii, które można z przekonaniem umieszczać na mapie. Dla oceny możliwości prawidłowego opracowania map cyfrowych na podstawie danych pozyskanych podczas ekspedycji na „Zarii”, obliczono funkcję autokorelacyjną, a następnie promień korelacji dla wszystkich elementów E pola geomagnetycznego. Dla całego Bałtyku promień korelacji zawiera się w granicach 5-30 km. Wielkość ta przewyż-

sza odległość pomiędzy profilami, co świadczy o tym, że średnia odległość równa 4,5 km jest wystarczająca dla rozwiązania zadania interpolacyjnego. W Zatoce Fińskiej i u wybrzeży Szwecji promień korelacji wynosi 5 km. Jednakże w tych rejonach, z uwagi na duży gradient horyzontalny pola geomagnetycznego, profile prowadzono co 2-3 km.

W rezultacie wykonano interpolację danych źródłowych dla węzłów regularnej siatki o bokach 1x1 km. Pozwoliło to na zachowanie wszystkich anomalii, których szerokość odpowiada średniej odległości pomiędzy profilami oraz na zmniejszenie liczby anomalii określanych jako niepewne. Na podstawie tak przetworzonego materiału pomiarowego opracowano atlas, na który składają się mapy pomierzonych elementów pola geomagnetycznego:

- mapa deklinacji magnetycznej D,
 - mapa modułu wektora indukcji magnetycznej F,
 - mapa składowej poziomej wektora indukcji H,
 - mapa składowej pionowej wektora indukcji Z,
- oraz mapy obliczonych elementów pola geomagnetycznego:
- mapa inklinacji magnetycznej I,
 - mapa anomalii modułu wektora indukcji Fa,
 - mapa anomalii składowej wektora indukcji Ha.

Epoką, dla której mapy zostały opracowane, jest rok 1990.5. Wyjątek stanowi mapa D, która została opracowana na epokę 1995.5. Mapy te zostały opracowane w skali 1:5 mln. Mapy D i Fa zostały także opracowane w skali 1:1,5 mln.

Do Atlasu dołączono także mapy pola normalnego dla F i dla H oraz mapy zmian wiekowych w interwale 1995-2000 dla mapy D i w interwale 1990-2000 dla map F i H.

W skład Atlasu weszła również zbiorcza mapa profilów pomiarowych, pomierzonych podczas wszystkich 9 ekspedycji na Bałtyku. Podkład dla wszystkich map stanowiła mapa konturowa, opracowana w jednostrefowym odwzorowaniu Gaussa-Krügera z południkiem osiowym 19E i współczynnikiem skali w południku osiowym równym 1.

Wszystkie mapy w skali 1:5 mln zostały opracowane przy użyciu systemu graficznego Surfer, natomiast mapy w skali 1:1,5 mln przy użyciu systemu Intergraph.

Przykład wykorzystania Atlasu

Jak wiadomo, dane magnetyczne można wykorzystać do przeprowadzenia rejonizacji zdjęcia, wydzielenia stref rozłamów, określenia głębokości zalegania górnych i dolnych powierzchni fundamentu krystalicznego, wydzielenia wzdłużnych i koncentrycznych źródeł anomalii magnetycznych, określenia efektywnego namagnesowania itd.

Jako przykład wykorzystania pola magnetycznego do interpretacji geologiczno-geofizycznej obliczone zostały głębokości zalegania górnych powierzchni fundamentu krystalicznego. Do obliczeń została zastosowana metoda Bhattacharyya dla izolowanego ciała o kształcie prostopadłościennego bloku. W metodzie tej geometryczne parametry ciała są determinowane dwuwymiarową transformacją Fouriera przeprowadzoną dla wartości całkowitego natężenia pola zadanego w płaszczyźnie zdjęcia.

W praktyce, przy interpretacji mamy do czynienia z kombinacją różnych ciał o wyżej wspomnianym kształcie prostopadłościennego bloku. W naszym przypadku badaniu został poddany cały obszar Morza Bałtyckiego, dla którego przeprowadzono analizę 440 obiektów o różnych rozmiarach, zachodzących na siebie. Granice obiektów były tak dobierane, aby z jednej strony rozpatrywana anomalia w całości znajdowała się w granicach obiektu, a z drugiej, aby liczba anomalii zachodzących na siebie w obiekcie była możliwie mała.

„Okręgowe Przedsiębiorstwo
Geodezyjno-Kartograficzne”
Spółka z o.o. w Opolu

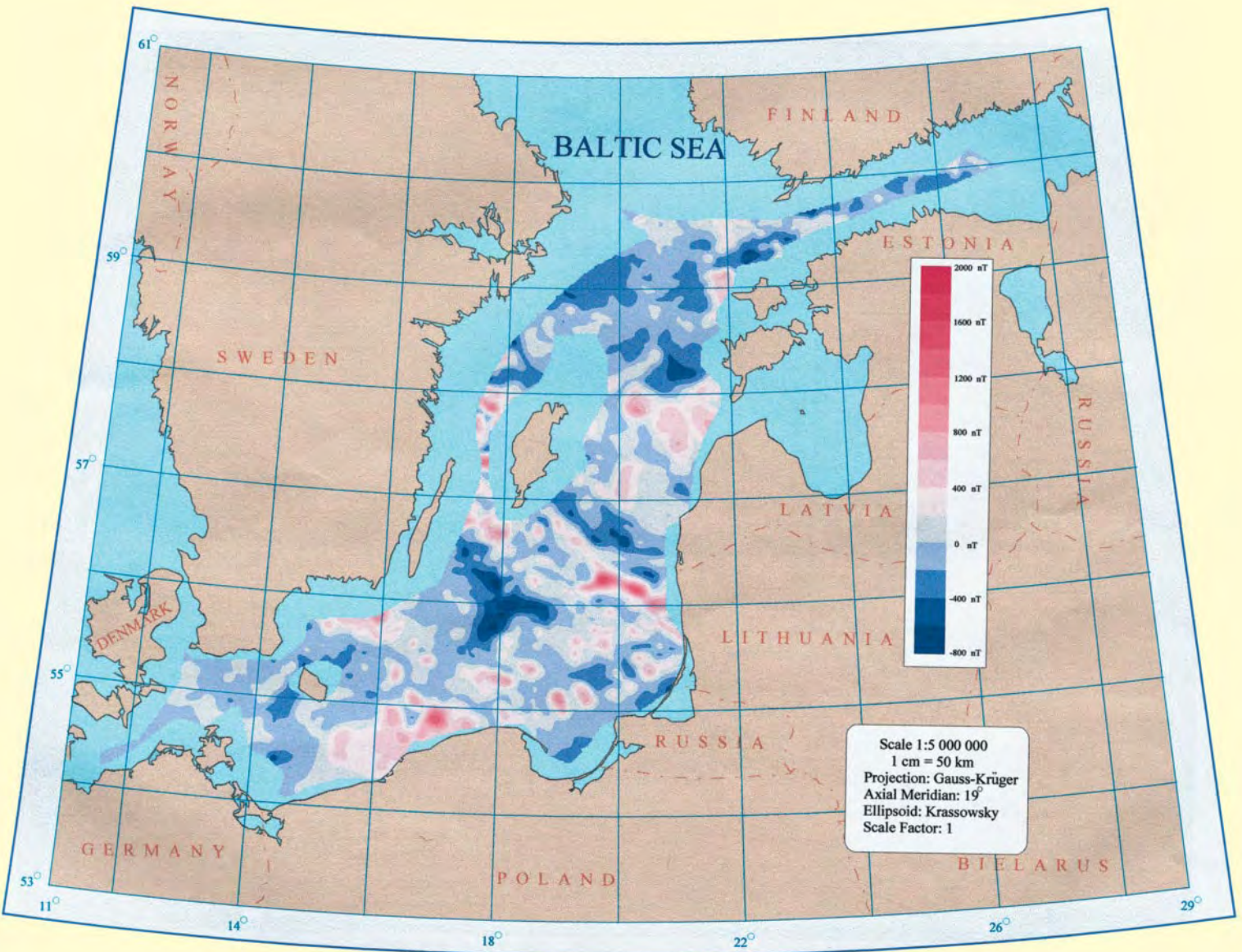
zatrudni geodetę w Pracowni Systemów Informacji o Terenie

na stanowisku specjalisty
ds. wdrożeń GIS, SIT

Wymagania:

- wykształcenie wyższe
- doświadczenie w pracy z oprogramowaniem AutoCAD lub MicroStation

45-003 OPOLE, ul. Rybacka 15
tel. (077) 454 56 51 do 53, fax (077) 453 99 05



Mapa anomalii natężenia pola geomagnetycznego (skala oryginału 1:5000)

Znane do tej pory większe rozłamy fundamentu krystalicznego Bałtyku mają ukierunkowanie północno-zachodnie. Przeprowadzona interpretacja ujawniła istnienie również rozłamów do nich prostopadłych, czyli mających ukierunkowanie północno-wschodnie. Zależnie od rejonu Bałtyku głębokość zalegania fundamentu zawiera się w granicach 2-10 km, z błędem 10-15%.

Autorami atlasu są: prof. dr hab. inż. Andrzej Sas-Uhrynowski – kierownik Zakładu Geodezji Fizycznej w Instytucie Geodezji i Kartografii, dr inż. Elżbieta Welker – adiunkt we wspomnianym Zakładzie, dr Irina Diomina Leonid Kasyanenko – pracownicy Zakładu Morskiej Magnetometrii w Instytucie Magnetizmu Ziemi, Ionosfery i Propagacji Fal Radiowych Rosyjskiej Akademii Nauk

Literatura:

- M. M. Ivanov., *Magnitnaya syomka okeanov. Akademia Nauk ZSRR*, Wydawnictwo „Nauka”, 1966;
 B. K. Bhattachryya, *Continuous spectrum of the total magnetic field anomaly due to a rectangular prismatic body*, „Geophysics”, Nr 31, 1966;
 D. P. Golub, I. C. Sidorov, *Stroieniye poverkhnosti dokembrijskowo funda-*

menta Baltijskowo Moria (po danych magnitnyh sjomok E/S „Zaria”), Moskwa, „Oceanologia”, tom 9, Nr 2, 1971;

- A. Spector, F. S. Grant, *Statistical models for interpreting aeromagnetic data*, „Geophysics”, Nr 35, 1970;
 A. Dąbrowski, A. Sas-Uhrynowski., *Budowa podłoża krystalicznego Południowego Bałtyku w świetle wyników zdjęcia magnetycznego z lat 1971-1972*, „Kwartalnik Geologiczny”, tom 20, Nr 3, 1976;

M. Bilińska, M. Karaczunowa, K. Karaczun, A. Sas-Uhrynowski, *Mapa anomalii magnetycznych Z na obszarze Polski i Południowego Bałtyku w skali 1:500 000*, Państwowy Instytut Geologiczny, 1979;

V. I. Potchtarev, *Morskiye geomagnitnye issledovaniya na NIS „Zaria”*, Akademia Nauk ZSRR, Wydawnictwa „Nauka”, 1986;

L. G. Kasyanenko, A. Sas-Uhrynowski, *Determination of Secular Changes of the Geomagnetic Field over Seas and Oceans* Prace IGiK, tom 42, Nr 91, 1995;

I. M. Diomina, L. G. Kasyanenko, A. Sas-Uhrynowski, L. Siporski, D. J. Fairhead, J. Williams., *Digital Bathymetric and Magnetic Model of the Baltic*, Materiały X Konferencji Naukowo-Technicznej „Zabezpieczenie działalności ludzkiej na morzu”, Gdynia, tom 1, 1996;

I. M. Diomina, L. G. Kasyanenko, A. Sas-Uhrynowski, E. Welker, *Magnetic Maps of the Baltic Sea*, XXI General Assambly of IAGA, Upsala, 1997.