

Wacław M. ZUBEREK

Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi

41-200 Sosnowiec, ul. Będzińska 60

ROLA I ZADANIA GEOFIZYKI W OCHRONIE ŚRODOWISKA

Streszczenie. Główne cele geofizyki w ochronie środowiska rozpatrzono w następujących grupach zagadnień:

- przewidywanie katastrof naturalnych (trzęsienia Ziemi, wybuchy wulkanów, osuwiska, huragany, powodzie, zmiany klimatu, uderzenie asteroidy),
- wykrywanie, lokalizacja i monitorowanie obszarów skażonych i zdegradowanych oraz zadania związane z przywracaniem im pierwotnych właściwości,
- zadania związane z bezpieczeństwem dużych budowli i konstrukcji o strategicznym znaczeniu,
- wykrywanie, lokalizacja i datowanie zabytków kultury materialnej dla archeologii.

Ponieważ przewidywanie w problematyce ochrony środowiska odgrywa bardzo dużą rolę, jego możliwości i ograniczenia omówiono oddzielnie.

MISSION AND GOALS OF GEOPHYSICS IN ENVIRONMENTAL PROTECTION

Summary. The main goals of geophysics in environmental protection have been considered in following areas:

- prediction of natural catastrophes
- detection, location and monitoring of contaminated areas and goals related to their reclamation,
- goals related to the safety of large and very important structures and constructions detection, location and dating of archeological materials, and monuments of cultural heritage.

Due to the great importance of prediction in environmental protection, its possibilities and limitations have been considered separately.

1. Wstęp

Zasadniczo funkcjonują dwie definicje geofizyki: 1) węższa jako badanie Ziemi za pomocą ilościowych metod fizycznych w celu poznania jej budowy i 2) poszerzona jako zastosowanie praw i metod fizyki do badań Ziemi i przestrzeni otaczającej w celu poznania jej budowy i wyjaśnienia procesów zachodzących w jej wnętrzu i w jej otoczeniu.

Jako przedstawiciel Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego uważam, że należy przyjąć tę poszerzoną definicję geofizyki, a wówczas możemy ją podzielić dalej na:

- fizykę wnętrza Ziemi,
- fizykę hydrosfery,

- fizykę atmosfery,
- fizykę przestrzeni wokółziemskiej i międzyplanetarnej.

Podział ten można kontynuować dalej uwzględniając zakres badań lub stosowane metody fizyczne.

W każdej z tak wydzielonych poddyscyplin geofizyki można wyodrębnić cele i zadania związane z ochroną środowiska. Próbując jednak zgeneralizować, cele i zadania geofizyki można określić jako:

- 1) cele poznawcze, które wiążą się z badaniami zjawisk i procesów zachodzących na Ziemi, w jej wnętrzu i w przestrzeni otaczającej. Wiążą się one z jedną z najbardziej inspirujących cech człowieka, czyli dążnością do poznania i eksploracji natury,
- 2) cele edukacyjne, które można określić jako zadania związane z:
 - wyjaśnieniem, jak obserwowane zjawiska i procesy pozwalają poznać i zrozumieć otaczający nas świat-wszechświat,
 - wyjaśnieniem, dlaczego rozwiązywanie określonych zadań ma istotne znaczenie i jest ważne społecznie,
- 3) cele gospodarcze, które ogólnie biorąc, wiążą się z przyspieszeniem rozwoju ekonomicznego, niezależności, wzrostu zasobności i bogactwa społeczeństwa,
- 4) cele militarne polegające na rozwiązywaniu za pomocą geofizyki zadań z zakresu obronności i strategii wojskowej szeroko dzisiaj wykorzystywane w społeczeństwach wysoko rozwiniętych.

Zarówno w celach gospodarczych, jak i militarnych można wydzielić dla geofizyki zadania związane z wykrywaniem skażeń i przywracaniem pierwotnych właściwości obszarom zdegradowanym. Można jednak tę grupę celów i zadań potraktować szerzej i wydzielić odrębną grupę jako:

- 5) cele związane z ochroną i kształtowaniem środowiska przyrodniczego, które zostaną rozwinięte poniżej.

2. Cele i zadania geofizyki związane z ochroną i kształtowaniem środowiska przyrodniczego

Możliwie szeroko ujmując tę problematykę można te cele i zadania podzielić na:

- przewidywanie katastrof naturalnych,
- wykrywanie, lokalizację i monitoring obszarów skażonych i zdegradowanych oraz zadania związane z przywracaniem im pierwotnych właściwości [7],
- zadania związane z bezpieczeństwem dużych i ważnych budowli oraz konstrukcji,
- wykrywanie i lokalizacja oraz datowanie zabytków i obiektów kultury materialnej dla archeologii [4].

2.1. Przewidywanie katastrof naturalnych

Problematyka prognozy katastrof naturalnych w sensie formalnym i praktycznym stanowi jedno z najtrudniejszych zadań i wyzwań dla geofizyki. Pozostawia także najwięcej niespełnionych oczekiwań. Wystarczy jednak sobie uzmysłowić, jak duże i stale wzrastające zagrożenie dla naszej cywilizacji stanowią takie katastrofy naturalne, jak:

- trzęsienia Ziemi,
- wybuchy wulkanów,
- osuwiska,
- huragany,
- powodzie,
- zmiany klimatu,
- coraz częściej analizowane możliwości uderzenia asteroidy,

aby uznać, jak duże znaczenie mają badania tych zjawisk i możliwość przewidywania ich zaistnienia oraz ewentualnych skutków.

Jednocześnie należy stwierdzić, że rozwój współczesnych technik pomiarowych stwarza w naukach o Ziemi, a w szczególności w geofizyce ogromne, dotychczas nieosiągalne, możliwości przewidywania procesów i zjawisk, które mogą wywoływać duże skutki społeczne. Stąd też znajdujemy się w takim okresie rozwoju cywilizacyjnego, w którym są duże oczekiwania i nadzieje społeczeństwa i decydentów, że nauki o Ziemi, a w szczególności geofizyka, będą w stanie dostarczać odpowiednio trafnych i wyprzedzających prognoz procesów lub zjawisk, a właściwie podjęte decyzje pozwolą uniknąć lub zminimalizować negatywne skutki ich oddziaływań, ewentualnie pozwolą te zjawiska kontrolować – wpływać na ich przebieg. Stąd też warto przeanalizować oddzielnie, jakie są możliwości i ograniczenia prognozowania w ochronie środowiska.

2.2. Wykrywanie, lokalizacja i monitoring obszarów skażonych i zdegradowanych oraz zadania związane z przywracaniem im pierwotnych właściwości

Możliwości geofizyki w tej grupie są znaczne i wiążą się z:

- wykrywaniem niebezpiecznych odpadów i skażonych obszarów,
- określeniem kierunków i dróg migracji zanieczyszczeń w skałach zwięzłych, wodach podziemnych i powierzchniowych oraz w atmosferze,
- oceną właściwości górotworu do lokalizacji składowisk odpadów różnych typów,
- monitoringiem zmian zachodzących w obszarach skażonych i zagrożonych w wyniku ich samooczyszczania lub rekultywacji,
- oceną i monitoringiem skutków skażeń lub degradacji środowiska w wyniku działalności gospodarczej (np. składowanie odpadów szkodliwych, eksploatacja górnicza) lub działań wojskowych.

W zależności od rodzaju skażeń (promieniotwórcze, chemiczne) i rodzaju ośrodka, w którym one występują (skały, wody, powietrze), różne będą metody badań i formułowane cele lub zadania. Możliwości geofizyki są tutaj jednak znaczne i zakres wykorzystania metod geofizycznych stale się powiększa, a jako przykłady można wymienić lokalizację i monitoring skażeń gruntów i wód substancjami ropopochodnymi [3, 10], metalami ciężkimi [1], czy też wykorzystanie metod radarowej interferometrii satelitarnej In SAR w monitoringu osiadań powierzchni na terenach eksploatacji górniczej [5].

2.3. Zadania związane z bezpieczeństwem dużych budowli i konstrukcji o strategicznym znaczeniu

Niektóre duże i ważne obiekty i konstrukcje, których nieoczekiwane katastrofy mogą wywołać duże skutki środowiskowe i społeczne, muszą podlegać specjalnym regułom oceny i kontroli bezpieczeństwa w czasie ich projektowania, eksploatacji oraz w fazie likwidacji. Do takich obiektów należy zaliczyć:

- tamy wodne o wysokim poziomie spiętrzenia wody i dużej objętości zbiorników,
- elektrownie jądrowe,
- tunele i metra,
- komory podziemne,
- duże podziemne składowiska odpadów wysokotoksycznych (np. promieniotwórczych).

Cele i zadania dla geofizyki, które w tym zakresie można wyszczególnić wiążą się między innymi z:

- oceną hazardu sejsmicznego czyli oceną prawdopodobieństwa, że drgania sejsmiczne w miejscu posadowienia obiektu przekroczą odpowiedni poziom przyspieszenia drgań,
- obserwacjami i badaniami sejsmiczności indukowanej,
- oceną stabilności systemu i ewentualnie monitoringiem zachodzących w systemie zmian,
- lokalizacją poziomów i stref wodonośnych, w celu śledzenia ruchu zanieczyszczeń i przecieków,
- lokalizacją geologicznych stref uszczelniających, które mogą stanowić osłonę skał lub wód przed zanieczyszczeniem lub skażeniem.

2.4. Wykrywanie, lokalizacja oraz datowanie zabytków kultury materialnej w archeologii

Zadania dla geofizyki w tej grupie problemów najczęściej wiążą się z kartowaniem za pomocą różnych metod geofizycznych płytkiego rozpoznania (mikromagnetycznych i mikrograwimetrycznych, obrazowaniem oporu 2D i 3D oraz potencjałów wzbudzonych, elektromagnetycznych i georadarowych) w celu ułatwienia oraz lokalizacji fragmentów dawnej kultury i zabytków, a także datowaniem metodami izotopowymi (elementów młodszych – głównie metodą radiowęglą C^{14} , a starszych metodą K-Ar).

Odpowiednio dobierając metody do lokalnych warunków w rejonie poszukiwań można w znacznym stopniu ułatwić, przyspieszyć i odpowiednio ukierunkować prace wykopaliskowe i okazuje się, że archeologia w coraz szerszym stopniu, z coraz lepszymi wynikami umiejętnie te możliwości wykorzystuje [4].

3. Przewidywanie w ochronie środowiska

W sensie ogólnym prognozę można definiować jako wyprzedzającą w czasie ocenę zachowania się złożonego systemu (jakim może być na przykład wybrany obszar górotworu, składowisko odpadów, wyrobisko górnicze wraz z obudową) opierając się na obserwowanym wcześniej i aktualnym stanie systemu. W każdym szczegółowym przypadku należy ją uszczegółowić i doprecyzować. W rozwiniętym i nowoczesnym społeczeństwie prognozy są szeroko wykorzystane do różnych celów, w tym także do podejmowania decyzji pozwalających zminimalizować lub ograniczyć ujemne skutki oddziaływania człowieka na środowisko lub ujemne skutki oddziaływania środowiska na człowieka w wyniku np. różnych katastrof naturalnych lub zmian klimatu [6, 8, 9].

Możliwości przewidywania procesów i zjawisk zawsze są zależne od szczegółowej definicji prognozy i charakteru zjawiska, ale w przypadku procesów i zjawisk deterministycznych, dzięki ich szczegółowemu opisowi za pomocą odpowiednich zależności funkcyjnych lub równań różniczkowych, na ogół nie ma większych problemów w przewidywaniu zachowania się systemu, a ograniczenia prognozy można sprowadzić do:

- niepewności w określaniu warunków początkowych, które mogą wpływać na zachowanie się systemu w kolejnych momentach czasu. W tym sensie może się okazać, że jest utrudnione przewidywanie zachowania się tych systemów, które są bardzo czułe na zmiany warunków początkowych,
- zmienność systemów, które nie są dobrze określone przez warunki brzegowe, albo w których warunki brzegowe ulegają zmianom w czasie,
- niejednorodność ośrodka, która w geofizyce często zależy od skali procesu (tzw. efekt skali). Wówczas reakcja systemu w dużej (mega) skali nie jest całkowicie zdeterminowana procesami zachodzącymi lokalnie lub w skali mikro.

W tym przypadku rola geofizyki polega na opracowaniu i opisie modeli, kontroli warunków brzegowych, wyznaczaniu niejednorodności ośrodka.

W zależności od definicji prognozy, jeśli zawiera ona czas pojawienia się zjawiska nieokresowego, nawet w przypadku zjawisk deterministycznych może się ona okazać trudna do zadowalającego rozwiązania.

W przypadku procesów losowych nie można określić dokładnie chwilowej wartości procesu, jeśli jednak znany jest rozkład statystyczny obserwowanego parametru, to można określić prawdopodobieństwo, że jego wartość wystąpi w określonym przedziale. Jeśli zaś wartości procesu są ze sobą skorelowane tzn. wartości w przyszłości zależą od wartości aktualnych i od wartości w przeszłości i proces nie jest bardzo szybko zmienny, to można z wyprzedzającym krokiem prognozy i z prawdopodobieństwem zależnym od wielkości związków korelacyjnych przewidywać przebieg procesu lub zjawiska [2].

Zadania geofizyki w przypadku zjawisk i procesów losowych należy formułować jako:

- możliwie szerokie obserwacje i opis tych zjawisk i procesów oraz określenie rozkładów statystycznych obserwowanych parametrów,
- określenie charakteru procesów (stacjonarne, niestacjonarne, ergodyczne, przejściowe - losowe) i występujących związków korelacyjnych,
- sformułowanie i realizacja prognoz.

W związku z aktualnymi tendencjami i nastrojami społecznymi politycy często formułują żądania w kierunku ośrodków naukowych, które w problematyce ochrony środowiska najczęściej można sprowadzić do:

- przewidywania katastrof naturalnych w celu minimalizacji ich skutków,
- przewidywania globalnych zmian klimatu,
- przewidywania wpływu i skutków podejmowanych decyzji gospodarczych na środowisko.

Należy w tym miejscu odróżnić jednoznacznie prognozę od podejmowanych decyzji, gdyż odpowiednia i prawidłowa prognoza może ułatwić i ukierunkować reakcje na niektóre zagrożenia środowiska, ale także błędne lub niewłaściwe wykorzystanie prognozy (tzn. błędne decyzje) może podważyć cele polityczne, zmarnować przeznaczone na badania środki i podważyć zaufanie społeczne do nauki i ośrodków decyzyjnych.

W rozwiniętych społeczeństwach szeroko wykorzystuje się prognozy dotyczące środowiska w polityce społecznej, a także przy opracowywaniu różnych międzynarodowych układów i porozumień związanych np. z globalnymi zmianami klimatu, ochrony społeczeństw przed naturalnymi i antropogenicznymi zagrożeniami (np. trzęsienia Ziemi, wulkany, składowiska niebezpiecznych odpadów), a jako najbardziej charakterystyczne przykłady można wymienić [6]:

- program badań globalnych (Global Change), którego celem jest odpowiednio wczesne poznanie współzależności procesów fizycznych, geologicznych, chemicznych i biologicznych, które regulują cały system Ziemi, aby ustanowić racjonalną podstawę narodowych i międzynarodowych programów i decyzji,
- stałe doskonalenie prognoz meteorologicznych i sposobu ich odbioru,
- przewidywanie pogody kosmicznej,
- przewidywanie wpływu górnictwa na środowisko z uwzględnieniem efektów bezpośrednich i pośrednich (np. wstrząsy, osiadania powierzchni, skażenia wód i składowanie odpadów),
- składowanie niebezpiecznych i toksycznych odpadów i prognoza skażeń środowiska w odpowiednio długich okresach.

Skuteczność odbioru prognozy zależy w dużej mierze od sposobu jej przedstawienia i od samej definicji prognozy. Należy przy tym odróżnić prognozy naukowe od prognoz użytkowych, specjalnie przygotowanych na użytek odbiorcy. Naukowa prognoza zjawiska lub procesu często jest formułowana w sposób ścisły i w związku z tym nie zawsze jest w

pełni zrozumiała, co może ograniczać możliwości jej odbioru. Przy zbyt rygorystycznie zdefiniowanej prognozie nie zawsze (przy aktualnym stanie wiedzy) jest ona osiągalna, co w celach użytkowych narzuca konieczność pewnego złagodzenia definicji prognozy, przy pełnym zrozumieniu wszystkich ograniczeń tak poszerzonej definicji.

4. Zakończenie

Rozwój nauk o Ziemi i geofizyki oraz nowoczesnych technologii stworzył możliwości znacznego wykorzystywania opracowanych wcześniej metod w problematyce ochrony środowiska. Niektóre z tych zagadnień, które z powodzeniem można już obecnie rozwiązywać, przedstawiłem w niniejszym opracowaniu i mam świadomość, że nie wyczerpuje ono wszystkich, znacznych możliwości geofizyki. Ominiętem, w pewnym sensie celowo, szeroką problematykę wykorzystania odnawialnych i „czystych” źródeł energii, uznając, że ze względów ekonomicznych tę problematykę należy włączyć do celów gospodarczych, pomimo ich dużego znaczenia w problematyce ochrony środowiska. Widać jednak wyraźnie, że możliwości wykorzystania geofizyki w problematyce ochrony środowiska są znaczne i pomimo tego, że wymagają one nakładów finansowych, czasem sporych, zakres wykorzystania geofizyki stale się powiększa.

Jako geofizycy coraz częściej będziemy musieli podejmować trudną i niewdzięczną problematykę związaną z przewidywaniem i formułowaniem różnych prognoz, w tym także związanych z wpływem różnych zjawisk na środowisko. Nie można zatem tych zadań unikać, a formułując prognozy musimy zmierzać do tego, by były one w pełni wiarygodne i właściwie odbierane.

LITERATURA

1. Heller F., Strzyszczyński Z., Magiera T.: Magnetic record of industrial pollution in forest soils of Upper Silesia, Poland, *J. Geoph. Res.*, v.103 B8, 1998.
2. Kornowski J.: Podstawy sejsmoakustycznej oceny i prognozy zagrożenia sejsmicznego w górnictwie. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2002.
3. Marczak H.: Lokalizacja zanieczyszczeń gruntu materiałami ropopochodnymi przy użyciu metod geofizycznych. w: *Mat. konf. „Geofizyka w inżynierii i ochronie środowiska”*. PIG i AGH, s.177-190, Dąb 2001.
4. Misiewicz K.: Metody geofizyczne w planowaniu badań wykopaliskowych. Instytut Archeologii i Etnologii PAN, Warszawa 1998.
5. Perski Z.: Możliwości zastosowania satelitarnej interferometrii radarowej do monitorowania obniżenia terenu wywołanych podziemną eksploatacją złóż. *Publ. Inst. Geoph. Pol. Acad. Sci.*, M-22 9310, s.275-282, 1999.
6. Pielke Jr R.A., Sarewicz D., Byerlee Jr R., Jamieson P.: Prediction in earth sciences and environmental policy making. *Eos Trans. AGU* nr 28, s. 311-312, 1999.
7. Sharma P.V.: *Environmental and engineering geophysics*. Cambridge Univ. Press, 1997.
8. Zuberek W.M.: Przewidywanie w geofizyce górniczej. *Mat. Symp., Warsztaty 2001 nt. Zagrożenia naturalne w górnictwie*, PAN IGSMiE, s. 535-539, Kraków 2001.
9. Zuberek W.M.: Przewidywanie w naukach o Ziemi. w: *XXII Terenowa Szkoła geologów*, U.Śl.- PAN, s.93-99, Spała 2002.
10. Zuberek W.M., Żogała B., Rusin M., Pierwoła J., Wzientek K.: Badania geoelektryczne i magnetyczne na obszarach zdegradowanych działalnością wojskową. *Publ. Inst. Geoph. Pol. Acad. Sci.*, v. M-27(352), s.195-208, 2002.

Abstract

The main goals of geophysics in environmental protection have been considered in following areas:

- prediction of natural catastrophes (earthquakes, volcanic eruptions, rockslides, hurricanes, floods, climate changes, asteroid impact),
- detection, location and monitoring of contaminated areas and goals related to their reclamation,
- goals related to the safety of large and very important structures and constructions (dams, nuclear power stations, tunnels and subways, underground caverns, large underground repositories of high toxic substances),
- detection, location and dating of archeological materials, and monuments of cultural heritage.

Due to the great importance of prediction in environmental protection, its possibilities and limitations have been considered separately.