

aszályossá vagy csapadékosná válása pl. szintén klímaöveltőlődésre vezethető vissza.

Másik fontos tényező az orográfia. Az el-

múlt geológiai korokról e tekintetben igen hézagosak az ismereteink, s ez jelentős bizonytalansági tényezőt jelent a paleoklíma feltárásában.

IRODALOM

- Budyko, M. I.: *Climate and Life*. — Academic Press, New York, London, 1974.
DOBOSI Z.: Kontinensvándorlás és éghajlat. — MTA X. Osztályának Közleményei. 14/2—4, 1981.
LAMB H. H.: *Climate. Present, Past and Future*. — Methuen and Co. LTD, London, 1977.
RASCHKE, E. et al.: *The Radiation Balance of the Earth - Atmosphere System from Nimbus 3 Radiation Measurements*. — NASA Technical Note, NASA TN D7249, Washington, 1973.
SHACKLETON, N. J., OPDYKE, N. D. (1976): Oxygen isotope and paleomagnetic stratigraphy of Pacific Core V 28—239, Late Pliocene to latest Pleistocene. — *Geol. Soc. Amer. Mem.* 145, pp. 449—464. Boulder, Colorado.
SIMPSON, G. C.: *Some Studies in the Terrestrial Radiation*. — *Mem. Royal Met. Soc.* III. 21, 1950.
SMITH, A. G. et al.: *Phanerozoic Paleogeographic World Maps*. — Cambridge University Press, 1981.

NEW TRENDS AND RESULTS IN CLIMATOLOGY

Zoltán Dobosi

S u m m a r y

Recently emphasis in climatology has been placed on the study of temporal changes instead of regional distributions. Accordingly the paper describes research methods and results on past, present and future climatic changes. It deals with the climatic implications of the continental drift theory, the changes in the Earth's radiation balance causes of glaciations presenting new achievements supporting the Milankovic—Bacsák hypothesis. Further sections include climatic modelling for the analysis of climatological contact chains and feedback as well as the impacts of human activity on future climate.

Translated by D. Lóczy

A NEMZETKÖZI POLÁRIS ÉVEK ÉS A NEMZETKÖZI GEOFIZIKAI ÉV

MESKÓ ATTILA

Bevezetés

A nagyszabású nemzetközi tudományos együttműködések sorát megnyitó vállalkozás az Első Poláris Év volt, 1882. aug. 1. és 1883. szept. 1. között. A százéves évfordulón túl a megemlékezésnek külön jelentőséget ad az a tény, hogy közvetlen előzménye egy osztrák—magyar sarki expedíció volt, több magyar részvevővel. Ennek egyik vezetője, KARL WEYPRECHT vetette fel a Sarki Év megszervezésének gondolatát.

Az expedíció eredeti célja az északkelti átjáró felkutatása volt. Hajójuk, a Tegethoff 1872. augusztus 29-én, Novaja Zemlja ÉNy-i partjánál jégbe záródott és 372 napig sodródott északi irányba. Ott addig ismeretlen szárazföldre jutott. Ezt Ferenc József-földnek nevezték el. Később kiderült, hogy a „föld” valójában több kisebb-nagyobb sziget csoportja. Szánokkal mentek tovább É felé a 82° 5' szélességnél isnét egy szigetet értek el (Rudolf trónörökös-földje). Az expedíció 1874. május 20-án kénytelen volt elhagyni a hajót és

háromhónapi menetelés után elérték Novaja Zemlja északi szigetét, ahonnan egy orosz halászhajó vitte tovább őket a szárazföldre.

Az expedíció legfontosabb eredménye a tudomány számára nem a földrajzi ismeretek körének bővítése volt, hanem WEYPRECHTnek az a felismerése, hogy rendszeres, nemzetközi együttműködés nélkül az Arktisz kutatásában nem várható lényeges előrehaladás. Ugyancsak új, korát megelőző gondolat a meteorológiai és geofizikai mérések és megfigyelések alapvető jelentőségének hangsúlyozása. A szerző az Osztrák Császári Földrajzi Társaságban, 1875-ben így foglalta össze egyidejű, tudományos megfigyeléseket szorgalmazó érveit:

„A Természet számos titkának kulcsa, melyet évszázadok óta próbálunk megtalálni (és itt elegendő a mágnességre és elektromosságra hivatkoznom, melyek a meteorológia legnagyobb problémái) minden bizonnyal a Sarkok közelében keresendő. Amíg azonban a sarki expedíciókat

csupán egyfajta nemzetközi akadályversenynek tekintik, melyek elsődleges célja, hogy valamelyik nemzet zászlajának dicsőséget szerezzen és legfőbb törekvésük, hogy néhány mérfölddel közelebb jussanak a sarokhoz, mint versenytársaik, ezek a rejtélyek megoldatlanok maradnak...

Bizonyító erejű tudományos eredményeket csak egyidejű, összehangolt expedíciók sorozata érhet el, melyek az Arktisz környezetében szétesztva, azonos módszerrel, legalább egyéves mérési sorozatokkal szolgáltatnának."

A tudományos együttműködésnek, természetesen, voltak előzményei (1. táblázat). Már 1751-ben a Hold, Mars és Vénusz paralaxisát az Északi földgömb 6, a Déli 1 állomásán egyidejűsége törekedve figyelték meg. A XIX. sz.-ban a nemzetközi összefogás, az adatok és ismeretek kicserélése a további fejlődés egyik feltételévé vált. GAUSS 1833-ban Göttingenben földmágneses obszervatóriumot szerelt fel és más obszervatóriumokkal együtt (Berlin, Frankfurt, Lipcse, Koppenhága stb.) „Mágneses Uniót” hozott létre. A műszerek és a mért mennyiségek egységesítése, bizonyos időszakok (44 órás periódusok) folyamatos megfigyelései lehetővé tették az adatok összevetését és közös feldolgozását.

1864-ben megalakult a Nemzetközi Geodéziai Szövetség (International Association of Geodesy), 1878-ban a Nemzetközi Meteorológiai Szervezet (International Meteorological Organization).

WEYPRECHT terve azonban minden előző kezdeményezésnél nagyobb szabású volt és a részvevő nemzetek számát tekintve valóban az első, a szó mai értelmében nemzetközi tudományos vállalkozást jelentette.

Felhívások, tárgyalások, konferenciák sorozata következett és a harmadik poláris konferencián jóváhagyták a program végleges változatát. Ezt a napot KARL WEYPRECHT, sajnos, már nem érte meg. 1881. márc. 29-én halt meg, 42 éves korában, tüdővészben. Korai halálához a Tegethoff fedélzetén és a háromnapos hányódás során elszenvedett megpróbáltatások jelentősen hozzájárultak. KEPES GYULA, az expedíció magyar orvosa leírásából tudjuk, hogy WEYPRECHT az út során krónikus bronchitisszel küzdött, az egyik matróz tüdővészese volt. Gondolatai azonban valóra váltak és küzdelmeiről (a szó valódi és átvitt értelmében egyaránt) több mint 100 év távlatából is tisztelettel emlékezik meg az utókor.

Az Első Poláris Év

A 3. poláris konferencián (Szentpétervár, 1881) 8 vagy annál több állomás fel-

szerelését határozták el. Az Északi-sarki körüli állomásokat az 1. ábra mutatja be. Végül — a Déli-sarki körüli két állomással és a Dijmphna dán kutatóhajóval együtt — 15 állomás működött.



1. ábra. Az Első Poláris Év állomásai az Északi-sark körül

Mágneses méréseket (teljes sorozatokat) végeztek minden hónap 1-én és 15-én. Ezenkívül is külön figyelmet szenteltek a mágneses háborgások időszakainak. Mérték a földben kialakuló áramokat a távri vonalak felhasználásával, rendszeres meteorológiai és sarkifény-megfigyelések, mérések és más adatok regisztrálása egészítette ki a sorozatot. Egyidejű mérésekre törekedtek; lehetőség szerint azonos műszereket és mérési módszert használtak.

A Sarki Évben felszerelt külön állomásokon kívül összegyűjtötték más állomások adatait is. A Nemzetközi Sarki Bizottság (IPC=International Polar Commission) 33 mágneses obszervatórium és meteorológiai állomás jelentését kapta meg, de később további állomások is elküldték mérési eredményeiket az IPC archívumába, Pulkovóba. Végül, mintegy 60 állomás rendszeres adatszolgáltatására lehetett számítani.

A mágneses obszervatóriumok számának változását a 2. ábra mutatja be. Jól látszik, hogy az első, GAUSS kezdeményezésének köszönhető nagy fellendülés után a Sarki Évek, majd a Nemzetközi Geofizikai Év hatására volt lényeges növekedés.

A megfigyeléseket, eredményeket több kötetben publikálták, legyőzeben 1893—1898 között, bár a holland hivatalos jelentés 1910-ig várta magára. Az anyagokat



2. ábra. Mágneses obszervatóriumok száma az utóbb 300 évben

valamennyi résztvevő az oroszországi Központi Fizikai Obszervatórium (a mai Arktisz és Antarktisz Kutatóintézet elődje, Leningrád) archívumába küldte. A tudományos hasznosítást megnehezítette, hogy a program lebonyolítása után az IPC 1891-ben feloszlott.

A lényeges eredmények közé kell sorolnunk a magas légkörben kialakuló áramrendszerek (mai szóhasználattal az ionoszféra) és a mágneses elemek változásának kapcsolatára utaló jelenségeket, valamint a sarki fény és Nap tevékenységének kapcsolatát sejtető megfigyeléseket.

A Poláris Év jelentős naptevékenységi időszakra esett. A Greenwichben végzett észlelések szerint egészen 1954-ig bezárólag a 12 legnagyobb mágneses vihar közül kettő erre az időszakra esett. A mágneses viharok elméletének kialakulását elősegítette, hogy a két nagy viharról több sarkvidéki mágneses észlelés és északi fény-megfigyelés is rendelkezésre állt.

A Második Poláris Év

A Második Poláris Évet J. GEORGI javaslata alapján több nemzetközi tudományos szervezet — a Nemzetközi Meteorológiai Bizottság, majd a Nemzetközi Geodéziai és Geofizikai Unió — támogatásával szervezték meg. Új Sarki Bizottságot hoztak létre D. LA COUR vezetésével és ennek 1930. évi ülésén már 26 ország, köztük hazánk is, bejelentette részvételét. (A tényleges résztvevők száma ennél nagyobb volt.) A Bizottság azt remélte, hogy 41 állomás fog működni az 55° É-i szélesség felett és 20 állomás az 50° D-i szélesség alatt. Ez a remény nem teljesült. A gazdasági válság csaknem megghiúsította a teljes tervet. Végül D. LA COUR szervezőkészsége és néhány adomány legalább részleges megvalósítást tett lehetővé.

Az északi félgömbre eső állomásokat a 3. ábra mutatja be. Számuk jóval kisebb 41-nél. A déli félgömbön tervezett állomások közül pedig csak kettő működött a teljes észlelési időszakban, 1932. aug. 1. és 1933. szept. 1. között. A mágneses obser-



3. ábra. A Második Sarki Év állomásai. Közülük néhány már az Első Sarki Évben is működött. Ezeket külön megjelöltük

vatóriumok száma ennek ellenére is jelentősen nőtt. A mérések és észlelések összehangolását rádiókapcsolatok segítették. A légkör jobb megfigyelését repülőgépek és ballonok felhasználása emelte magasabb szintre.

Anyagi nehézségek hátráltatták az eredmények publikálását. Végül, a földmágnességgel foglalkozó szervezet (Association for Terrestrial Magnetism) jelentette meg a „Sarki fény alakok fotografikus atlasza” kiadványt. Ez részben még WEYPRECHT sarki fény osztályozásán alapult, és az Első Poláris Évben használt elnevezésekkel összhangban volt. Ugyanez a szervezet másoltatta le a mágneses regisztrátumokat, melyeket Koppenhágában gyűjtöttek össze. A Nemzetközi Meteorológiai Szövetség finanszírozta az északi félgömbön végzett időjárási térképek gyűjtését a Deutsche Weewarte-ban. Az anyag egy része a háborúban elveszett. Végül 1951-ben, V. LAURSEN összeállításában jelent meg a Második Poláris Év bibliográfiája.

A Nemzetközi Geofizikai Év

A harmadik poláris év megszervezésének gondolatát 1950-ben vetette fel J. A. VAN ALLEN. A geofizika és a geofizikai műsze-

rek fejlődését azonban olyangyorsnak látta, ami 50 év helyett, már 25 év elteltével is indokoltá teszi az új poláris év lebonyolítását. További érv volt az 1957–58 évekre eső maximális naptevékenység. A Tudományos Uniók Nemzetközi Tanácsa (ICSU) felkarolta a kezdeményezést és különböző tagszervezeteinek javaslatai alapján működési körét a teljes Föld és környezete vizsgálatára kiterjesztette. Emiatt nevét is megváltoztatták, a Harmadik Poláris Év helyett Nemzetközi Geofizikai Évre.

A Nemzetközi Geofizikai Év Speciális Szervező Bizottsága (CSAGI) ülések sorozatán döntötte el, milyen kutatási témákat vegyenek fel a programba. Az 1954. évi ülésen, Rómában 11 pontban állapodtak meg, de egy évvel később, Brüsszelben még két pont felvételét tartották szükségesnek. Végül, a következő kutatási területek kerültek a hivatalos programba:

1. Világnapok (különböző kozmikus jelenségek okozta geofizikai változások egységes megfigyelésére kijelölt időszak)
2. Meteorológia
3. Földmágnesség
4. Sarki fény és éjszakai égbolt sugárzása
5. Ionoszféra
6. Naptevékenység
7. Kozmikus sugárzás
8. Szélesség- és hosszúságingadozások
9. Glaciológia
10. Oceanográfia
11. Rakéták és mesterséges holdak
12. Szeizmológia
13. Gravitációs vizsgálatok

Magyarország az 1., 2., 3., 5., 6., 7., 12. és 13. számú vizsgálatokban vett részt.

A Nemzetközi Geofizikai Év rendkívül sikeres vállalkozás volt. Lezárása után az egyes részterületek vizsgálatára külön szervezetek alakultak és sok újabb nemzetközi programot terveztek és (részben) hajtottak végre. Ezek közül a fontosabbakat adtuk meg az 1. táblázatban.

WEYPRECHT gondolata: koncentrált nemzetközi összefogás, esetleg több éves vizsgálatsorozat egy-egy lényeges tudományos probléma megoldására hatékonynak bizonyult és lényegesen hozzájárult ahhoz, hogy többet tudjunk a Földről, légköréről és távolabbi környezetéről.

A Sarki Évek és a Föld utolsó ismeretlen területei

A középkor végén az ismert világ három kontinens (Európa, Ázsia és Afrika) egy részére korlátozódott. Kolumbusz útjától (1492) számítva, mintegy három évszázad alatt a földrajzi expedíciók csaknem az egész Földet feltérképezték.

A Föld megismerésének előrehaladását jól illusztrálják az egykorú térképek. A Föld kerületét a valódinál jóval kisebbnek vélték — mintegy 30 000 km-nek — és Euráziát a valódinál jóval nagyobbnek tüntették fel. Mindkét tévedés hozzájárult ahhoz, hogy India elérését nyugati irányból reálisnak tartásák. Az ábra Észak- és Dél-Amerika méretarányos képét is megadja (pontozott terület), ezzel érzékeltetve a régi térkép méreteinek jelentős hibáját.

A 4. ábra az expedíciók évi számát mutatja be mintegy három évszázadnyi

1. táblázat

Nemzetközi együttműködések és szervezetek

Alapítás éve vagy együttműködés időtartama	Együttműködés vagy tudományos szervezet neve (Zárójelben a hivatalos rövidítés)
1751	A Hold, Vénusz és Mars parallaxisának megfigyelése (7 állomás)
1833	Mágneses Unió (Gauss)
1864	Nemzetközi Geodéziai Szövetség (IAG)
1878	Nemzetközi Meteorológiai Szervezet (IMO)
1882. aug. 1.—1883. szept. 1.	Első Poláris Év (IPY)
1919	Nemzetközi Kutatási Tanács (IRC)
1931	Tudományos Uniók Nemzetközi Tanács (ICSU) — az IRC helyett
1932. aug. 1.—1933. szept. 1.	Második Poláris Év (IPY)
1957. júl. 1.—1958. dec. 31.	Nemzetközi Geofizikai Év (IGY) A Nemzetközi Geofizikai Év „örököse”
1962—1968	Felső köpeny kutatása (UMP)
1978—1979	Nemzetközi Geodinamikai Program (IGP)
1981—	Nemzetközi Litoszféra Program (ILP)
1964—1965	Nyugodt Nap Éve (IQSY)
1979—1980	Nemzetközi Naptevékenység Maximum Év (ISMY)
1968—1979	Globális Atmoszférakutatási Program (GARP)
1980—	Nemzetközi Klímaprogram (WCP)

Ezekhez járult a SCOR, SCAR, Cospar állandó szervezeteinek megalakulása.

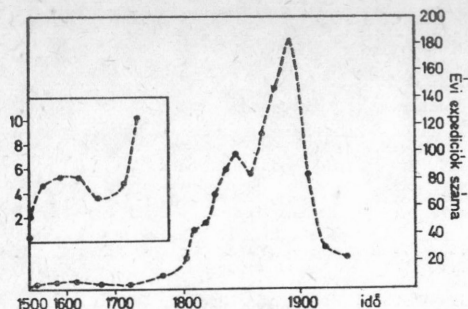
Az Arktisz (Északi-sarkvidék) kutatásának története
(Legfontosabb felfedezések)

Esemény (felfedezés)	Időpont	Expedíció vezetője
Grönland elérése	982—985	VÖRÖS ERIK (normann)
Grönland és Baffin-föld elérése	1576—1578	FROBISHER, M. (angol)
Barents-tenger és első áttelelés a sarkvidéken	1594—1597	BARENTS, W. (holland)
Hudson-szoros és -öböl	1607—1610	HUDSON, H. (angol)
Bering-szoros (Ázsia és É-Amerika különálló földrészek)	1735—1743	BERING, V. (dán, orosz szolgálatban)
Cseljuszkin-fok (Ázsia legészakibb pontja)	1741—1742	CSELJUSZKIN, SZ. I. (orosz)
Az északi mágneses pólus megtalálása (Boothia-félsziget)	1829—1833	ROSS, J. L. (angol)
Északnyugati-átjáró	1850—1854	MAC CLURE, R. J. (ír)
Ferenc József-föld felfedezése	1872—1874	PAYER, J. (osztrák—magyar expedíció) (WEYPRECHT, K. DR. KEPES GYULA)
az Északi-sark megközelítése		
Tudományos vizsgálatok	1893—1896	NANSEN, F. (norvég)
Grönland körülhajózása	1898—1902	SVERDRUP, O. (norvég)
ÉNy-i átjáró végighajózása (K—Ny irányban)	1903—1906	AMUNDSEN, R. (norvég)
Az Északi-sark elérése	1909. ápr. 6.	PEARY, R. (USA)
Északi-föld (Szevernoja Zemlja)	1913—1915	VILKICKIJ, A. (orosz)
Északi-sark elérése repülőgéppel (Spitzbergák felől)	1926	BYRD, R. E. (USA)
Tengeráramlások vizsgálata	1933—1939	„Szedov”, „Szibirjakov”, „Cseljuszkin”, „Kraszín” jég-törő hajókkal (szovjet) CSKALOV, V. P. és GROMOV, M. K. (szovjet)
Moszkva—Vancouver (12 000 km) repülőút	1937	
Geofizikai és meteorológiai kutatások		
„Északi-sark 1” állomás	1937—1938	PAPANYIN, I. D. (szovjet)
Áthajózás a Csendes-óceánból az Atlanti-óceánba a sarki jégpáncél alatt tengeralattjáróval, Nautilus	1958. júl. 23— 1959. aug. 5.	ANDERSON, W. R. (USA)

3. táblázat

Az Antarktisz (Déli-sarkvidék) kutatásának története
(Legfontosabb felfedezések)

Esemény (felfedezés)	Időpont	Expedíció vezetője
Déli Geogia	1675	DE LA ROCHE (spanyol)
Déli Sandwich-szkg.	1772—1775	COOK, J. (angol)
Déli Szetland-szkg.	1819	SMITH, W. (angol)
Déli Orkney-szkg.	1821—1822	WEDDELL, J. (angol)
Déli mágneses sarok keresése	1837—1848	DUMONT D'URVILLE (francia)
Wilkes-föld	1838—1840	WILKES, CH. (USA)
Déli Viktória-föld	1839—1843	ROSE, J. C. (angol)
2. Nemzetközi Sarki Évben szervezett kutatások (újabb földrajzi felfedezések)		NORDENSKJÖLD, O. (svéd) „Antarctic”
Térképezés, meteorológiai, geofizikai megfigyelések	1901—1903	DRYGALSKI, E. (német) „Gauss”
	1901—1904	SCOTT, R. E. (angol) „Discovery”
	1902—1904	BRUCE, W. S. (skót) „Scotia”
	1903—1905	SHARCOT, J. B. (francia) „Francis”
A déli mágneses pólus megtalálása	1907—1909	SHACKLETON, E. H. (angol)
A Déli-sark elérése	1911. dec. 14.	AMUNDSEN, R. (norvég)
A Déli-sark elérése	1912. jan. 12.	SCOTT, R. F. (angol)
Marie Byrd-föld felfedezése		
„Little America” állomás	1928—1930	
Áttelelés a Ross-jégmezőn	1933—1935	
Ny-Antarktisz térképezése	1939—1941	BYRD, R. E. (USA) expedíciói
Ross- és Wedell-tenger kutatása	1946—1947	
Az Antarktisz átrepülése	1934	ELLSWORTH, L. (USA)
Geológiai kutatóállomás Admiralty-öböl	1948	FUCHS, V. (angol)
„Mirnij” támaszpont, „Vosztok”, „Szovjetzskaja” állomások létesítése	1956—1958	Nemzetközi Geofizikai Év keretében létesített állomások (vezető: M. M. SZOMOV)
USA kutató csoportok és állomások	1956—1957	Nemzetközi Geofizikai Év keretében



4. ábra. Földrajzi felfedező expedíciók száma az utóbbi három évszázadban

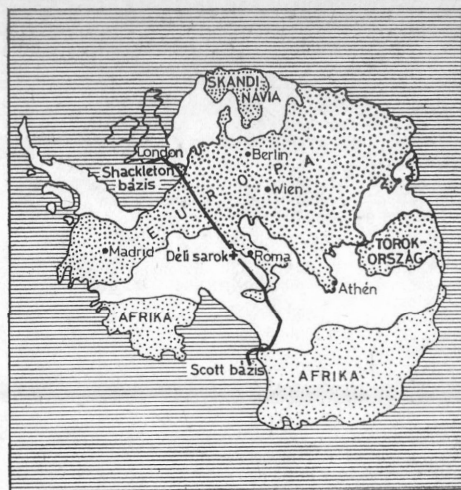
időszakban. Az időskála nem egyenletes. Ennek oka az, hogy így jobban lehet ábrázolni az eseményeket. A XIX. sz.-ban ui. azonos időtartam alatt sokkal több történt, mint az előző két évszázadban. Az újkor hajnalán a spanyolok és portugálok indították a legtöbb expedíciót, de ezek száma elenyésző a XIX. sz. felfedező útjainak számához viszonyítva. Ekkor az összes expedíciónak csaknem fele Nagy-Britanniából indult.

A csúcs, évi 180 expedíció, éppen a századforduló tájára esik, majd gyors csökkenés következik. Ennek oka korántsem a felfedező kedv hanyatlása. Az ismeretlen feltárásának varázsa nem foszlott szét. A XX. sz. felfedezőinek egyszerűen már csak néhány, rendkívül nehezen hozzáférhető, barátságatlan, az emberi élet számára kevéssé alkalmas vidék meghódítása maradt. Ezek között volt a két sarki jégsivatag, az Arktisz és az Antarktisz.

A Poláris Évek célkitűzése jóval több volt, mint egyszerű térképezés. De szükségzerű kapcsolat is van közöttük. Kutatóállomásokat csak viszonylag ismert pontokon lehet telepíteni, ellátásukat meg kell szervezni. Másrészt a tudományos vizsgálatok végzése — különösen az Első Sarki Év idején — a világtól elzárt, zord körülmények között ugyanolyan bátorságot, helytállást követelt, ha kevesebb kockázattal is járt, mint az ismeretlen felé induló expedíciókban való részvétel.

Részben a kapcsolat, részben az időbeli elhelyezhetőség miatt a 2. és 3. táblázatban megadjuk a két sarki terület kutatásának vázlatos történetét.

A Sarki Évek — azzal, hogy felhívták a figyelmet a még feltáratlan területeken



5. ábra. Az Antarktisz és Európa méreteinek összehasonlítása

végzendő meteorológiai, földmágneses, sarkifény-kutatások jelentőségére — elősegítették e területek megismerését is. A táblázatokból is kitűnik az összehangolt tudományos vizsgálatok szükségességének felismerése, és az Első Sarki Év kutatásai jóval megelőzték a sarkok elérését.

A Nemzetközi Geofizikai Év kezdetéig a Föld felszínének megismerése gyakorlatilag befejeződött. A pontosság kedvéért hozzá kell tenni, hogy az Antarktiszon, ezen az Európánál nagyobb kontinensen — melynek területe a jégperemmel és szigetekkel együtt mintegy 14 millió km² — ma is folynak részletező vizsgálatok.

A Nemzetközi Geofizikai Év egy új dimenzió meghódításához, az űrkutatás kezdeti lépéseihez kapcsolódik. A Szovjetunióban 1957. okt. 4-én felbocsátották az első mesterséges holdat, a Szputnyik I-et. A program hivatalos záródátumával (1958. dec. 31.) szinte egybeesett az első mesterséges hold — Lunyik I — pályára állítása; 1959. január 2. Néhány évvel később pedig megvalósult az emberiség egyik álma. J. A. GAGARIN 1962. ápr. 12-én, a Vosztok-I fedélzetén, 89 perc alatt körülröpülte a Földet.

A Nemzetközi Geofizikai Évtől kezdve a Föld kutatása a Föld környezetének közvetlen megfigyelésével és mérésével egészült ki.