

ALEŠ GOTTWALD - FRANTIŠEK REIN

**VYUŽITÍ UMĚLÝCH SATELITŮ ZEMĚ V METEOROLOGII**

Abstract: THE USE OF MAN-MADE SATELLITES OF THE EARTH IN METEOROLOGY. — In the presented article, the authors set out a survey of the meteorological satellites which have been launched up to now according to different programmes. They come to the conclusion that the development and the trials of the first-stage variants has been almost finished, and that recently we are entering the stage of the primary use of satellites in synoptic and aerial and nautical meteorology. A development of new systems and putting them into practical use is to be expected but the old need of practical meteorology — for at least basic information about the weather situation over uninhabited regions and the oceans — is being secured nowadays, not only from time to time but mostly every day. This fact has a great importance for the current weather forecast.

Vypuštěním první umělé družice Země dne 4. října 1957 byla nejen zahájena praktická éra nauky a využití kosmického prostoru, ale dostalo se též nových možností pro vědní a provozní obory, které se dosud považovaly za typicky pozemské. Od zmíněného data bylo již vypuštěno několik set umělých družic Země, a to pro nejrůznější vědecké a praktické technické účely. Zpočátku se snad ani netušily všechny možnosti jejich využití. Dnes však je již leccos běžné. Připomeňme si jen družice Blesk, Ranní ptáče a podobné, které zprostředkují retranslaci krátkých a velmi krátkých elektromagnetických vln v interkontinentálním měřítku, připomeňme si např. využití znalosti drah prvních sovětských umělých družic našim prof. Bucharem k výpočtu zploštění Země a další aplikace těchto technických prostředků určených primárně pro proniknutí člověka do mimozemského prostoru.

Jedním a možno říci klasickým využitím umělých družic Země a jejich vlastností je možnost simultánních meteorologických pozorování a měření prakticky na celé zeměkouli. Abychom si to osvětlili, musíme se vrátit asi o sto let nazpět.

**Trochu historie úvodem**

Od vynálezu tlakoměru v 17. století a od doporučení první mezinárodní meteorologické společnosti v r. 1789 (Societas meteorologica Palatina v Mannheimu) uplynulo sice do poloviny 19. století už dosti času, ale využití rodící se moderní meteorologie bylo stále pranepatrné. Fitzroy a další se sice snažili počasí předpovídat a bylo jim už zřejmé, že k tomu potřebují znalost stavu počasí na ploše co největší, neměli však technické možnosti, kterými by své sny realizovali.

V šedesátých letech 19. století vstupuje pak na meteorologickou scénu telegraf. Docela obyčejný linkový telegraf se všemi nectnostmi, svou spolehlivou pomalostí (relativní vůči dnešku), avšak umožnil už to, že se denně mohly shromáždit zprávy o stavu počasí prakticky z většiny Evropy a mohly se tedy začít kreslit a analyzovat povětrnostní mapy. Na dnešní dobu obsahovaly sice

tak málo údajů, že by s nimi dnešní meteorolog nebyl spokojen, ale přesto šlo o nesporný a velký pokrok.

Po první světové válce se výměna meteorologických zpráv (teď už několikrát denně) mezinárodně zorganizovala (vznikla Mezinárodní meteorologická společnost — Organisation météorologique internationale se sídlem v Ženevě), škola profesora Bjerknese v Norsku publikovala své výsledky o teorii atmosférických front, prof. Chromov z SSSR za účinné pomoci profesora Končeka a Dr. Swobody z Československa rozšířil svou první učebnici moderní synoptické meteorologie jakožto praktické nauky o předpovídání počasí a Molčanov v SSSR prvně konstruoval ve třicátých letech radiosondy pro pohotová měření ve vyšších vrstvách atmosféry. Znamenalo to velký pokrok v předpovědní meteorologické službě i v možnostech výzkumné práce, ve většině případů se však mohl provozní meteorolog — synoptik opírat jen o přízemní povětrnostní mapu kontinentálních oblastí se sporadickými údaji obchodních lodí z oceánů a o měření nečetných radiosondážních stanic poskytujících údaje o teplotě a vlhkosti vzduchu ve výšce.

### Současnost

Od skončení druhé světové války až do začátku šedesátých let se podklady, které má synoptický meteorolog k dispozici pro předpověď na svém území, ustálily asi na této úrovni: přízemní synoptická mapa z větší oblasti, popřípadě z celé polokoule, a to až osmkrát denně. (U nás např. jednou až dvakrát za den čerstvá mapa z velkých oblastí, čtyřikrát např. z Evropy a severního Atlantiku, osmkrát ze střední Evropy.) K tomu jednou, později dvakrát denně výškové synoptické mapy rozložení tlakových útvarů, teploty, vlhkosti a po zavedení radaru do běžné služby i směru a rychlosti větru ve standardních tlakových hladinách 850, 700, 500, 300 a 200 mb (tj. ve výškách kolem 1,5 — 3 — 5,5 — 8 a 10 km nad zemí), s přibíráním dalších tlakových hladin (např. 600, 400, 150 a 100 mb) podle požadavků leteckého provozu na hustotu informací o proudění a teplotách ve výšce letové trati.

Hustota měření je přitom dostatečná např. v Evropě, v Severní Americe, poměrně malá je na Atlantiku (i když tam jsou k dispozici lodí konající pravidelnou meteorologickou, navigační a záchrannou službu) a prakticky nedostatečná je na ostatních částech zeměkoule.

Světová síť pozemních i aerologických (radiosondážních) meteorologických stanic je totiž velmi nerovnoměrná. Stanice jsou na letištích, na význačných horách a v jiných meteorologicky a geograficky důležitých místech, často podél letových cest civilní letecké dopravy. Neobydlená území a oceány mají meteorologická pozorování jen zřídka. Na Atlantiku pluje ve vymezených čtvercích přes 10 lodí. Pozorují počasí a slouží i pro navigační a jiné účely, ale vzhledem k rozloze Atlantiku je to málo. V ostatních světových oceánech tato služba chybí vůbec.

Je proto pro získání dostatečných materiálů pro denní analýzu a prognózu počasí velmi nutně zapotřebí získat z „bílých míst“ na mapě alespoň nějaké údaje. Existence meteorologických družic je pak právě jedním z účinných prostředků k tomuto cíli.

Meteorologické družice získávají a předávají pozemním stanicím snímky rozložení oblačnosti na velkých plochách Země, mohou dále měřit např. povrchovou teplotu Země, mohou měřit sluneční záření a jiné fyzikální veličiny důležité nejen pro denní praktický meteorologický provoz, ale i pro meteorologický výzkum.

## Popis meteorologických družic

Uvedeme nyní některé důležitější údaje o jednotlivých dosud vypuštěných meteorologických družicích.

Do konce r. 1966 bylo vypuštěno 17 meteorologických družic (viz tabulku) — 16 z toho vypustila americká Národní správa pro aeronautiku a vesmír (National Aeronautics and Space Administration — NASA) a jedna byla vypuštěna v SSSR. Vedle těchto čistě meteorologických družic obíhá kolem naší Země také ještě několik družic „polometeorologických“: americký Explorer 7, vypuštěný v září 1959, měl na palubě radiometry, jež byly později zabudovány také do družic typu Tiros; sovětská Molnija 1—3 pořídila fotografie Země z výše 30 000 až 40 000 km v květnu 1966; americká A. T. S. začala fotografovat Zemi ze své stacionární dráhy ve výši 37 000 km v prosinci 1966.

Americké meteorologické družice startovaly většinou z dnešního Cape Kennedy (dříve Cape Canaveral) na Floridě: Vanguard 2, Tiros 1 až 10, Essa 1 a 2, Nimbus 1 a 2 a Essa 3 startovaly ze základny Vandenberg v Kalifornii. Sovětský Kosmos 122 byl vypuštěn ve známém Bajkonuru.

K vynesení amerických družic bylo používáno několika typů vícestupňových raket: Vanguard, Thor Able, Thor Delta a Thor Agena B. Byly při startu 20 až 30 m vysoké, s průměrem základny okolo 3 m a startovní hmotou kolem 50 000 kilogramů. Družice Vanguard 2 má tvar koule o průměru 51 cm se čtyřmi tyčovými anténami. Tiros a Essa jsou osmnáctiboké hranoly, vysoké přibližně  $\frac{1}{2}$  m, s průměrem 107 cm; z těla družice vyčnívají opět tyčové antény a objektivy TV-kamer. Nimbus je v podstatě kuželovitá konstrukce s dvěma panely, které nesou sluneční články: výška asi 3 m a rozpětí přibližně 3,5 m. Sovětský Kosmos 122 má tvar válce se dvěma pravoúhlými panely, na nichž jsou umístěny sluneční baterie.

Pro předávání údajů z družic amerických bylo použito radiovysílačů pracujících na frekvencích v pásmech 108, 136, 235 a 1707 Mc/s. Doba, po kterou byly přístroje na jednotlivých meteorologických družicích v provozu, vzrůstala od několika měsíců u prvních až po roky u posledních. Podle toho, na jakou oběžnou dráhu byly družice umístěny, budou obíhat kolem Země většinou po dobu 50—100 let, některé však mnohem déle: Tiros 9 asi 1000 let, Nimbus 2 okolo 5000 roků a Essa 2 i 3 nějakých 10 000 let.

První meteorologická družice VANGUARD 2 („předvoj“) měla na palubě dva fotoelektrické přístroje pro měření záření oblačnosti nebo povrchu Země, magnetofon pro zaznamenávání naměřených dat (údaje byly nahrávány a teprve při přeletu družice nad pozemní stanicí přehrány na Zemi), přijímač a vysílače. Všechny přístroje sice pracovaly spolehlivě, ale Vanguard se dostal neočekávaně do kývavého pohybu a z toho důvodu nebylo možno radiační data dobře zpracovat.

Mnohem lépe vybavený a také úspěšnější byl další nový typ meteorologické družice TIROS 1 (podle úplného názvu „Television and Infrared Observation Satellite“ — družice pro televizní a infračervené pozorování). Byl vybaven dvěma TV-kamerami pro snímkování oblačnosti a několika radiometry pro měření záření. Vedle toho byly na palubě opět magnetofony a radiopřístroje pro spojení s pozemními stanicemi. Jedna z obou TV-kamer pracovala se širokoúhlým objektivem o zorném úhlu  $104^{\circ}$ , světelnosti 1,5 a s rozlišovací schopností 2,4 až 3,2 km. V poloze kolmé k povrchu Země pořizovala snímky území o straně asi 1500 km. Druhá kamera měla teleobjektiv se zorným úhlem  $12,7^{\circ}$ , světelností 1,8 a s rozlišovací schopností 320 až 800 m. Expozice každého snímku

trvala 1,5 ms a snímkování bylo prováděno rychlostí 0,5 obr./s. Snímky se rozkládaly na body v 500 řádcích, zaznamenávaly se na magnetofonovou pásku dlouhou 120 m a pak během 3,5 minut byly přehrány na pozemní stanici, kde byly registrovány opět jednak magnetofonem a vedle toho také kamerou na 35 mm film. Pokud jde o přístroje provádějící měření radiační, byl Tiros 1 vybaven pětikanálovým radiometrem, pracujícím v pásmech spektra 6,3 8—12, 7—30, 0,2—6,0 a 0,55—0,75 mikrónů, dále radiometrem s nižší rozlišovací schopností a radiometry polokulovými. Radiační data byla zaznamenávána podobně jako snímky. Tiros 1 byl stabilizován rotací 12 ot./s., takže obě televizní kamery umístěné v základně těla družice byly vždy po dobu asi jedné poloviny každého oběhu kolem Země orientovány k povrchu Země. Zdroje elektrické energie sestávají ze základních niklo-kadmiových baterií, dobíjených slunečními články, kterých je na povrchu družice umístěno asi 9000.

Při vyhodnocování snímků pořízených touto družicí vyšlo najevo, že je možno rozpoznat téměř všechny druhy oblaků, že je možno zjistit tlakové níže, hurikány a v některých případech dokonce jednotlivé bouřkové mraky a tornáda. Mimoto je možno sledovat i sněhovou pokrývku na pevninách a ledový příkrov oceánů nebo moří a jezer. Z celkového počtu 22 952 snímků, pořízených oběma kamerami během 2½ měsíce činnosti družice, bylo asi 60 % meteorologicky cenných; byly zahrnuty do 333 nefanalýz — map rozložení oblačnosti.

TIROS 2 byl podobný jako předchozí. I když došlo k rozostření objektivu jeho širokoúhlé kamery, přesto z celkového počtu 36 156 snímků pořízených za 10 měsíců činnosti bylo 25 574 meteorologicky použitelných. Bylo podle nich nakresleno 455 nefanalýz.

TIROS 3 byl také podobný — tentokrát však byly obě kamery vybaveny širokoúhlými objektivy. Za 108 dnů činnosti vyslal k Zemi 35 033 obrázků, z nichž asi 24 000 bylo meteorologicky použito. Bylo podle nich nakresleno 755 nefanalýz a vydáno 70 varování před ničivými bouřemi (hurikány, tajfúny apod.).

TIROS 4 byl v provozu 125 dnů a dodal dohromady 32 593 záběrů, z nichž 23 370 se meteorologicky použilo. Bylo podle nich zpracováno 836 nefanalýz a vydáno 102 varování před bouřemi. Jedna z jeho kamer byla vybavena širokoúhlým objektivem, zatímco druhá měla tentokrát objektiv se zorným úhlem 80°, světelností 1,8 a s rozlišovací schopností asi 2 km.

Dalším krokem vpřed byl TIROS 5. Byl vypuštěn na dráhu s větším sklonem k rovníku, takže jeho kamery obsáhly již oblast zhruba v pásmu mezi 60° severní a jižní zeměpisné šířky, na rozdíl od předchozích družic typu Tiros, které obíhaly Zemi po drahách se sklonem k rovníku jen asi 48—49°. Jeho kamery byly vybaveny podobně jako u družice Tiros 4. Za 330 dní činnosti vyslal 58 226 fotografií oblačnosti a povrchu Země, z toho 49 212 mělo meteorologickou cenu. Podle snímků bylo vypracováno 1581 nefanalýz a vydáno 396 varování před bouřemi. Ještě na vypouštěcí rampě — těsně před startem — došlo k závadě a úplnému vypnutí infrasenzorů, takže Tiros 5 nedodával radiační data.

TIROS 6 znovu překonal rekord v počtu vyslaných snímků. Bylo jich 66 673 a z toho celých 90 % použitelných. Kamery byly stejné jako u družice Tiros 5, kdežto přístroje pro infračervené pozorování nebyly tentokrát vůbec instalovány.

Již přes 100 000 snímků dodal TIROS 7 a 90 % jich opět bylo meteorologicky použitelných. Obě kamery byly vybaveny širokoúhlými objektivy — stejnými jako měl Tiros 3. Kromě infrasenzorů byly na palubě poprvé také přístroje pro měření některých charakteristik proudů elektronů ve vysoké atmosféře.

Další desetitisíce záběrů předal na Zemi TIROS 8. Hlavní novinkou tu však

bylo prvé užití aparatury APT (Automatic Picture Transmission — automatický přenos snímků). Tato aparatura umožnila vysílat snímky z družice přímo na 42 stanic po celé Zemi. Takové poměrně nepřilíš složité přijímací stanice pro přímý příjem snímků oblačnosti z meteorologické družice byly tehdy mimo Spojené státy v provozu také v Anglii, Kanadě, Austrálii a Indii. Kamera, pracující s APT-systémem, prováděla snímkování rychlostí 1 obrázek za 208 vteřin s expoziční dobou 3 ms. Při přenosu na Zemi byl každý snímek rozložen na body v 800 řádcích a vyslán rychlostí 4 řádky za vteřinu. Dosah vysílače APT byl asi 2400 km, takže každá pozemní stanice mohla přijmout záběry z oblasti o průměru asi 6000 km.

Docela novým typem meteorologické družice byl NIMBUS 1, který následoval. Latinský název znamená „dešťový oblak“. Má 3 hlavní části, spojené navzájem kuželovitou kosterou: a) spodní válcovitá část s hlavními měřicími přístroji; b) horní část se zařízením pro kontrolu a udržování polohy; c) dva postranní panely se slunečními bateriemi. Na rozdíl od družic typu Tiros je Nimbus vybaven čtyřmi televizními kamerami a radiometry jiného typu. Jedna z kamer byla opět určena pro spojení se systémem APT, podobně jako u družice Tiros 8. Pro Nimbus 1 byla také poprvé vybrána výhodnější, přibližně polární dráha — Nimbus 1 přelétával i polární oblasti, které zatím nebyly pod kontrolou meteorologických družic. Přitom byl Nimbus orientován tak, že jeho kamery a radiometry směřovaly nepřetržitě k povrchu Země. Snímky, které začaly brzy po vypuštění docházet na pozemní stanice, byly tak kvalitní, že bylo dokonce možno opravit podle nich mapu světa hlavně v oblasti Antarktidy: byly odhaleny chyby v určení polohy některých geografických bodů až o 50 km. Po 27 dnech činnosti došlo však k závadě na poloze panelů nesoucích sluneční články a zásobování sluneční a tím i elektrickou energií bylo přerušeno. Tím také předčasně skončila činnost družice Nimbus 1. Ze necelý měsíc své práce však vysílala na Zemi na 27 000 záběrů mimořádné kvality.

Následoval další osvědčený Tiros — TIROS 9. Byl však proti předchozím dále zlepšen: byl první meteorologickou družicí typu „carwheel“ (kolo od vozu). Při svých obězích kolem Země se totiž „valil“ podobně jako kolo od vozu — osa jeho rotace byla vodorovná a obě jeho širokoúhlé kamery byly tentokrát zabudovány ne v základně, nýbrž v plášti válcovitého těla družice. Při rotaci 10 otáček za minutu byla každá z obou kamer jednou za 6 vteřin na okamžik orientována k Zemi kolmo a v tom okamžiku byla také automaticky spuštěna uzávěrka. Na magnetofonový záznam na palubě družice bylo možno dostat až 96 snímků z jednoho oběhu kolem Země. Přehrání tohoto záznamu při přeletu nad hlavní pozemní stanicí trvalo pouhé 3 minuty. Tiros 9 dodal opět tisíce kvalitních snímků, i když se jej nepodařilo umístit na plánovanou přibližně kruhovou dráhu.

Poslední experimentální meteorologickou družicí typu Tiros byl TIROS 10. Byl vybaven téměř stejně jako TIROS 9: obě jeho širokoúhlé kamery byly zase v základně a byl opět orientován tak, že kamery mířily vždy po dobu poloviny každého oběhu k Zemi. Tentokrát také nebylo použito aparatury APT, takže snímky zaznamenané na magnetofonový pásek byly přehrávány dolů vždy jen při přeletu nad hlavní pozemní stanicí.

Po zkušebním provozu deseti družic typu Tiros bylo konečně možno začít uskutečňovat plánovaný projekt TOS (Tiros Operational Satellite — operační družice typu Tiros). Podle tohoto projektu mají být v provozu neustále alespoň 2 meteorologické družice; jedna z nich má být vybavena aparaturou APT, zatímco druhá má používat obvyklého magnetofonového záznamu a přehrávání.

První družice projektu TOS dostala označení ESSA 1 (Environmental Survey Satellite — družice pro sledování prostředí). Essa 1 je v podstatě stejná jako Tiros 9 — má 2 širokoúhlé kamery, jež na každém snímku zachytí oblast o rozměrech asi 1300 X 3200 km. Rozlišovací schopnost kamer je přibližně 3 km. Kamery jsou opět umístěny na plášti družice 180° od sebe a pořizují snímky vždy tehdy, když míří k Zemi. Jsou odkloněny o 26,5° na obě strany od roviny kolmé na osu rotace, a to z toho důvodu, aby se snímky příliš nepřekrývaly a obsáhly větší oblast. Snímky jsou zaznamenávány a poté se přehrávají na Zemi.

Druhá družice projektu TOS — ESSA 2 — následovala brzy po své předchůdkyni. Je podobného tvaru jako Essa 1, ale byla vypuštěna na mnohem vyšší oběžnou dráhu, pro meteorologické družice zatím neužitou. Obě její kamery pracují s aparaturou APT a snímky se tedy neskládají na palubě družice, nýbrž se vysílají přímo na poměrně jednoduché pozemní přijímací stanice rozmístěné po celém světě. Takových stanic je v činnosti již téměř 200 a z toho 50 jich pracuje ve 30 různých zemích mimo území Spojených států. Essa 2 provádí asi 140 záběrů za den, přičemž pokaždé je zachycena oblast o ploše asi 10 miliónů čtverečních kilometrů.

Po dvou operačních družicích typu Essa následoval druhý NIMBUS. Je téměř stejný jako jeho předchůdce Nimbus 1: vybaven čtyřmi TV-kamerami, z nichž jedna pracuje s APT-aparaturou. Mimo kamer má na palubě také infračervený radiometr s vysokou rozlišovací schopností pro pořizování nočních snímků oblačnosti a infračervený radiometr se střední rozlišovací schopností pro měření složek tepelné bilance Země.

#### T a b u l k a

#### Přehled údajů o vypuštěných meteorologických družicích

(Hodnoty jsou zaokrouhleny a parametry dráhy jsou počáteční)

Datum vypuštění	Název	Mezinárodní označení	Perigeum a apogeum (km)	Sklon dráhy k rovníku (°)
17. 2. 1959	Vanguard 2	1959 $\alpha$	560—3360	33
1. 4. 1960	Tiros 1	1960 $\beta$	700— 760	48
23. 11. 1960	Tiros 2	1960 $\pi$	650— 750	49
12. 7. 1961	Tiros 3	1961 $\rho$	740— 820	48
8. 2. 1962	Tiros 4	1962 $\beta$	820— 850	48
19. 6. 1962	Tiros 5	1962 $\alpha\alpha$	650— 970	58
18. 9. 1962	Tiros 6	1962 $\alpha\psi$	680— 720	58
19. 6. 1963	Tiros 7	1963—24	640— 650	58
21. 12. 1963	Tiros 8	1963—54	700— 760	58
28. 8. 1964	Nimbus 1	1964—52	420— 930	99
22. 1. 1965	Tiros 9	1965—04	740—2580	96
2. 7. 1965	Tiros 10	1965—51	750 - 840	99
3. 2. 1966	Essa 1	1966—08	700 - 840	98
28. 2. 1966	Essa 2	1966—16	1360—1420	101
15. 5. 1966	Nimbus 2	1966 40	1100—1180	100
25. 6. 1966	Kosmos 122	1966—57	600—640	65
2. 10. 1966	Essa 3	1966—87	1380—1490	101

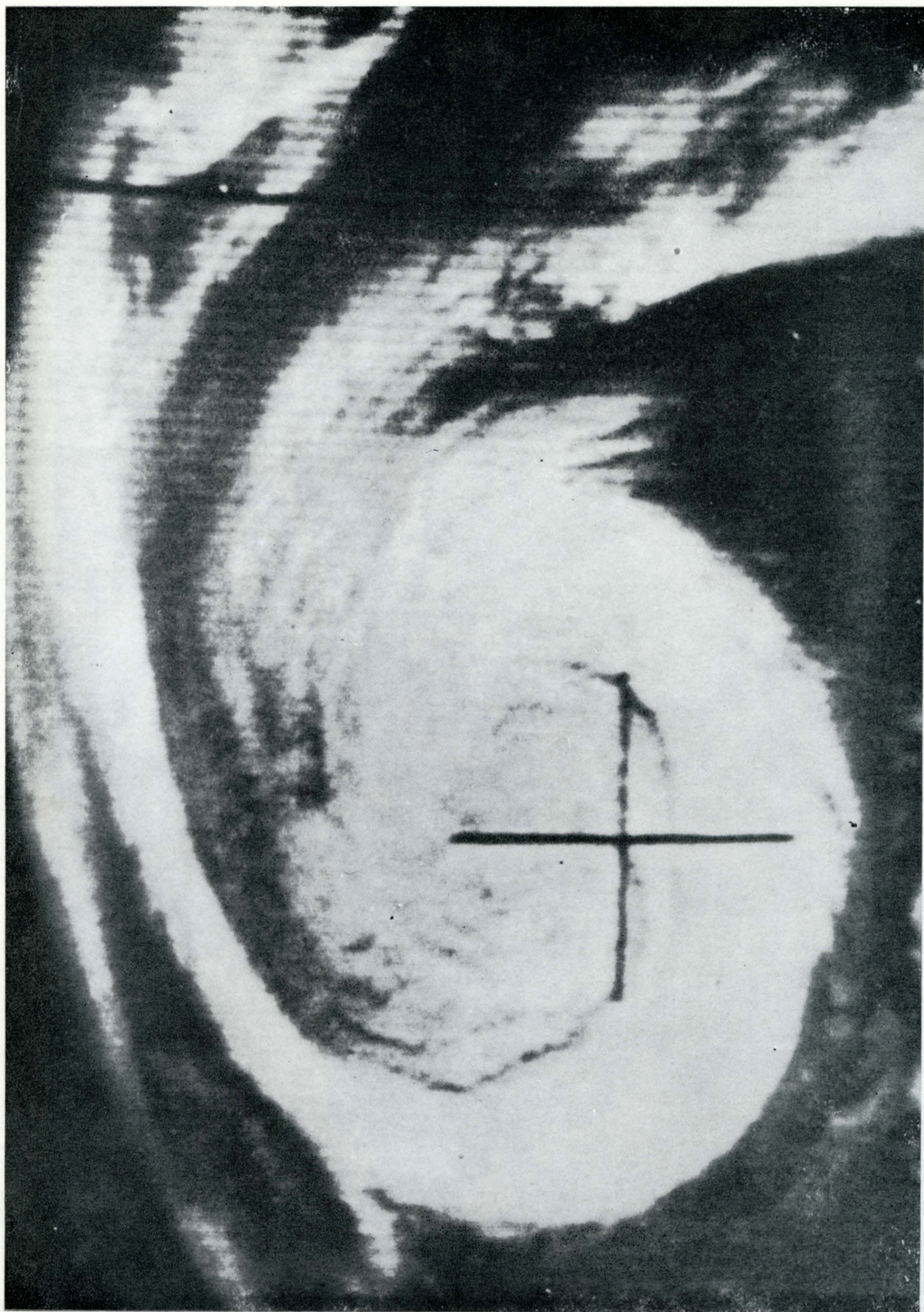
Po patnácti amerických meteorologických družicích přišla na řadu první sovětská — KOSMOS 122. Byl vypuštěn u příležitosti návštěvy, kterou vykonal v SSSR francouzský prezident de Gaulle. Navštívil jako první západní státník známý sovětský kosmodrom Bajkonur a byl přítomen vypuštění družice Kosmos 122. Kosmos má celkem podobné vybavení jako družice americké: sleduje radiaci a pořizuje TV-záběry oblačnosti. Poslední meteorologickou družicí vypuštěnou v r. 1966 je americká ESSA 3 — svými parametry podobná své předchůdkyni ESSA 2.

Do uzávěrky byly vypuštěny ještě tyto družice s meteorologickými úkoly:

Essa 4 — 26. 1. 1967,  
Kosmos 144 — 28. 2. 1967,  
Kosmos 149 — 21. 3. 1967,  
A. T. S. 2 — 6. 4. 1967,  
Essa 5 — 20. 4. 1967,  
Kosmos 156 — 27. 4. 1967.

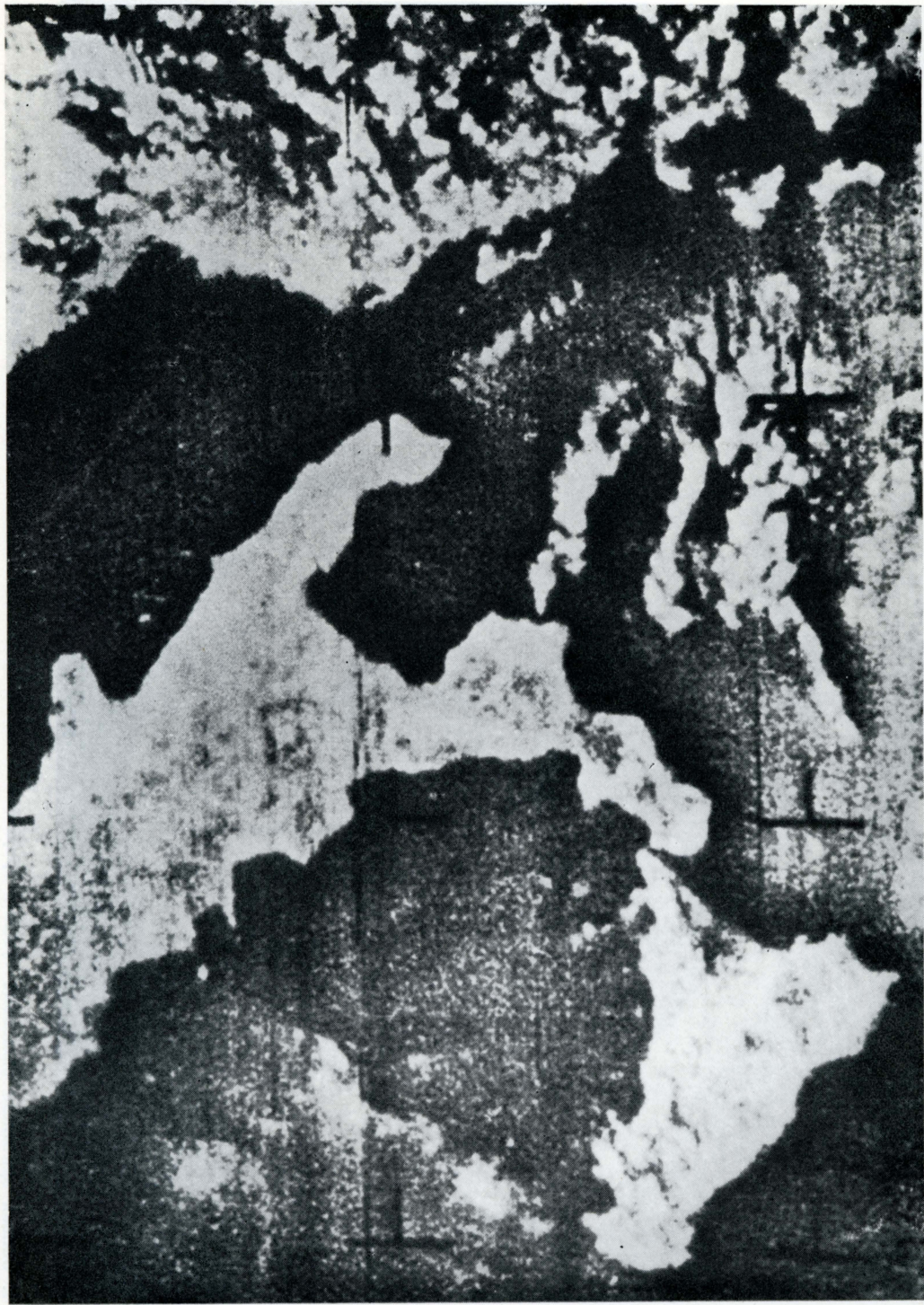
### **Závěr**

Z uvedeného přehledu meteorologických družic, které byly podle jednotlivých programů dosud vypuštěny, plyne, že se v současné době dostáváme poprvé do stadia provozního využití družic v synoptické a letecké či námořní meteorologii. Etapa vývoje a pokusů s prvními variantami družic v podstatě skončila. Jistě se budou vyvíjet nové systémy a zařazovat do provozu, to však nemění nic na skutečnosti, že dávná potřeba meteorologické praxe — aspoň základní informace o počasí z neobydlených oblastí a oceánů — je z větší části kryta, a to nejen občas, ale každodenně. A to má právě pro běžnou předpověď počasí velký význam.



1. Snímek spirálního oblačného systému spojeného s tlakovou níží, pořízený meteorologickou družicí typu Tiros.





2. Oblačnost nad jižní částí Itálie, Sicílie a přilehlými oblastmi, zachycená meteorologickou družicí Nimbus 1.  
(Snímky z archivu autorů.)