

RICHARD ČAPEK

DÁLKOVÝ PRŮZKUM ZEMĚ Z DRUŽIC

R. Čapek: *Remote sensing of the Earth from satellites*. — Sborník ČSGS 89: 4:298—309 (1983). — The author gives an outline of the most important satellites providing photographs and other imageries of the Earth for scientific purposes. He deals with spacecrafts, orbital laboratories, meteorological satellites and unmanned satellites destined for remote sensing of the Earth resources. Launch year, orbital altitude, orbit inclination and period are given in tables. Informations about cameras, scanning devices and different types of imageries resp. order possibilities are mentioned, too.

V současné době je na oběžné dráze okolo Země asi tisíc umělých družic Země a více než trojnásobné množství dalších umělých těles, většinou úlomků raket. Celkem bylo od roku 1957 do konce roku 1983 vysláno 2 500 družic, sond a kosmických lodí s lidskou posádkou. Primát v počtu vypuštěných družic drží SSSR (60 %) a USA (33 %). Teprve daleko za nimi jsou Francie, Japonsko a další státy, které však vysílají družice převážně ve spolupráci s jednou z obou kosmických velmocí.

Pro dálkový průzkum Země mají z vyslaných družic význam jenom ty, které měly jako hlavní úkol snímkování zemského povrchu a atmosféry. Podíl takových družic na celkovém počtu je kolem 5 %. Dobré snímky, ale bez systematického a opakovaného pokrytí, poskytují kosmické lodě a kosmické laboratoře. Největší část představují meteorologické družice, nejužitečnější jsou družice pro výzkum přírodních zdrojů. Celkem malý význam mají snímky z kosmických sond a ostatních družic, snímkových jen příležitostně.

Družicové (kosmické) snímky se dnes již používají v nejrůznějších oborech. Probíhají rozsáhlé výzkumné programy mapování přírodních zdrojů, sledování povrchu oceánů, průzkum oblačných systémů a dalších proměnlivých jevů. Řeší se rozličné praktické úkoly, prognózami počasí a odhady úrody obilí počínaje a topografickým mapováním konče.

V dalším výkladu přineseme přehled údajů o drahách snímkových družic, o snímcích, jejich výběru a způsobech, jak je získat.

1. Oběžné dráhy družic a rozsah snímkování

Většina umělých družic Země obíhá po eliptických drahách, blízkých kruhovým. Podle polohy vzhledem k rovině rovníku se rozlišují tři druhy *oběžných drah* — *orbit*: rovníková, subpolární a šikmá.

Družice, obíhající po rovníkové dráze, krouží v rovině rovníku. Ve vzdálenosti 36 000 km od povrchu Země odpovídá rychlost dru-

žice rychlosti otáčení Země. Obíhá-li družice od západu k východu, nachází se stále nad týmž bodem. Taková družice se nazývá stacionární nebo geosynchronní.

Družice, které obíhají po subpolární (kvazipolární) dráze, se pohybují přibližně ve směru poledníků: rovina dráhy svírá s rovinou rovníku úhel od 80° do 100°; dráha se sklonem větším než 90° se označuje jako retrogradní. Po oběžné dráze blízké pólu se pohybuje většina meteorologických družic a družic pro výzkum přírodních zdrojů. Protože létají v menších výškách, nepřekračuje délka obletu dvě hodiny a denně tak vykonají 12—15 oběhů. Obvykle je jejich dráha volena tak, aby zaujímal stále stejnou polohu vzhledem ke Slunci, tj. aby družice byly synchronní se Sluncem. Jelikož se dráha následkem otáčení Země vzhledem k zemskému povrchu posunuje, prochází pak družice nad rovníkem vždy v tuž též hodinu místního času.

Šikmá oběžná dráha se od roviny rovníku odchyluje o 30° až 65°. Je ze všech nejméně výhodná, neboť družice dosahují při obletu maximálně zeměpisné šířky, odpovídající úhlu sklonu dráhy. Proto může družice se sklonem oběžné dráhy 30° snímkovat pouze území mezi 30° s. š. a 30° j. š. Většina kosmických lodí s lidskou posádkou obíhala právě po takových šikmých drahách, a proto snímky z nich pořízené nezachycují oblasti vyšších zeměpisných šířek.

Oběžná doba družic závisí na vzdálenosti od Země, jak ukazuje následující tab. 1.

Tab. 1.

Výška letu (km)		200	400	600	800	1 000	1 500	2 000	5 000	10 000	35 865
Oběžná doba	hod.	1	1	1	1	1	1	2	3	5	24
	min.	28	32	36	40	45	56	7	21	47	

K tomu, aby se družice udržely na oběžné dráze, musí dosáhnout I. kosmické rychlosti (7,9 km/sec.). Při této rychlosti je i v řídké atmosféře značné tření. Ve výšce 100 km se družice už při prvním oběhu úplně zničí, v 500 km vydrží asi pět let a ve vzdálenosti 1 000 km od povrchu Země mohou obíhat již libovolně dlouho. Nejmenších výšek mezi 130—200 km dosahují špionážní vojenské družice. Pracují ovšem jen několik dní a potom následkem tření v atmosféře zanikají.

Je zřejmé, že volba oběžných drah závisí na tom, k jakému účelu mají družice a snímky z nich pořízené sloužit. Snímky z malých výšek zobrazují malá území, ale s velkými detaily. Snímky z velkých výšek zachytí sice rozsáhlou oblast, ale bez možnosti rozlišit jednotlivé podrobnosti. Rozsah snímkování lze klasifikovat podle velikosti snímkaného území jako globální, oblastní, lokální a detailní.

Globální snímky poskytují současné informace o stavu na celé polokouli. Mívají proto velmi malé měřítko — 1 : 10 000 000 a menší (rozumí se maximální užitečné měřítko, nad které už nemá význam snímky zvětšovat). Pořizují je buď stacionární družice z rovníkové dráhy nebo

— ovšem jen příležitostně — kosmické lodi a sondy při cestě k Měsíci a dalším kosmickým tělesům.

Oblastní snímky zobrazují části kontinentů v měřítkách 1 : 1 000 000 a menších. Družice pro oblastní snímkování se pohybují nejčastěji po subpolárních drahách ve výškách 500—1 500 km. Většinou jde o systematicky snímkující meteorologické družice, zachycující na jednom snímku území o velikosti několika miliónů km².

Lokální snímky postihují menší části zemského povrchu až 1 : 100 000. Zhotovují se jednak z družic pro výzkum přírodních zdrojů, jednak z kosmických lodí a laboratoří. První se pohybují ve výškách do 1 000 km po subpolárních drahách; snímkují systematicky. Druhé obíhají po šikmých drahách a snímkování probíhá nepravidelně.

Detailní snímky mají měřítko větší než 1 : 100 000. Pořizují se pomocí fotografických kamer s dlouhými ohniskovými vzdálenostmi z kosmických laboratoří, popř. špionážních družic. Snímky jsou vysoké kvality a lze na nich rozlišovat detaily o velikosti 3—30 m, nepokrývají ovšem systematicky větší území.

2. Kosmické lodi a laboratoře

Vysílání kosmických lodí s lidskou posádkou si vyžaduje nesrovnatelně vyšších nákladů než vypouštění nepilotovaných družic. Snímky jsou na Zemi dopravovány přímo, takže odpadají ztráty informační schopnosti, působené řádkováním a dálkovým přenosem. Obvykle se snímkuje jen po část doby letu a zřídka systematicky. Z tohoto důvodu — a také proto, že se lodi pohybují po šikmých oběžných drahách — je celková plocha nasnímkovaného území oproti ploše, snímkané meteorologickými družicemi a družicemi pro výzkum přírodních zdrojů, relativně malá. Parametry drah kosmických lodí a laboratoří, využívaných pro snímkování zemského povrchu, uvedeme tabelárně (tab. 2).

Tab. 2

Kosmická loď či laboratoř	Rok vyslání	Výška letu (km)	Sklon dráhy	Oběžná doba (min.)
Mercury 1—9	1960—1963	220 ± 60	33°	90±2
Vostok 1—6	1961—1963	250 ± 70	65°	
Voschod 1—2	1964—1965	340 ± 160	65°	
Gemini 3—12	1965—1966	240 ± 80	31±2°	
Apollo 6, 7, 9	1968—1969	250 ± 50	33°	
Apollo 18	1975	220 ± 10	52°	
Sojuz 1—21, 23—40	1967—1982	280 ± 110	52°	
Sojuz 22	1976	265 ± 15	65°	
Saljut 1—7	1971—1982	300 ± 80	52°	
Skylab	1973	430 ± 10	50°	
Columbia	1981—1983	275 ± 3	29°	

Z kosmických lodí *Mercury*, *Vostok* a *Voschod* bylo získáno celkem malé množství snímků. Teprve kosmické lodi řady *Gemini* přinesly

více než tisíc upotřebitelných barevných a spektrozónálních snímků, obvykle se šikmou osou záběru. Série *Apollo*, určená především pro dopravu člověka na Měsíc, poskytla kromě šikmých i svislé snímky, které byly využity ke tvorbě fotomap. Pro snímkování území ČSSR mají největší význam kosmické lodi typu Sojuz a kosmické laboratoře Saljut: v rámci programu Interkosmos se při letech se smíšenou posádkou snímkuje přednostně území státu, z něhož pochází jiný než sovětský kosmonaut.

Lodi série *Sojuz* a vylepšený typ *Sojuz T* dosahují maximálně 52° zeměpisné šířky. Proto z nich lze snímkovat — s výjimkou severních oblastí SSSR — území všech socialistických zemí. Zpočátku nebylo snímkování zařazováno do programu činnosti kosmonautů v takové míře jako dnes, vždy mu však byla určitá kapacita vyhrazena. Hlavním snímacím zařízením je od r. 1976 multispektrální kamera MKF-6, výrobek NDR. Má šest objektivů (ohnisková vzdálenost $f = 125$ mm), které pomocí filtrů pořizují snímky téhož terénu v šesti navzájem oddělených spektrálních pásmech — kanálech ($0.46\text{--}0.50\ \mu\text{m}$, $0.52\text{--}0.56\ \mu\text{m}$, $0.58\text{--}0.62\ \mu\text{m}$, $0.64\text{--}0.68\ \mu\text{m}$, $0.70\text{--}0.74\ \mu\text{m}$, $0.79\text{--}0.89\ \mu\text{m}$). Formát snímků je 81×56 mm, měřítko snímků lze zvětšit až na $1 : 80\ 000$ při rozlišovací schopnosti 16 m (v infračerveném kanálu $1 : 200\ 000$ s rozlišením 40 m). Velikost zobrazeného území závisí na výšce letu: v průměru se pohybuje kolem 115×170 km. Z paluby Sojuzu 22, určeného mj. ke skupinovému letu sovětsko-amerického programu Sojuz—Apollo, bylo v roce 1976 nasnímkováno kamerou MKF-6 území o rozloze 50 milionů km^2 . Ze snímků z kosmických lodí Sojuz byla mimo jiné sestavena fotomapa Československa $1 : 500\ 000$. Díky spolupráci se Sovětským svazem můžeme tedy využívat snímky našeho území pro vědecké a národohospodářské účely i my, kteří nejsme kosmickou velmocí. Jednotlivé snímky v měřítku až $1 : 200\ 000$ si mohou socialistické organizace objednat u československého distributora, jímž je Geodetický a kartografický podnik, Středisko dálkového průzkumu Země (Praha 7, Kostelní 42). Vzhledem k tomu, že je se snímky nutno pracovat jako s tajným materiálem, zprostředkovává objednávku vždy útvar obrany příslušného pracoviště. Cena černobílého snímku z jednoho kanálu v měřítku $1 : 1\ 000\ 000$ činí kolem 100 Kčs, cena barevné syntézy $1 : 200\ 000$ s libovolnou kombinací barev ze tří kanálů asi 1 100 Kčs.

S kosmickými loděmi Sojuz má úzké sepětí řada kosmických laboratoří *Saljut*. Parametry jejich drah jsou téměř stejné, neboť loď Sojuz slouží mimo jiné také k dopravě kosmonautů ze Země na Saljut a zpět. Saljut je orbitální stanice, určená pro dlouhodobý pobyt kosmonautů na oběžné dráze kolem Země: posádka Saljutu 7 strávila na palubě více než půl roku (přesně 211 dní). Přístrojové vybavení je velmi bohaté: na Saljutu 4 se prováděly experimenty celkem se 24 snímkovacími zařízeními. Hlavní roli zde má stejně jako na Sojuzech kamera MKF-6, za pozornost však stojí i další přístroje: kamera AFA-BAZK s ohniskovou vzdáleností $f = 210$ mm dosahuje rozlišovací schopnosti až 10 m a při formátu snímků 130×180 mm umožňuje pořizovat zvětšeniny $1 : 50\ 000$.

Podobně jako sovětské kosmické laboratoře Saljut pracovala určitou dobu také americká laboratoř *Skylab*. Během necelého roku její existence se na ní vystřídaly tři posádky, přepravované kosmickými loděmi Apollo. Snímací zařízení pořídila celkem 35 000 snímků (tj. několikrát více, než všechny do té doby vypuštěné kosmické lodi dohromady)

a 72 000 m záznamů na magnetických páskách. Snímkovalo se území mezi 50° severní a jižní zeměpisné šířky. Použilo se jednak řádkujícího snímače (skaneru), jednak fotografických kamer.

Multispektrální skaner S-192 snímal 74 km široký pás podél čáry letu. Ze třinácti spektrálních pásem jich jedenáct — od 0.41 do 1.75 μm — na sebe navazovalo. Další dvě zachycovala tepelné záření v rozmezí 2.1—2.35 μm a 10.2—12 μm . Rozlišovací schopnost ve viditelné části spektra byla 80 m.

Fotografický systém S-190-A tvořila soustava šesti kamer: čtyři snímkovaly černobíle v různých spektrálních pásmech (0.5—0.6 μm , 0.6—0.7 μm , 0.7—0.8 μm , 0.8—0.9 μm), jedna v přirozených barvách (0.4—0.7 μm) a jedna v nepřirozených barvách (0.5—0.88 μm). Snímky formátu 60 × 60 mm zobrazily území 174 × 174 km s rozlišovací schopností 26 m ve viditelném a 74 m v infračerveném pásmu.

Pozoruhodná byla fotografická kamera S-190-B (Earth Terrain Camera) s mimořádně velkou ohniskovou vzdáleností $f = 460$ mm a možností použít libovolný druh filmu. Na snímcích formátu 120 × 120 mm zobrazila území 109 × 109 km s rozlišovací schopností 11 m. Při dostatečném zvětšení bylo pak možno rozeznat rozestavení jednotlivých letadel na letišti, vzdáleném 430 km. Zdá se, že v tomto případě byla rozlišovací schopnost ještě větší, neboť šířka křídel a trupu letadel nebývá často ani poloviční.

Kromě kosmických lodí a laboratoří můžeme od roku 1981 zařadit do kategorie pilotovaných družic také raketoplány. Americké raketoplány projektu STS mají v budoucnosti sloužit jako dopravní prostředek plánovaných kosmických laboratoří Spacelab. První dosud vyslaný raketoplán *Columbia* se pohyboval po proměnlivé oběžné dráze se sklonem 29° k rovině rovníku. Fotografická kamera LFC s ohniskovou vzdáleností $f = 305$ mm pořizovala snímky formátu 230 × 460 mm, na nichž bylo zobrazeno území 225 × 450 km s rozlišovací schopností 14 m ve viditelné a 25 m v blízké infračervené části spektra. Snímky se z 80 % podélně překrývají a je možno je stereoskopicky pozorovat, popř. z nich vyhodnocovat vrstevnice s intervalem 20—30 m.

3. Meteorologické družice

Z více než stovky meteorologických družic, vypuštěných od roku 1960, byla polovina vyslána SSSR (Kosmos a Meteor) a polovina USA. Do r. 1963 používaly tyto družice šikmé dráhy, od r. 1964 převážně dráhy subpolární. Přes různá jména, která zvláště u amerických družic jsou vlastně zkratkami velmi dlouhých názvů, nejsou mezi jednotlivými družicemi vždy velké rozdíly. Odlišnost spočívá hlavně v použití snímacích zařízení, která nemusí být stejná ani u družic téže série. Snímky z meteorologických družic mají malou rozlišovací schopnost (řádově 1—9 km), a proto se v geografii uplatňují méně.

V ČSSR je v rezortu Hydrometeorologického ústavu instalováno zařízení pro příjem snímků z družic Tiros N a Meteor. Snímky jsou pořizovány ve viditelném a vzdáleném infračerveném spektrálním pásmu z výšek 650—850 km v přibližně stominutových intervalech. Na Zemi se zaznamenávají na magnetickou pásku, ze které se řádkujícím zaříze-

ním vyhotoví fotografie na papíře. Snímek v běžně používaném měřítku 1 : 12 000 000 má formát 180 × 290 mm a zobrazuje téměř polovinu Evropy s rozlišovací schopností několika km. Po vkreslení geografické sítě se obraz dálkově předává uživatelům. Snímky se archivují na přijímacích stanicích HMÚ Libuš v Praze a Malý Javorník u Bratislavy.

Parametry šikmých a subpolárních drah meteorologických družic ukazuje následující tab. 3.

Tab. 3

Družice	Rok vyslání	Výška letu (km)	Sklon dráhy	Oběžná doba (min.)	Projekt
Tiros 1—8 Tiros 9 Tiros 10	1960—1963 1965 1965	700 ± 100 1 650 ± 950 800 ± 50	59° ± 5° 96° 100°	100 129 100	Tiros
Nimbus 1 Nimbus 2—7	1964 1966—1978	650 ± 250 1 100 ± 50	100° 100°	100 107	Nimbus
ESSA 1 ESSA 2—9	1966 1966—1969	800 ± 100 1 400 ± 100	98° 102°	100 115	ESSA
ITOS NOAA 1—5	1970 1970—1976	1 400 ± 100 1 400 ± 100	102° 102°	115 115	ITOS
Tiros 11 NOAA B NOAA 6—7	1978 1980 1979—1981	800 ± 50 850 ± 600 840 ± 30	100° 92° 102°	100 100 100	Tiros N
Kosmos 122 Kosmos 144, 156, 184, 206, 226	1966 1967—1968	625 625 ± 25	65° 81°	97 97	Kosmos
Meteor 1—9, 30, 32, 35 Meteor 10 a další	1969—1980 1971—1982	650 ± 100 900 ± 50	81° 81°	97 102	Meteor

Stacionární družice se vysílají od r. 1966. Vzhledem k tomu, že svou stálou polohou vytvářejí výhodné opěrné body, používají se především jako družice komunikační; menšinu tvoří meteorologické družice. Jejich oběžné dráhy jsou voleny tak, že se oběžná doba blíží 24 hodinám; z výšek kolem 36 000 km umožňují současné snímkování asi 43 % zemského povrchu najednou. Soustava tří družic, umístěných v rovině rovníku a vzájemně posunutých o 120°, dovoluje soustavně sledovat prakticky celou zeměkouli.

V následující tabulce jsou zaznamenány parametry drah meteorologických stacionárních družic a komunikačních družic ATS, které pořizují snímky. Některé družice byly postupně přesunovány, takže se jejich zeměpisná délka měnila. Projekty ATS a SMS/GOES jsou americké, GMS japonské a Meteosat západoevropské organizace ESA (tab. 4).

Tab. 4

Družice	Rok vyslání	Výška letu (km)	Sklon dráhy	Oběžná doba (min.)	Projekt
ATS 1, 3, 6	1966—1974	36 300 ± 600	0,8°	1 441 ± 5	ATS
SMS 1	1974	33 900 ± 1 550	1,9°	1 436	SMS/GOES
SMS 2	1975	33 800 ± 30	1,1°	1 456	
GOES 1—5	1975—1981	35 800 ± 500	1°	1 436	
Himawari 1—2	1977—1981	35 650 ± 100	1,2°	1 429	GMS
Meteosat 1—2	1977—1981	35 300 ± 400	0,7°	1 412	Meteosat

4. Landsat

Nejdůležitějšími zdroji snímků pro geografické účely jsou z celosvětového hlediska americké družice Landsat, vysílané v rámci dlouhodobého programu sledování zemského povrchu EROS. Patří k tzv. družicím pro výzkum přírodních zdrojů, označovaným také jako družice pro dálkový průzkum Země.

Vypouštění družic Landsat bylo zahájeno družicí ERTS 1 v r. 1972; později byla tato družice přejmenována na Landsat 1. Landsat 2 následoval v r. 1975, Landsat 3 v r. 1978 a Landsat 4 v r. 1982. Všechny byly vyslány na subpolární oběžnou dráhu blízkou kruhové. Parametry drah ukazuje tabulka 5.

Tab. 5

Družice	Rok vyslání	Výška letu (km)	Sklon dráhy	Oběžná doba (min.)	Projekt
Landsat 1—3	1972—1978	920 ± 20	99°	103	EROS
Landsat 4	1982	705	98°	99	

Družice Landsat 1—3 byly určeny ke kompletnímu nasnímkování zemského povrchu mezi 81° s. š. a 81° j. š., což bylo možno z jediné družice uskutečnit během 18 dní. Kolem Země obíhaly ve směru jjz. na osvětlené a ssv. na zastíněné polokouli. Denně vykonaly 14 oběhů, přičemž se vlivem otáčení Země průsečík dráhy s rovinou rovníku posunul po každém oběhu asi o 2 800 km k západu. Dráha byla volena tak, že se družice nacházely nad rovníkem vždy v tutéž dobu (kolem 9.30 a 21.30 místního času). Za necelých 18 dní se tedy při svém 252. oběhu ocitly tyto družice znovu na téže orbitě jako při prvním oběhu.

Družice Landsat 4 se pohybuje po nižší dráze než předchozí družice a na téže orbitě se ocitne již za 16 dní, během nichž uskuteční 233 oběhů (nad rovníkem v 9.45 a 21.45). Je určena především k tematickému mapování zájmových území.

Ke snímkování se na Landsatu 1—3 používalo televizního systému RBV a multispektrálního skaneru MSS, na Landsatu 4 multispektrálního skaneru MSS a snímače tématického mapování TM.

Televizní systém RBV snímkoval v pravidelných intervalech část území podél čáry letu najednou. U Landsatu 1—2 se snímalo třemi kamerami území tvaru čtverce 185×185 km ve třech spektrálních pásmech (1. kanál $0.475\text{--}0.575 \mu\text{m}$, 2. kanál $0.580\text{--}0.680 \mu\text{m}$, 3 kanál $0.690\text{--}0.830 \mu\text{m}$). Landsat 3 snímalo dvěma kamerami v tomtéž spektrálním pásmu ($0.505\text{--}0.750 \mu\text{m}$) dvě čtvercová území 99×99 km nalevo a napravo od letové čáry s příčným překryvem 13 km.

Multispektrální skaner MSS snímá kontinuálním řádkováním bod po bodu 185 km dlouhý pás území, kolmý ke směru letu. Šířka pásu závisí na počtu snímacích senzorů; používalo se šesti senzorů, z nichž každý zachycoval 80 m. MSS na Landsatech 1, 2 a 4 snímalo ve čtyřech spektrálních pásmech (4. kanál $0.5\text{--}0.6 \mu\text{m}$, 5. kanál $0.6\text{--}0.7 \mu\text{m}$, 6. kanál $0.7\text{--}0.8 \mu\text{m}$, 7. kanál $0.8\text{--}0.9 \mu\text{m}$ resp. $0.8\text{--}1.1 \mu\text{m}$; u Landsatu 4 se pásma číslovala od 1 do 4). Landsat 3 měl navíc ještě pásmo tepelného snímání (8. kanál $3\text{--}5 \mu\text{m}$).

Snímač tématického mapování TM má oproti RBV a MSS větší rozlišovací schopnost. Je umístěn pouze na Landsatu 4, kde již není RBV. TM pracuje v sedmi spektrálních pásmech, zvolených tak, aby každé z nich optimálně zachycovalo jiný jev (1. kanál $0.45\text{--}0.52 \mu\text{m}$, 2. kanál $0.52\text{--}0.60 \mu\text{m}$, 3. kanál $0.63\text{--}0.69 \mu\text{m}$, 4. kanál $0.76\text{--}0.90 \mu\text{m}$, 5. kanál $1.55\text{--}1.75 \mu\text{m}$, 6. kanál $10.4\text{--}12.5 \mu\text{m}$, 7. kanál $2.08\text{--}2.35 \mu\text{m}$).

Do vzdálenosti 2 800 km od pozemních přijímacích stanic se vysílá obraz na Zemi bezprostředně, na větší vzdálenost ze záznamu (u Landsatu 4, který palubní záznam nevede, prostřednictvím plánovaných družic pro přenos dat TDRSS). Pozemních stanic je celá řada jak v Americe (Goldstone v Kalifornii, Greenbelt v Marylandu, Fairbanks na Aljašce, NTTF ve Virginii, Cuiaba v Brazílii, Prince Albert v Saskatchewanu), tak i v ostatních světadílech (Fucino v Itálii, Kiruna ve Švédsku, Alice Springs v Austrálii, Tokio v Japonsku). Tam se obraz registruje na magnetické pásky po jednotlivých elementárních snímaných ploškách — pixelech. U MSS je rozměr pixelu asi 60×80 m, u TM asi 30×30 m. Pro každý pixel se zaznamenává intenzita přijatého záření, klasifikovaná podle stupnice o 128 úrovních. Vzhledem k tomu, že by nepřetržitě snímání přesahovalo možnosti zpracování snímků, nesnímkuje družice po celou dobu, nýbrž pouze na pokyn z řídicího střediska. I tak je procento využitelnosti snímků relativně malé, neboť většina snímků je znehodnocena oblačností, která zakrývá terén (pro území Československa je zcela bez oblačnosti jen necelých 10 % pořízených snímků).

Z archivovaných digitálních záznamů na magnetických páskách se vyhotovují tzv. kompatibilní (slučitelné) pásky. Během jejich vzniku se obsah snímků geometricky koriguje podle kartografické sítě UTM (Mercatorovo zobrazení v transverzální poloze). Důležité je rovněž zavádění tzv. radiometrických korekcí, jejichž důsledkem je zvýšení kontrastu a lepší využití tónové škály. Kompatibilních pásek se používá k vlastnímu vytváření obrazu systémem Linoscan, který převádí záznam na světelný signál. Exponuje se na film, připevněný na otáčející se buben; obraz vznikne z řádků kolmých ke směru otáčení.

Uživatelé obdrží s n í m k y buď černobílé pro každý kanál zvlášť ne-

bo ve formě barevných syntéz. Dříve se zhotovovaly v nepřirozených barvách (infračervené záření bylo zobrazováno červeně), nyní je snaha docílit barev blízkých přirozeným. Pro zpracování na počítači se dodávají přímo kompatibilní pásky. Snímky lze objednat ve formě negativů, dia-pozitivů nebo pozitivů na papíře. Snímky RBV jsou čtvercové, snímky MSS, složené z řádek posunujících se během letu družice k západu, mají tvar kosočtverce. Jeden snímek 185×185 km zachycuje přibližně stejnou plochu jako 1 700 leteckých snímků formátu 180×180 mm v měřítku 1 : 25 000.

Podélný překryt snímků MSS je 10 %, RBV 17 %. Příčný překryt, způsobený zobrazením téhož území na snímcích pořízených ze sousedních orbit, vzrůstá se zeměpisnou šířkou: zatímco na rovníku je asi 14 % (26 km), na 50° s. š. již 45 % a na 80° s. š. 85 %. Zakřivení zemského povrchu se na území jednoho snímku díky malému obrazovému úhlu (zhruba 12°) projevuje relativně málo (polohová chyba 300 m, výškový rozdíl 200 m).

Rozlišovací schopnost je dána velikostí pixelu; ta je ovšem závislá na citlivosti senzoru v příslušném spektrálním pásmu. V tepelném oboru je proto podstatně nižší než ve viditelném pásmu (lze však v něm snímkovat i na odvrácené straně zeměkoule). Ve viditelné oblasti spektra se pro MSS nejčastěji udává 80 m (v tepelné 240 m), pro RBV 80 m pro Landsat 1—2 a 40 m u Landsatu 3, pro TM 30 m (v tepelné 120 m). Přesto nemusí být velikost objektů, které lze na snímcích skutečně rozpoznat, totožná s uvedenými hodnotami: snímáním po pixelech a vlivem okolí objektu dochází totiž k tomu, že uvedená čísla mohou být dvojnásobně nebo i trojnásobně vyšší nebo naopak nižší. V měřítku 1 : 100 000 je řádka o šířce 40 m široká 0,4 mm; to je znatelné již pouhým okem. Proto se obvykle nepoužívají snímky s větším měřítkem než 1 : 250 000. Přesto mívají snímky i v tomto měřítku jemné řádkování. Snímky z Landsatu (stejně jako ze Skylabu, Seasatu, HCMM a jiných družic) je možno pro území Evropy obdržet buď v italském středisku Telespazio (Via Alberto Bergamini 50, 00159 Roma) nebo v rakouském Institut für Kartographie, Abteilung Satellitenkartographie (Bäckerstrasse 20, A—1010 Wien). Snímky z celého světa dodává americké středisko EROS Data Center (Sioux Falls, South Dakota 57198), po případě další regionální centra.

Před závaznou objednávkou je třeba si vyžádat počítačem sestavený seznam snímků zájmového území a podle něho vybrat snímky tak, aby pokryly celé území bezzbytku a v požadované kvalitě. Poloha snímků se určuje buď podle zeměpisných souřadnic středu snímku nebo podle čísla sloupce (orbity) a řádku (pořadí políčka snímku na orbitě); sloupce a řádky jsou vyznačeny na kladu snímků. Čísluje se vždy ve směru pohybu družice: sloupce 1—251 od východu k západu, řádky 1—119 od severu k jihu. ČSSR leží ve sloupcích 201—208 a řádcích 25—26. U Landsatu 4 se sloupce číslují od 1 do 233 a řádky od 1 do 248. V seznamu snímků se dále uvádí datum a přesný čas snímkování, výška a azimut Slunce, procentuální oblačnost v jednotlivých čtvrtinách snímku, kvalita záznamu, stupeň průzračnosti atmosféry při snímkování. To vše umožňuje najít mezi stovkami pořízených snímků téhož území ten nejvhodnější.

Volba spektrálního pásma závisí na účelu, pro jaký má

snímek sloužit. Tvary dna a sněh je dobře vidět na snímcích z kanálu 0.5—0.6 μm (zeleného), sídla na snímcích z kanálu 0.6—0.7 μm (červeného). Infračervený záznam dobře vystihuje hranice vody a souše, vegetaci a povrchové tvary: kanál 0.8—1.1 μm je oproti kanálu 0.7—0.8 μm méně ovlivněn znečištěním atmosféry. V kanálu 0.8—1.1 μm se vyhotovují také „rychlókopie“ (angl. quick look print); jsou to fotografie obrazu, vznikajícího na kontrolním monitoru během příjmu z družice. Vzhledem k neustále rostoucí ceně snímků se vyplatí vyžádat si pro zájmové území napřed tyto rychlokopie (v měřítku asi 1 : 2 000 000 za celé 3 dolary), na kterých si lze ověřit správnost výsledku. Normální cestou zhotovené snímky jsou mnohonásobně dražší: černobílý z jednoho kanálu v měřítku 1 : 1 000 000 stojí 37 dolarů a barevná syntéza ze tří kanálů v měřítku 1 : 250 000 dokonce 305 dolarů (ceny v r. 1983).

Snímky dodávané z USA mají bohaté rámové údaje včetně vlivovacích značek, podle nichž lze zakreslit zeměpisnou síť zobrazení UTM. Rámové údaje snímků italského střediska Telespazio jsou podstatně chudší: kromě data pořízení snímku, pořadového čísla družice, čísla kanálu a sloupce a řádku snímku obsahují pouze výrobní údaje příslušné zakázky.

Odborná geografická veřejnost se setkává se snímky z Landsatu nejčastěji ve fotoatlasech, obsahujících barevné syntézy v nepřírozených barvách. Nebude na škodu, ukážeme-li si význam jednotlivých barev v běžně používané kombinaci (tab. 6).

Tab. 6

Barva	Objekt
bílá	sněh či led (bez stínů), oblaka (se stíny)
černá	vodstvo
tmavočervená	les
světlečervená	živá vegetace (pole, louky)
šedá	zralá nebo odumřelá vegetace
světlemodrá	úhor
modrá	sídla
tmavomodrá	průzračné znečištění atmosféry

5. Ostatní družice pro výzkum přírodních zdrojů

Kromě družic Landsat se od r. 1974 vypouštějí ještě další družice, jejichž úkolem je výzkum přírodních zdrojů. Vysílají se vesměs na subpolární dráhy, vzdálené 200—900 km od zemského povrchu. I když je kvalita snímků často vyšší než snímků z Landsatu, protože se při snímkování používá i přímých fotografických metod, je význam těchto družic všeobecně menší, neboť neposkytují systematické a opakované pokrytí celého zemského povrchu. Parametry drah těchto družic podává tabulka 7.

Kosmos. Protože SSSR neodlišuje družice jmény podle účelu, ke kterému mají sloužit, nesou téměř všechny nepilotované sovětské družice (s výjimkou meteorologických, a to ještě ne všech) název Kosmos. Od r.

Tab. 7

Družice	Rok vyslání	Výška letu (km)	Sklon dráhy	Oběžná doba (min.)	Projekt
Kosmos Kosmos 1076	1977—1982 1979	230 ± 40 650 ± 15	82° 82°	89 98	Kosmos
Meteor—Přiroda	1974—1981	650 ± 40	98°	98	Meteor
Seasat	1978	780 ± 70	108°	100	Seasat
HCMM	1978	600 ± 50	98°	97	AEM
Bhaskara 1—2	1979—1981	535 ± 20	51°	95	SEO

1962 bylo vysláno již více než 1 500 těchto družic. Jejich oběžné dráhy jsou velmi různorodé, od kruhové s výškou 1 000 km (Kosmos 1 241) po výstřednou s perigeem 636 km a apogeem 40 165 km (Kosmos 1317); minimální perigeum 156 km měl Kosmos 1306. Sklon oběžných drah vzhledem k rovině rovníku se pohybuje od 53° do 83°, oběžná doba od 105 do 730 minut. Ke snímkování Země byla určena jen necelá 3 % družic Kosmos. Na rozdíl od družic Landsat, pracujících několik let a vysílajících snímky na Zemi dálkovým přenosem, se družice Kosmos vracejí vždy po třinácti dnech na Zemi s exponovaným materiálem. Ke snímkování se používají jednak kamery MKF-6, jednak kamery KATE-140 ($f = 140$ mm, formát snímků 180×180 mm, spektrální pásma $0.51\text{--}0.60$ μm , $0.60\text{--}0.70$ μm a $0.70\text{--}0.84$ μm). S družicemi Kosmos mají shodné parametry letu (s výjimkou retrogradní dráhy) družice Meteor—Přiroda: konstrukčně jde o přizpůsobené družice Meteor se skanery MSV—E a MSV—SK, pracujícími v rozsahu $0.46\text{--}1.1$ μm s rozlišovací schopností 28 m resp. 200 m; zpracování snímků zajišťuje Státní vědeckovýzkumné a výrobní středisko Přiroda.

Seasat. Americké družice, určené především pro výzkum povrchu oceánů: 95 % povrchu oceánů nasnímkuje Seasat za 1,5 dne. Mapování se provádělo jednak radiometrem VISSR v rozmezí $0.52\text{--}12.5$ μm (rozlišení 2,5 km ve viditelné a 5 km v tepelné části spektra), jednak radarem SAR (rozlišení 25 m). Radarový výškoměr pracoval s přesností 0,1 m. Kromě oceánů se snímkovala hlavně západní Evropa a Severní Amerika. Nová družice této řady má mít název NOSS.

HCMM. Jedna z družic amerického projektu AEM (Družice SAGE slouží výzkumu atmosféry, družice Magsat měření geomagnetického pole). HCMM měla za úkol zjišťování tepelných změn zemského povrchu. Snímala dvakrát denně: po poledni, kdy je povrch souše nejteplejší, a ve 4 hodiny v noci, kdy je nejchladnější. Rozlišovací schopnost byla na tepelné snímání poměrně vysoká (kolem 600 m).

Bhaskara. Indické družice, vysílané z území SSSR. Kromě toho, že měly sloužit k dálkovému průzkumu Indie pro národohospodářské účely, nejsou o nich k dispozici podrobnější informace.

Očekává se, že v dalších letech bude vyslána řada dalších družic, zaměřených jednak na sledování celého zemského povrchu, jednak na monitorování západní Evropy. Zvláště významné může být vypuštění

družice *Stereosat*, která se má pohybovat po kruhové oběžné dráze 577 km nad Zemí a snímkovat pomocí dvou stereoskopických kamer o ohniskové vzdálenosti $f = 600$ mm s rozlišovací schopností 17–19 m; stereoskopické snímky umožní vyhodnocování výškopisu.

Novinkou je vyslání nové kosmické laboratoře *Spacelab* s výškou dráhy 250–300 km nad Zemí a fotografickou kamerou LFC, použitou již na raketoplánu *Columbia*. Byla vypuštěna v listopadu 1983 a má provádět opakované snímkování Evropy v intervalu jednoho až čtyř týdnů.

Ve stadiu příprav je rovněž vyslání družic SEOS, SPOT, MEOS, JEOS, Sarsat, Pamirasat, Artiss, ERS a jiných, což nepochybně přispěje k dalšímu rozvoji dálkového průzkumu Země a využívání družicových snímků v geografických oborech.

Literatura

- BECKEL L. (1981): Entwicklung und Stand der Fernerkundungstechnik von Satelliten und ihre Anwendung für Geographie und Kartographie. Mit. d. Öster. geogr. Ges. 123, 1–2; 17–58.
- BODECHTEL J., BECKEL L., HAEFNER H. (1978): Weltraumbild-Atlas. Deutschland, Österreich, Schweiz. 88 str., 54 obr. Braunschweig.
- ČAPEK R. (1974): Letecké a družicové snímky. Acta Univ. Car. Geographica 9, 2; 61–77.
- (1978): Dálkový průzkum a fotointerpretace z hlediska geografa I, II. 291 str., Praha.
- (1981): Interpretace leteckých a družicových snímků I, II, III. Přírodní vědy ve škole 33, 2; 72–76, 3; 115–117, 4; 151–156.
- DOYLE F. J. (1979): A large format camera for Shuttle. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 45, 1; 73–78.
- (1978): The next decade of satellite remote sensing. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 44, 2; 155–164.
- ELOCHI Ch., FONTANEL A. (1981): L'observation de la Terre par radar. La Recherche 12, 128; 1366–1375.
- GONIN G. B. (1980): Kosmičeskaja fotosjodka dlja izučeniya prirodnych resursov. 319 str., Leningrad.
- KRAVCOVA V. I. (1977): Kosmičeskoje kartografirovanije. 168 str., Moskva.
- LALA P., VÍTEK A. (1982): Malá encyklopedie kosmonautiky. 391 str., Praha.
- LAWNIKIEWICZ E., MAJCHER I., UHRYNOWSKI A. (1980): Opis, katalogowanie i dystrybucja obrazów satelitarnych z Landsata. Biuletyn Instytutu geodezji i kartografii. Dodatek do miesięcznika Przegląd geodezyjny, str. 32–38.
- Sojuz 22 erforscht die Erde. Berlin 1980, 283 str.
- SCHMIDT—FALKENBERG H. (1977): Erderkundung durch Landsat I. und II. und der Landsat-Index-Atlas der Weltbank. Kartogr. Nachrichten 27, 3; 104–106.
- ŠÍMA J. (1982): Kosmický a letecký průzkum ČSSR pro národohospodářské účely. Geodetický a kartografický obzor 28, 1; 2–6.
- WÓJCIK S. (1975): Problemy kartograficzne w programie satelitarnym ERTS. Polski przegląd kartograficzny 7, 4; 153–161.
- Dále časopisy: Letectví a kosmonautika, Praha, 26× ročně. Aviacija i kosmonavtika, Moskva, 12× ročně. Okólnik teledetekcji, Wrocław, nepravidelně [vydává privátně doc. dr. E. Tomaszewski z Geogr. ústavu Wrocławské univerzity].

Článek byl poprvé publikován pod názvem „Satelliten fotografieren die Erde“ v časopisu Kartographische Nachrichten 1983, 33,5; 179–187. Ve Sborníku ČSGS je otištěn se souhlasem redakce KN.