

Krystyna NAWARA

Fotografia kosmiczna na usługach geologii

Olbryzi rozwój techniki raketowej i satelitarnej na przestrzeni ostatnich 25 lat pozwolił na dokładniejsze poznanie otaczającej nas przestrzeni, zwanej Kosmosem. Pierwszy etap badań raketowych i satelitarnych obejmował głównie górne części atmosfery ziemskiej. W miarę doskonalenia techniki raketowej i aparatury sztucznych satelitów objęto badaniami i inne dziedziny.

Chociaż cele badań satelitarnych, a następnie badań prowadzonych przez załogi statków kosmicznych były bardzo szerokie, a jednym z głównych zadań w początkowych fazach stwierdzenie czy otaczająca nas przestrzeń kosmiczna jest na tyle bezpieczna, że pozwoli człowiekowi realizować loty międzyplanetarne, ogromny postęp techniki przyczynił się również do powstania nowej metody badań geologicznych. Metoda ta polega m.in. na wykonywaniu pomiarów własności fizycznych Ziemi oraz na wykonywaniu z przestrzeni kosmicznej fotografii powierzchni Ziemi, przy czym głównymi obiektami są tu formy geologiczne. Fotografie powierzchni Ziemi dla celów geologicznych sporządzane były zarówno przez sztuczne satelity, jak i przez załogi statków kosmicznych ZSRR i USA. Fotografie dokonane przez sztuczne satelity są zwykle przesyłane na Ziemię drogą telewizyjną, co nie zawsze dobrze wpływa na jakość obrazu. Poza tym w większości są one czarno-białe. O wiele lepsze rezultaty osiąga się, gdy fotografie takie wykonuje załoga ludzka. Są to fotografie w przeważającej części barwne. Poza tym obiekty fotografowane wybierane są świadomie, gdyż kosmonauci przechodzą między innymi przeszkolenie geologiczne.

Na przestrzeni 9 lat, tj. od chwili lotu pierwszego człowieka w Kosmos, zebrano tysiące fotografii czarno-białych i barwnych. Posłużyły one nie tylko do rozwiązywania szeregu problemów geologicznych z zakresu geologii dynamicznej, sedymentologii, hydrologii, oceanografii, geografii, geomorfologii, kartografii geologicznej, petrografii i mineralogii. Na ich podstawie wykryto również szereg form na powierzchni Ziemi, o których przedtem w ogóle nie wiedziano, szczególnie na obszarach niedostępnych człowiekowi.

Badania geologiczne prowadzone z przestrzeni kosmicznej pozwalają nie tylko lepiej obserwować i rozumieć procesy geologiczne zachodzące na Ziemi, dają one również usługi dla poznania budowy innych planet, jak np. Księżyca czy Marsa. Np. załoga statku Apollo-8 realizowała program

geologiczny ułożony przez jedynego astronautę-geologa dra H. Schmitta. Program ten przewidywał obserwację szeregu form geologicznych na powierzchni Ziemi, a następnie porównanie ich z formami na Księżycu. Geologów amerykańskich szczególnie interesowało zagadnienie wulkanizmu na Księżycu oraz problem dziwnych form, przypominających koryta rzeczne. Załoga statku Apollo-8 miała stwierdzić m.in. czy formy te zakończone są deltami, podobnie jak rzeki na Ziemi. Obserwacje te mogłyby wyjaśnić czy formy te mogły powstać przy udziale wód płynących, czy też mają inną genezę.

FOTOGRAFIA KOSMICZNA

Fotografia kosmiczna jest w zasadzie fotografią lotniczą, wykonywaną jednak z dużej wysokości. Dla celów geologicznych fotografie powierzchni Ziemi wykonywano przeciętnie z wys. 160÷250 km, wyjątkowo z wysokości ponad 1300 km. Fotografie kosmiczne robi się w zasadzie w skali 1 : 200 000 oraz 1 : 2 000 000. Fotografie te zawierają wiele elementów doskonałej mapy topograficznej, pozbawionej jednak większości drobnych szczegółów umieszczanych na tych mapach, wykonywanych metodami klasycznymi. Ułatwiają za to obserwację szeregu form geologicznych w całej ich rozciągłości, jak np. łańcuchy górskie, wielkie dyslokacje, żyły, a także masywy skał magmowych, pustynie itp.

Fotografia kosmiczna ma swoje olbrzymie zalety. Pozwala objąć badaniami większe obszary lądu, na którym występuje dane zjawisko geologiczne, a nawet szereg zjawisk. Daje możliwość badania dużych form geologicznych nie ulegających szybkiej zmianie, jak np.: masywy skalne, płytsze partie mórz i oceanów, obszary wulkaniczne itp. Można też badać procesy dynamiczne obserwując zjawiska dość szybko zmieniające się, np. przyrost delt rzecznych, zmiany koryt rzecznych, zmiany linii brzegowych mórz i oceanów, rozrost raf koralowych, ruch gór lodowych, zmiany wielkości jezior i koryt rzecznych w różnych porach roku, a także zmiany wielkości jezior słonych na obszarach pustynnych. Fotografie tych obiektów wykonywać można w odstępach kilkutygodniowych albo nawet miesięcznych. Daje to możliwość porównania wyglądu różnych obiektów naturalnych na przestrzeni pewnego czasu. Dużą zaletą fotografii kosmicznej jest możliwość objęcia obszarów podzielonych granicami państwowymi, jak również obszarów niedostępnych człowiekowi, jak np. wysokie góry czy lodolody.

Fotografia kosmiczna pozwala również na korektę map wielkich obszarów oceanicznych szczególnie tam, gdzie np. wyspy oddalone są setki i tysiące km od lądu. Badania satelitarne wykazały, że mapy tych obszarów obciążone są poważnymi błędami, jeśli chodzi o odległość tych wysp od lądu, jak również odległości kontynentów od siebie.

Opracowania fotograficzne z przestrzeni kosmicznej są szczególnie przydatne w kartowaniu geologicznym. Pozwalają na zbadanie wielkich struktur geologicznych w granicach kontynentów, a nawet na poznanie tektoniki międzykontynentalnej. Oddają one szczególnie cenne usługi tam, gdzie zachodzi potrzeba sporządzenia map całych łańcuchów górskich czy innych jednostek strukturalnych wielkiego rzędu. Pozwalają uchwycić styl fałdowań i zasięg oraz charakter tektoniki nieciągłej.

Fotografia kosmiczna mimo wielkich zalet posiada jednak braki i wady. Nie daje ona w zasadzie efektu stereoskopowości, a przynajmniej efekt ten jest 10—100 razy słabszy niż w przypadku fotografii lotniczej. Fotografii stereoskopowe wykonane z przestrzeni kosmicznej pozwalają jedynie stwierdzić, że chmury zawieszono są w pewnej odległości od powierzchni Ziemi.

W przypadku fotografii barwnej występuje też silne zaniebieszczenie obrazu ze względu na to, że między statkiem kosmicznym a powierzchnią Ziemi znajduje się gruba warstwa atmosfery. Skażenie to jest bardzo trudno wyeliminować. Okazało się, że przy próbach jego usunięcia cały obraz tracił na jasności. Czynnikiem, który w poważnym stopniu również utrudnia otrzymanie prawidłowego obrazu powierzchni Ziemi, jest drganie powietrza wskutek ogrzewania się oraz iskrzenie w czasie burz. Poważną wadę stanowi także tzw. dystorsja — zniekształcenie obrazu wskutek refrakcji promieni świetlnych. W wyniku tej wady obraz jest albo zbyt wyciągnięty w rogach, albo też sprawia wrażenie, że jest wypukły, beczkowaty.

Otrzymanie prawidłowego obrazu powierzchni Ziemi utrudnia szczególnie pokrywa chmur znajdująca się nad kontynentami. Zdarza się to bardzo często na wyższych szerokościach geograficznych. Pokrywa ta często utrudnia, a nawet uniemożliwia otrzymanie fotografii powierzchni Ziemi. Dlatego też fotografie kosmiczne dla celów geologicznych najkorzystniej prezentują się w zasadzie w dość wąskim pasie: między 30° szer. N i 30° szer. S. Szczególnie dogodnymi obszarami do tych celów okazały się pustynie — obszary, na których pokrywa roślinna w ogóle nie istnieje, względnie jest bardzo słaba. Są to również obszary, ponad którymi znajduje się mała zawartość pary wodnej w atmosferze.

Olbrzymie usługi badaniom geologicznym oddaje fotografia barwna. Na jej podstawie prześledzić można szereg zjawisk, jak np. charakter wietrzenia chemicznego, zmiany barwy mórz i oceanów w zależności od ilości planktonu, głębokości, zasolenia i in.

ANALIZA FOTOGRAFII KOSMICZNEJ

W okresie ostatnich 9 lat zgromadzono olbrzymie ilości fotografii powierzchni Ziemi, wykonanych z przestrzeni kosmicznej. Wykazały one wielką przydatność przy rozwiązywaniu wielu problemów geologicznych i przyczyniły się do wykrycia wielu obiektów geologicznych, o których istnieniu w ogóle dotąd nie wiadano. Stwierdzono np. istnienie nie znanych dotąd uskoków, fałdów, wulkanów, kopuł i basenów. Fotografie te ujawniły również, że na ich podstawie można śledzić losy osadów złożonych na dnie jezior i mórz. Stwierdzono np., że znaczna część utworów leżących na szelfie lub na mieliznach jest doskonale widoczna przez wodę. To samo dotyczy osadów na dnie jezior; np. na obszarze Wielkiej Ławicy Bahama na głęb. ok. 10 m można prześledzić nawet zmarszczki na piaszczystym dnie lagun.

Fotografia kosmiczna pozwala na obserwacje większości procesów geologicznych na powierzchni Ziemi, i to jednocześnie na dużych obszarach. W szczególności są to następujące zjawiska:

1. Charakter wietrzenia fizycznego i chemicznego skał. Wspaniałe fotografie obszarów pustynnych i półpustynnych pozwalają odróżnić rumosze, pola blokowe, skutki wpływu klimatu na wietrzenie. Szczególnie cenne okazały się materiały uzyskane z obszarów pustynnych Afryki, Azji i Ameryki Północnej. Barwne fotografie tych obszarów pozwalają śledzić zmiany ubarwienia osadów w zależności od charakteru procesów wietrzenia chemicznego, rodzaju wietrzejących skał itp.

2. Skutki erozji rzecznej, lodowcowej, eolicznej i morskiej. Na przykładzie fotografii z obszaru całej Ziemi obserwujemy skutki erozji rzecznej, wpływ budowy podłoża na budowę doliny rzecznej, wpływ klimatu na dolinę rzeczna, działanie erozyjne lodowców w wysokich górach, glacialną rzeźbę gór, fiordy, typy lodowców i oscylacje ich zasięgów. Podjęto również próby ustalenia wpływu zlodowacenia plejstoceniowego na poziom mórz i oceanów oraz związku jego z tworzeniem się kenionów podmorskich.

3. Powierzchniowe ruchy masowe — splezywanie, usypiska, osuwiska, obrywy skalne.

4. Denudacja — współdziałanie wietrzenia, erozji i ruchów masowych na danym terenie, procesy denudacyjne w zależności od klimatu.

5. Procesy sedymentacyjne — akumulacja osadów rzecznych, aluwia, stożki napływowe, delty rzeczne, akumulacja utworów lodowcowych. Akumulacja pod wpływem wiatru, wydmy i ich kształty w zależności od kierunku wiatru, itp. Powstawanie i charakter jezior, utwory jeziorne. Współczesne osady morskie — wały nadbrzeżne, wędrówka osadów wzdłuż wybrzeża, mierzeje, mielizny, bariery, osady lagunowe, utwory estuarialne, utwory szelfowe, rafy koralowe.

Fotografia kosmiczna dostarcza wielu interesujących danych dotyczących transportu wodnego, jak również wyjaśnia wiele form sedymentacyjnych. Np. systematyczne badania osadów mórz transgredujących na przybrzeżne obszary bagienne mogą stać się niezwykle pomocne przy rozwiązywaniu problemów dotyczących tworzenia się basenów węglowych w okresie karbońskim. Wspaniałe fotografie ujścia rzeki Colorado do Zatoki Kalifornijskiej dają sposobność śledzenia losów osadów znoszonych przez tę rzekę z łądu. Widoczne doskonale przez warstwę wody osady na dnie Zatoki roznoszone są wzdłuż wybrzeża przez prądy morskie.

6. Fotografia kosmiczna może służyć poszukiwaniu złóż surowców mineralnych. Stwierdzono np., że ogromne zasoby ropy naftowej na Środkowym Wschodzie są związane ze strefami gigantycznych uskoków, zidentyfikowanych dzięki fotografii kosmicznej.

7. Diastrofizm — zmiany linii brzegowej mórz, transgresje i regresje mórz, skutki trzęsień ziemi. Deformacje ciągłe i nieciągłe, fałdy, płaszczowiny i nasunięcia, uskoki, góry fałdowe, zjawisko tektoniczne w skali kontynentalnej.

Badania kosmiczne ujawniły np., że Zatoka Kalifornijska zawdzięcza swoje pochodzenie tektonice uskokowej. Uskokowy charakter mają również doliny rzek na Półwyspie Kalifornijskim. Odkryto nowy zespół uskoków na kontynencie afrykańskim.

8. Wulkanizm — erupcje wulkaniczne, produkty erupcji, potoki lawy, erupcje liniowe, centralne, aeralne. Rozmieszczenie wulkanów na Ziemi, związek ich z ruchami górotwórczymi. Fotografie kosmiczne gór Sierra

Carizarilla w Meksyku pozwoliły stwierdzić, że góry te są pochodzenia wulkanicznego, przy czym wulkanizm ten jest prawdopodobnie bardzo młody.

9. Plutonizm — formy intruzji, stosunek batolitów do gór fałdowych, stosunek przestrzenny plutonizmu do wulkanizmu.

Niektóre z fotografii kosmicznych przyczyniły się do korekty mapy danego obszaru, jak np. fotografie grupy atoli koralowych w grupie Wysp Marshalla na Pacyfiku.

Badania geologiczne prowadzone z przestrzeni kosmicznej zostały dopiero zapoczątkowane. Mimo lądowania człowieka na Księżycu i zaawansowanych prac nad geologią innych planet, Ziemia nadal stanowi jeden z głównych tematów w programie badań satelitarnych. Np. USA planują w początkach lat siedemdziesiątych wysłanie na orbitę wokółziemską satelity EROS (Earth Resources Observation Satellite) — Satelita Obserwacji Zasobów Ziemi. Badania tego satelity mają przyczynić się do lepszego poznania i wykorzystania bogactw naturalnych Ziemi. EROS ma posługiwać się zdalnym wyposażeniem czujników dla przeprowadzenia pomiarów służących wykorzystaniu naszej planety do celów gospodarczych i komunikacyjnych. Będzie on informować m.in. o rozmieszczeniu kry lodowej, wędrownkach gór lodowych, będzie przeprowadzać kontrolę zasobów wodnych oraz sporządzać mapy kontynentów. Tylko jeden satelita EROS może sporządzić mapę obszarów lądowych całej Ziemi w ciągu niespełna roku. Dopiero zapoczątkowane badania satelitarne w przyszłości będą wykorzystane do rozwiązania różnych zagadnień geologicznych na dużych obszarach kontynentów i mórz.

Muzeum Ziemi PAN
Warszawa, Al. na Skałpie 20/26
Nadesłano dnia 29 września 1969 r.

Крыстына НАВАРА

КОСМИЧЕСКАЯ СЪЕМКА НА СЛУЖБЕ ГЕОЛОГИИ

Резюме

Благодаря огромному прогрессу в ракетной и спутниковой областях, в период последних 25 лет возник новый метод геологических исследований. Он заключается в фотографировании поверхности Земли с искусственных спутников, а также экипажами космических ракет.

Космическая съемка для геологических целей выполняется обычно с высоты 160—250 км, в исключительных случаях с большей высоты. Космические снимки, особенно цветные, имеют огромное достоинство. Они позволяют исследовать более обширные территории, на которых проявляется данное геологическое явление или даже ряд явлений. Они дают возможность исследования как быстро изменяющихся форм, так и форм, не подверженных быстрым изменениям.

Космическая съемка оказывает ценные услуги геологическому картированию. Она, например, позволяет изучать большую тектонику в пределах целого данного континента и даже

изучать межконтинентальную тектонику. На основании космической съемки можно также произвести корректировку карт огромных территорий океанов, особенно там, где, например, острова удалены от континента на тысячи километров.

Геологические исследования, производящиеся из космического пространства, позволяют не только детальнее изучить геологические процессы на Земле. На их основании можно также выяснить ряд геологических форм иных планет, например, Марса и Луны.

Krystyna NAWARA

COSMIC PHOTOGRAPHY IN SERVICE FOR GEOLOGY

Summary

Due to a considerable progress in rocket and satellite technique, a new method of geological research developed in the last 25 years. The method consists in taking photographs of the Earth's surface using artificial satellites, and by the human crews of space ships.

Cosmic photographs for geological purposes are made approximately at a height of 160—250 km, in exceptional cases also at higher distances. Cosmic photographs, particularly colour ones, reveal interesting advantages. They allow us to cover greater areas of study, where a given geological phenomenon, or a series of geological phenomena appear. Moreover, they enable us also to investigate both quickly changing forms and those of stable nature.

Cosmic photography is highly valuable for geological cartography, as well. It allows us, for example, to recognize large tectonics within a given continent, and even to investigate tectonics of intercontinental character. Using cosmic photography we may correct also charts of large oceanic areas particularly where islands are remote some thousand kilometres from the continent.

Geological research carried out from the cosmic space allows us to recognize not only the geological processes on the Earth, but it helps in explanation of different geological forms on other planets, e.g. on Mars and Moon, too.



Fig. 2

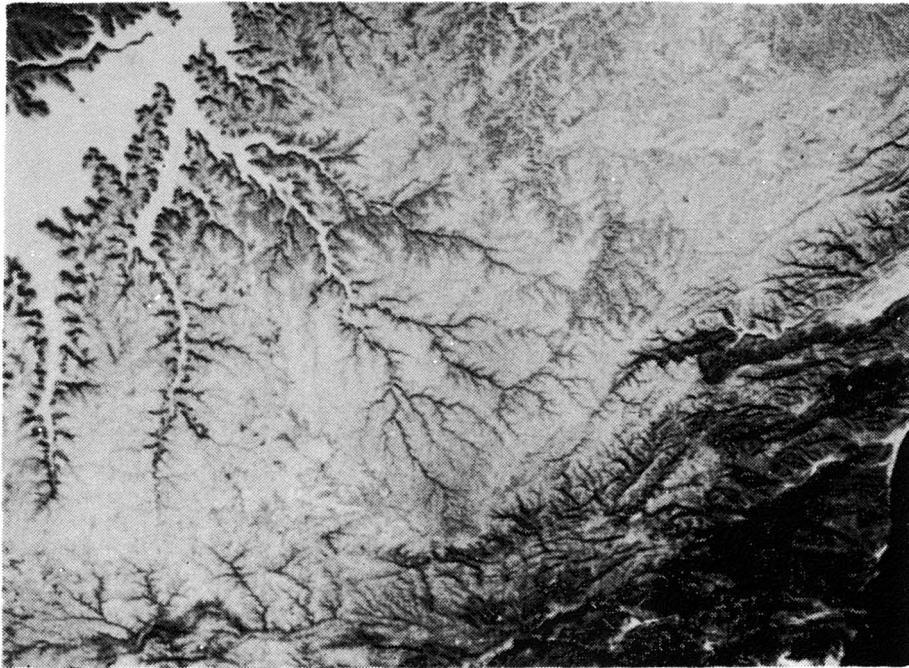


Fig. 1

Krystya NAWARA — Fotografia kosmiczna na usługach geologii

TABLICA I

Fig. 1. Wyżyna Hadramaut na Półwyspie Arabskim. Widoczna sieć dolin okresowych rzek rozcinająca wyżynę. U dołu na lewo fragment Zatoki Adeńskiej. Fot. załoga Gemini IV

Hadramaut Upland in the Arabian Peninsula. Visible is a system of valleys of intermittent rivers, cutting the upland. A fragment of the Aren Gulf may be seen to the left at the bottom. Phot. by the crew of the space ship Gemini IV

Fig. 2. Obszar graniczny między Kaszmirem i Chinami. Widoczne liczne doliny rzeczne i lodowcowe oraz szczyty górskie pokryte śniegiem i lodowcami. Na lewo widoczna dolina rzeki Indus, pośrodku rzeka Nubra wypływająca z lodowców. Łańcuch górski pokryty śniegiem to Karakorum. Fot. załoga Gemini IV

Boundary area between Cashmere and China. Visible are numerous river and glacier valleys, and mountain peaks covered with snow and glaciers. To the left is the valley of river Indus; in the centre is the Nubra river flowing out of glaciers. Mountain chain covered with snow is Kara-Korum. Phot. by the crew of the space ship Gemini IV



Fig. 4

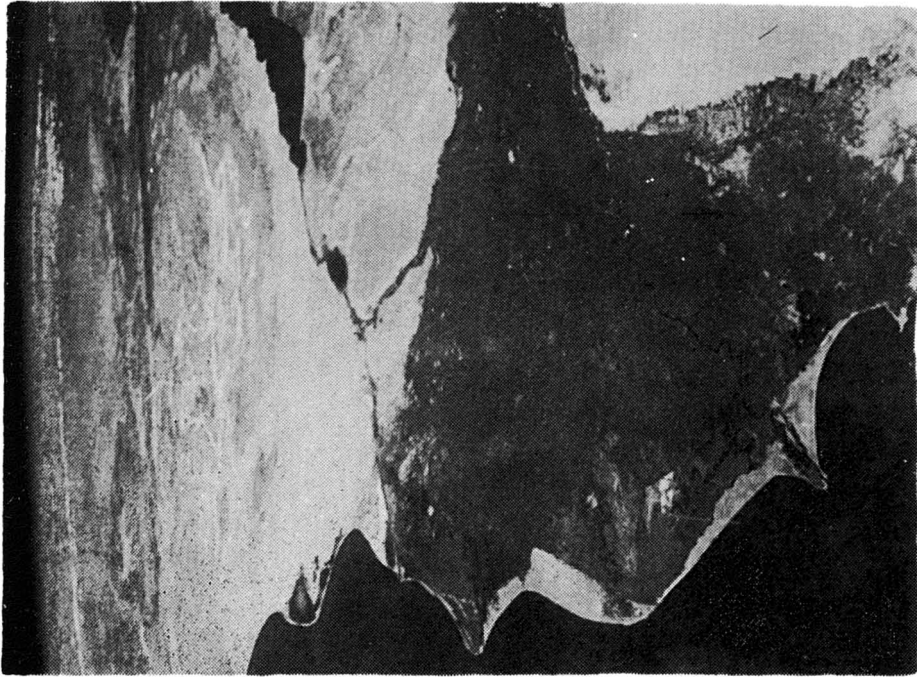


Fig. 3

Krystya NAWARA — Fotografia kosmiczna na usługach geologii

TABLICA II

Fig. 3. Delta Nilu obejmująca powierzchnię ok. 22 000 km². Dwa ramiona Nilu — Rosetta i Damietta tworzą dodatkowe dwie małe delty, wysuwające się w morze. Fot. załoga Gemini IV

Nile delta covering an area of about 22 000 km². Two Nile arms — Rosette and Damiette constitute two additional small deltas, advancing into the sea. Phot. by the crew of the space ship Gemini IV

Fig. 4. Empty Quarter — piaszczysta pustynia w Arabii Południowej, Jemenie i Arabii Saudyjskiej. Widoczne wyraźnie wydmy podłużne, u góry fragment wyżyny Hadramaut. Fot. załoga Gemini IV

Empty Quarter — a sandy desert in Southern Arabia, Yemen and Saudi Arabia. Visible are longitudinal dunes. At the top — a fragment of Hadramaut Upland. Phot. by the crew of the space ship Gemini IV

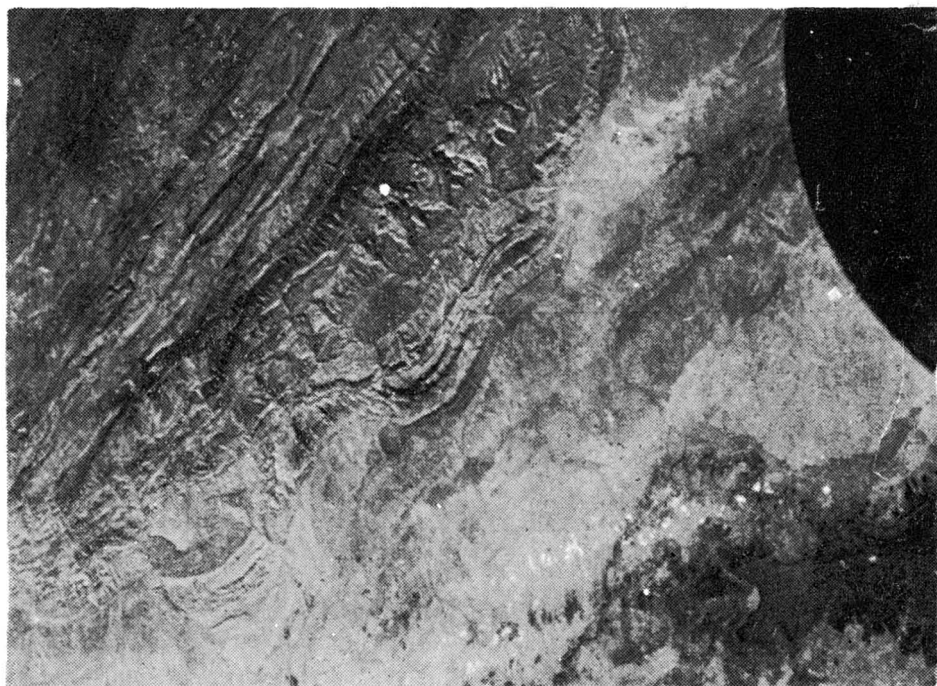


Fig. 6



Fig. 5

Krystyna NAWARA — Fotografia kosmiczna na usługach geologii

TABLICA III

Fig. 5. SW część Półwyspu Arabskiego między Al Kharab i Salamat. Ciemny obszar wyżynny zbudowany jest z prekambryjskich skał magmowych i metamorficznych, pociętych licznymi uskokami. Wydatna skarpa, widoczna pośrodku fotografii, powstała również w wyniku uskoku. Fot. załoga Gemini IV

SW part of the Arabian Peninsula between Al Kharab and Salamat. Dark upland area is built up of the pre-Cambrian igneous and metamorphic rocks, cut by numerous faults. Distinct slope to be seen in the centre of the photograph was formed also due to a fault. Phot. by the crew of the space ship Gemini IV

Fig. 6. Obszar pograniczny Iraku i Iranu. Łańcuchy górskie widoczne u góry to Khabir i Zagros, na lewo u dołu jezioro Sadijah i rzeka Tygrys. Fot. załoga Gemini V

Boundary area between Irak and Iran. Mountain chains visible at the top are Khabir and Zagros. To the left at the bottom are found Lake Sadijah and Tigris river. Phot. by the crew of the space ship Gemini V