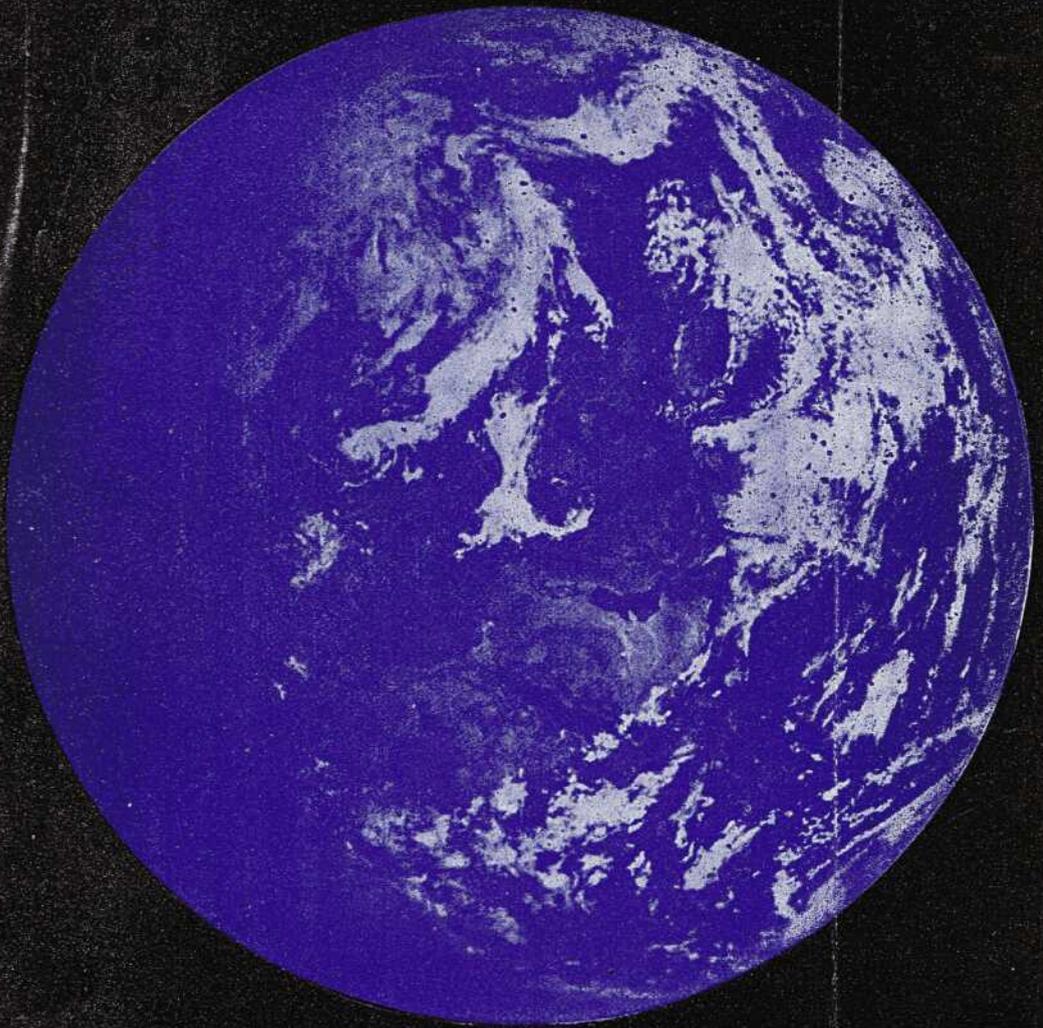


ISSN 0205-9614

АКАДЕМИЯ НАУК СССР



ИССЛЕДОВАНИЕ
ЗЕМЛИ
ИЗ КОСМОСА

4 * 1981



Академия наук

СССР

*

№ 4 • 1981

Июль — август

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА

Журнал основан в 1980 г. • Москва • выходит 6 раз в год

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

А. В. СИДОРЕНКО — главный редактор

Г. А. АВАНЕСОВ, В. С. АВДУЕВСКИЙ, Н. А. АРМАНД, В. Н. БРЮХАНОВ, И. П. ВЕТЛОВ, В. С. ВЕРЕЩЕТИН, Г. В. ВОРОПАЕВ, Я. Л. ЗИМАН (ответственный секретарь), В. Г. ЗОЛОТУХИН, А. С. ИСАЕВ, Т. К. ИСМАЙЛОВ, А. П. КАПИЦА (зам. главного редактора), Ю. П. КИЕНКО, Д. М. КИРЕЕВ, Ю. Ф. КНИЖНИКОВ, В. В. КОВАЛЕНКО, В. Б. КОМАРОВ, К. Я. КОНДРАТЬЕВ, И. А. КУТУЗОВ, В. М. МОРАЛЕВ (зам. главного редактора), Б. А. НЕЛЕПО, А. М. ОБУХОВ, Р. З. САГДЕЕВ (зам. главного редактора), В. И. СЕВАСТЬЯНОВ, А. П. ТИЩЕНКО, К. Н. ФЕДОРОВ, А. Л. ЯНШИН (зам. главного редактора)



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

Адрес редакции: 117810 ГСП-7 Москва В-485, Профсоюзная ул.,
д. 84/32, ИКИ АН СССР
Телефон: 333-35-78

Зав. редакцией **О. Б. Осипова**



Издательство «Наука»,
«Исследование Земли из космоса», 1981 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Решение задач наук о Земле и отраслей народного хозяйства с помощью космических средств

Гречко Г. М., Гришин Г. А., Толкаченко Г. А. Наблюдение видимых проявлений динамики океана с борта орбитальной станции «Салют-6»	5
Горный В. И. Тепловая съемка при изучении залива Кара-Богаз-Гол	11
Садов А. В. Динамика экосистем бассейна Арала по материалам космодокументации	18
Бурлешин М. И., Колоскова В. Н. Опыт информационной оценки эффективности применения космических снимков в гидрогеологических исследованиях	27
Волчегурский Л. Ф., Пронин В. Г. Применение космических материалов для изучения структурных особенностей Прикаспийской нефтегазоносной провинции	32
Трофимов Д. М., Дмитриева Б. И. О взаимосвязи линейных и изометричных объектов на космических снимках и нефтегазоносных структур Бузулукской впадины	39

Физические основы, методы и средства получения и обработки космической информации о Земле

Малкевич М. С., Бадаев В. В. Метод комплексных исследований океана и атмосферы из космоса	45
Ванюшин Г. Д., Дядюнов В. П., Сажин С. М. Анализ данных синхронных измерений с ИСЗ «Метеор» и судов у восточного побережья Каспийского моря	54
Семина А. Г., Трохимовский Ю. Г., Хапизов Ю. Б., Эткин В. С. Определение интегральных параметров облачной атмосферы	61
Асташкин А. А., Саульский В. К., Успенский Г. Р. Особенности комплексирования на борту ИСЗ приборов с различными полосами обзора	66
Юдин В. С. Комплексная обработка космических снимков и геологическая интерпретация	70
Чумаченко Б. А., Марченко В. В., Власов Б. П., Пемировский Э. А., Яковлев В. А. Диалоговая система регионального прогнозирования минерально-сырьевых ресурсов по данным наземных и космических съемок	76
Онопrienko Б. И. Цифровая обработка радиосигналов, отраженных от земной поверхности	83
Аванесов Г. А., Ваваев В. А., Вербин В. Э. Выбор опорных участков для автоматической координатной привязки космической видеоинформации	91
Хижниченко В. И. К вопросу о геометрической коррекции сканерных снимков земной поверхности	96
Качиньски Р., Санецки Ю. О выделении цветных тестов на основе интерпретации снимков, выполненных через фильтры камеры МКФгб »	104

Обзоры

V

Макаров В. И. Линеаменты (проблемы и направления исследований с помощью аэрокосмических средств и методов)	109
--	-----

Рецензии

Книжников Ю. Ф., Кравцова В. И. Космическая гляциология на страницах главного издания советских гляциологов (к 20-летию юбилею сборников «Материалы гляциологических исследований. Хроника, обсуждения»)	116
--	-----

Хроника

Росс Ю. К. Вопросы дистанционного зондирования на XI Всесоюзном совещании по актинометрии и симпозиуме по фитоактинометрии (г. Таллин, 8—15 декабря 1980 г.)	118
Гальперин И. М. Совещания по программе «Интеркосмос»	122

CONTENTS

**Solving of problems of the Earth sciences and national economy
by means of space technique**

- Grechko G. M., Grishin G. A., Tolkachenko G. A.** Observations of ocean dynamics, display on the «Salyut» orbitei/station 11
- Gorniy V. I.** Kara-Bogaz-Gol study-Jiy infrared survey 1&
- Sadov A. I. V.** The Aral basin ecosystems dynamics according to space imagery 27
- Burleshin M. L., Koloskova V. N.** Information approach to the space imagery effectiveness estimation for hydrogeological survey 3 2
- Volchegurskij L. F., Pronin VVG*** Space image use for structural investigation of the Caspian, oil and gas province 39
- Trofimov D. M., Dmitrieva B. I.** On interconnection of linear and round objects on space images with the Bu^zuluk basin pil and gas structures

**Physical ground, methods and means of acquisition and processing
of space data about the Earth**

- Malkevich M. S., Badaev Y. V.** Method for ocean and atmosphere complex investigation from space 4&*
- Yanyushin G. P., Dyadyunov V. N., Sazhin S. M.** Analysis of simultaneous measurements from «Meteor» satellite and ships, at the Eastern coast of the Caspian sea 5 4
- Semin A. G., Trokhimovskij Yu. G., Ehapm Yu. B., Etkin Y. S.** Determination of the cloud atmosphere integral parameters 61
- Astashkin A. A., Saufskij Y. K., Uspenskij G. R.** On opportunity to combine on board of satellite devices with various survey bands 66
- Yudin V. S.** Complex treatment and geological interpretation of space images 70
- Chumachenko B. A., Marchenko Y. Y., Ylasov E. P., Nemirovskij E. A., Yakp-lev V. A.** Interactive system of mineral potential regional forecast according to ground and space survey 76
- Onoprienko E. I.** Digital processing of radio signals reflected from the Earth surface 83
- Avanesov G. A., Vavaev V. A., Verbin V. E.** Selection of «reference zones» for space images automatic «map control» 91
- Khizhnichenko V. I.** On geometric correction of the Earth surface scanner images 9&
- Kachin'ski R., Sanecki Yu.** On colour tests distinction on the base of interpretation of images taken through the MKF-6 camera filters 104

Review

- Makarov V. I.** Lineaments (some problems and trends of further study by remote sensing technics) 109
- Knizhnikov Yu. F., Kravtsova V. I.** Space glaziology on pages of the Soviet glaziologists main publication (to the 20 anniversary of the collection «Materials of glaziological investigations. News items, discussion») 16

News items

- Ross Yu. Kh.** Problems of remote sensing at the XL AH-Union conference on actinometry and Symposium on photactinometry (Tallin, 8—15 December, 1980) 11S
- Gapperin I. M.** Meeting on Intercosmos program V 122

УДК 551.46:629.7

НАБЛЮДЕНИЕ ВИДИМЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ ДИНАМИКИ ОКЕАНА С БОРТА ОРБИТАЛЬНОЙ СТАНЦИИ «САЛЮТ-6»

ГРЕЧКО Г. М.,* ГРИШИН Г. А. ТОЛКАЧЕНКО Г. А.

С развитием спутниковых систем впервые появилась возможность непосредственно наблюдать и фотографировать процессы, характеризующие динамическое состояние океана. Учитывая важность такого рода исследований, в программы изучения природных ресурсов Земли с ИСЗ были включены разделы* океанографических наблюдений. В результате такие важные особенности океанической циркуляции, как слияние течений, апвеллинги, крупномасштабные вихри, водообмен между окраинными морями и океаном и многие другие явления, отражающие сложную динамику протекающих в океане процессов, были впервые отмечены и сфотографированы экипажами космических кораблей и долговременных орбитальных станций (ДОС) [1].

Безусловно, важную роль в космической океанологии призваны играть автоматические измерительные комплексы, устанавливаемые на беспилотных ИСЗ и выполняющие измерения в широком интервале спектра электромагнитных волн, включая видимый, ИК- и СВЧ-диапазоны. Прототипом таких комплексов является аппаратура, размещенная на специализированных спутниках «Космос-1076» и «Космос-1151». Вместе с тем на современном этапе исследований океана и атмосферы исключительно важную роль продолжают выполнять визуальные наблюдения и фотосъемка, осуществляемые непосредственно человеком с борта пилотируемого космического корабля или ДОС. Наиболее важными преимуществами таких исследований являются возможность оперативного выбора наиболее интересных объектов, эффективное использование благоприятных метеоусловий для проведения наблюдений и возможность контроля динамики исследуемого процесса или явления, что очень важно с точки зрения целостного восприятия объекта.

В процессе выполнения программы исследований земных ресурсов с борта ДОС «Салют-6» были получены серии фотографий Южной Атлантики в районе Фолклендских островов. Этот регион интересен тем, что* отклонившись к северу после прохождения мыса Горн, ветвь циркулярного течения, обтекая обширную бабку Бердвуд и острова, продвигается под именем Фолклендского течения далеко на север, где встречается с водными массами Бразильского течения. III наблюдениям из космоса для вод Фолклендского течения характерны зеленые оттенки, обусловленные наличием фитопланктона. Хорошо различимая с большой высоты граница раздела этих течений нередко прослеживается на расстояние порядка тысячи километров. Например, по данным наблюдений с борта ДОС «Skylab», выполненных в декабре 1974 г. [2], фронтальная зона между Бразильским и Фолклендским течениями прослеживалась визуально в виде тонкой серпантинной ленты более чем на 3500 км, нигде

* Летчик-космонавт СССР.

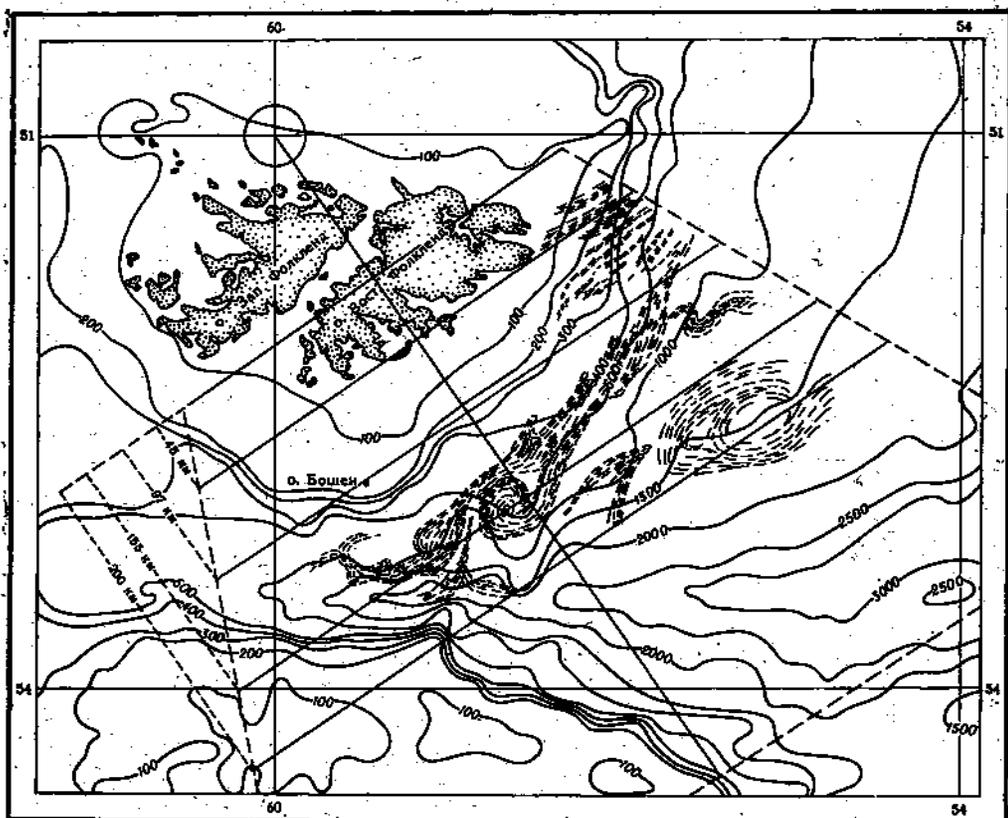


Рис. 2. Схематическое представление фотоизображения с учетом перспективных искажений и координатной привязки к местности с отметками глубины и рельефа дна

не разрушаясь*. Однако серия фотографий, полученная с ДОС «Салют-6» приблизительно с суточным интервалом с 27.XП.1977 г. по 5.I.1978 г. показала в целом неустойчивость системы течений и формирование целого ряда знаменующихся крупномасштабных вихрей.

На цветной вклейке (рис. 1) приведен фрагмент съёмки акватории океана к юго-востоку от Фолклендских островов. Этот же снимок воспроизведен на рис. 2 с учетом координатной привязки к местности. Рисунок выполнен графическим построением; слева указаны расстояния, иллюстрирующие изменение масштаба по отдельным участкам снимка за счет перспективных искажений.

На рис. 1 хорошо заметна струя Восточно-Фолклендского течения. Поток в основном повторяет изолинии придонной топографии, причем после смыкания со своей западной ветвью течение следует на север также вдоль изобат 400–600 м. Восточнее Фолклендского течения, как известно, проходит на юг компенсационный поток, который хорошо прослеживается до глубины ~ 500 м [3]. Характерной особенностью снимка является наличие двух ярко выраженных вихреобразных структур. В центре снимка хорошо различается по зеленоватым оттенкам почти сформировавшийся крупномасштабный циклонический вихрь. К северо-востоку от него можно видеть вихрь с противоположным направлением вращения, водная масса которого окрашена в глубокий синий цвет, обусловленный молекулярным рассеянием в биологически чистых, малопродуктивных водах открытого океана. Линейные размеры вихрей составляют 50 км, расстояние между ними около 200 км.

О механизмах генерации рассматриваемых особенностей здесь можно лишь высказать предположения. Циклонический вихрь, по-видимому, генерирован неустойчивым баротропным потоком над резким свалом глубин от 500 до 1000 м. Об этом говорит также тот факт, что в летний (для южного полушария) период в данном районе наблюдается интенсификация всей системы течений [3]. Однако в отношении антициклонического вихря такое заключение, по-видимому, не совсем правильно. Действительно, как видно из рис. 2, этот вихрь расположен в более глубоководной зоне и значительно правее основной струи Восточно-Фолклендского течения. Поэтому можно предположить, что вихрь генерирован неустойчивой системой двух течений: Восточно-Фолклендского и компенсационного. Для этого предположения попытаемся оценить ряд характеристик антициклонического образования. При ширине сдвиговой зоны 200—300 км и скорости потока 60—70 см/с [3] характерный период наиболее неустойчивых волн составляет 4—6 сут. Скорость движения такого вихря оказывается довольно значительной: 17—25 км/сут. К сожалению, отсутствие данных прямых измерений не позволяет сравнить эти расчетные характеристики с реальными величинами скорости и периода движения антициклонов, наблюдаемых из космоса в этом районе.

Другой важной особенностью рис. 1 и 2 является наличие «короткопериодных» регулярных волн к северо-востоку от о. Восточный Фолкленд. На снимке отчетливо заметна криволинейность фронтов волновых пакетов. По-видимому, фазовая ориентация поля волн искажается за счет рефракции, поэтому образуется определенный угол между кромкой шельфа и направлением распространения волн. Интересно отметить, что ближе к берегу наблюдаются большие расстояния между пакетами волн и большая протяженность длин самих пакетов, чем с морской стороны. Эти особенности волнения на континентальном шельфе, наблюдаемые из космоса, характерны также для других регионов океана, в частности для Нью-Йоркской бухты [4]. В среднем ширина пакета волн составляет около 1—2 км при расстоянии между пакетами 6—10 км. Данные признаки характерны, как известно, для поля внутренних гравитационных волн. Если же рассматриваемые периодические особенности представить в виде поверхностных волн, то при длине волны $\lambda = 1\text{--}2$ км их периоды будут равны $\sim 25\text{--}35$ с, что значительно превышает известные оценки аналогичной характеристики поля ветровых волн и морской зыби.

Рассмотрим наблюдаемые особенности с точки зрения классических представлений теории внутренних волн. В рамках двухслойной аппроксимации океана фазовая скорость распространения волн описывается известной формулой

$$c = \left[\frac{g}{\rho_1 - \rho_2} \frac{D\rho/\rho_1}{h_1 + h_2} \right]^{1/2} \quad (1)$$

где g — ускорение силы тяжести; $\rho_1 - \rho_2$ — волновое число; $D\rho/\rho_1$ — перепад плотности; h_1, h_2 — толщина слоев. Для исследуемого района в январе месяце $D\rho/\rho_1 \sim (2\text{--}4) \cdot 10^{-4}$, характерная толщина верхнего слоя $h_1 \sim 50$ м. При общей глубине океана в шельфовой зоне 200—300 м и $A_1 = 1\text{--}2$ км рассчитанная по формуле (1) величина $c = 0,25\text{--}0,40$ м¹. При такой скорости и среднем расстоянии между пакетами, равном 10 км, период волновых пакетов составляет 7—11 ч. Вторая оценка наиболее близко соответствует полусуточному периоду внутреннего прилива в этом районе. Таким образом, можно предположить, что наблюдаемые на снимке «короткопериодные» волны являются проявлением на поверхности океана внутреннего волнения, образованного рассеянием энергии баротропного прилива под действием топографии дна или кромки континентального шельфа. Подтверждением сказанного может служить также ортогональ-

ность направлений распространения волн и течения. В другом случае, например при генерации внутренних волн сдвиговым течением, направления доредедегааяоднй теченид; как правило, совпадают.

Известные в нас^нцзе время теоретические модели распространения гравитационных волн в океане позволяют описать зависимость основных характеристик волнения от стратификации среды, силы Кориолиса, топографии дна, особенностей механизмов генерации и т. д. С другой стороны, лабораторные и в особенности натурные измерения подтверждают в основном лишь отдельные фрагменты эволюции поля внутренних волн, укладываемые в рамки обычных классических представлений. В частности, проявления энутрейних волн на поверхности моря могут быть обусловлены лишь теми механизмами, которые учитывают особенности трансформации энергий волнового поля вблизи поверхности. На сегодняшний день известно несколько таких механизмов [5]. Один из них, например, показывает, что дивергенция и конвергенция скорости течений в поле внутренних волн вызывает трансформацию капиллярных поверхностных волн под действием рейнольдсовых напряжений. Это приводит к росту шероховатости поверхности океана над гребнями внутренних роли. Такая картина отмечалась; в Частности; в 29-м рейсе НИС «Михаил Ломоносов» в точке 10°48' шп.; 20°48' з.д., когда на зеркальной поверхности океана наблюдались полосы ряби шириной 30—50 м, движущиеся с периодом около 8 мин. Расстояния между дами составляли 300—350 м. Результаты измерений показали, что размах колебаний слоя максимальных градиентов гидрологических параметров составлял 20—25 м, скорость изменения температуры воды от минимальной до максимальной величины на фиксированном горизонте 27 мс^тавила 2,5° С/мин. Согласно другому механизму, большая касательная скорость течения воды вблизи поверхности, вызванная большими амплитудами внутренние воды, приводит к увеличению толщины пленки поверхностно-активных веществ в зоне конвергенции, что вызывает сглаживание высокочастотных компонент поверхностного волнения и появление сликов. Наличие на поверхности океана полос ряби или сликов приводит к локальным изменениям коэффициента отражения моря. При наблюдении под большими углами к надиру со спутника такие участки должны проявляться в виде темных или светлых полос, ширина которых лежит в пределах от десятков до сотен метров, а длина — от сотен метров до десятков километров. При визировании в надир эти полосы практически не видны за исключением случаев^ когда Солнце в зените и слики, попадая в область солнечных бликов, проявляются в виде темных полос на сверкающей поверхности океана.

С целью идентификации полос на космических фотоизображениях с внутренними волнами выполнялись экспериментальные исследования в самолета сликов в северо-западной части Черного моря. Как ^и в случае наблюдений с ИСЗ, слики визуально наблюдались в виде отдельных полос, сгруппированных в пакеты. Образец инструментальных измерений яркости морской поверхности в области сликов показан на рис. 3. Число полос в пакетах менялось от 4 до 12, ширина полос составляла от 50 до 300 м, расстояние маяету полосами в пакете — от 0,4 до 4,5 км; среднее расстояние между пакетами 5—10 км.

Таким образом, разнообразные проявления внутренних волн на поверхности океана дахрт в принципе возможность провести массовые дистан^ ционные измерения внутреннего волнения в различных регионах Мирового океана. Действительно, с помощью аэрокосмических средств следы внутренних волн неоднократно регистрировались на западном и восточном шельфах Северной Америки, Флоридском, Калифорнийском, Сомалийском течениях, на шедьфе Юго-Запа^ой Африки, в центральной части Тихого океана, Южно-Кит^еском, Черном, Охотском морях и т. д. Особая ценность таких наблюдений состоит в том, что они дают богатый материал для изучения самого явления, и^ кроме того, позволяют определять такую

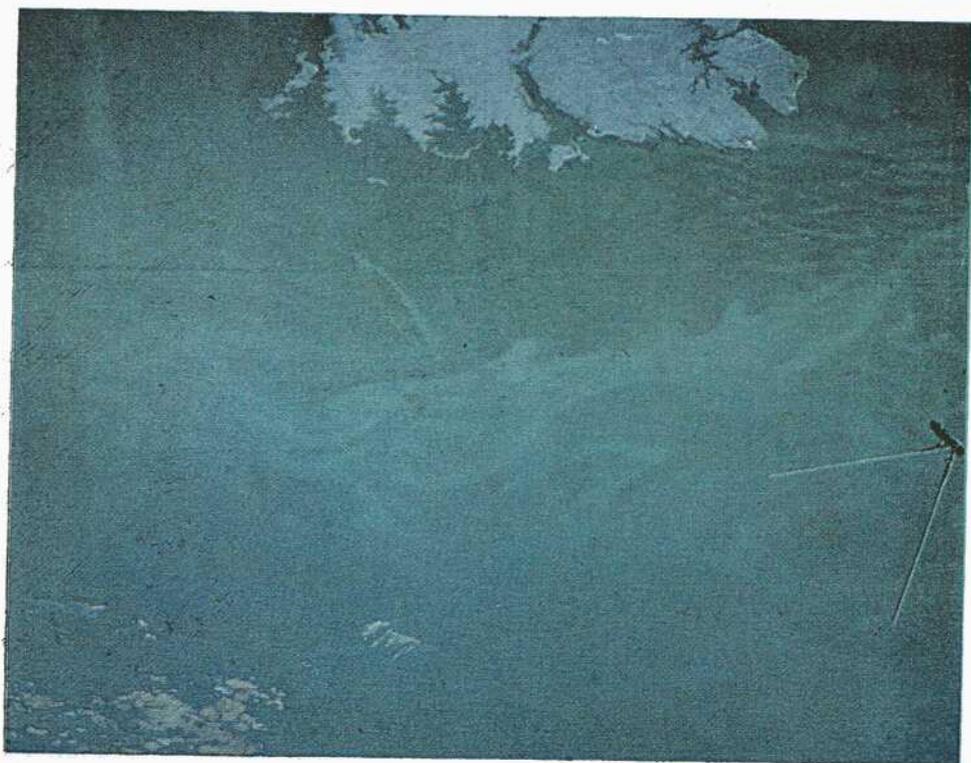


Рис. 1. Фрагмент съемки Южной Атлантики в районе Фолклендских островов январь 1978 г.

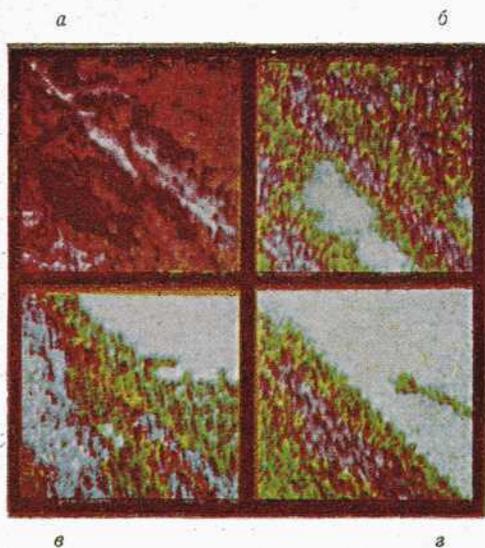


Рис. 1. Отображение глубинного разлома различными характеристиками: *a* — фотограмма, полученная с исходного* снимка; *б, в* — соответственно геомагнитное и гравиметрическое поля; *г г* — данные неотектонических движений



Рис. 2. Кольцевая структура: *a* — фотограмма, полученная с исходного снимка; *б, в* — соответственно геомагнитное и гравиметрическое поля; *г* — данные неотектонических движений

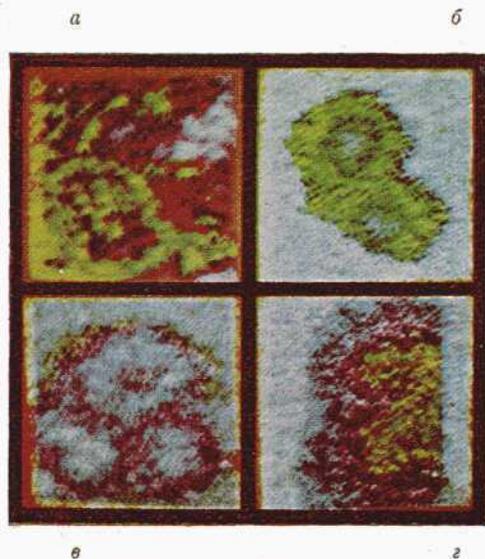


Рис. 3. Наложенные друг на друга три кольцевые структуры, полученные по данным: *a* — исходного снимка; *б* — скоростей современных движений земной коры; *в, г* — соответственно гравиметрического и теплового полей

важную энергетическую характеристику системы океан — атмосфера, как теплозапас верхнего квазиоднородного слоя [6].

Действительно, в предположении, что толщина нижнего слоя много больше hi и длина волны λ , уравнение (1) принимает вид $c^2 = \frac{D\rho}{\rho_1}$. При этом если плотность воды ρ обусловлена в основном изменением температуры T , тогда $D\rho/\rho = a \Delta T$, где a — коэффициент термического расширения морской воды. Следовательно, выражение для определения теплозапаса $Q = \rho c_p k \Delta T$ с учетом формулы для c можно переписать в виде

$$Q = \rho c_p c^2 / g a, \quad (2)$$

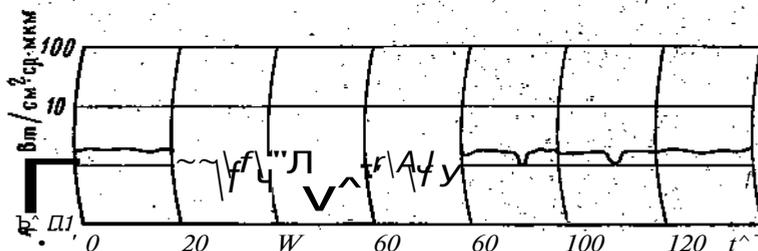


Рис. 3. Пример регистрации с борта самолета группы бликов внутренних волн в Черном море (Солнце в зените, визирование в надир)

где c_p — теплоемкость воды при постоянном давлении. Подставляя в (2) характерные величины $\rho c_p = 1$ кал/град, $a = 2 \cdot 10^{-4} \text{ c}^{-1}$ и найденное из наблюдений значение фазовой скорости $c = (0,25 - 0,40)$ м/с, получаем, что величина Q в районе Фолклендских островов составляет 3—8 ккал/см². С другой стороны, при характерных для района наблюдений величинах $h = 50$ м и $\Delta T = 1 - 2^\circ \text{C}$ в январе месяце значение Q — 5—10 ккал/см². Сравнивая эти оценки и учитывая, что величина Q пропорциональна квадрату фазовой скорости внутренних волн, следует, что оценка теплозапаса, определяемая по формуле (2), достаточно реалистична при наличии статистически обеспеченных данных.

Итак, результаты наблюдений внутренних волн из космоса говорят о том, что современный уровень развития спутниковой океанологии позволяет получать важную информацию об изменчивости верхнего слоя океана. Несмотря на то, что ряд проблем еще не решен (например, определение амплитуд внутренних волн, представляющее интерес для подводного мореплавания), в принципе по данным дистанционных измерений можно оценивать величины фазовой скорости, направления распространения и длины внутренних волн, а также теплозапас верхнего квазиоднородного слоя. Ценность подобной информации состоит также в том, что она позволяет оперативно оценивать механизм перемешивания верхнего слоя в моделях динамического взаимодействия системы атмосфера — океан.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лазарев А. И., Николаев А. Г., Хрунов Е. В. Оптические исследования в космосе. JL: Гидрометеиздат, 1979. 253 с.
2. Maul G. A., McCaslin M. An assessment of the potential contributions to oceanography from Skylab visual observations and handheld camera photographs. NOAA ATL Oceanogr. Met. Lab. Collected reprints, 1977 p. 432.
3. Зырянов В. И., Северов Д. К. Циркуляция вод Фолклендско-Пагагонского района и ее сезонная изменчивость. — Океанология, 1979, т. 19, вып. 5, с. 782—791.
4. Apel J. R. et al. Observations of oceanic internal and surface waves from ERTS. — J. Geophys. Res., 1975, v. 80, No 6, p. 865—881.
5. Новогрудский Б. В. и др. Исследование океана из космоса. Д.: Гидрометеиздат, 1978. 53 с.
6. Mollo-Christensen E. Heat storage in the oceanic upper mixed layer infrared from Landsat Data. — Science, 1979, v. 203, No 4381, p. 653—654 Ч

**OBSERVATIONS OF OCEAN DYNAMICS DISPLAY
ON THE «SALYUT-6» ORBITAL STATION**

GRECHKO G. M., GRISHIN G. A., TOLKACHENKO G. A.

Some results of internal waves and ocean eddy structure observations in the Falkland islands area on the «Salyut-6» manned orbital station in January 1978 are presented. Possibility is emphasized to determine the heat content of the ocean upper mixed layer basing internal waves parameters obtaining from remote sensing data.

УДК 528.711.7.029.672.001:553.63 (285)

ТЕПЛОВАЯ СЪЕМКА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЗАЛИВА КАРА-БОГАЗ-ГОЛ ГОРНЫЙ В. И.

В связи с отделением залива Кара-Богаз-Гол от Каспийского моря в ближайшее время ожидается значительное изменение этого крупнейшего в СССР месторождения горнохимического сырья [1]. Прекращение поступления морской воды в залив должно привести к резкому сокращению его акватории и переходу большей части солей из жидкой фазы в твердую и, следовательно, к значительному увеличению площади соляного пласта.

Планируемое регулирование поступления морской воды в залив потребует постоянного наблюдения за гидрологическим и гидрохимическим режимом залива. Учитывая громадные размеры залива Кара-Богаз-Гол, наиболее рационально основную часть режимных наблюдений выполнять с помощью высокопроизводительных дистанционных методов. Однако применение дистанционных методов для целей изучения соляных покровов до последнего времени ограничивалось почти исключительно аэрокосмической съемкой. При этом как обычная, так и многозональная аэрокосмическая съемка не позволяют однозначно определить солевой состав, а используются для уточнения границ участков с различной степенью засоления [2—4]. Вместе с тем один из новых дистанционных методов — тепловая аэросъемка (ТАГ) и космическая съемка (ТКС), —использующий тепловой инфракрасный диапазон спектра электромагнитных волн [5], позволяет индиферировать температурные поля объектов земной поверхности, а исследование физических свойств солей показывает существенные различия их термических свойств [6].

Для оценки возможности применения тепловой съемки при изучении соляных покровов было проведено численное моделирование для различных природных условий суточного хода температуры поверхности солей различного состава и структуры. Для этого использовалась подробно изложенная в [5] математическая модель, которая учитывает основные факторы, определяющие температуру земной поверхности: суммарную солнечную радиацию; длинноволновое излучение атмосферы и поверхности; тепло, затрачиваемое поверхностью на турбулентный обмен с атмосферой и испарение; геотермальный поток; тепловую инерцию $\rho \lambda$ альбедо поверхности A .

Анализ результатов моделирования (рис. 1) и наземных измерений [7] показал, что в дневное и ночное время суток между поверхностями солей различного состава должны наблюдаться значительные температурные контрасты. При этом в силу высокого альбедо поверхности и низкой тепловой инерции в ночное время суток минимальной температуре поверхности соответствуют соляные покровы сульфатного состава (пушенка мирабилита, рыхлый тенардит и мирабилит).

Огромную роль при формировании температурного поля поверхности соляных залежей играет и испарение межкристалльной и поверхностной рапы [8]. На рис. 2 приведены результаты расчета суточного хода температуры поверхности сухого и сильно увлажненного галитового пласта,

показывающие, что при наличии испарения с поверхности соляного пласта происходит значительное понижение температуры поверхности в дневное время суток. При этом контраст температур между поверхностями увлажненного и сухого галитового пласта может достигать десятка градусов (рис. 2, кривые 1 и 2). Ночью этот контраст несколько уменьшается. На интенсивность процесса испарения рапы с поверхности соляного

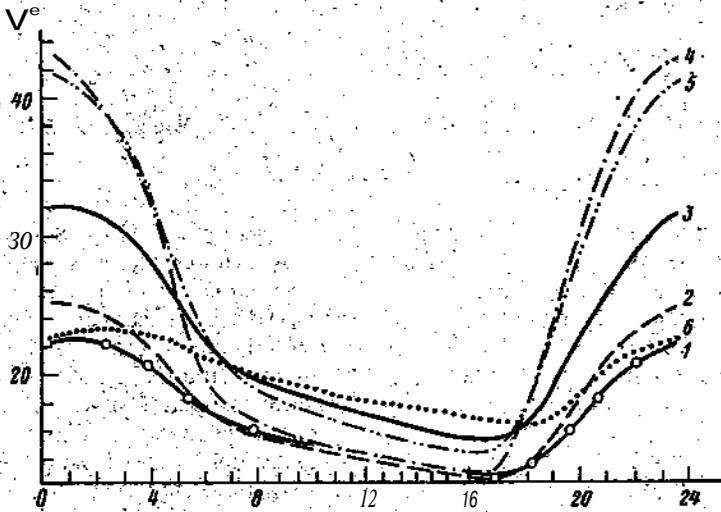


Рис. 1. Теоретический суточный ход температуры поверхности соляных покровов, при отсутствии испарения: 1-мирабилит $\rho=620 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \text{К})$, $A=0,89$; 2-пушенка мирабилита $\rho=440 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \text{К})$, $L=0,84$; 3-галит сухой $\rho=1900 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \text{К})$; $L=0,51$; 4-тенардит рыхлый с примесью гипса $\rho=370 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \text{К})$, $A=0,38$; 5-глина сухая $\rho=920 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \text{К})$, $A=0,35$; 6-температура воздуха на высоте 2 м над поверхностью. Условия расчета: 15 сентября, безоблачно, скорость ветра на высота 2 м над поверхностью 5,6 л/с, широта местности $\varphi=42^\circ$ (район г. Бекдаш).

пласта, а следовательно, и на температуру его поверхности большое влияние оказывает влажность приземного слоя воздуха. Так, на рис. 2 кривая 2 рассчитана для значения упругости водяного пара в воздухе $e=20$ мбар, характерного для расположенного на северо-западной оконечности залива Кара-Богаз-Гол г. Бекдаш в сентябре, а кривая 3 — для значения $e=10$ мбар, характерного для более удаленных от Каспийского моря территорий. Для одних и тех же значений температуры воздуха (рис. 2, кривая 4), скорости ветра, суммарной солнечной радиации и других входящих в модель параметров при низкой абсолютной влажности воздуха (рис. 2, кривая 3) температура поверхности увлажненного соляного пласта в течение всего суточного цикла меньше, чем температура поверхности сухого пласта. При достаточно высокой влажности воздуха (рис. 2, кривая 2) резкое понижение температуры увлажненной поверхности происходит только в дневное время. Ночью может происходить уменьшение, а затем и инверсия температурного контраста между сухой и увлажненной поверхностями. В результате при высоких значениях абсолютной влажности воздуха отсутствует критерий для распознавания на тепловых снимках (ТС) участков увлажнения соляного пласта, так как в этом случае суточный ход температуры испаряющей поверхности напоминает суточный ход поверхности с высокой тепловой инерцией. Напротив, при низких значениях упругости водяного пара в приземном слое воздуха (рис. 2, кривая 5) на ТС испаряющая поверхность должна проявляться как значительно более холодная как днем так и ночью, что может являться

На рис. 1 и 2 по осц абсцисс отложено местное солнечное время, отсчитываемое от момента прохождения Солнца через небесный меридиан.

дешифровочным признаком увлажненных участков. Поэтому ТКГ и ТАС увлажненных участков соляного пласта залива Кара-Богаз-Гол необходимо проводить при низких значениях абсолютной влажности воздуха.

С целью обоснования возможности применения ТКС для изучения строения и режима соляного пласта залива Кара-Богаз-Гол в 1975—1977 гг; в Кургузильской бухле этого залива/на «сухих» озерах Куули, Кель-Кор (Западная Туркмения), на соляных залежах Карашорской и Кумсебшенской впадин (Южный Устюрт) Лабораторией аэрометодов ПГО «Аэрогеология» МингеоСССР была проведена эксперименталь-

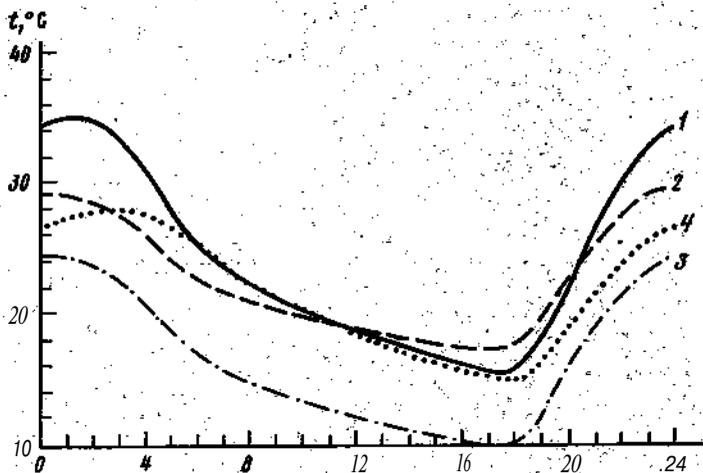


Рис. 2. Теоретический "суточный ход температуры поверхности палита: 1—воздушно-сухого; 2—с учетом испарения рассолов с поверхности пласта при упругости водяного пара в приземном слое воздуха $v=20$ мбар; 3—с учетом испарения рассолов с поверхности пласта при упругости водяного пара в приземном слое воздуха $e=10$ мбар; 4—температура воздуха на высоте 2 м над поверхностью. Условия расчета: 15 сентября, безоблачно, скорость ветра на высоте 2 м над поверхностью 4 м/с, концентрация испаряющихся рассолов 300 г/л NaCl, широта местности $\varphi=42^\circ$ (район г. Бекдаш)

ная ТАГ. Съемка выполнялась отечественным тепловизором с температурным разрешением $\Delta T=0,3\text{K}$ при температуре фона 293K.

На рис. 3 приведены дневной и ночной ТС, полученные над южной соляной залежью Карашорской впадины, представленной с поверхности очень плотным галитом белого цвета. Существенной особенностью этой соляной залежи является наличие холодной (темной на ТС) аномалии (рис. 3, а, б, участок 1), которая вызвана процессом испарения поверхностной рапы. При этом увлажненный участок характеризуется ни температурой поверхности как на дневном, так и на ночном ТС, что иллюстрирует отмеченную выше закономерность значительного понижения как в дневное, так и в ночное время суток температуры поверхности увлажненного соляного пласта в условиях низкой абсолютной влажности воздуха, характерной для Южного Устюрта в летне-осенний период года.

Участки соляной залежи, где уровень межкристалльных рассолов находится ниже уровня поверхности (рис. 3, а, б, участки 2 и 3), на ТС выглядят значительно более теплыми, чем участок 1. Незначительные изменения температуры поверхности в пределах этих участков соответствуют вариациям термических свойств солей в верхней части разреза, так как на дневных и ночных ТС наблюдается обычная инверсия температурных контрастов.

Окружающая соляную залежь соровая полоса (рис. 3, а, б, участок 4), сложенная суглинками, из-за низкого значения альбедо поверхности обладает как днем, так и ночью температурой более высокой, чем соляная залежь.

На рис. 4, я, б приведены дневной и ночной ТС участка Кургузульской бухты залива Кара-Богаз-Гол. На поверхности бухты лежит первый соляной пласт, образовавшийся до 1950 г. С поверхности пласт представлен: старосадкой и новосадкой галита. На отдельных участках отмечается рыхлый игольчатый тенардит с примесью гипса, пушенка мирабилита, залегающие на пласте мирабилита. Мощность первого соляного пласта достигает 1—1,2 м. Ниже повсеместно идут илы. В краевой части соляной пласт сильно разрушен,* разбит трещинами на полигоны. На поверхности первого

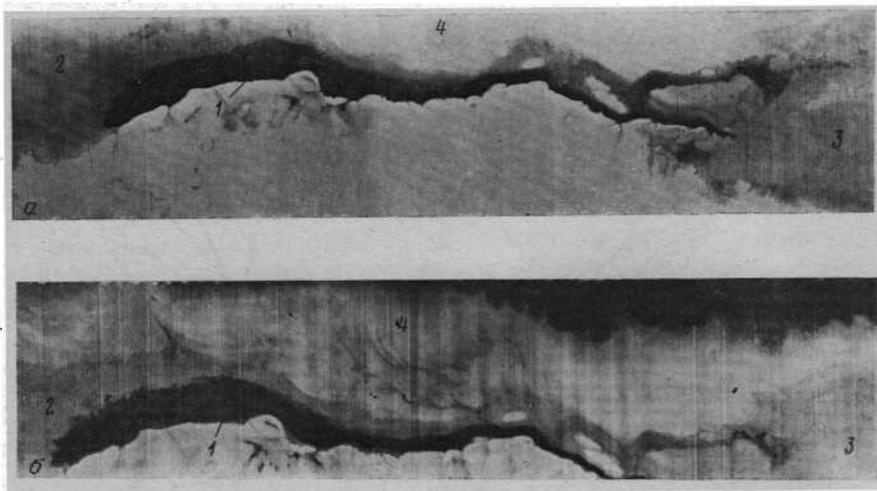


Рис. 3. Дневной (а) и ночной (б) тепловые аэроснимки масштаба 1:50000 южной соляной падежи Карашорской впадины (Южный Устюрт). Спектральный интервал 3,2–6,3 мкм (а), 1,8–5,3 мкм (б); местное солнечное время съемки 1 ч 35 мин, 8.IX 1976 г. (а), 8 ч 40 мин 8.IX 1976 г. (б); высота полета 2700 м; влажность воздуха $e=11$ мбар. 7-увлажненная поверхность галитового пласта, 2, 3-сухая поверхность галитового пласта, 4 - соровая полоса

соляного пласта прослеживается линейная депрессия — «протока», выполненная свежим галитом. Мощность и влажность* соли в пределах «протоки» повышена.

Анализ ТС показывает, что днем максимальную температуру в пределах соляного пласта имеет старосадка галита (рис. 4, в). Это объясняется ее сравнительно низкими отражательными характеристиками (альbedo поверхности $A=0,24$). В то же время из-за высоких термических свойств галита [6] он остывает медленнее, чем другие отложения, и поэтому загрязненная старосадка галита является наиболее нагретой в ночное время суток (рис. 4, б). В то же время увлажненный свежий галит, наблюдающийся в пределах «протоки», из-за высокого значения альbedo поверхности ($A=0,51$) и охлаждающего влияния испарения в дневное время имеет минимальную температуру (см. рис. 2). Следует отметить, что наиболее увлажненная часть «протоки» на дневных ТС проявляется в виде вытянутой холодной аномалии, приуроченной к верхнему (на снимке) борту «протоки». Повышенная влажность галита в этой части протоки может быть объяснена разгрузкой межкристалльных рассолов первого соляного пласта. В этом случае общее направление движения этих рассолов ориентировано со стороны берега к центру Кургузульской бухты. У

Ночью поверхность сухой новосадки галита, также обладающей высокими термическими свойствами, остывает столь же медленно, как и поверхность старосадки галита, тем не менее оставаясь холоднее последней. Кроме того, относительно высокая в ночное время температура поверхности увлажненной новосадки галита объясняется высокой влажностью воз-

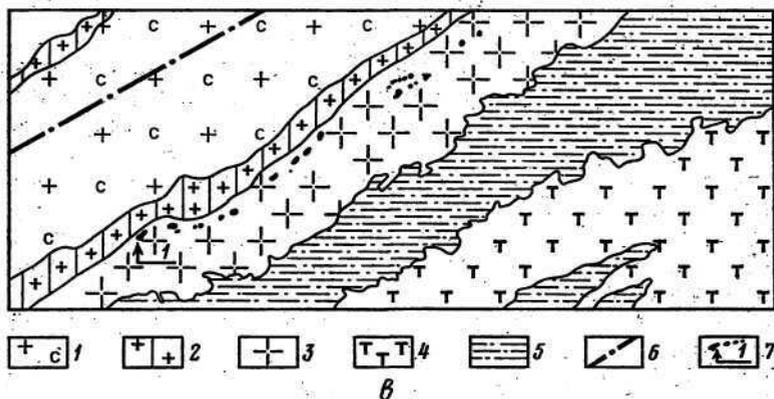
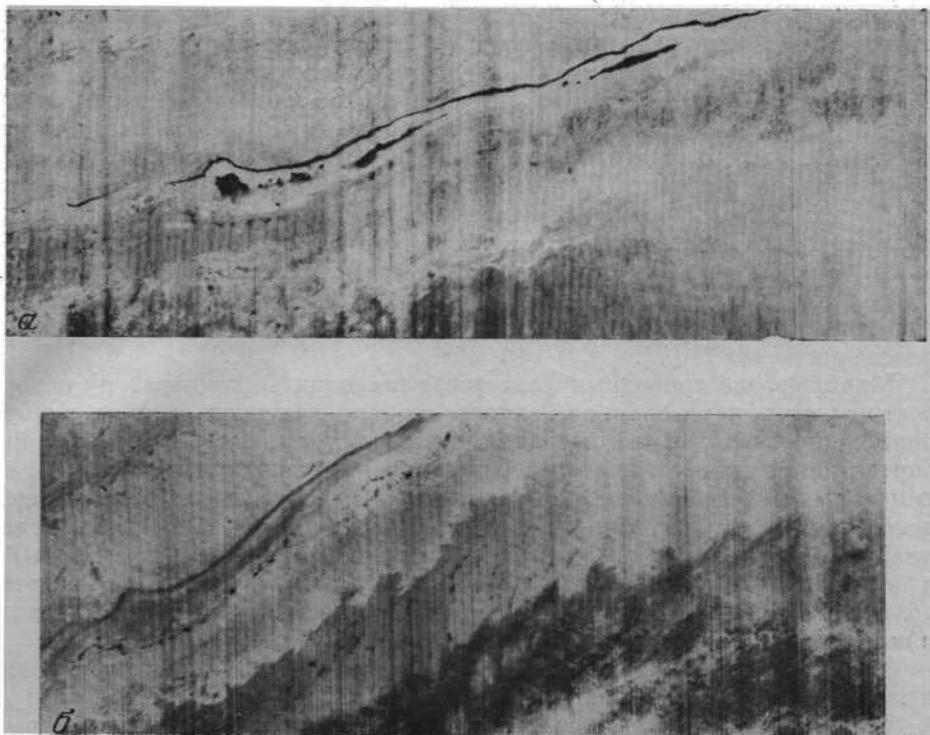


Рис. 4. Дневной (а) и ночной (б) тепловые аэроснимки масштаба 1:40000 и схема их дешифрирования (в) для участка первого соляного пласта Кургузульскобухты залива Кара-Богаз-Гол. Спектральный интервал 3,2-5,3 мкм (а), 1,8-5,3 мкм (б); местное солнечное время съемки 3 ч 30 мин 6.IX 1976 г. (а), 6 ч 30 мин 6.IX-1976- г. (б); высота полета 2200 м; влажность воздуха на высоте 2 м над поверхностью 23 мбар. На рис. в: 1 —галит старосадка; 2 —галит новосадка, влажный; # —разрушенный соляной пласт; 4 - тенардит рыхлый игольчатый с примесью гипса; 5 - суглинок сырой; 6 - трубопровод; 7 - локальные образования, выполненные тенардитом с примесью гипса, и точки наземных измерений температуры поверхности, термических и радиационных характеристик солей

духа в районе Кургузульской бухты, что, как было показано выше (рис. 2), уменьшает интенсивность испарения с поверхности соляного пласта в ночное время суток.

Особенно ярко по рисунку 4,6 иллюстрирует отмеченные выше (рис. 1) возможности TAG и ТКС по дистанционной индикации покровов, слрженных рыхлый игольчатый тенардитом. Тенардитовые отложения раеполо-

жены вдоль нижнего края «протоки» в виде цепочки незначительных по размерам пятен неправильной формы и в виде сплошного обширного покрова в правой нижней части ТГ. На аэрофотоснимках покровы тенардита отличаются по тону от новосадки галита. На дневном ТС тенардит выглядит более холодным на фоне продуктов разрушения соляного пласта (рис. 4, а). Это объясняется несколько более высокими значениями альбедо поверхности тенардита ($A = 0,29$). Вместе с тем благодаря исключительно низкой тепловой инерции, что обусловлено высокой пористостью, покров тенардита быстро остывает после захода Солнца и ночью имеет минимальную среди соляных покровов этого участка температуру поверхности. По данным наземных измерений, в предутренние часы контраст температур тенардита и разрушенного соляного пласта достигает 2° [7].

Многообразие природных факторов, влияющих на температуру поверхности соляных покровов и особенности их температурного режима, требует применения специальной методики проведения тепловой съемки, которая определяется выбором наиболее благоприятных природных условий и оптимальных режимов работы аппаратуры [7]. В этом плане ТКС обладает некоторым преимуществом перед ТАГ, так как имеется потенциальная возможность регулярного получения космических ТС залива Кара-Богаз-Гол в целом. На основе анализа данных наземных метеостанций из большого количества космических ТГ могут быть выбраны снимки, полученные в наиболее благоприятных условиях.

Таким образом, результаты теоретических и экспериментальных исследований позволяют сделать следующие выводы.

1. На поверхности соляных покровов различного состава, структуры и увлажнения при благоприятных погодных условиях возникают вызванные солнечным нагревом температурные контрасты, которые могут быть зарегистрированы современной тепловизионной аппаратурой, установленной на космическом носителе.

2. ТКС вместе с ТАГ и наземными обследованиями может быть эффективным средством изучения процессов испарения с поверхности соляного пласта залива Кара-Богаз-Гол, а следовательно, и его гидрологического режима.

3. Вследствие высоких изобразительных свойств температурного поля поверхности соляных покровов по отношению к их составу и структуре за счет наблюдения за сезонными изменениями состава соляного пласта залива ТКС может быть использована для наблюдения за гидрохимическим режимом залива.

4. ТКС может быть эффективной при изучении миграции солей в ходе процесса разрушения соляного пласта.

5. ТКС и ТАГ вместе с другими дистанционными методами изучения природных ресурсов могут быть источниками объективной оперативной информации о состоянии залива Кара-Богаз-Гол, необходимой при регулировании стока вод Каспийского моря в залив и управлении заливом как громадным промышленным бассейном.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блоха Я. Т., Федин В. П. Кара-Богаз-Гол — уникальная кладовая горнохимического сырья. — Разведка и охрана недр, 1980, № 4, с. 25-28.
2. Бышевский П. Д. Засоление земель. — В кн.: Исследование природной среды космическими средствами. География. Методы космической фотосъемки. Материалы советских ученых, представленные на совещание рабочей группы по исследованию природной среды с помощью космических средств. Вашингтон. — 8-12 мая 1972 г. Т. 4. М., 1975, с/ 34-37.
3. Антонова С. Ю., Кравцова В* И. Опыт использования космических многозональных снимков для изучения засоления территорий. — В кн.: Исследование природной среды космическими средствами. Геоботаника, геоморфология, почвоведение, сельскохозяйственные земли, ландшафтоведение; Доклады советских ученых на

- совещании специалистов социалистических стран по дистанционному зондированию Земли с помощью аэрокосмических средств. Москва, 8—14 октября 1975 г. М., 1976, с. 131-139.
4. *Гроховский Л. М., Гроховская М. А.* Поиски и разведка месторождений минеральных солей. М.: Недра, 1980. 162 с.
 5. *Шилин Б. В.* Тепловая аэросъемка при изучении природных ресурсов. Л.: Гидрометеоиздат, 1980. 247 с.
 6. *Горный В. И.* Теоретические предпосылки применения тепловой аэросъемки при изучении сухих соляных озер.- Докл. АН СССР 1978, т. 239, № 1, с. 158-162.
 7. *Горный В. Ж.* Опыт использования тепловой аэросъемки для изучения соляных покровов (на примере Западной Туркмении). ВИЭМС. Общая и региональная геология, геологическое картирование. М.: ВИЭМС, 1980; вып. 4, с. 5—8.
 8. *Дзэнс-Литовский А. И.* Соляные озера СССР и их минеральные богатства. Л.: Недра, 1968. 119 с.

Лаборатория аэрометодов ПГО
«Аэрогеология», Ленинград

• V Г^

Поступила в редакцию
24.XI.1980

KARA-BOGAZ-GOL STUDY BY INFRARED SURVEY GORNJV.I.

Results of theoretical and experimental study of salt stratum in the Kara-Bogaz-Gol bay and some dry salt lakes of the West Turkmenia by Infrared survey of thermal field are described. Significant dependence of daily surface temperature changes of moisted salt stratum from air humidity is shown. To substantiate satellite infrared imagery use for study of salt stratum in the Kara-Bogaz-Gol bay the infrared aerial images are given, illustrating high pictorial properties of surface thermal field relative to composition, structure and moisture of salts. The conclusion is drawn about prospect of space infrared imagery as a method to study hydrological and hydrochemical conditions of the Kara-Bogaz-Gol bay.

УДК 616:629.78

ДИНАМИКА ЭКОСИСТЕМ БАССЕЙНА АРАЛА ПО МАТЕРИАЛАМ КОСМОФОТОСЪЕМОК

САДОВ А. В.

Современная эволюция Арала заслуживает самого тщательного изучения. Возрастающий забор воды на нужды ирригации, все более прогрессирующее сокращение стока и уменьшение длительности паводков породили в бассейне Арала ряд сложных процессов, выходящих далеко за пределы Аральского моря/Если формирование экосистем на морском дне и в его ближайшем окружении явилось предметом большого числа обстоятельных работ [1—5], то изменения на территориях, окружающих Арал, исследованы пока в значительно меньшей степени. Это естественно, так КЕК для рассмотрения подобной задачи надо охватить исследованиями огромные пространства пустынь, окружающих сокращающийся морской бассейн. Между тем для решения вопросов охраны как геологической [6], так и биологической среды необходимо изучить весь комплекс происходящих изменений не только в очагах его возникновения — в дельтах рек и в море, но и во всем регионе. В работе [7] вся система Аральского бассейна разделена на акваторию, обсыхающее побережье, дельты рек и окружающую территорию. Одним из быстрых эффективных путей ориентировочной оценки динамики природных условий Приаралья является анализ космических снимков (КС). Он был произведен нами в 1979—1980 гг. по КС регионального и локального уровней генерализации и сопровождался вспомогательным выборочным дешифрированием аэрофотоснимков (АФС), наземными и аэровизуальными наблюдениями по опорным маршрутам.

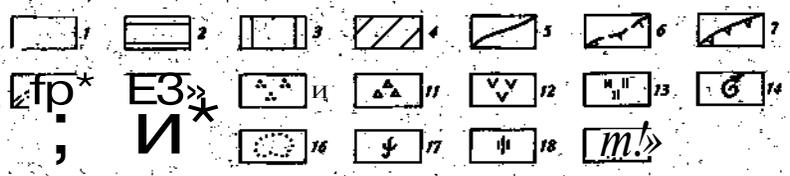
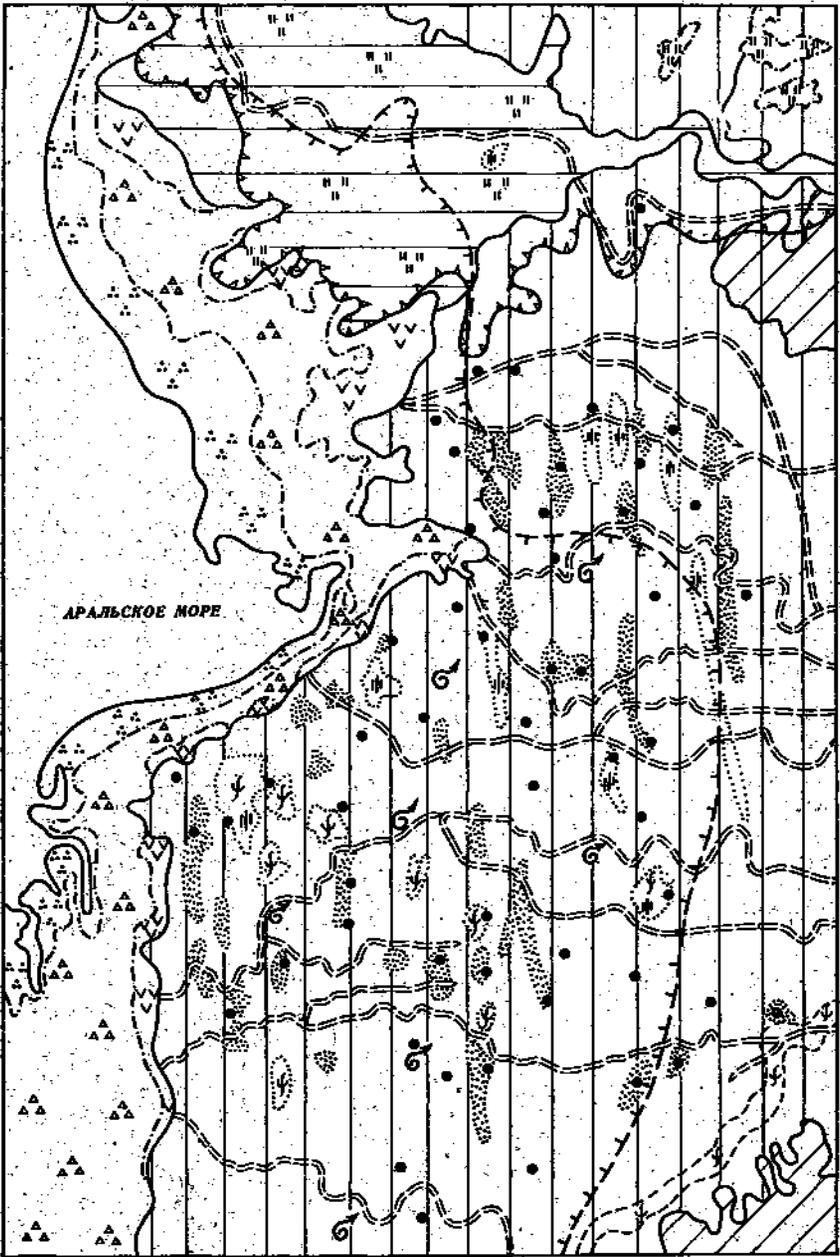
Территория Приаралья охвачена единым общим сложным процессом, который может быть назван процессом аридизации. Не вдаваясь в анализ причин и механизмов его течения, мы ставим перед собой более узкую задачу—проследить с помощью космофотометода ареал изменений природной среды вокруг Аральского моря, уделяя особое внимание непосредственным и опосредованным изменениям в поясах ближнего, дальнего и сверхдальнего воздействия [4].

Аральский регион может быть представлен как совокупность взаимосвязанных экосистем, образующих несколько закономерных рядов. Чтобы представить в полной мере те процессы эволюции природных условий, которыми охвачен сейчас этот регион, необходимо проследить их одновременно во всех группах экосистем. Решить эту задачу обычными методами можно или при наличии достаточно густой сети стационаров, или путем дистанционных исследований, и в первую очередь путем индикационного дешифрирования КС. В условиях Приаралья второй путь оказывается наиболее реальным. При этом нами последовательно рассматриваются различные группы экосистем, начиная от моря к удаленным от Арала возвышенностям. Достигнутые результаты позволяют утверждать, что сокращение площади водной поверхности Аральского моря сказывается на территориях, лежащих на значительном расстоянии от него (рисунок).

Непосредственные изменения природной среды в наибольшей степени обнаруживаются на территории морского побережья, занимающей низменности вблизи Арала. Здесь следует указать в первую очередь на образование в Приаралье солончаковых пустынь. Это — новообразованный тип экосистем, который ранее не отмечался. В настоящее время он легко обнаруживается на обсохшей части дна Арала по обширным площадям со светлым или белесовато-серым гомогенным или пятнистым фототоном (весной значительно более темным), хорошо видимым на КС. Солончаковая пустыня — одна из наиболее распространенных экосистем, созданных обсыханием Арала. Она представляет собой плоскую первичную морскую равнину, сложенную песками и супесями с близким залеганием высокоминерализованных (до 50 г/л более) грунтовых вод. Выделяется несколько этапов процесса формирования солончаковой пустыни на обсохшем дне южной части Аральского моря [2].

Первым этапом является развитие однолетних галофитов на только что обсохшей поверхности, что свидетельствует о хлоридном засолении; вторым — возникновение смешанных зарослей сочных безлистных солончаковых полукустарников — сарсазана, карабарака и поташника, указывающих на хлоридно-сульфатное засоление. Третий этап характеризуется возникновением фитогенных бугров с тамариксом, где наблюдаются процессы дефляции и частичной аккумуляции солей. Все эти этапы вполне четко различимы на КС. Первый обнаруживается по равномерному потемнению фототона обсохшего дна (что вполне отвечает равномерному распределению галофитов). Вполне развитая солончаковая пустыня имеет вид белесоватого фона с неясной более или менее групповой точечностью. Она отвечает скоплениям то более крупных, то более мелких фитогенных кочек. Кустарниковые тамариковые заросли видны непосредственно как таковые в виде темных, более или менее зернистых участков. Расположение кочкарника и фитогенных бугров имеет важное значение для обнаружения очагов солевой дефляции, которая развита в данной экосистеме очень широко. Многократная перекристаллизация солей при сменах увлажнения и обсыхания солончаковой корки разрыхляет ее и обуславливает формирование рыхлой соляной пыли, легко выносимой ветром. Такие участки опознаются по своеобразному бугристому фитогенному рельефу. Располагаясь вблизи от культурных угодий, они могут служить источником солевой импультверизации их и снижать урожайность посевов. КС позволяют выявить те участки солончаковой пустыни, которые наиболее нуждаются в фитомелиорации.

Однако КС позволяют проследить и значительно более сложный процесс, а именно постепенное замещение солончаковой пустыней гидроморфных экосистем, существовавших ранее на южном берегу Арала. Это касается в первую очередь солончаковой деградации тугайных экосистем и экосистем типа джангилей, т. е. крупнотравных зарослей (тростниковых, рогозовых и камышовых). Она выражается в формировании среди них огромного числа мелких засоленных участков. Первоначально, насколько позволяют заметить КС и АФС, очаги засоления создаются там, где естественные тугайные экосистемы или разрежены, или уничтожены человеком. На таких участках прекращена или заторможена транспирационная деятельность растительного покрова и создаются условия для капиллярного поднятия солевых растворов. Способствуют этим процессам создаваемые человеком скопления вынутаго и перемещенного грунта — насыпи, дамбы, грунт, вынутый из каналов и образовавший отвалы вдоль них, скопление материала, возникшего при чистке каналов. На КС все эти техногенные элементы экосистем видны с предельной четкостью и хорошо заметна их характерная галогенная осветленность. Она распространяется и вокруг насыпей, наглядно демонстрируя процесс выноса солей и миграции их по окружающей территории. В дальнейшем засоленные площади расширяют свою территорию за счет соседних экосистем, в которых под влиянием со-



ленакопления начинают выпадать популяции наименее солеустойчивых видов. Этот процесс проявляется на КС в форме просвечивания, через ярусы травяной и кустарниковой растительности светлых-напочвенных солевых ладетов, которые появляются в усыхающих тугаях, в гибнущих тростниковых плавнях, в понижениях песков. В конечном счете на месте существовавших здесь разнообразных экосистем формируются разные варианты солончаковой пустыни, отличающиеся лишь по реликтам, сохранившимся от природной обстановки недавнего прошлого.

В солончаковой пустыне значительная роль принадлежит реликтовым экосистемам — сохранившимся фрагментам тростниковых плавней на морском дне и песчаной пустыни — на бывших островах. Высокие тростники дают сложный рисунок из пятен разного размера, сильно жаменчивых по форме и обладающих интенсивно TeMkbiM фототонном. Песчаная же пустыня выделяется отдельными осветленными изолированными площадями с неясно заметной ячеистой структурой.

Опосредованные изменения природной среды под влиянием сокращения акватории Арала наблюдаются в экосистемах древних аллювиально-дельтовых равнин. Они представляют собой пологонаклонные поверхности с многочисленными ложбинами временного стока, сложенные аллювиальными песками, суглинками, супесями и глинами;

Здесь в результате отступления моря произошло резкое понижение уровня грунтовых вод или полное дренирование территории. На огромных водораздельных пространствах развивается процесс аридизации. Он выражается в первую очередь в надвигании песков на такыры и такыровидные поверхности. На КС этот процесс хорошо заметен по изменению рисунка последних за счет приобретения гомогенными изображениями такыров некоторой мозаичности. Выделяют несколько стадий процесса: заселение такыров биоргуном, формирование эоловых микррбугррков около него, слияние их в песчаные «рстовки», образование перемычек между ними, возникновение системы песчаных выносов, погребавших такыр [8]. На КС надежно дешифрируются лишь три последние стадии, т. е. те, на которых уже существует хотя бы и прерывистый, но оформившийся несчаный нанос. Первые же две стадии обнаруживаются значительно менее надёжно по потемнению фототона такырных массивов. Причины этого процесса представляются следующими. На древнеаллювиальной равнине рассеяно много мелких изолированных массивов песков (Муллалы, Мунаракудуш Байтерек и др.). До недавнего времени они были значительно закреплены. После ухода аральских вод на большое расстояние от берега и снижения уровня грунтовых вод совокупность новых экологических условий вызвала отмирание растительности и переход песков в полуподвижное состояние. Так началось перераспределение песчаного материала по равнине. Сравнение, современной ситуаций (осуществленное нами для Жанадарьинской равнины) с описаниями прошлых лет [9, 10] показало, что ни в XIX, ни в 50-х годах нашего века процесса надвигания песков не

Схема дешифрирования космofотоснимка Восточного Приаралья. Экосистемы: 1 — первичная морская равнина; 2 — современная аллювиальная и аллювиально-делювиальная равнина; 3 — древнеаллювиальная и озерно-аллювиальная равнина; 4 — древнеаллювиальная равнина с останцовыми поверхностями; 5 — границы экосистем; 6 — граница выраженного влияния снижения уровня моря на окружающую среду; 7 — границы мелиоративного влияния; 8 — древние сухие русла; 9 — границы площадей с развитием различных процессов; 10 — хлоридное соленакопление на обсохших участках морского дна с поселением однолетних галофитов; 11 — хлоридно-сульфатное соленакопление, образование соляных корок и солевая дефляция на участках формирования фитогенного кочкарника с сарсазаном и поташником; 12 — дефляция и частичная аккумуляция солей на участках формирования фитогенных бугров в тамариксом; 13 — вторичное засоление мелиоративных земель; 14 — участки возобновления перевевания песков; 15 — фонтанирующие скважины; 16 — границы при-«скважинных участков с развитием комплекса антропогенных процессов; 17 — развитие фриатофитов; 18 — образование солончаков; 19 — активная дефляция песков

отмечалось. В настоящее время ориентировочный подсчет по КГ площадей, затронутых им, показывает, что последние составляют в разных частях Жанадарьинской равнины от 50 до 6% всех такыровидных поверхностей. Остается не вполне ясным, не будут ли происходить аналогичные процессы на южной границе Жанадарьинской равнины, где она контактирует с песками Кызылкума. Здесь на КС видны отдельные вытянутые участки песков, которые могут быть интерпретированы как результат продвижения их на равнину, однако они выглядят более или менее закрепленными, и поэтому нет доказательств их недавнего происхождения.

В группе экосистем древних аллювиально-дельтовых равнин влияние сокращения акватории Арала и снижения уровня грунтовых вод несколько замаскировано тем, что в результате хозяйственной деятельности человека по многим староречьям пропущены воды (главным образом сбрасываемые после полива). Это обуславливает пышное развитие вдоль таких русел гидроморфных экосистем — черносаксаудьников и тугаев. Чисто физиономически это создает впечатление даже некоторого улучшения условий увлажнения. Оно еще более усиливается формированием озер, солончаков или солончаковых <гакыров около самоизливающихся скважин. Вблизи таких скважин в песчаных массивах формируются озера, которые окружены тростниковыми зарослями и группами тамарисков. Эпизодически около них встречаются деревья. В тех случаях, когда озера используются для водопоя, вблизи них концентрируется значительное поголовье скота, что ведет к разбиванию песков и образованию вокруг скважин колец (барханов, лишенных растительности. В другом случае, если озеро не используется для водопоя, оно заболачивается, и вокруг него появляются многочисленные пятна солончака. Около скважин, расположенных на глинистых поверхностях, формирование озер происходит значительно чаще. В отдельных случаях вода, скапливающаяся около скважины, находит себе путь для стока и размывает прилегающие участки. Если этого не происходит, то вокруг скважин формируются крупные озера, массивы солончаковых такыров или солончаков. Представляется целесообразной разработка системы мероприятий, обеспечивающих полноценное использование вод фонтанирующих скважин для обводнения пастбищ. Очевидно, в эту систему должны быть включены как меры, регулирующие и отчасти ограничивающие самоизлив, так и меры, создающие оптимальную концентрацию поголовья в районах расположения фонтанирующих скважин.

Иная картина наблюдается в экосистемах дельтовых равнин, низкой и высокой пойм рек Амударья и Сырдарья. Их плоские поверхности с участками закрепленных и подзакрепленных песков заняты под массивы орошения с многочисленными рукавами, протоками и ирригационными сооружениями. Эти территории выделяются на КС по геометрически правильному рисунку мелиоративной сети и белесоватым расплывчатым пятнам с нечеткими границами участков вторичного засоления на массивах орошения. Здесь резкие изменения природной среды обусловлены главным образом ирригационно-мелиоративными воздействиями, которые с избытком компенсируют влияние, связанное со снижением уровня Аральского моря.

Опосредованное изменение природной среды обнаруживаются также же при анализе экосистем останцовых возвышенностей, рассеянных среди дельты Амударья и Сырдарья и среди северной части песков Кызылкум. Наиболее отчетливо прослеживаются процессы опустынивания на возвышенностях Кутканатау и Кызылджар. На КС здесь заметна неравномерная расплывчатая пятнистость в сочетании с редкими группами мелкого осветленного крапа, немногочисленными довольно крупными темными пятнами и осветленными полосками. Аэровизуальные наблюдения и эпизодические наземные посещения позволили обнаружить, что наиболее темные и наиболее светлые участки отвечают выходам коренных пород (в первом случае покрытым «пустынным загаром», во втором — сохранившим свою естественную окраску). Участки с расплывчатой пятнистостью и в осо-

бенности со светлым крапом (более четко прослеживающиеся на аэро-фотоснимках) отвечают пестрым комплексам песков, находящихся в разной степени закрепления, с большим числом молодых очагов дефляции. Наземное исследование этих очагов показало, что еще недавно они были более или менее закреплены кустарниками и полукустарниками, встречающимися на пылеватых, обогащенных мелкоземом песках (боялыч и различные полыни), а в настоящее время или совсем обнажены, или заселены пионерами-псаммофитами (джузгун, седин, эremosпартон). Непосредственно на этих участках удается обнаружить отмершие экземпляры растений, обитавших здесь ранее, когда грунт был более закреплен, что свидетельствует о молодости процесса дефляции. Следов интенсивного выпаса (густой сети троп, сбитых и сравненных участков) здесь нет, так как на описываемых возвышенностях почти нет колодцев и пастбищное использование их ограничено. Остается предположить, что на описываемых территориях идет сокращение уже сформировавшихся умеренно ксероморфных экосистем закрепленных песков крайними псаммофитными экосистемами; индикатором, этого процесса являются преимущественно фитоценозы.

На склонах возвышенности Крантау и ее окрестностей на КС удается проследить (подтвердив это аэровизуальными наблюдениями) более высокое гипсометрическое положение влаголюбивой тугайной растительности, усохшие реликтовые фрагменты которой сохранились выше ее современной верхней границы. В настоящее время площади эти заняты бйоргуновой глинистой пустыней.

Аналогичная направленность процессов может быть прослежена и на возвышенностях, лежащих значительно южнее, в частности в хребте Султануиздаг. По ряду работ, характеризовавших природные условия Султануиздага в недавнем прошлом, было известно, что условия северного склона этой возвышенности являются значительно менее аридными, чем условия южного. Это представлялось вполне естественным. В частности, у подножия северного склона Султануиздага отмечается существование своеобразных сухостепных экосистем, не свойственных Средней Азии, но типичных для более северо-западных регионов Прикаспия и Нижнего Поволжья: Их наличие подчеркивает мягкость условий, которые еще недавно тут господствовали. С этим же связано присутствие на северном склоне ряда своеобразных естественных оазисов, сформировавшихся около многочисленных родников (Князь-Булак, Беш-Мазар и др.). Гидроморфные экосистемы, возникшие здесь, были описаны в литературе [11]. В настоящее время эти экосистемы находятся в состоянии глубокой деградации и на КС практически незаметны, хотя на АФС прошлых лет они могут быть отдешифрированы с достаточной точностью. Наземный анализ структуры реликтов деградировавших экосистем позволяет утверждать, что исчезновение специфического рисунка их на АФС и КС обусловлено: а) иссушением родниковых болот; б) усыханием небольших древесных рош (места их можно заметить лишь по немногим пням); в) замещением растительности сухой предгорной степи полупустынными и пустынными фитоценозами. Особенно обращает внимание то, что очень редкие и малочисленные оазисные экосистемы на южном склоне, в целом более засушливом, сохранились (хотя они несравненно меньше по площади и беднее биогеоценологически, чем их аналоги на северном склоне). Подтверждением этой аномальной аридизации северного макросклона является также иссушение и разрушение лишайниковых ковров (обычно типичных для теневых склонов гор в пустыне), что отражается в ненормально осветленном фототоне обнажении. С удалением в глубь песков Кызылкума эти явления затухают, и уже в Букантау распределение экосистем по склонам северной и южной экспозиции вполне обычно.

Территория, лежащая к западу от Арала, по физиономическим особенностям кажется менее подверженной процессам, вызванным его усыханием, так как здесь общая аридизация накладывается на иной экологиче-

скин фон (глинисто-Щебнистой пустыни Устюрта, которая достаточно обогащена галогенными экосистемами в своем естественном состоянии). Поэтому наложение на них новых процессов соеденения лишь несколько усиливает галломорфность их облика, но не меняет его. Однако в тех случаях, когда в пустыне встречаются элементы менее ксероморфного облика, они оказываются высокочувствительными к аридизации. Это наглядно демонстрируют чинки (обрывы) Устюрта. Вдоль аральского чинка Устюрта по контакту известняковой-мергельной толщи и подстилающих ее глин располагается полоса гидрогенной экосистемы, связанной с сарматским водоносным горизонтом. Ее выраженность усиливается наложением на отдельные ее отрезки влияния вод, накапливающихся в коллювии и обуславливающих появление отдельных естественных оазисов. Наиболее известный из них Улежит у колодца Касарма. Характерную черту всех этих экосистем составляет развитие сомкнутой влаголюбивой растительности со значительным участием гигантских злаков — чия и тростинка.

На АФС десятилетней давности и в особенности на перспективных снимках гидрогенные экосистемы чинков были видны как интенсивно темные полосы, вытянутые по контакту пород разного возраста и расширяющиеся в местах нахождения оазисов. На современных КС полоса эта прослеживается очень слабо к неопределенно. Это связано с иссушением влаголюбивой растительности и, в частности, с сильным сокращением чиевников. Наиболее значительной деградации подверглись оазисы, связанные с водами в коллювии, формирование которых находится в зависимости от особых условий влажности, создаваемых на чинке морем. В частности, сильной деструкции подвергся оазис Касарма, где обсохли родниковые болота, погибла большая часть кустарниковых зарослей. Вдоль чинка, от Кабанбай до Касарма, существовавшие; здесь озера древратились в мокрые или в пухлые солончаки. Гибель ряда кустарников, скреплявших склоны, привела к активизации мелких оползней, оплывин и к образованию осыпей. Таким образом, на чинке можно заметить много перемен, вызванных влиянием сокращения площади Арала. Однако при переходе от чинка к плоской поверхности плато влияния эти становятся практически незаметными ни на местности, ни на КС. На огромных площадях развит, однообразный комплекс фрагментов различных экосистем то пустынного, то полупустынного характера. Не только анализ КС, но даже и детальное наземное профилирование не обнаруживает никаких существенных различий той части этих комплексов, которая прилегает к приморскому чинку, и той, которая располагается во внутренних частях Ц.А.р.

В Северном Приаралье общие процессы аридизации проявляются не так резко, как на юге. При этом пораженность ими разных экосистем различна. Мы имели возможность сравнить в этом отношении две группы экосистем: пески (Большие и Малые Барсуки с прилежащими к ним лесками Аяк-Кум) и гипсовую пустыню на глинах (слагающую возвышенности Бель-Арал, а также возвышенности по берегам залива Гше-Бас и лагуны Чеганка). Последняя Группа экосистем не обнаруживала каких-либо изменений. На анализ КС, ни наземные исследования не вскрыли каких-либо различий во внешнем облике гипсовой пустыни по мере удаления от моря и в почвах, ни в повторяющихся формах рельефа, ни в растительности. Иное положение имело место в песках; Здесь дистанционные методы обнаруживали широкое распространение своеобразного явления, которое может быть названо перемешиванием микроэкосистем котловин выдувания с сообществами фреатофитов. Эти микроэкосистемы широко распространены в песках Северного Приаралья и носят там название «чуроты»! чуроте центр дефляционной котловины занят зарослями влаголюбивых кустарников и высокотравья, из которого наиболее обилён тростник. При стабильном состоянии чурота эти его компоненты могут сохраняться в центре котловины неопределенно долго. Если же це-

«х» приходит в движение, то заросли влаголюбивых экранируют ветро-песчаный поток и около них начинает аккумуляроваться песок. В итоге растительность оказывается полузахороненной песком, а рядом формируется новая котловина выдувания, на склонах которой видны заросли тростника, а иногда тополь и ива, наполовину погруженные в песок. - Процесс этот подробно описан в литературе [12]. Активизация его означает переход закрепленных песков в подвижное состояние. По аномальному рисунку чуротов со смешанными зарослями фреатофитов процесс этот хорошо опознается аэровизуально, а иногда прослеживается и на КС. Наблюдая его широкое распространение в песках, мы могли заключить, что аридизация коснулась и их, вызвав частичное отмирание и разрушение травостоя на грядах и буграх, окружающих «чуроты», и способствуя их перемещению,

Непосредственно вдоль морского берега идет формирование солончаковых пустынь на обсохшем дне моря. Наиболее интенсивно оно протекает в замкнутых лагунах, большинство которых превратилось в пухлые солончаки. В них развивается солевая дефляция. Она хорошо заметна по мозаичной пятнистости поверхности солончаков на АФС, возникающей под влиянием чередования ненарушенных и выдутых участков.

Рассмотренный материал позволяет сделать некоторые общие выводы.

1. Анализ изображений бассейна Арала на КС позволяет оценить современное состояние природной среды региона с учетом его хозяйственного состояния и степени нарушенности.

2. Характер и степень изменения природной среды определяются по проявлениям процессов, протекающих в природной системе. Решающим для обнаружения того или иного процесса на КС и АФС является эхофон, т. е. совокупность экологических и физиономических черт данной природной системы. При этом наибольший эффект достигается в тех случаях, когда эхофон и накладывающийся на него процесс контрастируют друг с другом. Так, процесс аридизации, накладываясь на экстремальные пустынные условия плато Устурта или гипсовой дустыни Северного Приаралья, не дает характерных физиономических изменений, которые позволили бы его обнаружить. На песках и на адлювиальных дельтовых закрытых равнинах он проявляется умеренно, но вполне отчетливо. Наконец, наивысшего выражения он достигает, накладываясь на гидроморфные экосистемы морских побережий и дельты Амударьи. Отсюда следует, что для индикационного дешифрирования того или иного процесса на материалах дистанционных съемок необходим предварительный анализ эхофона, т. е. разложение изучаемой территории на элементарные экосистемы и выбор для дешифрирования тех из них, которые в экологическом отношении являются наиболее контрастными по отношению к индицируемому процессу.

3. Анализируя структуру рядов экосистем, находящихся свое выражение на КС, можно проследить закономерности как естественной, так и антропогенной эволюции природной среды, а использование разновременных снимков позволяет получить информацию о динамике таких изменений.

4. Анализ КС открывает большие возможности для дальнейших прогнозных построений. Используя в качестве основы карты проектов народнохозяйственного освоения территорий и нанеся на них вероятные контуры развития описанных выше антропогенных процессов, возникающих под влиянием тех или иных причин, можно построить прогнозны карты эволюции территории.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабаев А. Г. Охрана природы Аральского бассейна - проблема государственной важности. Проблемы освоения пустынь, 1979, № 2, с. 3-7.
2. Бахцев А. Растительные индикаторы засоленных почв и грунтовых вод в дельте Амударьи. Ташкент: ФАН, 1979. 129 с.

3. Бахиев А., Буто* К. Н., Таджитдинов М. Т. Динамика растительных сообществ юга Приаралья в связи с изменением гидрорежима Аральского моря. Ташкент: ФАН, 1977. 84 с.
4. Курочкина Л. Я., Ишанкулов М. Ш., Корниенко В. А. О границах: воздействия уровня Аральского моря на окружающую среду.—Проблемы освоения пустынь, 1979, №2, с.25-33.
5. Кибулов С. К. Изменение экосистем Южного Приаралья в связи с понижением уровня Аральского моря.—Проблемы освоения пустынь, 1979, № 2, с. 78-84.
6. Сергеев Е. М. Инженерная геология — наука о геологической среде.—Инженерная геология, 1979, № 1, с. 3-19.
7. Боровский В. М., Корниенко В. А. Современные аспекты проблемы Аральского моря.—Проблемы освоения пустынь, 1979, № 2, с. 7-12.
8. Илюшина М. Г. Применение прогнозной индикации при изучении эволюции некоторых пустынных ландшафтов.—Тр. Моск. о-ва испыт. природы, 1970, т. 36, с. 40-48. =
9. Трен А. Н. Экспедиция для исследования реки Джанадарья. СПб., 1863. 88 с.
10. Пелт Н. Н. Земли древнего орошения Джанадарьинской среднеаллювиальной равнины.—Изв. Всес. геогр. о-ва, 1961, т. 83, вып. 3, с. 277-1290.
11. Викторов С. В. Аэроландшафтная индикация последствий деятельности человека в пустынях. М.: Недра, 1973. 58 с.
12. Востокова Е. А., Абросимов И. К., Новикова Н. М. Заращение песков при неглубокозалегающих грунтовых водах в массиве ДОуюнкум (Сев. Приаралье).— Проблемы освоения пустынь, 1970, № 1, с. 3-9.

Всесоюзный научно-исследовательский институт гидрогеологии и инженерной геологии, Москва

Поступила в редакцию
24.XII.1980

THE ARAL BASIN ECOSYSTEMS DYNAMICS ACCORDING TO SPACE IMAGERY

SADOV A.V.

Possibilities and methods of studying changes in the Aral basin and adjacent areas environment are characterized on the basis of space imagery interpretation. Analysis is carried out by ecological interpretation including identification of ecosystems spatial boundaries, estimation of their stability to anthropogenic effects and revealing changes in them.

УДК 551.49:629.78

ОПЫТ ИНФОРМАЦИОННОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ В ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

БУРЛЫШИН М. И., КОЛОСКОВА В. Н.

Космические снимки (КС) широко используются в различных научно-исследовательских и производственных геологических организациях [1]. Внедрение КС в практику производственных работ должно основываться на объективном количественном сравнении работ, проведенных с применением КС и без них. Такое сравнение позволит правильно определить место КС в общем комплексе материалов, использующихся при съемке и поисках, и способствовать повышению их эффективности. Под термином «эффективность» в данной работе понимается суммарный положительный эффект, достигаемый улучшением или убыстрением съемки и поисков и уменьшением стоимости их получения. Использование КС оказывает влияние как на продукцию или результат исследования, так и на методику ее получения.

Рассмотрим сначала оценку влияния КС на результат картирования. В настоящее время основным результатом любых геологосъемочных работ является карта, поэтому, сравнивая содержание карт, построенных с использованием КС и без них, можно оценить влияние КС на результат съемки.

В опубликованной литературе оценка возможностей КС наиболее часто производится на информационной основе [2]. Обычно под понятием информативности КС понимается совокупность сведений, получаемых при их обработке. По возможностям оценки информации можно подразделить ее на качественную и количественную. Большую часть извлекаемой из КС информации носит качественный характер. В силу ее субъективности эту часть информации трудно использовать для оценки возможностей космических снимков в отражении геологических и гидрогеологических условий территории. Более объективные данные можно получить при сравнении информации, записанной в цифрах или представленной в виде графиков и формул. Перевод информации в количественную форму значительно обедняет ее содержание, зато повышает объективность сравнения и дает возможность применить при ее оценке математический аппарат. В настоящей работе рассматривается количественная сторона информации КС. При этом сам снимок, а также схемы его дешифрирования рассматриваются как канал связи между природными объектами на местности и наблюдателем.

КС в этом случае является совокупностью закодированной информации о природных условиях местности, поступающей в канал связи. В процессе прохождения этой информации по каналу связи происходит последовательное ее преобразование. Сначала выделяется информация о физиономических компонентах ландшафта. Потом происходит систематизация этой информации и преобразование ее в форму, индицирующую геологические и гидрогеологические условия. При выходе информации из канала

связи происходит окончательное ее раскодирование и оформление в виде геологической или гидрогеологической карты; В соответствии с особенностями преобразования информации можно выделить три основных уровня ее оценки.

На первом уровне (КС) происходит оценка способности изучаемого канала связи пропускать информацию о всех существующих на местности природных объектах. На втором уровне (индикационные схемы) оцениваются только свойства компонентов и элементов ландшафта, связанные с изучаемыми объектами. На третьем уровне (геологические карты) характеризуется возможность канала связи в пропускании свойств, непосредственно отражающих геологические и гидрогеологические условия.

Такой подход к оценке КС позволяет использовать для ее подсчета математический аппарат теории информации, разработанный для оценки пропускной способности канала связи [3].

Логическое обоснование использования формул теории информации при подсчете ее объема-содержится в работе [4]. Оценка информации связывается с разнообразием сведений/Трактовка количества информации как количества разнообразия позволяет объяснить введение логарифмической меры. При этом разнообразие может быть измерено как число различных элементов и как логарифм этого числа. Введение логарифмической меры- для оценки качества информации, содержащейся на картах, соответствует интуитивным представлениям о снижении информационной ценности каждого, из картируемых объектов по мере возрастания их общего числа

Ц настоящей работе была сделана попытка количественно сравнить гидрогеологическую информацию карт, полученных в процессе полевой съемки и дешифрирования КС на территории Северо-Западного Устьярта. КС использовались здесь для изучения гидрогеологических условий в зоне проектируемого канала для переброски стока Северных рек в южные районы. На картируемой территории располагаются три типа ландшафта: плато, песчаные массивы и бессточные солончаковые впадины.

Подземные воды верхнего водоносного горизонта, заключенные в толще сарматских известняков; движутся от участков поднятий к прогибам, постепенно уменьшая глубину своего залегания от 30—40 до первых метров. Одновременно: меняется химический состав вод: от гидрокарбонатного до сульфатного и сульфатно-хлоридного, и минерализация — от солоноватых до рассолов. Перечисленные свойства, отраженные на схеме дешифрирования КС и гидрогеологической карте, полученной в процессе полевой съемки, послужили основанием для сравнения информации этих карт.

Количественное выражение информации карты включает в себя два этапа. На первом этапе графическое изображение схемы переводится в цифровую форму, да втором — производится собственно оценка информации. Началом первого этапа оценки является составление (на основе легенды) таблицы, в которой записываются все геологические объекты, их свойства и градации этих свойств. Затем на карте производится подсчет количества объектов каждого вида и осуществляются замеры оконтуривающих их границ. Уже после проведения первого этапа можно сделать интересные выводы о разнице в информации гидрогеологических карт, в детальности отображения гидрогеологических объектов в зависимости от ландшафтных условий. Информация КС по сравнению с существующими картами возрастает на участках распространения песков и бессточных впадин, индицирующих зоны новейших/прогибаний. Увеличение детальности касается прежде всего глубины залегания грунтовых вод. На-схеме, составленной по КС, можно выделить четыре градации, а на карте, составленной по результатам наземных исследований, — три. На участках плато, совпадающих с современными поднятиями, наоборот, более детальную информацию дают наземные методы исследования соответственно второй и третьей градаций; Еще более отчетливо прослеживается различие в де-

10—15 км, не выраженные в значениях r_k , легко дешифрируются на КС. Дешифрирование КС также позволило выявить площади с относительно близким (до 10 м) расположением грунтовых вод. При постановке на них ВЭП с разносами электродов 250 и 500 м на графике значений r_k получалась практически горизонтальная линия, на которой нельзя выделить зоны повышенной трещиноватости. На КС зоны трещиноватости на этих площадях выделяются даже более уверенно, чем на остальных, за счет появления на них вытянутых солончаков или сгущения фреатофитовой растительности, свидетельствующей о повышенной обводненности этих зон. Общее сокращение объемов электроразведочных работ от использования КС для выделения зон повышенной трещиноватости достигает 50—60%. Оно достигается за счет выявления площадей с близким расположением грунтовых вод, на которых постановка электроразведочных работ не позволяет обнаружить зоны повышенной трещиноватости, и путем замены картирования с помощью геофизических методов — дешифрированием КС с последующей проверкой геофизическими работами.

Сопоставляя результаты проведенного исследования с основными тенденциями в применении КС в геологии [1, 6], можно сделать следующие выводы об основных путях использования КС для повышения эффективности гидрогеологических работ и возможности информационного подхода для оценки эффективности.

1. КС вне зависимости от природных условий могут явиться основным дистанционным Материалом для проведения среднемасштабной гидрогеологической съемки на относительно обширных площадях (6—12 съемочных листов). Использование КС вместо крупномасштабных аэрофотоснимков существенно уменьшает время и стоимость проведения камерального (предполевого и послеполевого) дешифрирования за счет уменьшения количества снимков и невыраженности на них мелких форм рельефа, не связанных с гидрогеологическими условиями, но значительно усложняющих процесс дешифрирования.

2. Место КС в общем комплексе используемых при гидрогеологической съемке материалов тесно связано с природными условиями. В районах с близко расположенными от дневной поверхности подземными водами КС несут большой объем информации. Материалы других видов исследований здесь в большей степени могут использоваться для проверки полученной от КС информации. В районах с глубоко расположенными грунтовыми водами информация КС резко уменьшается. Большое значение приобретает здесь не собственно гидрогеологическая информация, а геолого-структурная, особенно информация о дизъюнктивных нарушениях, служащих коллекторами подземных вод в пределах одного горизонта или зонами связи нижерасположенных горизонтов с верхними. Соответственно КС могут использоваться для переинтерпретации имеющейся гидрогеологической информации материалов других видов исследований.

3. При решении народнохозяйственных задач, связанных с изучением первого от поверхности водоносного горизонта, например при проектировании трасс каналов, гидрогеологические карты, составляемые на основе дешифрирования КС и небольшого объема наземных работ, могут использоваться самостоятельно и представлять новый вид региональных гидрогеологических материалов.

4. Предложенный информационный подход к оценке эффективности применения КС в гидрогеологических исследованиях не является единственным и тем более универсальным. В решении многих задач лучшие результаты можно получить, применяя, например, теорию исследования операций, позволяющую оценить выгоду того или иного решения, сделанного на основе имеющейся информации или метода экспертных оценок, значительно упрощающего характеристику результата и т. д. В то же время информационный подход обладает рядом положительных свойств. Полученная оценка эффективности, с одной стороны, тесно связана с со-

держанием гидрогеологической карты, с другой — имеет достаточно объективную количественную основу. Она может иметь дифференцированную форму, характеризуя карту по одному гидрогеологическому свойству или интегральную, оценивающую информацию в целом. В случае необходимости оценку можно легко усовершенствовать, например ввести в формулу коэффициенты, отражающие достоверность информации или важность в решении конкретной гидрогеологической задачи. И наконец, информационный подход позволяет достичь поставленные перед данным исследованием цели: оценить эффективность опыта использования КС в гидрогеологическом картировании и выбрать на основе этой оценки пути применения КС в комплексе гидрогеологических работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Сидоренко А. В., Еремин, В. К.* Новый этап региональных геологосъемочных работ в СССР. Общая и региональная геология; геологическое картирование. М.: ВИЭМС, 1976. 22 с.
2. *Виноградов В. В., Григорьев А. А.* Космические методы изучения природной среды. — Б кн.: Теоретические и общие вопросы географии. М.: ВИНТИ, 1974, с. 20-26.
3. *Харкович А. А.* О ценности информации. — Проблемы кибернетики, 1960, вып. 4, с. 53-57.
4. *Урсул А. Д.* Отражение и информация. М.: Мысль, 1973. 172 с.
5. *Гохман В. М., Меклер М. М.* Теория информации и тематическое картирование. — В кн.: Теоретическая география. М.: Мысль, 1971, с. 37-45.
6. *Садов А. В., Ревзон А. Л.* Применение космофотосъемки в гидрогеологии и инженерной геологии. М.: ВИЭМС, 1978. 44 с.

Всесоюзный научно-исследовательский институт гидрогеологии и инженерной геологии, Москва

Поступила в редакцию
26.XII.1980

INFORMATION APPROACH TO THE SPACE IMAGERY EFFECTIVENESS ESTIMATION FOR HYDROGEOLOGICAL SURVEY BURLESHIN M. I. KOLOSKOVA V. N.

The information approach is used for estimation of effectiveness of ground investigation and space imagery use for the Ustyurt Plateau hydrogeological mapping. Space imagery, intermediate and final schemes of hydrogeological interpretation are considered as data channels. Information theory is used for quantitative estimation and comparison of hydrogeological maps content compiling by terrestrial mapping and by space images interpretation.

УДК 553,98:629.78

**ПРИМЕНЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ
СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИКАСПИЙСКОЙ
НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ**

ВОЛЧЕГУРСКИЙ Л. Ф. ПРОНИН В. Г.

Использование материалов дистанционных съемок при изучении геологического строения нефтегазоносных регионов всегда являлось важным элементом в комплексе геолого-геофизических методов. Значение дистанционных материалов несравненно возросло в связи с появлением космических снимков (КС). Последние, обладая большой обзорностью и генерализацией природных объектов, позволили получить значительную, новую, главным образом тектоническую информацию, важную для расшифровки глубинного строения закрытых территорий.

Использование КС дает возможность выделить в пределах Прикаспийской нефтегазоносной провинции такие крупные регионы, как Прикаспийская впадина и п-ов Бузачи, т. е. те же геотектонические элементы, которые отнесены к этой провинции на карте перспектив нефтегазоносности СССР [1]. Вся эта территория характеризуется в общих чертах близким фототипом и рисунком фотоизображения, обусловленными геологическими и ландшафтными особенностями региона, что дает возможность отделить Прикаспийскую нефтегазоносную провинцию от окружающих площадей.

Границы провинции (рис. 1) четко фиксируются протяженными линейными элементами, которые отождествляются с глубинными разломами, скрытыми под покровом поверхностных образований, в которых им соответствуют аномалии повышенной трещиноватости. В целом отделимые границы Прикаспийской нефтегазоносной провинции существенно не отличаются от указанных в литературе [2]. Исключения составляют восточный и южный участки территории, включенные в состав провинции по данным дешифрирования КС.

Первый из этих участков расположен между Главным Уральским и Сакмаро-Кокпектинским разломами в пределах территории со среднепалеозойским складчатым основанием. Большое сходство фотоизображения этого участка с восточной частью Прикаспийской впадины свидетельствует о единстве их геологического развития в течение позднего палеозоя, мезозоя и кайнозоя и вероятном наличии в составе платформенных отложений тех же нефтесодержащих комплексов, что и в восточной прибортовой зоне Прикаспийской впадины.

Отличие в проведении границы на южном участке обусловлено включением в состав провинции п-ова Бузачи. В этом случае граница трассируется от Каспийского моря до сора по глубинному Мангышлакско-Устюртскому разлому, представленному зоной линейных элементов, разделяющих различные по рисунку фотоизображения площади Горного Мангышлака и п-ова Бузачи. Далее граница идет на северо-восток вплоть до торцового сочленения с Главным Уральским разломом. Она имеет ступенчатый характер, осложнена поперечными разломами.

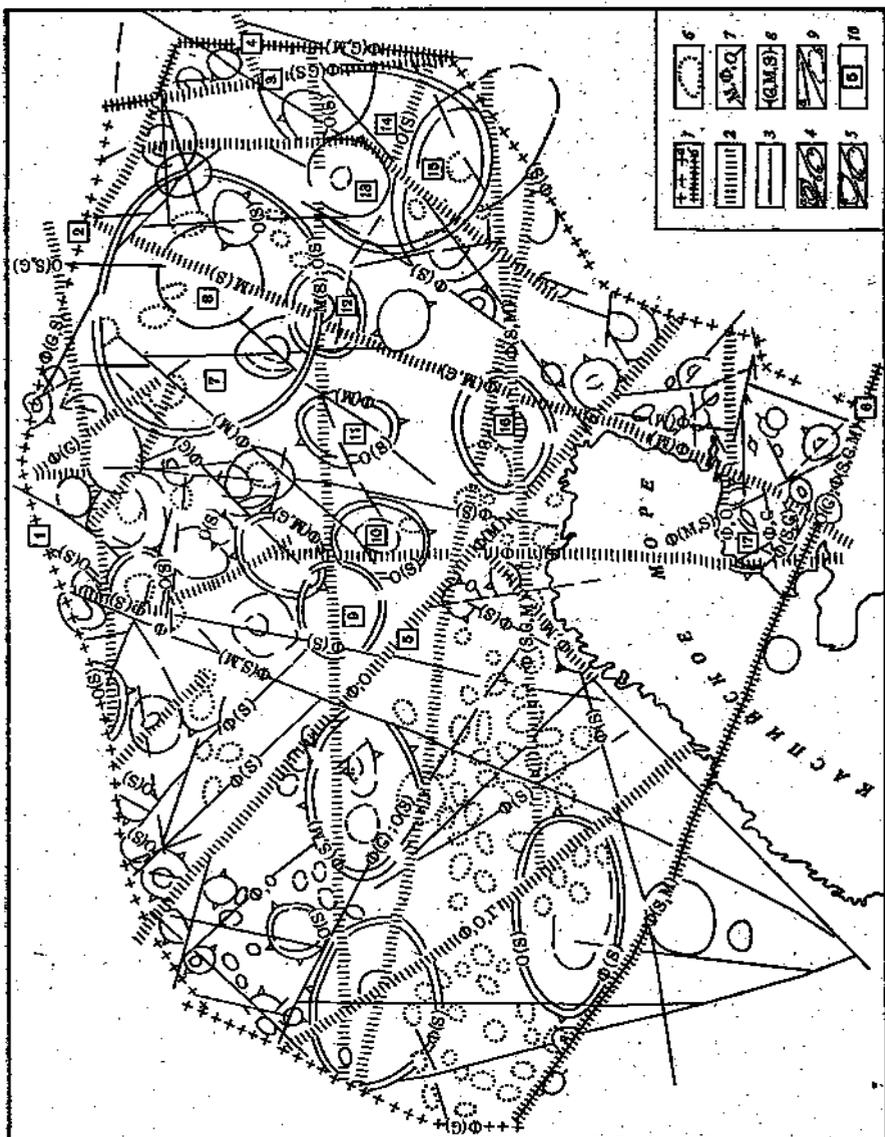


Рис. 1. Схема основных линейных и кольцевых структур Прикаспийской нефтегазовой провинции. 1 — разрывные нарушения, ограничивающие Прикаспийскую впадину (а — от прилегающих площадей Восточно-Европейской платформы и Устьурта, б — от молодых платформ и складчатых областей); 2 — зоны сближенных субпараллельных разломов значительной протяженности; 3 — разрывные нарушения ограниченной протяженности; 4 — кольцевые структуры разных рангов (а — молодые, б — старшие); 5 — локальные брахискладки; 6 — соляные купола и межкупольные депрессии; 7 — соответствующие элементы глубинной структуры: О — осадочного чехла, Ф — поверхности фундамента, М — поверхности Мохоровичича; 8 — методы исследований, по которым установлена структура: М — магнитометрия, С — гравиметрия, С — сейсмометрия, Г — геологические данные; 9 — сведения о соответствии глубинной структуры разрывных нарушений (а) и кольцевых структур (б) отсутствуют; 10 — номера главных разрывных нарушений и кольцевых структур. Разломы: 1 — Волго-Уральский, 2 — Илецкий, 3 — Саммаро-Коллектинский, 4 — Главный Уральский, 5 — Московско-Устьуртский, 6 — Мангыш-каско-Устьуртский. Кольцевые структуры: 7 — Ульяновская, 8 — Сарыянская, 9 — Кзылбертская, 10 — Индерская, 11 — Тайсойганская, 12 — Баркыльская, 13 — Караулкельдинская, 14 — Ширкалинская, 15 — Куяндская, 16 — Тентекская, 17 — Бузачинская.

Иа всего разнообразия линейных кбсмофотогеологических структур на рассматриваемой площади наиболее четко дешифрируются тектонические швы на границе платформ и складчатых областей. Таковым является: Главный Уральский разлом. Аналогичным знаком показана и граница между древней и молодой платформой на юге площади, отделяющая п-ов Бузачи от участка киммерийской складчатости, перекрытой мощным чехлом осадочных пород.

"« Региональные разломы и зоны разломов, проходящие через различные тектонические области; представляют собой крупные линейные структуры протяжённостью в сотни километров. Для исследованной площади это «сквозные» разломы, так как они прослеживаются далеко за ее границы. Одним из наиболее примечательных моментов является дешифрирование трёх крупных субширотных разломов [3], пересекающих Прикаспийскую впадину через равные промежутки в 200—230 км. Северный из них совпадает с северным контуром рифейско-нижнепалеозойской впадины [4] и по поверхности фундамента ограничивает с юга Соль-Илецкий выступ и Вельскую впадину; Южный разлом совпадает по поверхности фундамента с северным ограничением Актюбинско-Астраханской зоны поднятия, не восточнее долготы пос. Кульсары он пересекает эту зону, отделяя Джаныбекский субмеридиональный прогиб от субширотного Тугаракчанского. Средний из этих трех разломов совпадает по поверхности фундамента с южной границей наиболее погруженной центральной части Прикаспийской впадины, а восточнее отделяет Темирский выступ фундамента Бг Караулкельдинского. Из других нарушений этого же типа можно отметить диагональный Московско-Устюртский разлом [5], наследующий простираение Пачелмского авлакогена; разлом, трассируемый по р. Урал и далее по западному берегу п-ова Бузачи и п-ова Мангышлак, который подтвержден геофизическими материалами в пределах Прикаспийской впадины. Крупные и протяжённые разломы, которые дешифрируются по восточному краю региона, как правило, продолжаются в Уральскую складчатую область; Такого же ранга разрывные нарушения — Южноэмбенский и Предустюртский разломы — прослеживаются по южной окраине Прикаспийской впадины. Они отделяют догребенное Южноэмбенское палеозойское поднятие от Прикаспийской впадины и Северного Устюрта.

На севере дона брахиформной складчатости Волго-Уральской антеклизы и диапировой складчатости Прикаспийской впадины граничат по крупным нарушениям, проходящим по рекам Урал и Илек. Эти разломы выделены особым знаком как разделяющие крупные тектонические блоки. Так же хорошо дешифрируется Утыбайский разлом субмеридионального направления. Разрывные нарушения, разделяющие, крупные тектонические блоки (рис. 2), обычно являются частями протяженных глубинных разломов, описанных тшше. Такими, в частности, являются Московско-Устюртский, Утыбайский, Предустюртский разломы, а на севере региона — Волго-Уральский и Илекский. Кроме того, дешифрируются разрывные нарушения ограниченной протяженности, связанные с солянокупольной тектонической и осложняющие некоторые локальные брахискладки. Особым знаком показываются разломы несколько большей протяженности, чем предыдущие, но не выходящие за пределы выделенных тектонических блоков. И наконец, имеются протяженные разломы, проходящие через; один или два тектонических блока.

Следующим важным элементом дешифрирования, показанным на прилагаемой схеме (рис. 1), являются космогеологические структуры центрального-типа. Они; дешифрируются в виде многочисленных кольцевых и овально-концентрических структурных форм разных размеров. В ряде случаев они имеют очертания, близкие к кольцу с замкнутом по окружное™ контуром, и в литературе для их обозначения использовались термины «кольцевые аномалии», «концентрические структуры», но наиболее употребительным оказалось название «кольцевые структуры» [6], которое

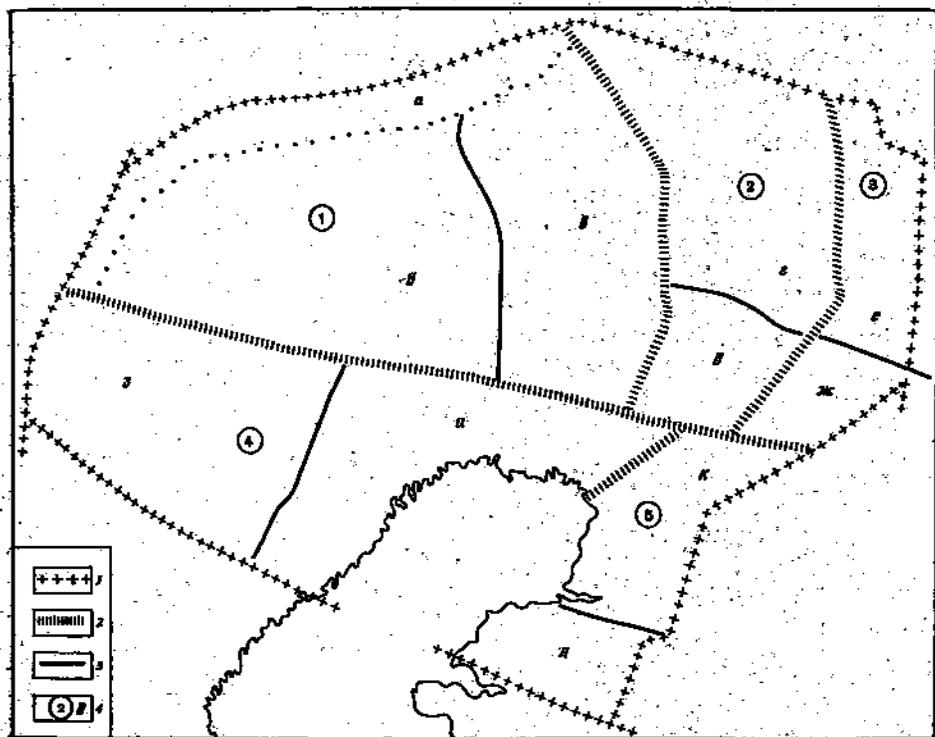


Рис. 2. Схема нефтегазогеолгического районирования: 7 - граница Прикаспийской нефтегазоносной провинции; 2 — границы нефтегазоносных областей; ^-границы нефтегазоносных районов; 4-номер нефтегазоносной области и района. Аралсорско-Челкарская нефтегазоносная область (1): а — Северо-Западный прибортовой газожетёносный район (Л ободинско-Ташлинский), б — Аралсорский нефтегазоносный район, в - Челкарский нефтегазоносный район; Кийльская нефтегазоносная область (2): г ^ Уильский нефтегазоносный район, д — Сагизский нефтегазоносный район; Североэмбенско-Темирская нефтегазоносная область (3): е — Темирский нефтегазоносный район, ж - Севолоэмбенский нефтегазоносный район; Астраханско-Гурьевская нефтегазоносная область (4): в — Астраханский газонефтеносный район, и - Гурьевский нефтегазоносный район; Южноэмбенско-Бузачинская нефтегазоносная область (5): к - Южноэмбенский нефтегазоносный район, л - Бузачинский нефтегазоносный район

мы и будем применять. В пределах изученной территории выявлены пликативные и инъективные кольцевые образования эндогенного происхождения. Последние широко развиты в Прикаспийской впадине и представляют собой соляные купола, хорошо выраженные на КС. Структуры бывают положительные и отрицательные. По размерам различаются локальные структуры — брахискладки или соляные купола, и более крупные кольцевые структуры, диаметром до 100 км, от 100 до 2rO и свыше 200 км. Структур бывают простые, огражденные КрНiурoMV(близким к окружности, и сложные, имеющие в пределах общего контура одно или несколько более мелких колец или полузамкнутых сегментов. Как правило, большинство отдешифрованных структур являются сложными образованиями, а в качестве простых выступают в основном локальные брахискладки и соляные купола. Наиболее крупными кольцевыми структурами Прикаспийской впадины являются Уильская [6] диаметром более 250 км, и Ширкалинская диаметром свыше 200 км. Последняя дешифрируется в виде полуокружности, незамкнутой на севере. Обе структуры осложнены разрывными нарушениями и включают в свой контур несколько колец меньших размеров (см. рис. 1). Так, в центральной части Уильской

структуры дешифрируется Саринское кольцо диаметром до 80 км, а на юге Ширкалинской структуры.— Куянское. Уильская кольцевая структура наиболее хорошо изучена [7]. Она охватывает восточную часть Хобдинского регионального максимума силы тяжести. По геофизическим данным, поверхности кристаллического фундамента и подсолевого палеозоя в этом районе глубоко догружены, а поверхность мантии испытывает значительный подъем. Геофизическими исследованиями здесь зафиксировано сильное утонение или отсутствие «гранитного» слоя консолидированной коры [8]. Геолого-геофизические материалы по подсолевому комплексу свидетельствуют о своеобразии строения солянокупольных структур этого района. Здесь развиты субмеридионально-ориентированные купола, образующие протяженные гряды, которые, «просвечивая» под породами надсолевого комплекса, позволяют дешифрировать отдельные фрагменты Уильской структуры.

Наибольший интерес представляют кольцевые образования средних размеров (см. рис. 1). Они отчетливо выделяются по характеру фотоизображения и фототона. Обычно в пределах этих структур прослеживаются дугообразные, кольцевые и концентрически расположенные линии, а внешний контур ограничен кольцевыми линеаментами. Если крупные структуры, Уильская и Ширкалинская, обращают на себя внимание своей уникальностью и практически пока не поддаются объяснению, а мелкие кольцевые образования затрагивают только надсолевой комплекс осадочного чехла и легко расшифровываются, то закономерности распределения кольцевых образований средних размеров можно проследить на основе их совместного анализа с картами фундамента и подсолевого ложа. Большинство из интересующих нас кольцевых структур в той или иной степени приурочено к крупным флексурным перегибам подсолевого ложа и выступам фундамента. Так, к северному склону Прикаспийской впадины тяготеют Уральское и Джамбейтинское кольцевые образования. Наиболее насыщен кольцевыми структурами южный внутренний склон Прикаспийской впадины, ограничивающий с севера от наиболее погруженной части субширотные Присарпинскую и Тайсоганскую тектонические ступени. На этот выступ накладываются Кзылбергенская, Индерская, Тайсоганская и Баркынская структуры. Несколько севернее от этого уступа дешифрируется Антоновская структура, большей своей площадью расположенная в пределах наиболее погруженной части Прикаспийской впадины. В южной части Прикаспийской впадины дешифрируется Тентекская кольцевая структура. Она почти полностью накладывается на южный внешний борг впадины, и только юго-восточный ее участок захватывает западную половину Биикжалского выступа. Часть кольцевых структур на востоке расположена вне пределов склонов впадины. К югу от Ширкалинской кольцевой структуры расположена Караулкельдинская, занимающая центральную часть Итасайской тектонической ступени фундамента. Приуроченность кольцевых структур к флексурным зонам дает возможность связывать их формирование с процессами, происходящими в наиболее напряженных участках фундамента и подсолевых отложений. Для крупнейших кольцевых образований (Уильского и Ширкалинского), накладываемых на разнородные тектонические области фундамента, вопрос о возможном их происхождении остается неясным и нет сколько-нибудь удовлетворительного объяснения их природы.

Наблюдается определенная закономерность в распределении кольцевых структур по площади. Самые крупные структуры (свыше 200 км в диаметре) расположены по восточному и юго-восточному обрамлению центральной части Прикаспийской впадины. К южному-борту впадины приурочено преобладающее количество структур средних размеров [3]. Все они имеют очертания, близкие к окружности. Остальная часть структур этого типа приурочена к центральной части впадины. Они отличаются по форме от структур этого же типа, расположенных в зоне обрамления, где

они по своим очертаниям близки к эллипсу, часто сильно вдаются внутрь. В пределах северного обрамления Прикаспийской впадины за редким исключением преобладают мелкие кольцевые формы размером до 100 км в диаметре. Для этой площади характерна почти повсеместная приуроченность кольцевых структур к разломам северо-восточного и субширотного простираний. Для южного обрамления Прикаспийской синеклизы (Северный Устюрт, п-ов Бузачи) кольцевые структуры двух первых типов не характерны. Здесь преобладают формы, составляющие почти правильные окружности. Из наиболее крупных структур этой области можно отметить Бузачинскую, Актумсукскую, Бейнеускую.

Выделенные по дешифрированию линейные и кольцевые образования сопоставлялись со всеми имеющимися на эту площадь геолого-геофизическими материалами, включающими геологические карты, структурные карты по разным горизонтам осадочного чехла, структурные карты по поверхности фундамента и поверхности Мохоровичича; построенные та. данным магнитометрии, сейсмометрии и гравиметрии, различные тектонические карты и др. Анализ всего комплекса материалов дает возможность оценить выделенные по дешифрированию структуры по степени их глубинности и достоверности. Результаты анализа выносились в виде буквенных обозначений на контуры кольцевых структур и на линии разломов (см. рис. 1). Изложенные выше данные по изучению КС и сопоставлению результатов дешифрирования с геолого-геофизическими материалами дают возможность провести нефтегазогеологическое районирование рассматриваемой территории. До настоящего времени подобным районированием затрагивались лишь окраины Прикаспийской провинции—промысловые участки Южной и Северной Эмбы, п-ов Бузачи, северо-западная и восточная прибортовые зоны впадины. Критериями для выделения этих районов служили отличительные особенности их геологического строения и стратиграфический уровень нефтегазосодержащих толщ. При этом большая часть провинции, соответствующая внутренним районам Прикаспийской впадины, с позиций нефтегазогеологического районирования почти не рассматривалась.

Получение новой геологической информации главным образом по разломной тектонике, на основе изучения КС дает возможность провести нефтегазогеологическое районирование всей Прикаспийской провинции. При этом естественными границами областей и районов в большинстве случаев служат разломы глубокого заложения, контролировавшие развитие блоков фундамента и осадочного чехла. Их отчетливое дешифрирование на КС свидетельствует о том, что эти разломы в том или ином виде (зоны повышенной трещиноватости, флексуры, разрывы сплошности пластов) проявлялись и в новейший этап развития территории и, следовательно, продолжали оставаться одним из значимых факторов условий нефтегазонакопления в целом и отдельных месторождений в частности. Контролирующая роль подобных разрывных нарушений наблюдается в Гурьевском, Южноэмбенском районах, вдоль северного борта Прикаспийской впадины. По особенностям фототона и рисунка фотоизображения в пределах Прикаспийской нефтегазонаосной провинции можно выделить пять нефтегазонаосных областей (рис. 2): Южноэмбенско-Бузачинскую, Северозембенско-Темирскую, Киильскую, Астраханско-Гурьевскую и Аралсорско-Челкарскую. Каждая из них подразделяется на несколько нефтегазонаосных районов. Выделенные территории отличаются по своему геологическому строению, истории развития и нефтегазонакоплению.

Не вдаваясь в подробности геологических особенностей нефтегазонаосных областей и районов, отметим, что эти особенности отображают тектонический режим в течение всего времени накопления осадочного комплекса, палеогеографические условия осадконакопления, глубины залегания и стратиграфический диапазон нефтегазосодержащих горизонтов, преобладающий вид углеводородов.

Подводя итог вышеизложенному, можно с уверенностью отметить высокую информативность КС для выяснения структурно-тектонических особенностей Прикаспийской нефтегазоносной провинции. Уже в настоящее время на основе КС можно более целенаправленно и эффективно определять направления региональных и детальных исследований.

При региональных исследованиях КС могут быть использованы: 1) для выделения в пределах провинций отдельных нефтегазоносных областей и районов; 2) при трассировании протяженных разломов, играющих существенную роль в формировании зон нефтегазоаккумуляции; 3) при выборе площадей для сейсмических исследований; 4) при переинтерпретации структурных карт.

При детальных исследованиях материалы дешифрирования КС могут способствовать более эффективному планированию детальных сейсмических исследований в пределах отдельных структур, оптимальному выбору мест заложения глубоких поисковых скважин, уточнению структурного плана локальных поднятий вследствие значительной нарушенности залежей разрывными нарушениями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карта перспектив нефтегазоносности СССР. Масштаб 1:2500000. Гл. ред. Семенович В. В. Л., 1976.
2. Дикенштейн Г. Х., Алиев И. М., Аржевский Г. А. и др. Нефтегазоносные провинции СССР. М.: Недра, 1977, с. 67-70.
3. Пронин В. Г. Закономерности расположения кольцевых образований в Прикаспийской впадине.—Изв. вузов. Геол. и разв., 1980, № 11 с. 137-140.
4. Яншин А. Л., Артюшков Е. В., Гарецкий Р. Г. и др. Сравнительная характеристика глубинного строения и истории развития Туранской плиты и Прикаспийской впадины.—В кн.: Тектоника территории СССР. М.: Наука, 1979, с. 58-68.
5. Волчегурский Л. Ф., Пронин В. Г. Возможности выявления крупных структурных форм в пределах Русской и Туранской плит.—Изв. вузов. Геол. и разв., 1977, № 9, с. 14-19.* У
6. Космофотогеологическая карта Арало-Каспийского региона. Масштаб 1:2500000 / Под ред. Брюханова В. Н., Еременко Н. А. М., 1978.
7. Волчегурский Л. Ф., Галактионов А. Б. Результаты дешифрирования космических фотокарт ТЕ фотоснимков территории Прикаспийской впадины и смежных областей. Тектоника Прикаспийской впадины.—Тр. ВНИГНИ, 1978, вып. 208, с. 63-74.
8. Кирюхин Л. Г., Чакабаев С. Е., Волчегурский Л. Ф. и др. Тектоническая карта Прикаспийской впадины и ее обрамлений. Тектоника Прикаспийской впадины.—Тр. ВНИГНИ, 1978; вып. 208, с. 94-106.

Производственное геологическое объединение «Аэрогеология»,
Москва

Поступила в редакцию
19.1.1981

SPACE IMAGERY USE FOR STRUCTURAL INVESTIGATION OF THE CASPIAN OIL AND GAS PROVINCE

voLcamsGURSKU L.F., PRONIN V.G.

Space images interpretation permitted to refine boundaries of the Caspian oil and gas province and to recognize the linear structures like faults or zones of faults. The ring structures correspond to the structures of different horizons of the sedimentary cover and basement uplifts. The data obtained by space imagery interpretation were used to modernize the scheme of oil and gas fields location.

УДК 553.98:629.78

О ВЗАИМОСВЯЗИ ЛИНЕЙНЫХ И ИЗОМЕТРИЧНЫХ ОБЪЕКТОВ НА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКАХ И НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ СТРУКТУР БУЗУЛУКСКОЙ ВПАДИНЫ

ТРОФИМОВ Д. М., ДМИТРИЕВА В. И.

Основной задачей статьи явилось выявление взаимосвязи линейных и изометричных объектов, дешифрируемых на космических снимках (КС), с подобными по форме нефтегазоносными структурами Бузулукской впадины. С целью решения данной задачи регионального уровня были использованы структурные карты по нескольким горизонтам чехла и по фундаменту, отвечающие этапам наиболее значительных перестроек, и карты изопахит¹, отражающие основные этапы формирования изгибаемых структур.

Выбор Бузулукской впадины в качестве объекта исследований был обусловлен несколькими положениями: исключительной космофизиономичностью ландшафта данного региона, удивительно близкого к его современному структурному плану (рис. 1,2); сравнительно высокой геологической изученностью некоторых горизонтов чехла, фундамента² и большого количества месторождений нефти и газа, выявленных в ее пределах.

Существенное значение при решении поставленной задачи играло наличие разномасштабных КС, часть из которых с целью улучшения качества и повышения их информативности были подвергнуты специальной обработке (фильтрации). Используемые мелкомасштабные и среднемасштабные КС² обусловили региональный характер проведенных исследований, позволив получить взаимодополняемые и взаимоконтролируемые результаты дешифрирования (рис. 1). Работа с КС проводилась многократно, по принципу непредвзятого отношения (на первом этапе) и с позиций направленных поисков известных линейных и изометричных структур Бузулукской впадины, (на втором этапе)... Полученные результаты дешифрирования последовательно сопоставлялись со структурными картами и картами изопахит. При этом особое значение придавалось тем тектоническим элементам, которые отражались в ландшафте и проявлялись в строении различных горизонтов.

Бузулукская впадина расположена в юго-восточной части Восточно-Европейской платформы [1—4]. Она выполнена рифейскими, палеозойскими и мезозойскими отложениями мощностью до 6 км, которые залегают на сложно эродированной поверхности фундамента архейско-раннепротерозойского возраста. Под чехлом четвертичных образований центральная часть впадины сложена отложениями мела, обрамленными последовательно породами юры и триаса, а на бортах — верхней перми. В строении рельефа поверхности фундамента впадина ограничена с запада Жигулевско-Пугачевской вершиной, с северо-востока — Татарским сводом, с во-

¹ Использовались структурные карты и карты изопахит, построенные Б. И. Дмитриевой.

² В работе были использованы космические снимки, полученные со спутника «Метеор-28» (масштаба 1:5000000) и со станции «Салют-4».

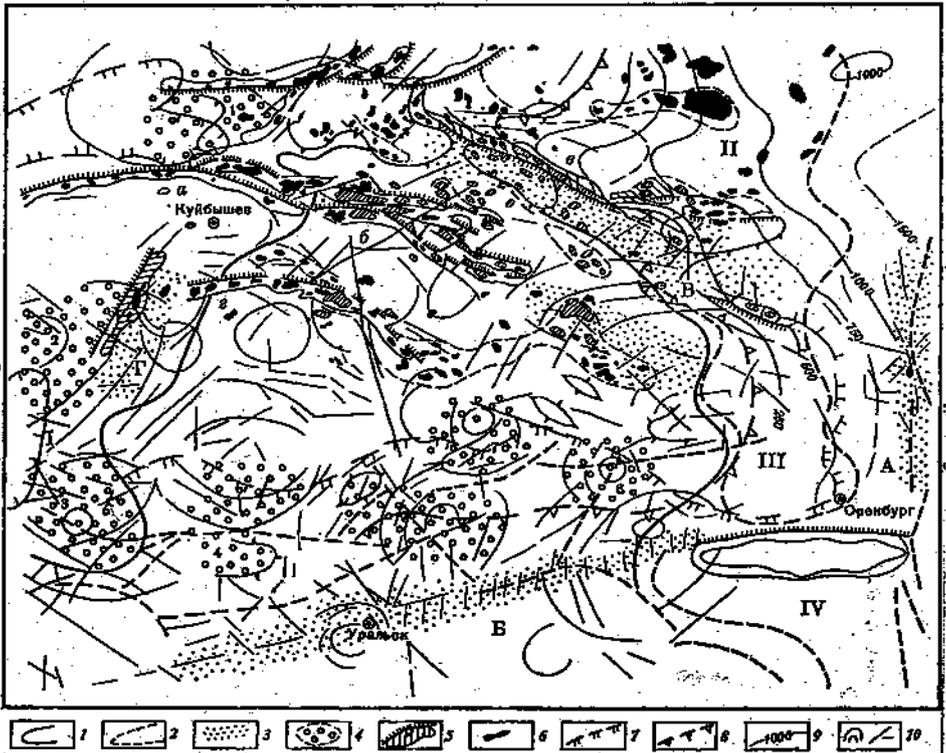


Рис. 1. Структурно-тектоническая схема строения чехла Бузулуцкой впадины: I - граница Бузулуцкой впадины; 2 - своды, вершины, ограничивающие Бузулуцкую впадину; 1 - Жигулевско-Пугачевская; II - Татарский; III - Восточно-Оренбургское валообразное поднятие; IV - Соль-Илецкая; 3 - структурные зоны первого порядка дешифрируемые на космических снимках: А - бортовой уступ Предуральского прогиба, Б - борт Прикаспийской впадины, В - Жигулевско-Оренбургская зона (система валообразных поднятий), Г - Покровское поднятие; * 4 - вершины и выступы дешифрируемые на космических снимках: 1 - Узюковский, 2 - Жигулевский 3 - Балаковский, 4 - Перелюбский, 5 - Камелик-Чаганский, 6 - Мустаевский, 7 - Царевский; 5 - линейные структуры (приразломные валы): а - Жигулевский б - Дмитриевский, в - Большекинешельский, г - Кулешовский, д - Покровский; 6 - месторождения нефти и газа; 7 - граница распространения отложений рифея; 8 - граница распространения отложений венда; 9 - изопахиты отложений венда; ^ - линеамент ТЕР и изометричные структуры, дешифрируемые на космических снимках

стока и юго-востока - Восточно-Оренбургским мысовидным и Соль-Илецким поднятиями. На северо-западе она отделена от Мелекесской впадины Сокской седловиной, а на юге ее границей можно считать бортовой уступ Прикаспийской синеклизы.

Бузулуцкая впадина возникла на разновозрастном эродированном основании в рифейское время в виде узкого прогиба, параллельного современному бортовому уступу Прикаспийской синеклизы и развивалась на плитной стадии (в эйфельском, живетском и начале франского века) в форме широкого амфитеатра.

В настоящее время большинством специалистов признается блоковое строение фундамента впадины [2, 3]. По опубликованным данным известно, что разломы фундамента проникают в рифейско-вендские отложения и местами в основание палеозойского чехла. Проявленными в разрезе всего чехла считаются немногие: Жигулевские дислокации, Токаревский сброс и несколько других.

В процессе проведенной работы анализировались два типа структур - линейные и изометричные, которые по форме блиаки дешифрируемым на космических снимках объектам. Линейные структуры, к которым отно-

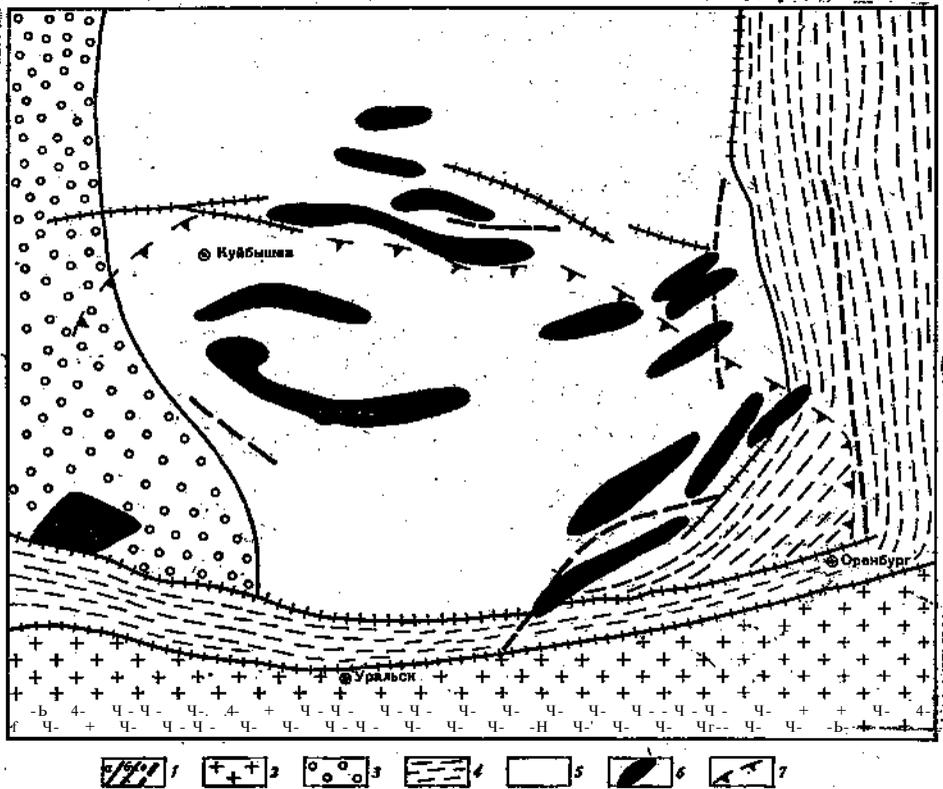


Рис. 2. Схема тектоники докембрийского фундамента Бузулукской впадины (по карте фундамента территории СССР [5] с добавлениями: 7, а—разломы; 7, б—разломы дешифрируемые на космических снимках; 7, в—линеаменты; 2—нижнеархейский комплекс (алданиды), активизированный в байкальское время; 3—верхнеархейский комплекс (становиды); 4—нижнепротерозойский комплекс (карелиды); 5—верхнеархейский комплекс, переработанный в раннем протерозое; 6—интрузивные образования; 7—контур современной структуры Бузулукской впадины по подошве детенских отложений

сятся разломы, сопоставлялись с удлиненными формами рельефа поверхности фундамента, флексурами, узкими прогибами и валами в чехле. Изометричные объекты сопоставлялись со сводовыми поднятиями и осложняющими их наиболее крупными вершинами.

Сравнение разрывных нарушений, дешифрируемых на КС с известными по геолого-геофизическим работам, показывает, что дистанционные материалы дают возможность говорить об унаследованном их проявлении в ходе геологической истории и подновлении на новейшем этапе. Примером подобных разрывных дислокаций являются Токаревский сброс, Жигулевская и Кулешовская флексуры, другие разрывные дислокации. Отсюда и прямая зависимость между дешифрируемыми линеаментами с доказанной или предполагаемой разрывной природой и контролируемые ими положительными структурными формами чехла и фундамента, исходя из блокового или штампового характера их формирования.

Структурный контроль линеаментами характерен для двух разнопорядковых типов, структур платформенного чехла: наиболее крупных, обрамляющих Бузулукскую впадину, и более мелких, ее осложняющих. К первым относятся: бортовой уступ Предуральского прогиба, северный борт Прикаспийской синеклизы, Жигулевско-Оренбургская зона, состоящая из системы валов вдоль северо-восточной окраины впадины, и Покровский вал, осложняющий Жигулевско-Пугачевскую вершину на западной ее оконечности. Эти структурные элементы наиболее отчетливо проявля-

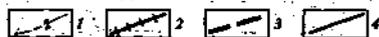
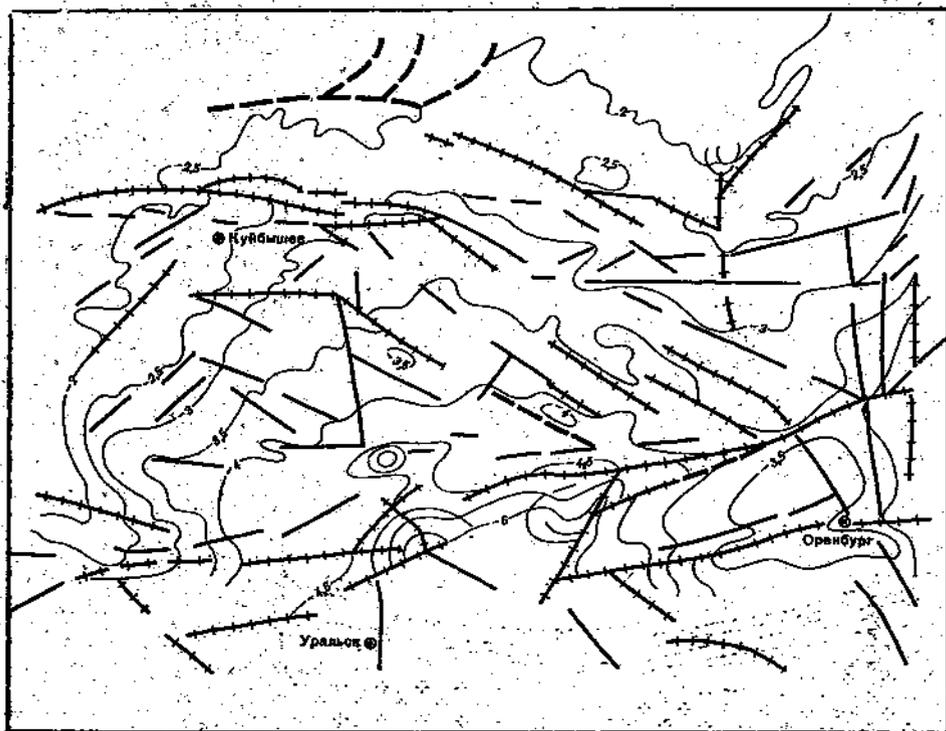


Рис. 3. Карта рельефа поверхности докембрийского фундамента и линеаментов: 1 — изолинии поверхности докембрийского фундамента; 2 — разломы, дешифрируемые на космических снимках; 3 — разломы по данным геолого-геофизических работ; 4 — линеаменты

ются на всех видах КС с частичным отображением на них Покровского вала (рис. 1). Приведенные данные показывают, что Бузулукская впадина и обрамляющие ее региональные структуры длительного унаследованного развития находят достаточно полное отображение на КС.

Подобная унаследованность частично обусловлена взаимосвязью внутреннего строения фундамента, структуры доплитного (рифей-нижневендского) и плитного (фанерозойского) комплексов. Сопоставление карты тектоники фундамента [5] и результатов дешифрирования показывает высокую качественную коррелируемость этих материалов (рис. 2). Линеаменты и линеаментные зоны либо совпадают с разломами, ограничивающими протерозойские складчатые системы, развитые в зонах южного и юго-восточного обрамления Бузулуксской впадины, либо идут параллельно им в едином структурном рисунке. Определенная сходимость отмечается для областей переработки архейского фундамента и ослабленной тектонической зоны, характеризующейся серией линейно-вытянутых тел основных интрузий, расположенных в пределах северного обрамления впадины (рис. 2). Приведенные данные показывают, что наиболее древний рисунок структурного плана, заложенный в докембрии, имеет определенное сходство с современным ландшафтом, отраженным на космических снимках.

Для дополнительного комплекса, имеющего сравнительно небольшое развитие на территории Бузулуксской впадины и возникшего на авлакогенной стадии, характерно накопление осадочного чехла в грабенообразных структурах. Наиболее крупной из них здесь является Серноводско-

Корреляция линейных космических объектов с подобными геологическими структурами

Линейные структуры (приразломные валы)	Дешифрируемость (отношение длины дешифрируемого участка к длине структуры), %	% месторождений нефти и газа, контролируемых дешифрируемыми линейными структурами
Жигулевский	46,4	67,1
Дмитриевский	53,3	80
Большекинский	37	34,2
Кулешовский	53,5	44,7
Покровский	46	44,7
Средние	45	$\bar{x} = 33,3 \pm \dots$

Абдулинская и некоторые другие более мелкие. Они находят отчетливое отражение на КС через ограничивающие их разлом >1 (рис. 3).

Несмотря на наличие значительного несогласия и стратиграфического перерыва между доплитными и плитными комплексами чехла некоторые черты взаимосвязи между ними имеют место преимущественно на региональном уровне через каркас вышеупомянутых структур, ограничивающих Бузулукскую впадину. Что касается структурных форм плитного комплекса, осложняющих ее, то определенная контролирующая роль линеаментов отмечается для следующих валов: Кулешовского, Дмитриевского, Мухановского и др. (рис. 1). Для них характерно унаследованное проявление во всех структурных этажах плитного комплекса. В значительной степени структуры, осложняющие Бузулукскую впадину, дешифрируются на КС, полученных с «Салюта-4».

Анализ изометричных структур наиболее, эффективным оказался для западной части Бузулукской впадины, лишенной доплитного рифейт-вендского комплекса³. Проявленные на КС кольцевые объекты здесь коррелируются с вершинами и выступами, осложняющими положительные и отрицательные структуры более высокого ранга. К ним относятся: Покровская вершина, Узюковский, Жигулевский, Балаклавский, Перелюбский, Камелик-Чаганский и Мустаевский выступы.

Выявленная взаимосвязь линейных объектов, проявляющихся на КС, и унаследованное связанных структур фундамента, плитного и доплитного комплексов платформенного чехла⁴ позволяет подойти к определению степени контроля линеаментами распределения залежей нефти и газа. Приведенные в таблице количественные данные доказывают высокую степень контроля (в %) линеаментами валов структур платформенного чехла, к которым приурочены Месторождения нефти и газа. В среднем по материалам дешифрирования наблюдается структурный контроль по протяженности, достигающий 45%. Примерно такой же процент составляет количество месторождений углеводородов, находящихся в их пределах*.

Сопоставление кольцевых объектов и изометричных форм платформенного чехла с позиций нефтегазоносности не дает столь эффективных показателей, как для линейных структур. Это может быть обусловлено тем, что достаточно полный анализ изометричных объектов в строении платформенного чехла очень часто не может быть осуществлен в связи с недостатком герлого-геофизических данных или слабой изученностью. Нефтегазоносным платформенным поднятиям соответствуют два объекта, коррелирующиеся с Узюковским и Покровским поднятиями (рис. 1).

Некоторая пространственная связь намечается для незамкнутых полукольцевых объектов, дешифрируемых на КС, с участками распростране-

³ Линейные структуры в одинаковой степени проявляются в областях развития плитного и доплитного комплексов.

⁴ Относительно всех месторождений Бузулукской впадины, принятых за 100%.

ния рифовых построек • фаменско-турнейского возраста (Бобровско-Покровский и др.) (рис. 1).

Приведенные данные о вероятной разрывной природе отдешифрированных, линеаментов на основных этапах их активизации (рис. 1—3) и унаследованном развитии их вплоть до новейшего этапа существенно расширяют представления о роли разломов в формировании Бузулукской впадины.

Установленная взаимосвязь объектов, выявляемых на КС и нефтегазонасных структур, доказывает эффективность метода дешифрирования для изучения закономерностей распространения месторождений нефти и газа. Использование мелко- и среднemasштабных КС позволило показать возможность их использования для решения поставленной задачи. Применение более детальных КС может позволить перейти на основе намеченных закономерностей и установленных связей к задачей поискового характера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жуков И. М., Куликов К. А., Кулленский И. И., Горелов Г. Я. Перспективы нефтегазоносности прибортовой зоны Прикаспийской впадины.- Тр. ВНИГНИ, вып. 1 (60). Оренбург, 1970, с. 90-94.
2. -Кайдалов В. Ж. Тектоника и зоны нефтегазонакопления Оренбургской - области. Автореф. дис. на соискание уч. ст. канд. геол.-мин. наук. М.: МИНХиГП, 1972. 32 с.
3. Кукуев В. Д. Структурные соотношения платформенного чехла и их роль в размещении залежей нефти и газа (на примере юго-восточных районов области) Автореф. дис. на соискание уч. ст. докт. геол.-мин. наук. М.: ВИНТИ, 1971. 50 с.
4. Максёйов С. П., Киров В. А., Клубов В. А. и др. Геология нефтяных и газовых месторождений Волго-Уральской нефтегазонасной провинции. М.: Наука, 1970. 46Ф с.
5. Тектоническая карта фундамента территории СССР / Под ред. Наливкина Д. В. (главн. редактор) и др. М. 1:5000000, 1977.

Геологический факультет МГУ
им. М. В. Ломоносова

Поступила в редакцию
26.II.1980

ON INTERCONNECTION OF LINEAR AND ROUND OBJECTS ON SPACE IMAGES WITH THE BUZULUK BASIN OIL AND GAS STRUCTURES

TROFIMOV D. M., DMITRIEVA B.I.

Correlation of linear and round objects interpreted on space images with oil traps of similar shape of the Buzuluk basin is described. The linear structures recognized on space images correspond to the well-known faults and elongated uplifts and their stretch controls in average 45% of total amount of oil and gas deposits in the region. The round objects correspond to swells, their correlation being lower as compared with linear ones. The results obtained show the efficiency of remote sensing utilization for the oil bearing areas investigation.

УДК 551.46.0:629.78+528.7

МЕТОД КОМПЛЕКСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОКЕАНА И АТМОСФЕРЫ ИЗ КОСМОСА

МАЛКЕВИЧ М. С., БАДАЕВ В. В.

Введение. Дистанционные исследования океана и атмосферы над ним космическими средствами основаны на закономерностях физического механизма генерирования и переноса в системе океан — атмосфера отраженного и собственного излучения, характеристики которого в различных диапазонах спектра служат исходной информацией для этих исследований. Необходимость получения указанных закономерностей связана со следующими особенностями задач дистанционного определения параметров океана и атмосферы, требующими комплексного подхода к их решению.

1. Характеристики системы океан — атмосфера являются функционалами нескольких параметров этих сред и их границы раздела. Поэтому даже при выборе участков спектра, наиболее информативных относительно изучаемого объекта, следует ожидать появления ошибок, обусловленных другими параметрами, которые влияют на вариации характеристик излучения и создают помехи. Если эти помехи выходят за пределы допустимых ошибок определения данной величины, необходима разработка методов их учета и исключения. Отсюда неизбежно возникает проблема определения всего комплекса искомых и помехообразующих параметров, причем их соотношение может меняться в зависимости от доставленных конкретных целей дистанционного зондирования.

2. Требование комплексного подхода к рассматриваемым задачам связано также с тем обстоятельством, что в математическом смысле большинство из них являются некорректно поставленными и требуют разработки методов регуляризации с использованием достаточно конкретной априорной информации об искомых и помехообразующих параметрах.

Получение такой информации является важной частью упомянутого комплексного подхода, включающего сочетание космических и традиционных методов исследования полей излучения и физических параметров естественных сред с целью изучения связей между характеристиками излучения и этими параметрами.

3. Наконец, существенным аргументом в пользу комплексного подхода служат требования к точности и надежности дистанционных методов, поскольку отсюда следует необходимость определения одного и того же параметра по крайней мере двумя независимыми методами с использованием характеристик излучения в различных диапазонах спектра.

Закономерности генерирования и переноса излучения в естественных средах (в частности, в системе океан — атмосфера) в совокупности с физически и математически строгими методами дистанционного определения параметров этих сред из космоса составляют физические основы геокосмических исследований. Изучение указанных закономерностей и разработка дистанционных методов создают возможности для определения обоснованных требований к комплексам измерительной аппаратуры, обеспечивающим получение исходного комплекса характеристик излучения Земли и к

системам и методам обработки информации, позволяющим извлечь из этого комплекса искомые параметры естественных сред.

Пути создания физических основ дистанционных исследований системы океан — атмосфера рассматриваются далее на примерах решения двух комплексов задач, сформулированных с учетом результатов многочисленных теоретических и экспериментальных работ.

1. Комплекс задач по определению температуры поверхности океана и вертикальных профилей температуры, влажности и аэрозольного ослабления атмосферы, а также характеристик облачности и излучательной способности океанической поверхности по измерениям собственного излучения системы океан-атмосфера в ИК- и СВЧ-диапазонах спектра.

2. Комплекс задач по определению коэффициента яркости океана и оптических параметров атмосферы (оптической толщины, индикатрисы рассеяния и вертикального профиля коэффициента рассеяния) по измерениям солнечной радиации, отраженной системой океан — атмосфера в видимом диапазоне спектра.

Определение температуры океана и атмосферы. Задача дистанционного определения температуры океана T_0 основана на измерениях собственного излучения системы океан-атмосфера в «окнах прозрачности» атмосферы в ИК- и СВЧ-диапазонах спектра, соответственно 3,5–4 и 10–12 мкм, 3,5 и 8 см [1–3].

Величина $I_\nu(i, y, \gamma)$, которая, вообще говоря, является функцией частоты ν , пространственных координат x, y и направления распространения излучения γ , для безоблачных условий связана с T_0 соотношением

$$I_\nu = \delta_\nu B_\nu(T_0) P_\nu(1, \gamma) - \int_0^1 B_\nu[T(z)] \frac{\partial P_\nu(z, \gamma)}{\partial z} dz - 20^\circ(1, \gamma) J^\circ[ra] \frac{dP(z)}{dz}, \quad (1)$$

где $B_\nu[T] = \frac{2h\nu^3}{c^2} \exp\left(-\frac{h\nu}{kT}\right) - 1$ — функция Планка (h и c — соответ-

ственно постоянные Планка и Больцмана, c — скорость света) $> b_\nu$ — излучательная способность океана; $T(S)$ — вертикальный профиль температуры (S — высота в относительных единицах давления); $P_\nu(S, \gamma)$ — функция пропускания атмосферы в направлении γ ; $P(z)$ — функция пропускания усредненная до верхней полусфере направлений.

В реальных условиях все перечисленные функции могут зависеть также и от координат x, y . Кроме того $P_\nu(z, \gamma)$ зависит от концентрации веществ, поглощающих излучение. Например, в окнах ИК-диапазона P зависит от массы водяного пара $w(z)$ и оптической толщины аэрозоля $\tau_a(z)$:

$$P(z, \gamma) = \exp\left[-\int_0^z (k_\nu + \tau_a) dz\right] \quad (2)$$

где θ — угол между направлением γ и вертикальной осью z ; k_ν — коэффициент поглощения водяного пара.

Таким образом, I_ν в (1) является функцией не только искомой величины T_0 , но и параметров $b_\nu, \theta, C, T_\nu(C)$, которые необходимо определять одновременно по независимым измерениям I_ν с учетом в (1) атмосферного излучения. Как известно (см., например, [1, 2]), вертикальные профили $T(S)$ и $w(S)$ могут быть определены по измерениям I_ν в полосах поглощения CO_2 (4,3 и 15 мкм) или O_2 (0,5 см) и соответственно водяного пара (6,3; 20–25 мкм или 1,35 см).

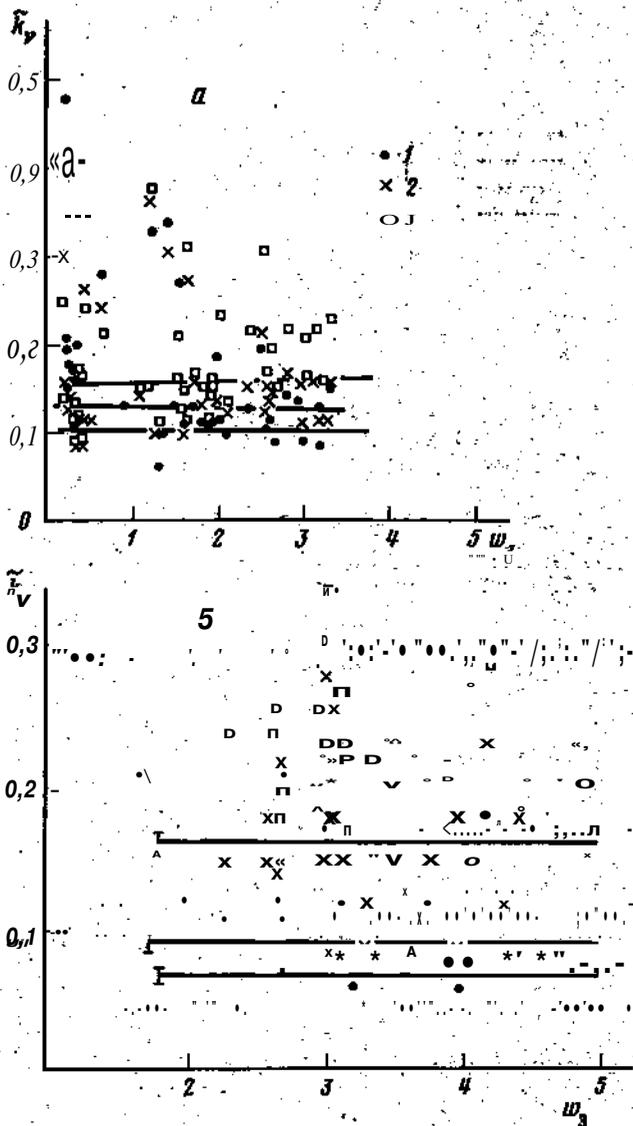


Рис. 1. Зависимость эффективных коэффициентов ослабления \hat{k}_p от эффективной массы водяного пара w по измерениям пропускания (а) и излучения (б) атмосферы: 1-К==10,2 мкм; 2-Я=11,2 мкм; 5-Я=12 мкм

Используемые для этой цели соотношения вида (1), записанные для указанных полос поглощения, являются интегральными, уравнениями типа Фредгольма 1-го рода относительно $T(\%)$ или $w(\%)$. В настоящее время разработаны методы регуляризации соответствующих обратных задач, некорректно поставленных в математическом смысле. В частности, предложен (см. [1]) эффективный метод статистической регуляризации с использованием в качестве априорной информации о решении эмпирических характеристик вертикальной структуры полей $T(\ell)$ и $w(\ell)$. Что касается $\hat{k}_p(\ell)$, то пока еще существуют противоречивые мнения о вкладе аэрозоля в ослабление ИК-излучения. Этот вопрос тесно связан с классической проблемой физической природы континуума в «окнах прозрачности» атмосферы ИК-диапазона.

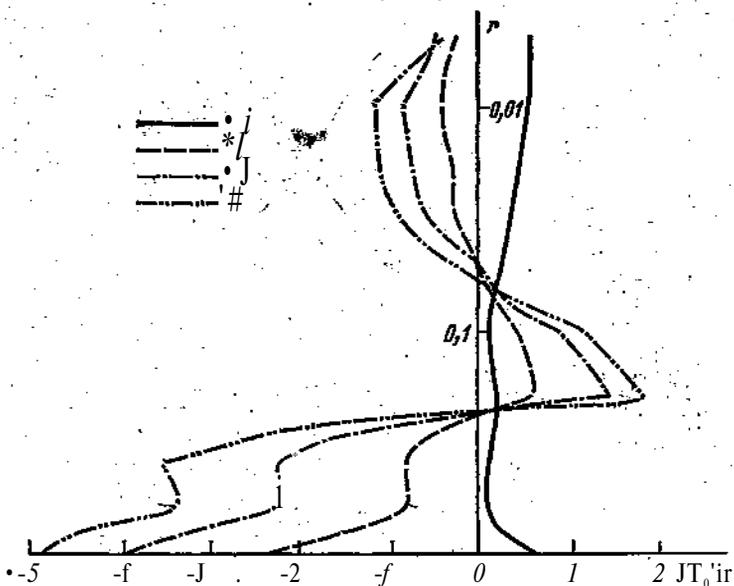


Рис. 2. Ошибки определения $\Gamma(\xi)$ при наличии слоя с оптической толщиной $t=0,1$ на различных уровнях в атмосфере: 1 - $\xi < 6,8$; 2 - $\xi = 0,5-0,65$; 3 - $\xi = 0,3-0,4$; 4 - $\xi = 0,1-0,2$

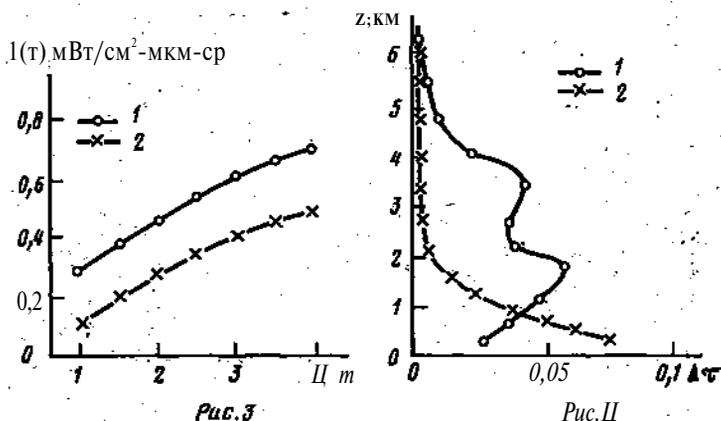


Рис. 3. Угловые распределения излучения тропической атмосферы $I_\nu(m)$ над Атлантическим океаном при различной замутненности $\tau_{771} = \sec \theta$: 1 - замутненная атмосфера; 2 - прозрачная атмосфера

Рис. 4. Определение вертикальных распределений коэффициента аэрозольного ослабления по измерениям $I_\nu(m)$ (профили 1, 2 соответствуют кривым 1, 2 на рис. 3)

Аэрозольное ослабление ИК-излучения. Многочисленные лабораторные и натурные измерения континуального ослабления позволяют надежно оценить и разделить вклады в континуум крыльев полос поглощения водяного пара и аэрозольной компоненты [3]. Это разделение хорошо иллюстрируют результаты измерений эффективного коэффициента поглощения в «окнах»:

$$KV \frac{\tau_a}{w_a} \quad (3)$$

полученные в [3] для широкого диапазона изменения полной оптической толщины τ^* и влагосодержания w_a всего столба атмосферы (см. рис. 1).

$\#v, \text{mm}$ можно рассматривать как коэффициенты континуального поглощения водяного пара, а превышение над $\%$, mm — как вклад аэрозольного ослабления.

Оценки влияния аэрозольных слоев, расположенных на различных уровнях в атмосфере, на ошибки определения Γ_0 были проведены в работе [4]. Как видно из рис. 2, существование таких слоев с оптической толщиной $T_v^a - 0,1$ может приводить к ошибкам порядка $5-8^\circ\text{C}$. Для определения вертикальных профилей $t/(\text{£})$ можно использовать измерения угловых распределений излучения $A(v)$ в «окнах прозрачности» атмосферы, связанных с $t_v^a(\text{£})$ соотношениями вида (1) и (2), $7\text{тг} = \text{зес } 0$.

Возможности решения соответствующей обратной задачи были проиллюстрированы в работе [5] по измерениям угловых распределений падающего излучения $Iv(mn)$ (рис. 3) в тропическом районе Атлантического океана. Как видно из рис. 4, кривые $Iv(m)$ на рис. 3 соответствуют двум типам слоистого распределения аэрозольного коэффициента ослабления. Эти слои, наблюдаемые при прямом самолетном зондировании атмосферы в том районе Атлантики [6], создаются при выносе пыли с африканского континента.

Следует однако заметить, что при использовании угловых распределений $Iv(m)$ для определения $t_v^a(\text{£})$ возникает сложная задача учета горизонтальной неоднородности аэрозольной субстанции.

Таким образом, определение $\Gamma(\text{£})$, $n > (\text{£})$ и $t_v^a(t)$ позволит учесть атмосферные искажения при дистанционном определении T_0 с помощью соотношения (1) в безоблачных условиях, а также в случае полупрозрачной и разорванной облачности.

В условиях сплошной облачности требуется совместное использование измерений излучения в ИК- и СВЧ-диапазонах спектра. Это позволяет во-первых, однозначно идентифицировать облачные и поверхностные эффекты в характеристиках СВЧ-излучения. Во-вторых, измерение в ИК-диапазоне позволяют определять характеристики облачности (высоту, температуру и фазовое состояние воды). В-третьих, совместные измерения в «окнах» ИК- и СВЧ-диапазонов спектра позволяют определять вариации излучательной способности морской поверхности.

И наконец, самое важное преимущество использования комплекса измерений заключается в повышении надежности определения T_0 и атмосферных параметров, поскольку каждый параметр будет определяться по независимой информации по крайней мере дважды.

Последнее обстоятельство имеет исключительное значение при использовании получаемой в настоящее время массовой информации о полях температуры океанической поверхности (или вертикальных распределений температуры атмосферы). Проведенные в последнее время анализы полей (см., например, [7]) свидетельствуют о том, что ошибки и недостоверность определения Γ_0 делают эту информацию практически бесполезной. Авторы [7] совершенно справедливо указывают на необходимость разработки более рафинированной дистанционной методики. Этот же вывод следует из анализа результатов [8].

Заметим, что рассматриваемая задача была четко сформулирована после обработки и анализа материалов измерений излучения системы океан — атмосфера — в видимом, ИК- и СВЧ-диапазонах спектра со спутников «Космос-149, -243, -320 и -384» [1, 2, 9]. В настоящее время на основе изложенного выше комплексного подхода разработана методика получения и обработки соответствующего комплекса исходной информации о характеристиках поля собственного излучения с использованием характеристик поля яркости системы океан — атмосфера.

Определение яркости океана и оптических параметров атмосферы»

При дистанционном определении яркости океана по измерениям отраженной солнечной радиации системы океан — атмосфера необходимо учитывать вклад яркости атмосферы, который на порядок может превосходить

искомую величину [6]; Для этого необходимо определять параметры атмосферы: оптическую толщину, индикатрису рассеяния f и вертикальное распределение коэффициента аэрозольного рассеяния.

Метод решения этой задачи, предложенный в работе [10], основан на использовании измерений интенсивности отраженной солнечной радиации со спутника в нескольких участках полосы поглощения молекулярного кислорода 0,715 мкм. Физическую основу метода составляет тот факт, что отраженная системой океан — атмосфера солнечная радиация генерируется различными слоями атмосферы, вклад которых в яркость, измеряемую со спутника, определяется функцией пропускания кислорода $P_v(\xi, m)$ ($\xi = t + \sec \theta_0$, θ_0 — зенитное расстояние Солнца). Последняя функция известна с достаточной степенью точности, поскольку относительная концентрация кислорода постоянна до очень больших высот в атмосфере и слабо варьирует по Земле, а полоса поглощения 0,76 мкм достаточно хорошо изучена [1].

Связь между интенсивностью уходящего излучения I_v (в долях солнечной постоянной j_0 Вт/м²) для измерений в надири и оптическими параметрами атмосферы в области спектра 0,76 мкм (предполагается, что в пределах полосы поглощения индикатриса и оптическая толщина не зависят от v) устанавливается формулой

$$I_v = \frac{1}{4\pi} \int_0^{\theta} P_v(\xi, m) \frac{\partial \Phi_m(\xi)}{\partial \xi} d\xi \quad (4)$$

полученной на основе решения уравнения переноса излучения в плоскопараллельной среде с неотражающей свет подстилающей поверхностью (альбеда поверхности $A=0$), где $\langle r_t(\xi) \rangle = \sqrt{1} \exp[-\gamma t(\xi)]$, J_A — индикатриса яркости для реализуемого угла рассеяния θ , отнесенная ко всей толще атмосферы. Здесь в уравнение для однократного рассеяния формально введена вместо индикатрисы рассеяния if индикатриса яркости j , представляющая собой функцию рассеяния, Отягощенную кратными эффектами. Это сделано с целью приближенного учета в данной постановке задачи эффектов многократного рассеяния в соответствии с рекомендациями работы [11].

При учете отражения света от подстилающей поверхности в правой части формулы (4), вообще говоря, должно присутствовать слагаемое

$AP_v(i, m) q_m(i) \cos \theta$ — описывающее вклад в I_v света, идущего от по-

верхности. В этом случае решение обратной задачи (4) $\Phi(\xi)$ будет отличаться от истинного решения $\Phi_i(\xi)$ на произвольную постоянную в слоях атмосферы $g < 1$ и будет иметь "скачок" у поверхности в точке $\xi = 1$. Действительно, в рассматриваемом случае функции вида $\Phi(\xi) =$

$\Phi(\xi + 847 \text{ гс} \cos \theta; 0) \Phi(1) - \dots$, где $V_i(\xi) = \dots$ ступенчатая

функция с произвольно определенными постоянными s_i (s_0 для монотонно возрастающих функций $s > s_0$), будут удовлетворять измерениям I_v с заданной точностью (напомним, что производная от ступенчатой функции $F_i(t)$ есть дельта-функция $\delta(1 - \xi)$). Таким образом, эффекты отражения могут проявляться в решении уравнения (4) лишь в виде скачка решения у поверхности и легко устранимы при определении оптических

параметров атмосферы $\tau(\xi) = \frac{\lambda \cos \theta}{m} \ln \frac{\Phi(\xi)}{\Phi_m(\xi)}$ — и $[x = \Phi_{\text{то}}(0)]$, например, с помощью численной интерполяции функции $\langle r_w(\xi) \rangle$ из области высот $\xi < 1$ к уровню поверхности $\xi = 1$.

Однако Неопределенность компоненты s функции $F_4(S)$ делает зада-

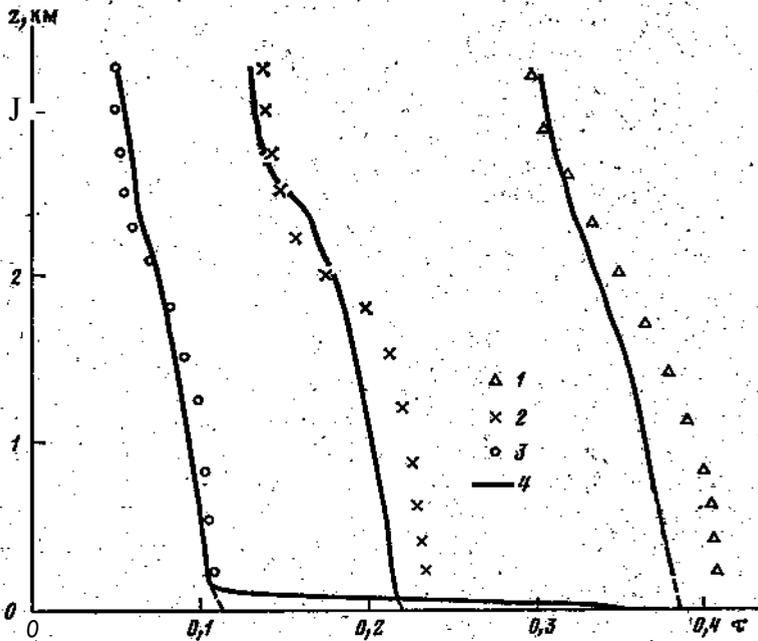


Рис. 5. Сравнение самолетных измерений вертикальных профилей аэрозольной оптической толщины $\tau^v(z)$ (кривые 1—3) с результатами дистанционного определения $\tau_s^v(z)$ по измерениям яркости системы поверхность — атмосфера в полосе 0,76 мкм (кривые 4): 1 - $A_s=0,45$ мкм; 2 - $K_s=0,55$ мкм; 3 - $X_s=0,74$ мкм.

чу (4) недоопределенной и заставляет прибегать к использованию дополнительной информации об искомым параметрах, не считая той, которая требуется для применения метода регуляризации решения некорректной обратной задачи (4) (нами используется метод условного градиента минимизации функционала невязки на множестве монотонных ограниченных функций $f_t(\lambda)$). В качестве такой информации можно использовать, например, эмпирические корреляционные связи между оптическими параметрами τ и t^* , получаемые при их наземных измерениях в области спектра 0,74 мкм. Такие данные [11] показывают наличие довольно высокой корреляционной зависимости между индикатрисой яркости f_t и фактором ослабления t^* , которая может быть выражена соответствующим уравнением регрессии. Другое уравнение связи между f_t и t^* получается непосредственно из решения обратной задачи (4) (после соответствующей интерполяции $f_t(\lambda)$ к уровню $\lambda=1$, если наблюдается скачок решения у поверхности):

$$\Phi_m(0) - \Phi_m(1) = \mu(1 - e^{-\lambda}). \quad (5)$$

Из последнего соотношения и уравнения регрессии определяется уравнение для нахождения параметра t^* . Далее по найденному значению t^* используя уравнения связей между параметрами, последовательно определяются все остальные оптические характеристики задачи, в том числе вертикальное распределение фактора ослабления $t(\lambda)$, позволяющее выявить в атмосфере слои с повышенной концентрацией аэрозоля. По измерениям f_t в «окне прозрачности» 0,74 мкм после соответствующего исключения эффектов атмосферной дымки определяются характеристики яркости водной поверхности.

При уровне ошибки измерений f_t в области полосы поглощения 0,76 мкм в 3% погрешность определения t^* с помощью рассматриваемого подхода оценивается в 20—25%.

Полученная таким образом величина $T_{v_0}^*$ в области спектра $A_0 = 0,74$ мкм может быть использована в качестве входного параметра для определения степени замутненности атмосферы в других участках спектра видимого диапазона. Известно [1], что для этой цели целесообразно использовать метод оптимальной экстраполяции результата $t_{v_0}^*$ на $T_{v_0}^*$, поскольку в природе наблюдается довольно тесная корреляция по спектру (коэффициент корреляции выше 0,9) для аэрозольного ослабления. Погрешность такой экстраполяции не превышает 7—10%. Использование аналогичных связей между индикатрисой рассеяния и оптической толщиной позволяет таким же образом определять вид функции рассеяния, которая вместе с оптической толщиной являются основными параметрами, используемыми для учета атмосферных эффектов при изучении ресурсов океана из космоса.

Более подробное изложение метода и результаты его экспериментальной проверки приведены в работах [10, 12], откуда заимствован приводимый ниже рис. 5, на котором результаты самолетных измерений $T_V(\xi)$ сопоставлены с результатами определения $T_{V_0}(\xi)$ с помощью изложенного метода. Из рис. 5 видно, что метод обеспечивает определение вертикальных профилей $T_V(S)$ с достаточной точностью. Вполне удовлетворительна точность оптимальной экстраполяции $T_V(\xi)$ в коротковолновую область спектра. Кроме того, в рассматриваемом случае измерений над относительно сильно отражающей свет водной поверхностью четко выделяется дельтообразная составляющая профиля $t_{v_0}(\xi)$ вблизи поверхности. Эта составляющая описывает радиацию, непосредственно отраженную от водной среды, и позволяет разделить яркость атмосферной дымки и яркость поверхности в суммарной измеряемой яркости системы поверхность — атмосфера.

На основе изложенного метода учета атмосферных эффектов в видимой области спектра были сформулированы технические требования к комплексу измерительной аппаратуры МКС, созданной специалистами ГДР и установленной на спутниках «Интеркосмос-20 и -21». Обработываемые материалы спутниковых измерений подтвердили обоснованность подхода к решению рассматриваемой задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малкевич М. С. Оптические исследования атмосферы со спутников. М.: Наука, 1973. 205 с.
2. Башаринов А. Е., Гурвич А. С., Егоров С. Г. Радиоизлучение Земли как планеты. М.: Наука, 1974. 188 с.
3. Малкевич М. С., Городецкий А. К., Орлов А. П., Чавро А. И., Шукуров А. Х. Комплексный метод исследования вклада водяного пара в пропускание атмосферы в окна прозрачности 8-13 мкм.—Тр. ГГО, 1976, вып. 369, с. 143-156.
4. Малкевич М. С., Петренко Б. З. О влиянии аэрозольного ослабления на точность определения температуры океана и атмосферы дистанционными методами.—Изв. АН СССР. Физика атм. и океана, 1978, т. 14, т. 7, с. 723-732.
5. Орлов А. П., Бадаев В. В., Городецкий А. К., Малкевич М. С. Самолетные исследования вертикальных профилей ИК-радиации в «окне» 10-12 мкм.—Изв. АН СССР. Физика атм. и океана, 1976, т. 12, № 7, с. 711-719.
6. Малкевич М. С., Истомина Л. Г., Ховис В. О трансформации в атмосфере солнечной радиации, отраженной от океана.—Изв. АН СССР. Физика атм. и океана, 1977, т. 13, № 1, с. 21-34.
7. Barnett T. P., Patzert W. C., Webb S. C., Bean B. R. Climatological Usefulness of satellite determined seasurface temperatures in the tropical Pacific.—Bull. Amer. Meteorol. Soc., 1979, v. 60, № 3, p. 197-205.
8. Малкевич М. С. Некоторые оценки точности и надежности дистанционного определения температуры поверхности океана из космоса.—Информ. бюллетень семинара «Атмосфера-океан-космос» при ГКНТ СССР, 1980, вып. 1, с. 47-69.
9. Городецкий А. К. Метод, результаты и ошибки определения температуры подстилающей поверхности по измерениям уходящего излучения в области спектра 10,5—11,5 мкм со спутника «Космос-320».—В кн.: Космическая стрела. М.: Наука, 1974, с. 198-208.

10. *Бадаев В. В., Малкевич М. С.* О возможности определения вертикальных профилей аэрозольного ослабления по спутниковым измерениям отраженной радиации в полосе кислорода 0,76 мкм.-Изв. АН СССР. Физика атм. и океана, 1978/т. 14, № 10, с. 1022-1029.
11. *Глушко В. Н., Иванов А. И., Лившиц Г± Ш., Федулин И. А.* Рассеяние инфракрасного излучения в безоблачной атмосфере. Алма-Ата: Наука, 1974. 210 с.
12. *Бадаев В. В., Козлов Е. М.* К определению оптических параметров атмосферы по измерениям отраженной радиации в полосе поглощения кислорода 0,76 мкм.-Изв. АН СССР/Физика атм. и океана, 1980, т. 16, № 5, с. 542-545.

Институт океанологии
зш. П. П. Ширшова
ЛН СССР, Москва

Поступила в редакцию
9.X.1980

METHOD FOR OCEAN AND ATMOSPHERE COMPLEX INVESTIGATION FROM SPACE

MALKEVICH M. S., BADAEV V. V.

Ways are considered of remote sensing physical basis creation on examples of the ocean temperature, emissivity and brightness, of the atmospheric temperature, moisture and turbidity as well as of the cloud characteristics determination from the optical, infrared and microwave radiation measurements.

АНАЛИЗ ДАЙНЫХ СИНХРОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ С ИСЗ «МЕТЕОР»
ИСУДОВ УВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

ВАНЮШИН Г. П., ДЯДЮНОВ В. Н., САЖИН С. М.

В сентябре 1978 г. у восточного побережья Каспийского моря в районе п-ова Маргышлак был выполнен подспутниковый эксперимент с целью дальнейшего уточнения связей между распределением гидрологических и биологических характеристик и полей яркости водной среды, измеренных с ИСЗ «Метеор». Спутниковая съемка акватории полигона вышолйена на 22ЛХ 1978 г. в четырех диапазонах спектра (0,5—0,6; 0,6г-№,7; 0,7—0,8; 0,8—1,1 мкм) Сисанирующим устройством МСУ-М. Полигойные морские измерения выполнялись одновременно на двух судах КаспНИРХ (Астрахань) научными группами ВНИРО; выполнено 26 гидрологиче-

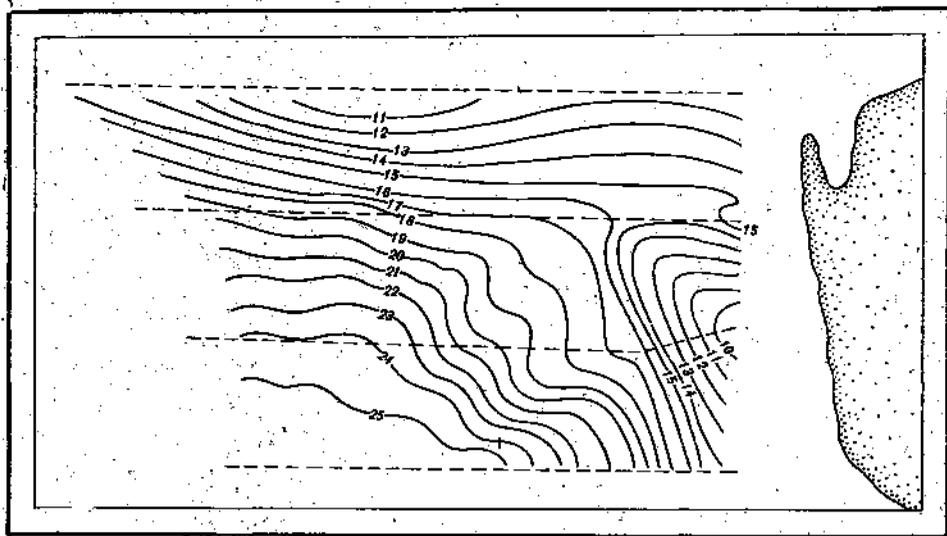


Рис. 1. Батиметрическая карта полигона, м; пунктирная линия — гидрологические разрезы

ских станций (рис. 1). В программу наблюдений входили, в частности/определения: температуры воды на поверхности, относительной прозрачности, (по диску Секки в м), концентрации хлорофилла А и неорганической взвеси на горизонтах. О метров и глубине, равной половине величины значения относительной прозрачности для конкретной станции. Основанием для выбора нефиксированного уровня второго горизонта послужили следующие причины:

— измеренные с ИСЗ значения яркости водной среды должны сопоставляться с данными судовых измерений, полученными для поверхностного слоя моря с примерно одинаковой освещенностью;

— положение верхнего максимума концентрации фитопланктона при прочих равных условиях зависит от распределения уровней освещенности по глубине [1,2], а данное распределение тесно связано с величиной относительной прозрачности [3].

Таким образом, второй нефиксированный горизонт позволяет получать более достоверные значения концентраций хлорофилла α фитопланктона для слоя водной среды, который вносит решающий вклад в формирование полей яркости изображения акватории в области спектра 0,5—0,8 мкм.

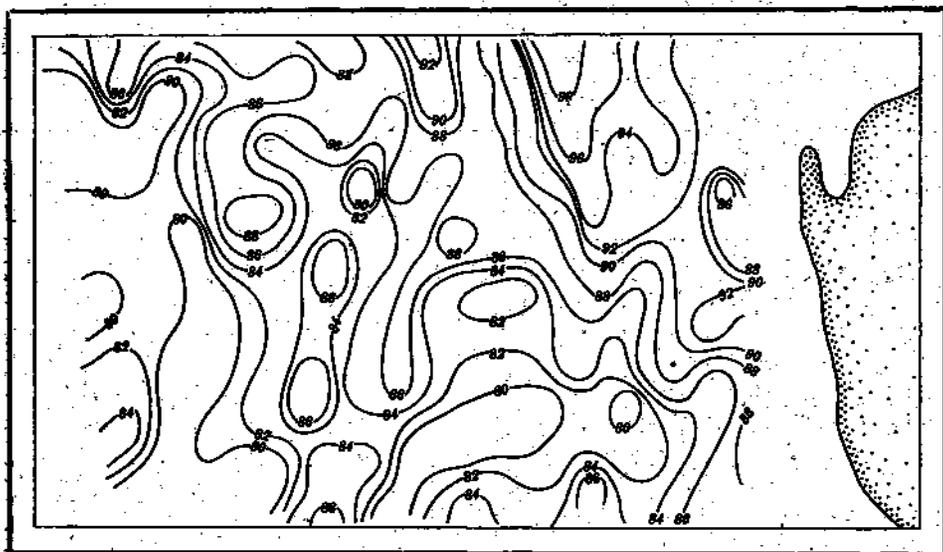


Рис. 2. Карта распределения яркости водной среды в относительных величинах в спектральном диапазоне 0,5—0,6 мкм

Обработка многозональных, данных, полученных с ИСЗ «Метеор», проводилась на экспериментальном специализированном вычислительном комплексе в ГосВДЦ ИПР. По ее результатам были построены карты распределения яркости в относительных величинах (число уровней 0—255) в трех спектральных диапазонах $A_1(0,5—0,6 \text{ мкм})$, $A_2(0,6—0,7 \text{ мкм})$, $A_3(\text{ОД}—0,8 \text{ мкм})$ (рис. 2). Точность определения положения гидрологических станций по ним составила «di3,5—5 км с учётом погрешностей технологии построения карт и обсервации судов. Лабораторная обработка проб на неорганическую взвесь и хлорофилл A производилась по стандартным методикам, результаты по двум горизонтам осреднялись.

Район проведения эксперимента является высокопродуктивной областью Каспийского моря, что связано с подъемом богатых биогенными элементами подповерхностных вод у восточного побережья [4]..... Это подтвердили судовые измерения поверхностной температуры воды. Так, в прибрежной области полигона зафиксировано понижение температуры с 20,4 до 19,4° С на расстоянии около 8 км. Средние концентрации хлорофилла для поверхностного слоя имели значения 2,0—2,5 мкг/л. Глубины в районе работ находились в пределах 10—26 м, грунт дна состоял из желто-серого песка с примесью ракушки, покрытого тонким слоем темно-серого ила. Распределение относительной прозрачности в пределах площади полигона не оказалось связанным с глубиной. Так, например, ее значения 4—5 м зафиксированы неоднократно и при глубинах 10, 14, 20, 24 и 26 м, в то же время значения относительной прозрачности 7—11 м отмечались при глубинах в пределах от 10 до 20 м. Распределение спектральной яркости V_k водной среды, измеренной с ИСЗ, так же непосред-

ственно не связано с батиметрическими характеристиками, как может показаться для некоторых областей полигона. Расчеты, выполненные по данным работ [3, 5], показывают, что доля светового потока, отраженного от дна, составляет менее 0,2% от суммарного потока, отраженного самой водной средой при данных значениях относительной прозрачности, и лишь для двух станций расчетное влияние дна было несколько большим и составило 0,7%. Поэтому изменение B_k водной среды можно считать связанным с распределением концентрации фитопланктона, неорганической взвеси и других элементов, тем более, что высота волн во время проведения эксперимента не превышала 0,2—0,4 м для мелководных

Таблица 1

Средние значения B_k водной среды в районе эксперимента при различных величинах относительной прозрачности

Границы значений относительной прозрачности в группе, м	Среднее значение в группе, м	B_k в спектральных диапазонах		
		Ч	ti	Аз
Δ	2,5	93,3	83,7	40,3
3-5	4,0	87,7	63,0	-38,7
5-7	5,4	85,3	59,9	40,8
7-11	10,2	84,0	59,0	42,5

и 0,6—0,8 м для более глубоководных районов, а их длина не превышала соответственно 5 и 10 м, что по данным работы [6] не вызывает вертикального перемешивания до дна.

При сопоставлении относительных значений спектральной яркости водной среды B_j , с соответствующими величинами относительной прозрачности $Y_{отн.пр}$ с целью уменьшения влияния случайных ошибок измерений этой характеристики, которые могут достигать значений 10—15% от зафиксированной величины, было выполнено группирование измеренных величин относительной прозрачности и для выделенных групп вычислены средние значения спектральной яркости водной среды B_k , которые приведены в табл. 1.

При этом коэффициент корреляции r средних значений спектральной яркости водной среды и средних значений относительной прозрачности: для спектрального диапазона X_1 равен $r_{X_1} = 0,83$, для спектрального диапазона A_2 $r_{A_2} = 0,57$, а соответствующие уравнения регрессии имеют вид

$$Y_{отн.пр} = \bar{B}_k / (2,98 \bar{B}_k - 240,07),$$

$$Y_{отн.пр} = \bar{B}_k / (1,03 \bar{B}_k - 51,8).$$

Графически результаты сопоставления представлены на рис. 3.

Как видно из результатов сопоставлений, для района эксперимента определение значений относительной прозрачности более надежно по данным распределения яркости водной среды в спектральном диапазоне X_1 (0,5—0,6 мкм).

Следующим этапом анализа результатов эксперимента было сопоставление значений $B^{\wedge} B^{\wedge}$ с соответствующими величинами концентрации-неорганической взвеси $C_{н.вз}$. Для уменьшения влияния случайных ошибок $C_{н.вз}$ на результаты анализа, которые могут достигать порядка 20% от полученной величины, было выполнено аналогичное группирование судовых данных. Результаты сопоставления представлены в табл. 2 и на рис. 4.

При этом для спектральных диапазонов Y_1 и A_2 получены следующие уравнения регрессии и коэффициенты корреляций:

$$C_{н.вз} = -40,50 + 0,49 B_k, \quad r_{A_2} = 0,77,$$

$$C_{\text{н.в.}} = -8,55 + 0,16 B_{\lambda_2}; r_{\lambda_2} = 0,99.$$

Результаты анализа показывают, что определение концентраций неорганической взвеси в поверхностном слое водной среды для района эксперимента более репрезентативно по данным распределения яркости в спектральном диапазоне 0,6—0,7 мкм.

Результаты анализа показали, что яркость изображения водной среды в спектральном диапазоне 0,5—0,6 мкм лучше коррелирует с распределением относительной прозрачности, а в диапазоне 0,6—0,7 мкм — с концентрацией неорганической взвеси. Известно [7,8], что фитопланктон

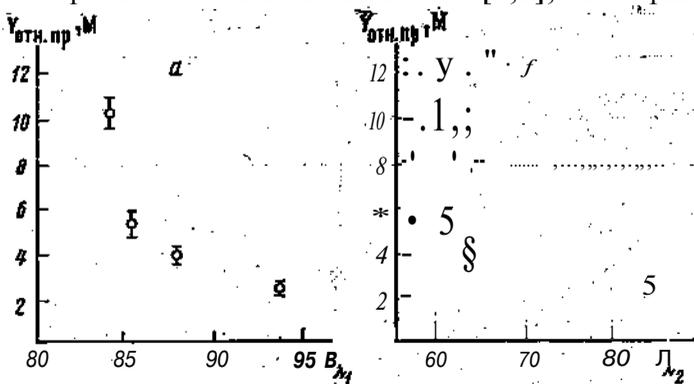


Рис. 3. Зависимость между значениями яркости водной среды в спектральных диапазонах 0,5—0,6 мкм (а), 0,6—0,7 мкм (б) и значениями относительной прозрачности.

обладает более высокой отражательной способностью в зеленой области спектра (0,5—0,6 мкм) по сравнению с красной областью (0,6—0,7 мкм), так как содержащийся в нем хлорофилл (A, B, C) и родственные соединения имеют несколько максимумов поглощения энергии в этом диапазоне длин волн. В то же время отражательная способность частиц неорганической взвеси в спектральном диапазоне 0,5—0,7 мкм изменяется незначительно, ее график имеет вид «плато» [8,9]. В среднем для района эксперимента концентрация хлорофилла A в поверхностном слое акватории довольно велика («2 мкг/л), поэтому значения относительной прозрачности, зависящие как от концентрации неорганической взвеси, так и от концентрации фитопланктона, более достоверно определяются по данным космической съемки в спектральном диапазоне 0,5—0,6 мкм, а концентрация неорганической взвеси — в диапазоне 0,6—0,7 мкм. Конечно, проникновение солнечной радиации в океанические воды (тип I—III) в спектральном диапазоне 0,6—0,7 мкм слабее, чем в области спектра 0,5—0,6 мкм, но для высокопродуктивных прибрежных вод эта разница существенно сглаживается [3].

В практике дешифрирования материалов космической съемки не всегда имеются априорные сведения по обоим указанным выше параметрам, однако экспериментально установлена связь между ними [10]. Результаты проверки полученной в работе [10] зависимости значений концентрации неорганической взвеси от величин относительной прозрачности показали возможность ее использования при анализе космических данных для района эксперимента (рис. 5), когда один из параметров не измерялся при подспутниковых судовых наблюдениях.

Поиск связей между $Y_{\text{отн. пр.}}$ водной среды и концентрацией хлорофилла A (Схл. A) осуществлялся многими исследователями, например в работах [8, 9, 11—13], но большинство результатов получено по данным самолетных или вертолетных измерений $Y_{\text{отн. пр.}}$ водной среды, как правило, в узких диапазонах спектра. Авторы поставили перед собой задачу попытаться ис-

пользовать для этой цели обычную спутниковую информацию, поступающую с ИСЗ «Метеор», - в относительно широких диапазонах спектра ($\Delta\lambda = 0,1$ мкм) с Призаданных характеристиках спектральных каналов съемки сканирующего устройства МСУ-М для определения C^A . Возможно использование: спектрального диапазона 0,5—0,6 мкм, в котором наиболее ярко проявляются отражательные свойства клеток фитопланктона [8, 9], а между концентрациями фитопланктона и хлорофилла A имеется устойчивая.

Таблица 2

Средние значения \bar{V}_k водной среды в районе эксперимента при различных концентрациях неорганической взвеси

Границы концентраций неорганической взвеси в группе, мг/л	Среднее значение в группе, мг/л	\bar{V}_B в спектральных диапазонах	
		A.	Я*
<1,0	-0,8	87Д	60,6
1,0-2,5	1,6	85,4	63,0
2,5-5,0	Л4	89,0	83,0
>5,0	5,7	95,0	90,0

зависимость [14]. Однако соотношение значений B^A водной среды и $C_{зд. A}$ приведет к положительным результатам лишь в том случае, когда взвешенной среде отсутствует неорганическая взвесь или ее концентрации малы, а также, когда значения $C_{д. вз}$ в поверхностном слое одинаковы и она распределена равномерно. В связи с этим по данным судовых измерений исследуемая акватория была разделена на две области: первая с концентрацией взвеси $C_{д. вз} < 1,5$ мг/л, вторая — с $C_{д. вз} > 1,5$ мг/л. При этом предполагалось, что изменение Z^A в выделенных областях происходит за счет различий в концентрации $C_{д. A}$.

Выделенные области были разбиты на четыре градации по измеренным значениям B^A (так как число исходных данных для каждой области ограничено), для градаций B^A были подсчитаны средние величины $C_{д. A}$ (здесь необходимо принимать во внимание то обстоятельство, что только инструментальная точность определений $C_{д. A}$ составляет около $\pm 15\%$ от измеренной величины). Результаты проведенного анализа представлены: 3 табл. 3 и на рис. 6.

Рассчитанное по этим данным уравнение регрессии имеет вид

$$C_{д. A} = a + bV_{д.}$$

при этом

$$\left. \begin{array}{l} g = 0,96 \\ e = -33,3 \\ b = 7,98 \end{array} \right\} \text{ для } (7 \text{ н. в. } 8 < 1,5 \text{ мг/л,}$$

$$\left. \begin{array}{l} g = 0,91 \\ a = -41,2 \\ b = 9,67 \end{array} \right\} \text{ для } C_{д. в. } 8 > 1,5 \text{ мг/л.}$$

При одинаковых значениях S^A водной среды точки графика (рис. 6) с концентрацией взвеси $C_{д. вз}^A$, мг/л имеют большие значения C^A л, что указывает на правильность выбранного методического подхода при обработке данных космической съемки и синхронных судовых наблюдений.

Выполненные расчеты справедливы только для района эксперимента. Однако предложенный методический подход анализа материалов судовых и спутниковых измерений может быть использован при обработке результатов диалогических Экспериментов. Следует отметить возможность использования спектрального диапазона 0,5—0,6 мкм для обнаружения высокопродуктивных районов в океане, используя при этом имеющуюся спутни-

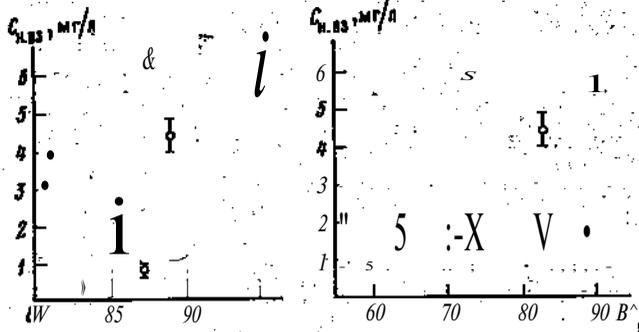


Рис. 4. Зависимость между значениями яркости водной среды в спектральных диапазонах 0,5-0,6 мкм (а) и 0,6-0,7 мкм (б) и значениями концентрации неорганической взвеси.

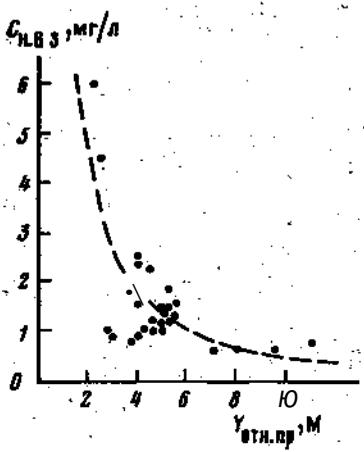


Рис. 5. Зависимость величин концентрации неорганической взвеси от значений относительной прозрачности по данным эксперимента (точки) и данным работы f10] (пунктирная кривая)

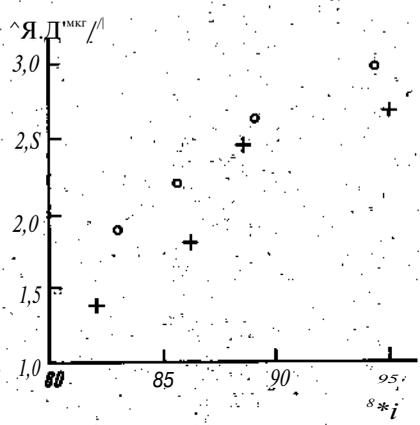


Рис. 6. Зависимость между значениями яркости водной среды в спектральном диапазоне 0,5-0,6 мкм и значениями концентраций хлорофилла А в поверхностном слое для районов с примерно одинаковыми концентрациями неорганической взвеси: O - при $C_{H.B.3} < 1,5$ мг/л; + - при $C_{H.B.3} \ge 1,5$ мг/л

новую информацию, с учетом того, что изменения $B_{к}$ водной среды в этом диапазоне спектра для открытых вод океана более тесно/связаны с изменениями концентрации биологических элементов, так как присутствие в этих водах частиц неорганической взвеси ограничено по сравнению с прибрежными водами.

Таблица 3

Зависимость спектральной яркости B_{λ} водной среды от значений Охл. лв в областях акватории с ограниченными пределами изменения $C_{H.B.3}$

Границы осреднения относительных значений в λ	$C_{H.B.3} < 1,5$ мг/л		$C_{H.B.3} \ge 1,5$ мг/л	
	B_{λ}	$C_{ХЛ. А}$ МКГ/Л	B_{λ}	$C_{ХЛ. А}$ МКГ/Л
<84	82,8	1,90	82,0	1,40
85-87	85,5	2,20	86,2	1,80
88-90	89,0	2,65	88,5	2,50
>90	94,5	2,94	95,0	2,77

Конечно, при этом необходимо учитывать влияние атмосферы на выходящее из океана излучение [15, 16], однако для небольших по площади акваторий в большинстве случаев оно может быть условно принято однородным, следовательно, все зафиксированные изменения B^* , для данного района можно отнести за счет распределений океанологических и биологических характеристик водной среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Моисеев Я. А. Биологические ресурсы Мирового океана. М., 1969. 338 с.
2. Биология океана, Т. 1. М.: Наука, 1977. 398 с.
3. Ерлов Н. Г. Оптика моря. Л.: Гидрометиздат, 1980. 247 с.
4. Косарев А. Я. Гидрология Каспийского и Аральского морей. М.: Изд-во МГУ, 1975. 273 с.
5. Маньковский В. И. Связь между глубиной видимости белого диска и показателем ослабления излучения для океанических вод.—Б кн.: Оптические методы изучения океанов и внутренних водоемов. Новосибирск: Наука, 1979, с. 100—106.
6. Жуков Л. А. Общая океанология. Л.: Гидрометеоиздат, 1976. 376 с.
7. Гуринович Г. П., Севченко А. Н., Соловьев К. Н. Спектроскопия хлорофилла и родственных соединений. Минск: Наука и техника, 1968. 520 с.
8. Manual of remote sensing. Washington Amer. Soc. photogrammetry, 1975, v. 2, 1756p.
9. Пелевин В. Н. Оценка концентрации взвеси и хлорофилла в море по измеряемому с вертолета спектру выходящего излучения.—Океанология, 1978, т. XVIII, № 3, с. 428—434.
10. Скопичев В. А. О коагуляции терпигенных взвешенных частиц речного стока* в морской воде.—Изв. АН СССР. Географ. и геофиз., 1946, т. X, № 4, с. 357—371.
11. Clarke G. L., Ewing G. C., Lorenzen C. L. Spectra of Backscattered light from the sea obtained aircraft as a measure of chlorophyll concentration.—Science, 1970, v. 167, № 3921, p. 1119—1121.
12. Szekielda, K. H. Observations of Suspended Material from spacecraft Altitudes. Deutsches Hydrographisches Institut. Hamburg, 1974, Heft 4, p. 159—170.
13. Viollier M., Deschamps P. Y., Lecomte P. Airborne remote sensing of chlorophyll content under cloudy sky as applied to the tropical waters in gulf of Guinea.—Remote sensing of environment, 1978, V. 7, № 3, p. 235—248.
14. Кобленц-Мишке О. И., Ведерников В. И. Первичная продукция.— В кн.: Биология океана, Т. 2. М.: Наука, 1977, с. 183—208.
15. Малкевич М. С. Учет атмосферы в задачах изучения природных ресурсов Земли из космоса.— В кн.: Космические исследования земных ресурсов. М.: Наука, 1976, с. 110—130.
16. Бурённое В. И., Гуревич И. Я., Копелевич О. В., Шифрин-К. С. Спектры яркости выходящего излучения и их изменение с высотой наблюдения.— В кн.: Оптические методы изучения океанов и внутренних водоемов. Новосибирск: Наука, 1979, с. 41—58.

Всесоюзный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии, Москва

Государственный научно-исследовательский центр изучения природных ресурсов, Москва

Поступила в редакцию 25.XI.1980

ANALYSIS OF SIMULTANEOUS MEASUREMENTS FROM «METEOR» SATELLITE AND SHIPS AT THE EASTERN COAST OF THE CASPIAN SEA

VANYUSHIN G. P., DYADYUNOV V. N., SAZHIN S. M.

Analysis methods are considered of simultaneous measurements conducted by experimental «Meteor» satellite and ships at the Eastern coast of the Caspian sea. Revealed connections are given between water environment brightness, chlorophyll concentration, inorganic suspension and values of relative transparence.

УДК 551.57:629.78

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОБЛАЧНОЙ АТМОСФЕРЫ

СЕМИН А. Г., ТРОХИМОВСКИЙ Ю. Г., ХАПИН Ю. В., ЭТКИН В. С.

Определение интегрального содержания водяного пара W и водозапаса облаков Q по собственному радиотепловому излучению системы океан — атмосфера является важной задачей дистанционного зондирования. Для нахождения водозапаса облаков необходимо знать величину коэффициента поглощения электромагнитных волн капельной влагой. В сантиметровом диапазоне волн коэффициент поглощения капельными облаками существенно зависит от температуры [1, 2], которая априорно может быть задана с точностью ± 10 град. Эта неопределенность вносит существенные ошибки в определяемые параметры океана и атмосферы [3]. Рядом авторов указывалось на возможность определения температуры облака по радиометрическим измерениям на нескольких длинах волн в диапазоне 20—100 ГГц [1, 2, 4, 5].

В настоящей работе обсуждаются результаты численного и натурного экспериментов по восстановлению интегральных параметров атмосферы, включая температуру облака, по данным регистрации с борта самолета-лаборатории радиотеплового излучения на длинах волн 1,5; 0,8 и 0,34 см.

Методика решения. Радиояркостьная температура системы океан — атмосфера при наблюдении в надир может быть записана в виде [2]

$$T_{\text{я}} = \kappa T_0 e^{-\tau} + RT^* (1 - e^{-\tau}) e^{-\tau_A} + T_A^* (1 - e^{-\tau_A}), \quad (1)$$

где T_0 — температура воды; τ — интегральное поглощение атмосферы; τ_A — поглощение слоя атмосферы высотой A ; R — высота полета; κ и R — излучательная способность* и коэффициент отражения морской поверхности; T^* и T_A — эффективные температуры всей атмосферы и слоя высотой h .

В отсутствие облачности поглощение в атмосфере обусловлено линиями поглощения кислорода и водяного пара, высотное распределение которых принималось экспоненциальным. Характеристическая высота кислорода принималась равной 5,2 км, а для водяного пара находилась из данных радиозондов.

При наличии облачности выше самолета яркостьная температура может быть записана как

$$T_{\text{я}}^{\text{обл}} = \kappa T_0 e^{-\tau} + RT^* (1 - e^{-\tau}) e^{-\tau_A} + T_A^* (1 - e^{-\tau_A}) + T_{\text{обл}}^* (1 - e^{-\tau_{\text{обл}}}), \quad (2)$$

где $T_{\text{обл}}^*$ — приращение интегрального поглощения за счет облачности, $T_{\text{обл}}^*$ — эффективная температура облачной атмосферы.

Решение задачи нахождения параметров атмосферы проводилось итерационно. Для первой итерации эффективные температуры облачной и безоблачной атмосферы считались равными $2\tau_{\text{обл}} = \tau^*$, при этом для случая облачности выше самолета при стационарном состоянии поверхности нетруд-

но получить

$$\Delta\tau = -\ln\left(1 - \frac{I_{\text{обл}} - \Gamma_{\text{я}}}{RT^* e^{-\tau}}\right) \quad (3)$$

Приращение затухания в облачной атмосфере соответствующими коэффициентами связывалось с вариациями интегрального содержания водяного пара и водозапасом облака:

$$f_0 \Delta a^b W + \Delta MQ, \quad \text{Л } >, \text{ " } V; ; \text{Л-ч } \text{ " } (4)$$

где T_3 — эффективная температура облака; λ — длина волны; a_j^{**} — коэффициент поглощения водяным паром; f^* — коэффициент поглощения мелкокапельной влагой, находимый по формуле

$$y = \frac{5,665 - v''}{\lambda / \dots \cdot (v''^2)^2 + (v'')^2} \quad (5)$$

δ' и δ'' — действительная и мнимая части диэлектрической проницаемости воды, значения которых были взяты из [6].

Система (4) решалась двумя способами: методом линеаризации и методом, аналогичным описанному в [4]. Оба метода дали практически одинаковые результаты. После первого решения оценивалась эффективная температура облачной атмосферы:

$$T_{\text{обл}}^* = \frac{T^* \tau + \epsilon_0 \Delta\tau}{\tau + \Delta\tau} \quad (6)$$

и снова вычислялось $\Delta\tau$ с учетом разницы Γ^* и $\Gamma_{\text{обл}}^*$. Для сходимости итерационного процесса требовалось четыре-пять шагов.

В случае полета над облачностью задача решалась аналогичным методом.

Численный эксперимент. Для различных метеоусловий рассчитывались яркостные температуры системы океан — атмосфера в отсутствие и при наличии облачности;

Затем решалась обратная задача, т. е. по вычисленным значениям яркостных температур, используя вышеизложенную методику, находились величины Q , ΔW и t^* . При решении, принималось во внимание, что интегральное поглощение $\Delta\tau$ определяется по яркостной температуре с ошибками.

Ошибки определения $\Delta\tau$ вычислялись с учетом реальной чувствительности радиометров, точности калибровок, возможных отклонений реальных профилей температуры и влажности от принимаемых для обработки. Кроме этого учитывалась неопределенность состояния и температуры морской поверхности. Величина ошибок определения $\Delta\tau$ составила 6—10% для водозапасов порядка 6,2—12 кг/м² и резко возросла для облачности с $\Delta\tau < 0,2$ тг/м².

Введение этих ошибок в левую часть системы (4) привело к ошибке водозапаса около 0,045 кг/м² (при $\Delta W = 0,5$ кг/м²) и к ошибке интегрального содержания водяного пара 0,18 г/см². Ошибка эффективной температуры увеличивалась от 1 град при отрицательных температурах, до 2—3 град при температурах облака 0—10 град.

Численный эксперимент подтвердил выводы работы [5] о том, что ошибка в эффективной температуре облака мало влияет на точность определения водозапаса при использовании канала 0,34 см совместно с каналами 0,8 и 1,5 см. Так, ошибки в эффективной температуре ± 15 град ($\Delta T = 5$ град) приводили к ошибкам водозапаса порядка 30% в случае двух каналов (0,8 и 1,5 см) и ошибкам, не превышающим 7%, в случае трех каналов (0,34, 0,8 и 1,5 см).

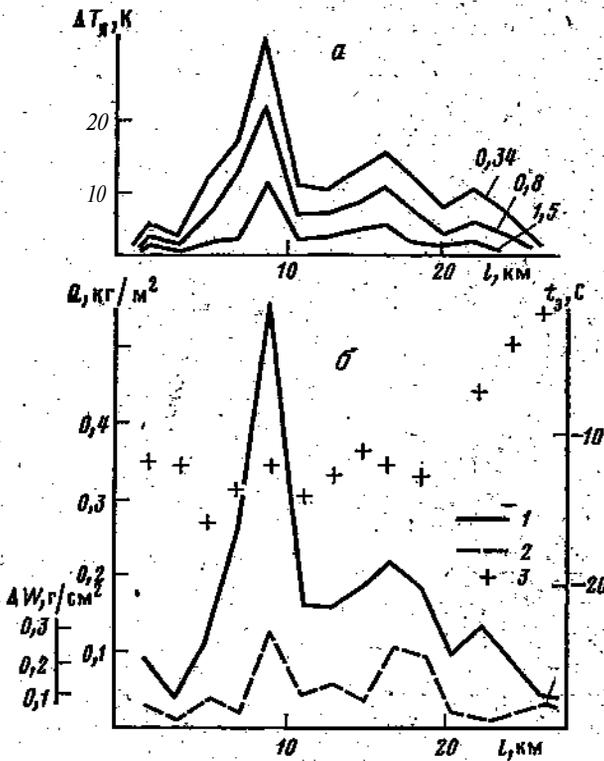


Рис.1. Пример обработки радиометрических данных; полученных с борта самолета-лаборатории: *a* — вариации яркостных температур на волнах 0,34; 0,8 и 1,5 см при проходе над кучевым массивом; *б* — полученные значения водозапаса (1), вариаций водяного пара (2) TIL эффективной температуры (3) $\langle Wt \rangle = 1,5 \text{ г/см}^2$

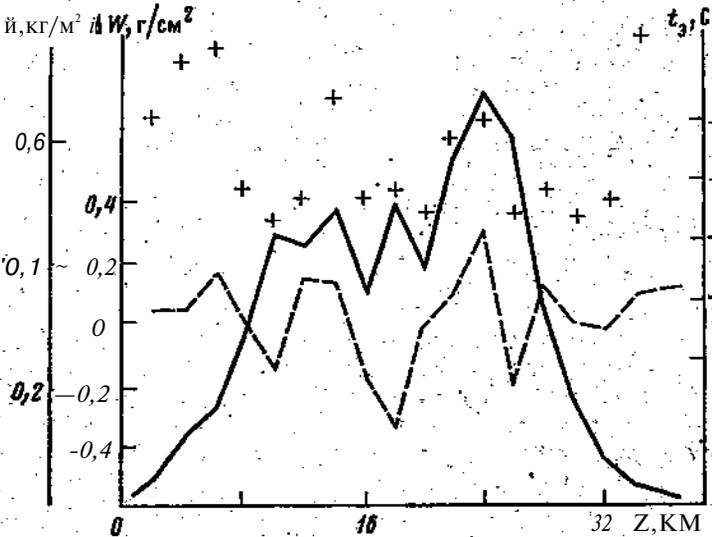


Рис. 2. Найденные значения ΔW , Q и t_e в случае приема излучения с больших высот (обозначения те же, что и на рис. 1, б); $W_0 = 1,7 \text{ г/см}^2$

Анализ устойчивости решения системы к возмущениям коэффициентов показал, что изменение коэффициента поглощения капельной влагой на 5% может привести к ошибке определения эффективной температуры в 1-3 град при $-i0 < t_0 < 0$ и 3-7 град при $0 < \xi_8 < +10$ град.

В целом расчеты показали, что точность определения водозапаса составляет величину порядка 8-14%, а вариаций водяного пара 0,1-0,2 г/см² при $\xi = 0,15-1,6$ кг/м².

Натурный эксперимент. Многоканальные измерения радиотеплового излучения проводились над акваторией Каспийского моря в период с весны 1978 г. по декабрь 1979 г. Радиометры были установлены на самолете-лаборатории Ил-14. Антенны-радиометров были ориентированы в надири и имели ширину диаграммы направленности 6°. Приведенные к антенне при постоянной времени 1 с чувствительности радиометров составили 0,3° на длине волны 0,34 см и 0,15° на длинах волн 0,8 и 1,5 см. Подробнее описание этих приборов приведено в [7].

Для определения температуры воды использовался ИК-радиометр. При обработке результатов 1979 г. дополнительно использовались данные радиометров, направленных в зенит (0,8 и 1,35 см).

Калибровка радиометров осуществлялась по эталонному черному телу и безоблачному участку, яркостная температура которого рассчитывалась по данным радиозондов или по результатам радиометрических каналов, ориентированных в зенит при наборах высоты.

В проведенных полетах были зарегистрированы слоисто-кучевые и кучевые типы облачности. Регистрация радиотеплового излучения проводилась при полетах как над, так и под облачностью.

Для обработки были отобраны реализации, в которых максимальное приращение яркостной температуры канала 0,34 см превысило 10-15К. Типичная запись приращения яркостных температур относительно безоблачного случая приведена на рис. 1, а.

Измеренные значения яркостных температур обрабатывались по изложенной выше методике. Найденные значения эффективной температуры ξ_3 водозапаса Q и вариаций водяного пара AW показаны на рис. 1, б. С целью уменьшения влияния возможных ошибок юстировки антенн для нахождения $t^{\wedge} Q$ и AW были выбраны точки, в которых отсутствовали сильные пространственные градиенты яркостных температур. На рис. 2 изображены значения интегральных параметров по результатам измерений радиотеплового излучения над облачностью ($h=2400$ м).

Во всех обработанных реализациях полученные значения водозапаса не превышали 0,7 кг/м², максимальные вариации водяного пара составили 0,5-0,6 г/см². Следует отметить довольно небольшой разброс подучаемых эффективных температур и малую корреляцию ξ_3 с найденной величиной водозапаса. Система устойчиво разрешалась относительно ξ_3 вплоть до значений водозапаса 0,06-0,08 кг/м², а в отдельных случаях и при более низких значениях Q . Тем не менее из полученных данных непосредственно видно уменьшение точности определения I_b при уменьшении водозапаса облачности. С этим фактом, видимо, связано увеличение t_d в правой части рис. 1, б и при ($\xi < 0,05$ кг/м² на рис. 2).

Во время проведения радиометрических измерений оценивалась высота облачности. Это позволило сопоставить эффективную температуру об-

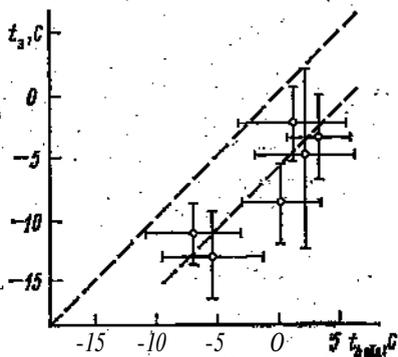


Рис. 3. Сопоставление эффективной температуры, полученной из радиометрических данных t_3 , с оценкой температуры воздуха на высоте облака *Аобл

лачности τ , полученную из радиометрических данных, с оценкой температуры воздуха на средней высоте облачности 4_0 бл (рис. 3). Ошибка в эффективной температуре находилась по разбросу точек отдельной реализации и в среднем составила 4° . Из рис. 3 видно, что эффективные температуры t_e на 4—5 град ниже оценок t_{h_0} бл, но в целом полученный результат, безусловно, можно рассматривать как подтверждение возможности нахождения эффективной температуры облачности из радиометрических измерений. Можно надеяться, что последующие эксперименты позволят понять причину возникновения систематического занижения величины ϵ .

Результаты работы подтверждают верность выбранных моделей и методики решения задачи по определению интегральных параметров атмосферы радиометрическими методами. Использование радиометра на волне 3,4 мм позволило определить эффективную температуру облачности с точностью 3—4 град.

ЛИТЕРАТУРА

1. Башариное А. Е., Кутуза Б. Г. Определение температурной зависимости времени релаксации молекул воды в облаках и возможности оценки эффективной температуры капельных облаков по СВЧ радиометрическим измерениям.—Изв. вузов. Радиофизика, 1974, т. 17, № 1, с. 52—58.
2. Башариное А. Е., Гурвич А. С., Егоров С. Т. Радиоизлучение Земли как планеты. М.: Наука, 1974. 188 с.
3. Гранков А. Г., Шутко А. М. Оценки эффективности определения параметров морской поверхности и атмосферы СВЧ радиометрическим методом.—Радиотехника, 1980, т. 35, № 5, с. 38—42.
4. Митник Л. М. Определение полной массы водяного пара в атмосфере водозапаса и эффективной температуры облаков по измерениям уходящего СВЧ излучения Земли.—В кн.: Радиофизические исследования атмосферы. Л.: Гидрометеоздат, 1977, с. 194—200.
5. Жевакин С. А. О радиотеплокационном определении интегральной влажности облачной атмосферы и интегральной водности, температуры и высоты капельной фазы облаков.—Изв. вузов. Радиофизика, 1978, т. 21, № 8, с. 1122—1132.
6. Розенберг В. И. Рассеяние и ослабление электромагнитного излучения атмосферными частицами. Л.: Гидрометеоздат, 1972. 348 с.
7. Семин А. Г., Хапин Ю. Б., Шаранов А. Н. Самолетные радиометры на полупроводниковых приборах.—Радиотехника, 1979, т. 34, № 9, с. 42—45.

Институт космических исследований
АН СССР, Москва

Поступила в редакцию
28.XL1980

DETERMINATION OF THE CLOUD ATMOSPHERE INTEGRAL PARAMETERS

SBMB4 A. G., TROKHIMOVSKIY Yu. G., KHAPIN Yu. B., ETKIN V. 8.

Aircraft measurements of the «atmosphere-ocean» system thermal radiation at the frequencies 22, 37 and 89 GHz are given. The measurements make it possible to determine water vapor integral content and effective temperature of clouds.

<УДК 629.783:778.39

ОСОБЕННОСТИ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ НА БОРТУ ИСЗ ПРИБОРОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ПОЛОСАМИ ОБЗОРА

АСТАШКИН А. А., САУЛЬСКИЙ В. К., УСПЕНСКИЙ Г. Р.

Спутники для исследования природных ресурсов Земли (ИПРЗ), как показано в [1], должны запускаться на солнечно-синхронные орбиты (ССО) с параметрами, обеспечивающими последовательное ежесуточное смещение полос обзора бортовых приборов по земной поверхности на ширину полосы, уменьшенную с учетом заданного бокового перекрытия.

Такая схема покрытия позволяет обеспечить минимальный цикл обзора любой ограниченной территории при одинаковых условиях солнечной освещенности и составлять однородные по тональности широтные мозаики изучаемых районов. В [1] приведен метод расчета высоты Y и наклона орбиты ИСЗ для реализации этой схемы покрытия в случае, когда все бортовые приборы имеют одинаковые полосы обзора. В настоящей работе выполнен анализ возможности комплексирования на борту ИСЗ приборов, имеющих различные по ширине полосы обзора, различное разрешение на местности и способных порознь за различные периоды времени осуществлять полное покрытие поверхности Земли. Подобное совмещение разных приборов на одном и том же ИСЗ повысит его эффективность за счет большей полноты выполнения требований по детальности и периодичности получения информации.

Рассмотрим в качестве условного примера случай, когда в бортовой комплекс измерительно-обзорной аппаратуры ИСЗ входят сканирующая телевизионная система малого разрешения с полосой обзора 800 км и разрешением 20 м, многоспектральная система среднего разрешения с полосой обзора 200 км и разрешением 5,0 м, а также телевизионная система высокого разрешения с полосой обзора 50—100 км и разрешением 25 м. В качестве номинальной орбиты для анализа принята ССО высотой 600 км. При условии выполнения всеми тремя приборами сплошного покрытия поверхности суши периоды обновления информации ориентировочно составят: $T_1 = 4$ сут, $T_2 = 16$ сут, $T_3 = 64$ сут.

Предположим, что эффективность ИСЗ определяется двумя основными информационными параметрами: разрешением по поверхности обзора γ и периодом T обновления информации. В зависимости от этих параметров определяется вероятность P выполнения им основного назначения $P = P(\gamma)P(T)$, т. е. полнота решения всех задач потребителей. Пусть функции $P(\gamma)$ и $P(T)$ известны и имеют вид, приведенный на рисунке.

Эффективность раздельного и совмещенного использования указанных выше приборов с учетом весовых функций можно оценить, сравнив следующие варианты: 1) использование телевизионной системы малого разрешения; 2) использование телевизионной системы среднего разрешения; 3) использование телевизионной системы высокого разрешения; 4) совместное использование всех указанных систем,

В соответствии с рисунком эффективность этих вариантов соответственно равна 0,12; 0,25; 0,1; 0,394. Полнота выполнения требований для четвертого варианта определялась по соотношению $P_4 = 1 - (1 - P_1) \times (1 - P_2) \times (1 - P_3)$, где индексы соответствуют указанным выше системам.

Представленные оценки показывают, что совмещение на борту ИСЗ телевизионных систем с различными полями обзора приводит к повышению эффективности использования ИСЗ, однако такое увеличение может быть достигнуто только путем обеспечения сплошного покрытия каждой телевизионной системой в отдельности. Ниже будет показано, что такое условие может быть реализовано соответствующим подбором высоты и, следовательно, суточного сдвига восходящего узла орбиты на экваторе.

Метод расчета высоты Y , наклонения ζ и драконического периода T^* солнечно-синхронной орбиты в зависимости от суточного сдвига A_i , имеющего положительные значения при западном смещении трассы и отрицательные — при восточном, сводится к решению следующей системы уравнений [1]:

$$i = \pi/2 + \arcsin [2\pi(R+H)^{3/2} \sqrt{\mu} / \epsilon T_s],$$

$$NT_d = T_s(1 + \Delta_i/2\pi R), \quad V; ; \quad ; \quad (1)$$

$$T_d = 2\pi(R+H)^3 / \sqrt{\mu} + 2\pi \epsilon (1 - 4 \cos^2 i) / \sqrt{\mu^3 (R+H)},$$

где R — средний радиус Земли (км); $\mu = 3,98 \cdot 10^5 \text{ км}^3/\text{с}^2$ — постоянная сжатия Земли; $\epsilon = 2,634 \cdot 10^{10} \text{ км}^5/\text{с}^2$ — постоянная тяготения Земли; T_s — тропический год (с); T_d — средние солнечные сутки (с); N — ближайшее целое число к отношению T/T_s .

В случае, когда полосы обзора всех видов бортовой спецаппаратуры ИСЗ совпадают, в системе уравнений (1) должен использоваться следующий суточный сдвиг:

$$A_i = \frac{B}{\sin i} \quad (2)$$

где B — ширина полос обзора; $\%$ — коэффициент бокового перекрытия полос обзора.

В случае многополосного обзора на борту ИСЗ имеются и виды аппаратуры с различными по ширине полосами — B_1, B_2, \dots, B_k . В этом случае значение суточного сдвига должно быть подобрано таким образом, чтобы, во-первых, за счет ежесуточного смещения трассы спутника на величину этого сдвига наибольшая полоса Z_k покрывала межвитковое расстояние на экваторе L , например, за n_1 сут; во-вторых, за счет посуточного смещения трассы на величину Δ_1 следующая по ширине полоса B_2 покрывала сдвиг A_1 за n_2 сут; в-третьих, за счет TZI смещения трассы на A_2 третья по размеру полоса покрывала предыдущий сдвиг A_2 и т. д. до последней полосы B_k . При этом для обеспечения покрытия без пропусков необходимо, чтобы выполнялись условия

$$|\Delta_1| \leq B_1 / \sin i, \quad |\Delta_2| \leq B_2 / \sin i, \quad \dots, \quad |\Delta_k| \leq B_k / \sin i.$$

Межвитковое расстояние равно

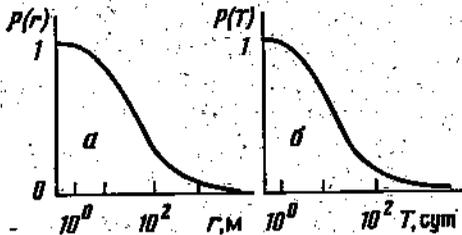
$$L = 2\pi R T_d / T_s \quad (3)$$

Значения A_i, A_2, \dots, A_k должны удовлетворять следующей системе из $(k-1)$ уравнений:

$$n_1 \Delta_1 = L + \Delta_2,$$

$$n_2 \Delta_2 = \Delta_1 + \Delta_3, \quad (4)$$

$$n_{k-1} \Delta_{k-1} = \Delta_{k-2} + \Delta_k.$$



Функции полноты решения задач ИПРЗ в зависимости от разрешения на местности (а) и периодичности обзора (б)

В этой системе число уравнений на 1 меньше количества искоемых величин A_1, D_2, \dots, A_L поэтому одну из них нужно выбрать произвольно с учетом условий (2). Наиболее естественно фиксировать наименьшую из этих величин, выбрав ее, например, в пределах

$$\Delta_1 \leq (1 - X_{\max}) / \sin i, \quad |A_n| \leq S_{n,a} - 5C_{\min} / S_{m7}, \quad (5)$$

где X_{\max} и X_{\min} — соответственно наибольшее и наименьшее допустимые значения коэффициентов бокового перекрытия. Тогда, решая систему (4), получаем

$$A_i = Z_{\Gamma} / a_i + A_{ft} / a_{i2} \cdot \dots \cdot a_{i-1}, \\ \Delta_2 = \Delta_1 / \alpha_2 + \Delta_n / \alpha_2 \alpha_3 \dots \alpha_{n-1}, \quad (6)$$

$$\Delta_{k-1} = \Delta_{k-2} / \alpha_{k-1} + \Delta_n / \alpha_{k-1},$$

где $\alpha_{k-1} = n_{k-1}, \quad \alpha_{k-2} = n_{k-2} - 1 / \alpha_{k-1}, \dots, \alpha_1 = n_1 - 1 / \alpha_2. \quad (7)$

Подставляя полученное значение сдвига A_i в систему уравнений (1), можно найти орбитальные параметры $Y, \Gamma, \Gamma_{\text{в}}$, обеспечивающие многополосный обзор.

Задавая различные последовательности чисел $n_{\pm}, \Gamma_2, \dots, L_{A-4}$ можно находить разные варианты орбитальных параметров при многополосном обзоре. Следует отметить, что величины $n_{\pm}, \Gamma_2, \dots, \Gamma_{\text{в}}$ могут быть заданы и в виде отрицательных чисел. Анализируя совокупность полученных вариантов параметров орбит, можно выбрать наиболее подходящий из них для конкретных условий с учетом допустимых требований по боковому перекрытию полос обзора для всех видов бортовой аппаратуры.

В качестве примера найдем высоту H_i наклонение i в случае, когда $54 = 600 - 650$ км, $5_2 = 160 - 200$ км, $Y_3 = 50 - 100$ км в диапазоне высот $Y = 600 - 700$ км. Для получения величин A_t, D_2 , соответствующих приблизительно серединам указанных интервалов значений полос обзора, следует выбрать $n_{\pm} = 4, \Gamma_2 = -3, D_3 = -75$ км. Тогда, решая системы уравнений (6) и (1) с учетом (3), получаем $A_t = 630$ км, $A_2 = -185$ км, $H = 641$ км, $i = 98^\circ$.

Исследуем точность, с которой нужно поддерживать оптимальную высоту орбиты. Используя первое равенство системы (6), а также учитывая неравенства (5), допустимые колебания сдвига ΔA_i должны удовлетворять следующему условию:

$$|\delta \Delta_k| = B_k (\chi_{\max} - \chi_{\min}) / \sin i, \quad |a_i| < x_2, \dots, a_{n-1}. \quad (8)$$

Из двух нижних формул системы уравнений (1) получим следующую приближенную зависимость между приращениями высоты δH и сдвига δA_i :

$$|\delta H| \approx 16 D_1 T_0 \sqrt{\mu} / 6 \pi^2 R \sqrt{R + H N}.$$

При $Y = 650$ км ($N = 15$) $|B_k| \approx 0,12 |\delta A_k|$. Тогда с учетом (8) получаем

$$|\delta H| \approx 0,12 B_k (\chi_{\max} - \chi_{\min}) / \alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_{k-1}.$$

В рассмотренном выше примере для полосы обзора $\#_3 = 75$ км при $A_{\max} = 0,2$ км, $A_{\min} = 0$ можно подсчитать, что $|\delta H| = 0,15$ км.

Для поддержания высоты орбиты с подобной точностью на борту ИСЗ целесообразно использовать корректирующие двигатели малой тяги.

В заключение сделаем несколько замечаний относительно величин A_i, A_1, \dots, A_L , входящих в систему уравнений (4). Знак суточного сдвига A_i определяет направление смещения полос обзора B_{\pm} на каждом межвитковом расстоянии L : положительным числам D_i соответствует перемещение

ние на запад, а отрицательным — на восток. Знаки остальных величин A_2, A_3, \dots, A_n сами по себе еще не фиксируют направления смещения полос обзора $\#2, B_2, \dots, B_k$. Обозначим $D_0 = \epsilon$, причем всегда $D_0 > 0$, а направление смещения D_0 западное. Тогда, начиная с полосы обзора B_2 и последовательно переходя к полосам B_3, B_4 и т. д., можно найти характер их смещения, используя такое правило: полоса B_i смещается на каждом участке D_{i-1} в том же направлении, что и B_{i-1} на участке D_{i-2} , если выполняется неравенство

$$|n_{i-1} \Delta_{i-1}| > |\Delta_{i-2}|.$$

В противном случае направление смещения B_i изменяется на противоположное.

Покажем далее как по значениям A^* можно определить обеспечиваемую для полосы B_i периодичность обзора T_i в сутках. Используя i первых уравнений системы (4), можно получить следующее равенство:

$$B^* T_i \Delta_i - p_i \Delta_i = 1. \quad (9)$$

Тогда в случае, если $5^* = D_i$,

$$T_i = \begin{cases} |m_i| & \text{при } p_i A_i^* \Delta_i < 0, \\ |m_i| + |p_i| & \text{при } p_i A_i^* \Delta_i < 0; \end{cases}$$

Если $B_i > \Delta_i$, то

$$T_i = \begin{cases} |n_i| & \text{при } p_i D_i \Delta_i < 0 \text{ или } B_i - |D_i| > |D_i| + 1, \\ |n_i| + |p_i| & \text{при одновременном выполнении неравенств} \\ & p_i \Delta_{i+1} < 0 \text{ и } B_i - |D_i| < |D_{i+1}|. \end{cases}$$

Значения n_i и p_i проще всего можно определить последовательно пренебрегая следующие соотношения:

$$m_i = m_{i-1} n_i - p_{i-1},$$

$$p_i = m_{i-1},$$

причем $m_i = n_i$, $p_i = r_i$.

Выводы. 1. При наличии на борту ИСЗ нескольких видов аппаратуры с различными по ширине полосами обзора целесообразно применять изложенную в данной статье методику для определения рациональной высоты орбиты, обеспечивающей оптимальное покрытие Земли сразу всеми полосами обзора.

2. Рациональная высота орбиты должна поддерживаться в процессе эксплуатации ИСЗ с высокой точностью. Для этой цели на борту ИСЗ целесообразно использовать корректирующие двигатели малой тяги.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гришин С. Д., Журавлев И. Ф., Лисовой В. Т., Саульский В. К., Суриков В. М. Выбор орбит ИСЗ для исследования природных ресурсов Земли. — В сб.: Космические исследования земных ресурсов. М.: Наука, 1976, с. 310 — 316.

Поступила в редакцию
14.X.1980

ON OPPORTUNITY TO COMBINE ON BOARD OF SATELLITE DEVICES WITH VARIOUS SURVEY BANDS

ASTASHKIN A. A., SAUL'SKIJ V. K., USPENSKIJ G. R.

Expedience is substantiated to combine on board of satellite several Earth resources remote sensing devices with various survey bands and resolution. The method of calculating satellite orbital parameters is proposed providing complete covering the Earth surface by each of the bands separately. The demands to the accuracy of the orbital altitude supporting for fulfilment of multiband global covering are defined.

КОМПЛЕКСНАЯ ОБРАБОТКА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ И ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

ЮДИН В. С.

Способность зрения геологической информации, заключенной в космофотоснимке, зависит от способов его обработки и субъективной интерпретации ряда фактов, несовершенство выявления которых, по всей вероятности, является причиной появления продукции с чрезмерным количеством отдешифрированных линейных и изометрических структур.

В настоящее время повсеместно используется машинная обработка снимков, но содержание фотограмм* получаемых с экрана телевизионного монитора и используемых в дальнейшем для дешифрирования, в значительной мере зависит от величины элемента сканирования, числа регистрируемых уровней квантования оптической плотности при вводе снимка. Аналогично при создании фотометрических карт конфигурация эквиденсит, отображающая структуру какого-либо геологического проявления, определяется величиной интервала плотности, используемого при их построении и задаваемого, как правило, интуитивно. Даже избежав изложенной неточности и выявив в результате обработки истинное распределение поля оптических плотностей исходного снимка, мы можем не получить полезную информацию, так как снимок всегда несет в себе интегральный эффект — отражение реального объекта и элементов, не связанных с ним. Поскольку геологические образования проявляются также и в гравиметрических, магнитных, геохимических и других полях, то фотограммы, несущие в своем содержании информацию о них, должны в каких-либо измерениях коррелировать с перечисленными априорными данными, которые могут быть заранее введены в память ЭВМ. Используя указанное условие в программе по обработке снимка, можно избежать выдачи Пользователю фотограмм с ложным содержанием, возникающим по изложенным выше причинам.

Оптическую плотность космоснимка, данные геофизических и других измерений можно представить соответственно как функции $F(x, y)$, $P(x, y)$, где x, y — координаты снимка. Тогда условием, что содержание именно данной (i -й) фотограммы в какой-то мере является отображением природного образования и, соответственно, может выведено для пользователя, будет выполнение с соответствующей точностью равенства

$$\sum \sum [F_i(x, y) - (aF_j(x, y) + b)]^2 = \min,$$

где i — номер обрабатываемой фотограммы, j — номер сопоставляемого с содержанием фотограммы геофизического поля.

Коэффициенты линейного преобразования значений априорных данных a и b подбираются, а затем уточняются и исправляются по данным, полученным с эталонных снимков, а чаще их фрагментов.

Естественно, что эти коэффициенты не могут быть постоянными по всей фиксируемой площади природного образования и его ближайшей

смежной области. Это обстоятельство, совместно с другими факторами, главным из которых является наличие колоритных фотоаномалий, порожденных по отношению к геологическим образованиям случайными элементами, не позволило вести автоматизированную обработку снимков по указанной схеме. Поэтому она проводилась в интерактивном режиме. На экран дисплея выводились данные геофизических и других измерений, а также результаты обработки исходного снимка. Таким образом, геологический объект дополнительно был представлен фотоизображениями магнитных, гравитационных, тепловых и других полей. В случае отсутст-



Рис. 4 Местоположение природных образований 1, 2, 3, отображенных соответственно на рис. 1, 2, 3 (см. вклейку к стр. 9). Снимок получен с ИСЗ «Метеор»

вия установленной ранее по эталонным снимкам корреляции между полученными изображениями априорных данных и исходного снимка, продолжались преобразования последнего, насколько позволял лимит изменения параметров ввода, наличия различных программ по его обработке. При надобности производилось линейно-кусочное преобразование функции $F'(x, y)$. Для выявления причин появления фотоаномалий, не коррелирующих с априорной информацией, производились дополнительные как камеральные, так и полевые исследования региона с привлечением к анализу дополнительных данных на исследуемый регион.

Направленность методических разработок основывалась на теоретических оценках эффективности использования в приведенных исследованиях тех или иных геологических и других, измерений. Так, наиболее выраженная связь фотоаномалий с амплитудой неотектонических структур излагается в литературе по использованию космической информации в изучении природных ресурсов [1—8]. Твердо установленная, хотя несколько дискуссионная по генезису, приуроченность понижения естественной радиоактивности к нефтяным месторождениям [9, 10], позволила организовать поиск связей между фотоаномалиями снимка и радиометрическими данными. Установленные над нефтегазоносными залежами аномальные значения теплового потока [11, 12] позволяют считать актуальными исследования по определению корреляции последних с фотоизображением. Влияние деформации земной коры на структуры горных пород, элементы ландшафта, излучение и отражение геологическими объектами электромагнитных волн способствует их отображению на космоснимках. В силу этого данные современных движений земной коры, используемые,

Предварительная классификация

Тип структур /	Признаки					
	полученные с космоснимка					
	морфология структур	место проявления	колорит	тон на фоне		
белом				сером	черном	
Тектонические, платформенные	Изометрические	По всей площади	Слабонасыщенный	Светло-серый	Черный	Серый
Магматогенные	Кольцевая	По контуру	Насыщенный	Серый	»	Черный
Разломы: молодые	Линейно-вытянутые	По всей площади	»	»	Черный, чередование черного с белым	Черный, чередование черного с белым
Древние	»	То же	Слабонасыщенный	Серый, чередование серого с белым	Черно-серый	Не проявляется

Как и неотектонические движения, в качестве меры указанных деформаций, также могут служить материалом, способствующим более глубокому познанию отображенного на космоснимке природного образования. Обоснование корреляции с магнитным полем и некоторыми другими измерениями дискуссионно, но такая корреляция твердо установлена в наших исследованиях и неоднократно отмечалась в литературе [2, 4, 7, 10—16].

На рис. 1, 2, 3 приведены характерные примеры конечных результатов Машинной обработки космоснимка и априорных данных. На рис. 1 после преобразований снимка по изложенной выше схеме, показано отображение глубинного разлома северо-западного простирания. Каждый фрагмент содержит результаты, полученное с исходного снимка (а), по геомагнитным (б), гравиметрическим (в), неотектоническим (а) данным. Кольцевая структура на рис. 2 выделена с использованием аналогичных данных. Следующее изображение (рис. 3), представляющее три изометрические структуры, частично перекрывающие друг друга, получено соответственно со снимка, по гравиметрическим, тепловым измерениям и величинам скоростей современных вертикальных движений земной коры. При этом данные о тепловом поле на восточную половину исследуемого региона отсутствуют, чем вызвана асимметричность его фотографического изображения. Аналогичная картина наблюдается и в части изображения ЮЮ, где отсутствуют данные о современных вертикальных движениях на юго-западную структуру. Привязка отображенных регионов дана на рис. 4.

Полученная идентичность отображения природного образования полями оптических плотностей и априорными данными дает обнадеживающие результаты не только в возможности поставлять пользователю-после машинной обработки фотограммы с полезной информацией, но и использо-

Признаки						
полученные из априорных данных						
магнитные	тепловые	гравиметрические	радио-метрические	неотектонические	современные движения	рельеф
Изотермические слабо выраженные отрицательные аномалии	1,4—1,8 мк·кал/см ² ·с	Слабо выраженные изометрические аномалии, коэффициент корреляции 0,5	Изометрические отрицательные аномалии	Изолинии градиентов отображают границу структуры	Изменение значения градиента, коэффициент корреляции 0,4	Сводовое поднятие» коэффициент корреляции 0,8
Четко выраженная изометрическая аномалия с завышенным значением по контуру	1,8—2,2 мк·кал/см ² ·с	Резко выраженная изометрическая аномалия	Нет данных	Изолинии градиентов больших значений отображают границу структуры	Резкое изменение значений градиента скоростей	Возвышен* нрсть
Четко выраженные линейно-вытянутые положительные и отрицательные аномалии	Аномально-повышенный тепловой поток	Наличие градиента в поперечном направлении	То же	Наличие больших значений градиентов в поперечном направлении	Резкое изменение значений градиентов в поперечном направлении часто со сменной знака	С большим значением градиента высот в поперечном направлении
Четко выраженные линейные аномалии	Не установлены	Слабо выраженные линейно-кусочно-вытянутые аномалии		Не установлены	Не установлены	Сглаженный, наличие слабо выраженное го уступа

вать установленную между ними корреляцию для последующей интерпретации исходной космической информации.

Обработка и интерпретация по изложенной методике космоснимков разных масштабов и диапазонов, полученных в разное время с управляемых и автоматических летательных аппаратов на районы Туранской плиты, с использованием результатов полевого дешифрирования, позволили определить характерные признаки, присущие тем или иным тектоническим структурам, районам, в которых обнаружены полезные ископаемые, в частности нефть и газ. Линейно вытянутым фотоаномалиям, отображающим, как правило, глубинные разломы, соответствуют магнитные, гравиметрические, тепловые аномалии той же формы, с наличием большого градиента в амплитудах неотектонических движений и скоростей современных движений в поперечном им направлении. Изометрическим формам на космоснимках соответствуют идентичные формы аномалий геофизических полей и неотектонических структур. Кроме того в ряде районов впервые такие структуры удалось выявить также по данным скоростей современных вертикальных движений. Предварительные результаты по** левых и камеральных работ позволили определить ряд признаков, характерных для указанных изометрических структур, которые дают возможность разделить их на классы (таблица). Название этих структур дано несколько условно, согласно рудоносности эталонных районов..

Естественно, что дальнейшая отработка методики исследований, привлечение большого числа априорных данных, расширение номенклатуры обрабатываемого космического материала и районов работ позволяют выявить ряд новых признаков, что в свою очередь будет способствовать значительному усовершенствованию предлагаемой схемы выделения различных структур на космоснимках и в конечном итоге использованию ее в поисковых работах. Уже на данном этапе исследований использование

установленных связей фотоизображения природного образования с его проявлением в геофизических и других измерениях, дало возможность выявить ряд тектонических структур казалось бы в уже достаточно изученных районах, моделировать полученный результат для опробирования в лоисковых работах.

Рассмотрим пример использования полученных результатов в несколько ином приложении. Строение района Кызылкумских поднятий будем анализировать с точки зрения теории, изложенной в [17], согласно которой происходит поднятие аномально разогретой, разуплотненной мантии по Каналам спонниженной вязкостью, что в свою очередь вызывает вертикальные движения земной коры. Информация, полученная с космоснимков, позволяет выделить в указанном регионе пологое поднятие эллипсоидальной формы, включающее в себя и Букантаускую зону, с размером соответственно большой и малой оси около 650 и 400 км. В юго-восточной части его чет Ар, прослеживается в виде трех частично наложенных друг на друга кольцевых структур более активная зона общим радиусом около 200 км. Указанные размеры не противоречат вышеназванной теории. Из анализа априорных данных явствует, что понижение гравитационной аномалии достаточно хорошо коррелирует с данными в указанной работе о разуплотнении мантии. Ее аномальным разогреванием можно объяснить наличие большого теплового потока.

Наблюдаемое аномальное значение магнитного поля можно объяснить наличием разного типа слагающих пород, различным метаморфизмом первичных (в законтурной области) и наложенных в результате действия «ловушки» структур. Не исключено влияние причин, рассмотренных в [18, 19]. Цикличность в действии «ловушек» также подтверждается, как указывалось ранее, наличием трех частично наложенных друг на друга структур. Выявленная по космоснимку наиболее молодая структура четко оконтуривается данными современных вертикальных движений земной коры, что в совокупности с имевшим место в 1976 г. газдийским землетрясением говорит о поступлении аномальной магмы в «ловушку» в настоящее время.

Таким образом, результаты обработки и интерпретации космической информации с использованием априорных данных не противоречат выводам, вытекающим из предлагаемой теории [17]. В общем они соответствуют и заключениям, изложенным в работе [20]. Но более детальный анализ форм, размеров, размещения выявленных структур, видимо, поможет в решении вопроса о наибольшей приемлемости гипотезы тепловой конвекции или гравитационной в объяснении движущих глубинных сил.

Итак, предлагаемая схема обработки космической информации служит не только выявлению разного рода фотоаномалий снимка, но и выяснению их геологической природы на основе привлечения априорных данных, что позволяет исключить из ее содержания влияние случайных факторов, целостать уже частично интерпретированную продукцию. Рассмотренный пример классификаций тектонических структур на основании установленных корреляций их с геологическими, геофизическими и другими измерениями дает основание надеяться на перспективное использование этой информации. Моделирование получаемых данных с целью изучения тектогенеза, глубинного строения и геодинамики исследуемых регионов может дать соответствующий вклад в целенаправленность поиска полезных ископаемых.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шилкин А. Н., Кутрачева Л. И. О дешифрировании космических снимков для решения геологических задач.— Экспресс-информация ВИЭМС. Общая и региональная геология, геологическое картирование, 1979, № 1, с. 1-10.
2. Грицкоф Я. М. Опыт региональных структурно-тектонических исследований на основе дешифрирования космических снимков и статистической обработки, характеристик рельефа на примере Алтае-Саянской складчатой области.— Экспресс-

- информация ВИЭМС. Общая и региональная геология, геологическое картирование, 1978, № 12, с. 1—22.
3. *Доливо-Добровольский А. В., Стрельников С. И.* Особенности дешифрирования* геологических объектов по космическим снимкам.— В сб.: Применение новых видов аэросъемок при геологических исследованиях. Л.: ВСЕГЕИ, 1976, с. 5-г-Ю.
 4. *Макаров В. И., Трифонов В. Г.* О возможности использования материалов космической съемки для изучения глубинного строения земной коры.— В сб.: Аэрокосмические исследования Земли.. М.: Наука, 1979, с. 275—286.
 5. *Орлов В. И.* Анализ динамики природных условий и ресурсов. М.: Наука, 1975, 275с.
 6. *Капустин И. Я., Пржиялговский Е. С., Трофимов Д. М.* Применение космической информации при составлении тектонической карты Прикаспийской впадины и ее обрамления (статья I).— Изв. вузов. Геология и разведка, 1978, № 10, с. 40—47.
 7. *Флоренский П. В., Петренко А. С.* Древние платформы.— В кн.: Геологическое изучение Земли из космоса, вып. 317. М.: Наука, 1978, с. 128—145.
 8. *Башилова И. И., Еремин В. К., Махин Г. В.* Космические телевизионные снимки как средство тектонического районирования крупных территорий и прогнозирования полезных ископаемых (на примере Западно-Сибирской* плиты и прилегающих районов).— В кн.: Исследования природной среды космическими средствами. Геология и геоморфология. М.: ВИНТИ, 1973, с. 102—110.
 9. *Алексеев Ф. А., Готтх Р. П., Лебедев В. С.* Использование ядерных методов в нефтегазовой геологии. М.: Недра, 1973, 384 с.
 10. *Кучерук Е. В*, Петухов А. В.* Использование радиометрии в практике поисково-разведочных работ на нефть и газ,— В кн.: Критерии поисков и закономерности размещения залежей нефти и газа в центральных и северных районах Западной Сибири.— Тр. ГлавТюменьгеологии, вып. 145. Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1979* с. 121—125.
 11. *Чекалюк Э. В., Федорцев И. М., Осадчий В. Г.* Полевая геотермическая съемка/ Киев: Наукова думка, 1974 103 с.
 12. *Яковлев Б. А.* Решение задач нефтяной геологии методами термометрии. М.Г Недра, 1979, 143 с.
 13. *Ян-Жин-Шип В. А., Балакиин Г. Д., Волкодав А. И., Волкодав И. Г., Шаров Г* Н.* Опыт использования космической информации в Якутском территориальном геологическом управлении.— Экспресс-информация ВИЭМС. Общая и региональная геология, геологическое картирование, 1978, № 12, с. 26—39.
 14. *Наварное Ю. А., Серебряков Ю. Ф., Пыняев А. М., Андреев А. Ф.* Структура Астраханского свода по результатам дешифрирования космофотоматериалов.— Экспресс-информация ВИЭМС. Общая и региональная геология, геологическое картирование, 1978, № 12, с. 22—25. Г 7
 15. *Богословский В. А., Ильина Б. В., Кроткова О. Т., Кузьмина Э. Ж., Огильви А. А., Страхова И. А., Трофимов Д. М.* Геофизические исследования при геологической интерпретации космических снимков на Курском полигоне.— Изв. вузов. Гео-логия и разведка, 1978, № 10, с. 135-140/
 16. *Флоренский Д. В.* Использование космических съёмок при поисках нефти и газа.— В сб.: Аэрокосмические исследования Земли. М.: Наука, 1979, с. 1286-297;
 17. *Артюшков Е. В., Шлезингер А. Е., Яншин А. Л.* Причины вертикальных движений земной коры.— Природа, 1979, № 10, с. 2—10.
 18. *Кужелов Г. К., Крутиховская З. А.* Образование остаточного намагничивания и его распределение в горных породах.— (Светская геология, 1960, № 2, с. 125—139.
 19. *Лавин С. С.* Магнетитовые рудные тела, их строение и магнитные свойства.— Тр. ИГиГ СО АН СССР, вып. 212. Новосибирск: Наука, 1976, 236с.
 20. *Тыцков С. А.* Конвекция в мантии, изостазия и рельеф поверхности - платформенных областей.— Геология и разведка, 1979, № 12, с. 3—12.

Институт геологии и геофизики
СО АН СССР, Новосибирск

Поступила в редакцию
—21^1980

COMPLEX TREATMENT AND GEOLOGICAL INTERPRETATION OF SPACE IMAGES

YXJDINV.S.

Basing on standard regions the correlation between displays of natural formation in geological, geophysical measures and its reflection on space images is established. The correlation use under automatic treatment of image makes it possible to choose useful information. The complex analysis on the base of the correlations gave the opportunity to classify preliminary tectonic structures and to reveal some displays of abyssal processes in the region. Obtained results may be used in search of mineral deposits.

УДК 518

ДИАЛОГОВАЯ СИСТЕМА РЕГИОНАЛЬНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ ПО ДАННЫМ НАЗЕМНЫХ И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК

ЧУМАЧЕНКО Б. А., МАРЧЕНКО В. В., ВЛАСОВ Ё. П.,
НЕМИРОВСКИЙ Э. А., ЯКОВЛЕВ В. А.

С точки зрения системного подхода геологический процесс включает в себя многоступенчатую систему последовательных операций сбора и переработки разнородной геологоструктурной, минералого-геохимической, геофизической и другой информации, в процессе которых осуществляется формирование геологических прогнозных заключений: на первых стадиях — о перспективности отдельных регионов и территорий; на последующих — о промышленной ценности рудных объектов и их геолого-экономических характеристиках. При этом эффективность конечных результатов зависит в первую очередь от качества процессов накопления и обработки используемой информации и формирования на ее основе прогнозов [1].

Следует отметить, что одним из недостатков применения ЭВМ на настоящем этапе является неполное использование теоретических знаний и практического опыта специалистов на всех этапах процесса геологического прогнозирования. В некоторых случаях заметна тенденция к чисто машинной технологии получения окончательных выводов о перспективности тех или иных геологических объектов. Вместе с тем геологическая наука и практика в настоящее время оперируют с огромным количеством неформализуемой информации, и игнорирование априорных знаний специалистов при решении прогнозных задач по крайней мере нецелесообразно [2, 3, 4]. Создание и использование человеко-машинных систем, сочетающих опыт и теоретические знания специалистов с возможностями ЭВМ, определяют качественно новый этап развития методов геологического прогнозирования. Этот этап характеризуется формированием и многоцелевым использованием интегрированных банков данных, оперативным ретроспективным анализом накапливаемой информации, комплексным исследовательским прогнозированием в зависимости от различных факторов и геологических гипотез, решением сложных многопараметрических информационно-логических задач управления и оптимизации поисково-разведочных работ.

Человеко-машинная система, проблемно-ориентированная на решение задач геопрогноза, должна по крайней мере удовлетворять следующим условиям:

1. В системе должны органически сочетаться большие возможности современных ЭВМ по накоплению, хранению и обработке массивов информации с теоретическими знаниями и практическим опытом решения задач геологического прогнозирования, которым обладают специалисты.

2. Система должна состоять по крайней мере из следующих главных компонент: территориального геологического банка данных; блока разработки вариантов решений; блока диалоговых процедур; человеко-машинной технологии, охватывающей все этапы решения прогнозных задач.

3. Специалисты должны иметь возможность в процессе человеко-машинного диалога осуществлять многовариантное прогнозирование на основе различных подходов и анализировать, конечные результаты прогнозирования.

Рассмотрим систему регионального прогнозирования РЕГИОН, разработанную, с учетом изложенных выше требований на основе рационального сопряжения традиционной методики геологического прогнозирования и методов решения прогнозных задач с помощью ЭВМ.

Решение содержательных геолого-прогнозных задач исследования геологических гипотез и закономерностей локализации оруденения производится в системе на основе математических методов принятия решений при неполной информации в сочетании с неформальными традиционными методами геологического прогнозирования, опирающимися на коллективный опыт, знания и интуицию специалистов-геологов.

Система РЕГИОН состоит из четырех основных частей, обеспечивающих решение содержательных задач геологического прогнозирования:

— регионального машинного банка картографической, числовой и текстовой информации (данные аэрокосмических и наземных съемок и комплексные описания месторождений);

— блока разработки вариантов решений, содержащего специальные математические эвристические модели и алгоритмы распознавания и оценки геологических ситуаций, описанных в многопараметрическом пространстве геолого-геофизических и геохимических признаков;

— блока диалоговых процедур;

— человеко-машинной технологии, охватывающей все этапы решения задач геойрогноза.

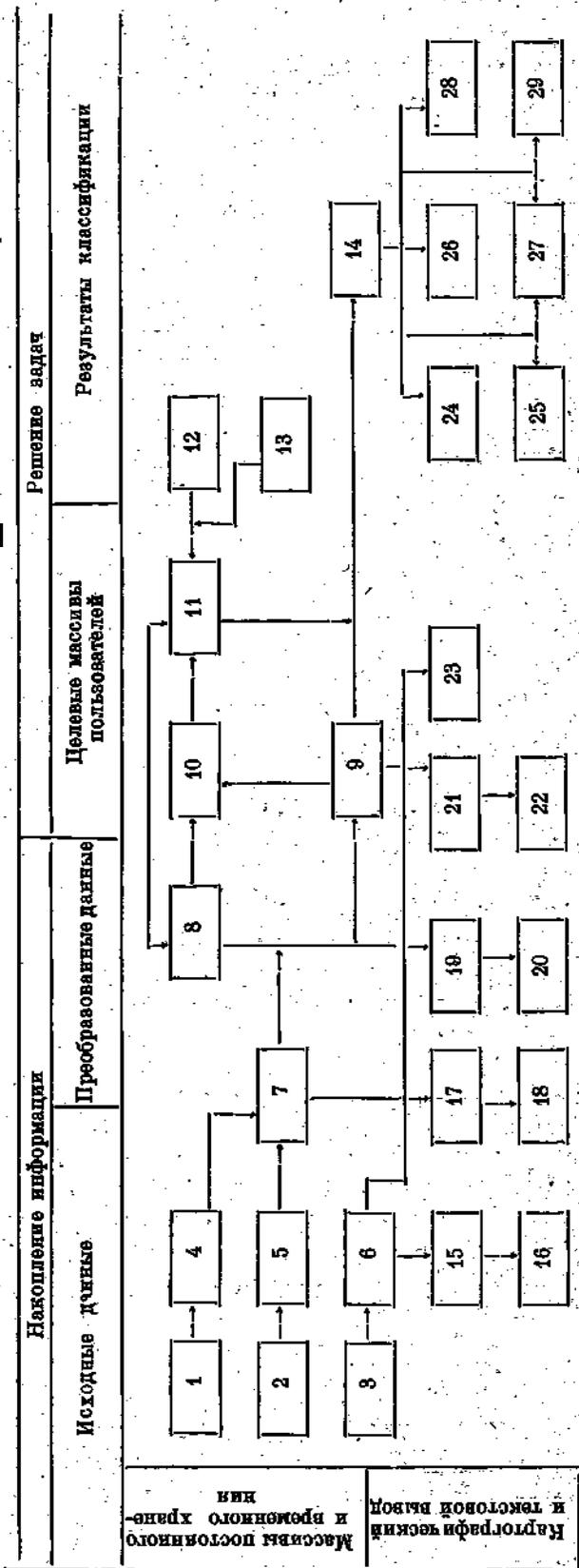
Общая структура системы приведена на схеме 1. Блок диалоговых процедур является техническим обеспечением человеко-машинного взаимодействия и состоит из комплекса внешних и внутренних интерфейсов. К внешним интерфейсам относятся блоки ввода исходной информации, язык пользователей системы и блок оформления выходной информации. К внутренним-интерфейсам относятся транслятор языка пользователей, блоки преобразования информации в вид, пригодный для машинного анализа, и блоки формирования личных целевых массивов пользователей.

В процессе работы системы исходная информация проходит целый ряд различных преобразований. Вид и последовательность эти* преобразований зависят от характеристик исходных данных (картографические, числовые), характера требуемой обработки и форм выдачи результатов, необходимых пользователю. Вся совокупность преобразований в системе разделяется на два этапа: этап накопления информации и этап решения содержательных задач прогнозирования и оценки геологических ситуаций.

Первый этап практически соответствует формированию и внедрению регионального машинного банка данных, состоящего из двух массивов: первичного массива исходных данных и массива трансформированной информации. Первичный массив, выполняющий функции банка исходной информации, состоит из двух библиотек факторов: картографических и числовых, содержащих также текстовые описания факторов и объектов (см. схему 2). ОН является документированным хранилищем исходной информации: по исследуемой территории ж служит основой для последующего преобразования исходных данных, а также для выдачи различных справок по запросам пользователей. Второй массив является постоянным архивом преобразованной информации. Его основное назначение — ускорение последующего процесса решения задач за счет предварительной обработки информации и приведения ее к стандартному виду.

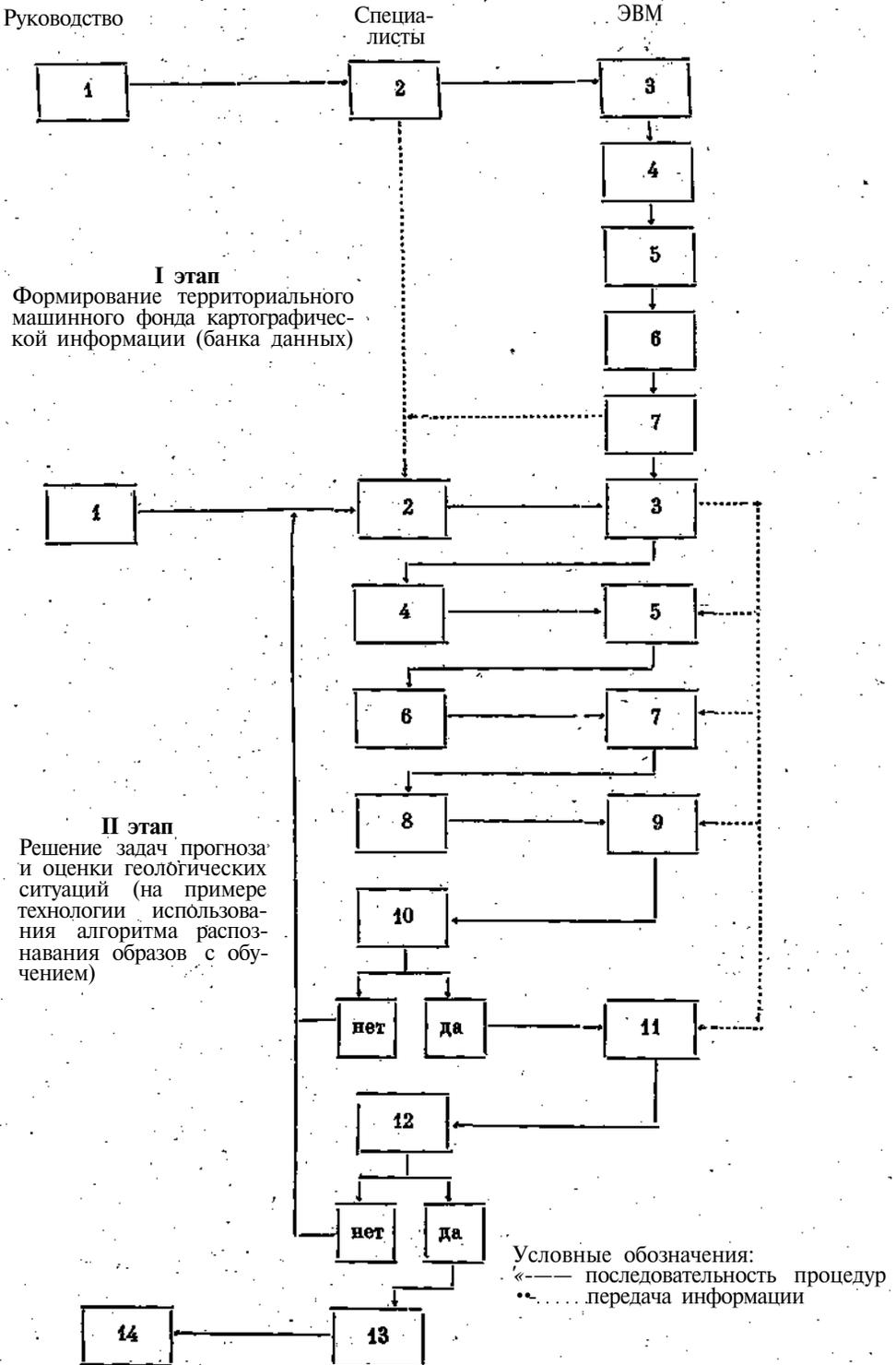
Исходная и преобразованная картографическая и числовая информация хранится в ЭВМ на внешних магнитных носителях в виде библиотечных файлов/Структура хранения картографического материала в банке сочетает в себе иерархический и матричный принципы.

Схема преобразования информации в системе РЕ



Примечание. 1 — геологические и другие карты, 2 — геофизические и другие числовые данные, 3 — текстовые описания объектов, 4 — библиотека исходных картографических факторов, 5 — библиотека исходных числовых факторов, 6 — библиотека текстовых описаний геологических объектов, 7 — массив признаков (преобразованных данных), 8 — библиотека паспортов и решающих правил (тексты и каталоги), 9 — целевые массивы пользователей, 10 — выборки пользователей, 11 — машинные и алгоритмические правила пользователей системы, 12 — математические модели объектов геопрогноза, 13 — алгоритмические правила специалистов и ученых, 14 — массивы прогнозных (классификационных) карт, 15 — исходные геологические и другие карты, 16 — исходные геофизические и другие поля, 17 — карты признаков, 18 — статистические оценки, 19 — программы признаков, 20 — списки признаков, 21 — тексты признаков, 22 — тексты целевых массивов и выходов геологов, 23 — карты логической обработки данных, 24 — текстовые описания территорий, регионов, месторождений и других геологических объектов, 25 — прогнозная карта (распознавание объектов), 26 — прогнозная карта, 27 — прогнозная карта, 28 — карты статистических оценок, 29 — карты областей уникальных значений признаков.

Диалоговое взаимодействие (технология) в процессе формирования **банка** данных и решения задач, геопрогноза в системе РЕГИОН



Параллельно с указанными массивами предусмотрена возможность создания личных целевых массивов пользователей, работающих независимо друг от друга.

Использование накопленной информации в процессе решения содержательных задач происходит параллельно и независимо от первого этапа (накопления и преобразования информации).

Математическое обеспечение системы состоит из общесистемной и специальной частей. Специальное математическое обеспечение содержит пять библиотек программ, контрольный пример (три библиотеки и один файл данных) и пример для демонстрации и обучения работе с системой (одна библиотека и четыре файла данных). Физически все программное обеспечение системы находится на так называемом «субрезидентном диске».

Очевидно, невозможно свести все многообразие задач геологического прогнозирования и оценки перспектив рудоносности территорий к одной стандартной форме решения задач на основе использования математических методов. Следовательно, использование какого-либо подхода к решению конкретной задачи геологического прогнозирования требует соответственно своей технологии диалоговых процедур «специалист — ЭВМ» для постановки задачи, анализа хода ее решения и выработки окончательного решения.

На схеме 3 приведена технология человеко-машинного взаимодействия при решении задачи геологического прогнозирования на основе системы РЕГИОН (на примере использования технологии распознавания образов с обучением).

Широкий комплекс различных технологий обработки информации, хранящейся в банке данных, позволяет специалистам-геологам осуществлять быструю оценку информативности различных наборов признаков для возможных типов месторождений и выделить на изучаемой территории участки, имеющие сходство с эталонами по тем или иным наборам признаков. Этот подход извлекает специалиста-геолога от необходимости пересматривать частные данные по всей площади, сосредотачивает его внимание на отдельных перспективных участках, подготавливает необходимые сведения по всем намеченным вариантам прогноза и высвобождает ему максимум времени для содержательного осмысливания результатов. Характерная особенность человеко-машинного диалога состоит также и в том, что специалист, постепенно осваивая возможности ЭВМ, получает инструмент, увеличивающий возможности формально-логической) анализа исходных данных, т. е. повышающий производительность творческого труда исследователя.

Такая технология превращает ЭВМ в помощника специалиста, позволяющего ему обрабатывать данные по значительным территориям и опе-

Примечание. I этап: 1 — задание на разработку территориального машинного фонда (банка данных), 2 — оценка качества и представительности исходной информации по всей территории, 3 — подготовка информации для ввода в ЭВМ, 4 — контроль правильности переноса, информации на машинные носители, 5 — формирование первичного массива (библиотек), 6 — формирование массива признаков, 7 — формирование общего каталога территориального банка данных. II этап: 1 — постановка задачи геологического прогнозирования, 2 — анализ геологических моделей и выбор факторов для решения задачи, 3 — формирование целевого массива банка данных, 4 — выбор эталонных объектов обучения и контроля, 5 — процедура таксономии эталонной выборки, 6 — анализ структуры эталонной выборки, 7 — процедура обучения распознаванию, 8 — анализ комплексного поисково-оценочного критерия классификации (решающего правила), 9 — процедура контроля решающего правила* 10 — анализ результатов контроля (удовлетворителен?), 11 — процедура машинной классификации и распечатка карты, 12 — содержательный и формальный анализ прогнозной карты (результат анализа удовлетворителен?), 13 — окончательная редакция прогнозной карты и составление рекомендаций, 14 — принятие решения по результатам геологического прогнозирования.

ративно получать конечные результаты прогнозирования, выделять районы «уникального» сочетания факторов, благоприятных для локализации крупных месторождений [5]. Система открывает возможности для формирования банков эвристических моделей о закономерностях локализации оруденения, что позволит осуществлять ревизию перспектив рудоносности отдельных регионов.

Человеко-машинная система РЕГИОН разрабатывалась как проблемно-ориентированная, предназначенная для анализа и комплексной интерпретации картографической геолого-геофизической информации, включая предварительно обработанные, данные аэро- и космических съемок. Она позволяет преобразовывать исходные карты в вид, удобный для машинного анализа, формировать на этой основе региональные банки данных, делевые массивы пользователей и реализовать автоматизацию процесса принятия решений при неполной информации об изучаемых объектах. В этом состоит ее основное отличие от других систем, предназначенных для первичной автоматизированной обработки и анализа информации, получаемой непосредственно с космических аппаратов. Существующие и разрабатываемые в ряде случаев системы обработки материалов космических съемок для оценки природных минеральных ресурсов часто используют лишь формальные элементы интерпретации, в то время как теология оперирует с большим количеством неформализуемых понятий. Предварительные результаты исследований, проводимых Международным научно-исследовательским институтом проблем управления (МНИИЦУ) совместно с геологическими организациями, позволяют сделать вывод о возможности использования системы РЕГИОН в качестве инструмента комплексного анализа и интерпретации материалов космических съемок при оценке рудоносности территорий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чумаченко Б. А., Власов Е. Д., Марченко В. В. Системный анализ при геологической оценке перспектив рудоносности территорий. М.: Недра, 1980, с. 280.
2. Бугаец А. И. Автоматизированные системы геологического прогнозирования. Математические методы в геологии (обзор). М.: ВИЭМС, 1979, с. 60.
3. Смирнова А. С. Автоматизированные системы накопления, хранения, поиска и обработки информации по месторождениям полезных ископаемых. - В кн.: Итоги науки и техники. Общая геология т. 8. Математические методы в геологии. М.: ВИНТИ, 1977, с. 9-122.
4. Марченко В. В., Яковлев В. А., Сапунков А. А. Человеко-машинная система оценки перспектив рудоносности территорий. - Труды 17-го международного симпозиума по применению ЭВМ и математических методов в горных отраслях промышленности. М., 1980, т. 2, с. 434-441.
5. Шехтман Д. А., Королев В. А. Принципы прогнозирования геологических позиций крупных гидротермальных месторождений. - Изв. АН АССР. Сер. геол., 1979, № 9, с. 114-123.

Международный научно-исследовательский институт
проблем управления,
Москва

Поступила в редакцию
10.VI.1980

INTERACTIVE SYSTEM OF MINERAL POTENTIAL REGIONAL FORECAST ACCORDING TO GROUND AND SPACE SURVEY

CHUMACHENKO B. A./MARGHBNKO V. V., VLASOV E. P., NEMIROVSKIJ E. A.,
YAKOVLEV V. A.

Interactive system «Region» is discussed for mineral potential regional forecast on the base of ground and space survey.

УДК 551.508.85:621.396.96

ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА РАДИОСИГНАЛОВ, ОТРАЖЕННЫХ ОТ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

ОНОПРИЕНКО Е. И.

При проведении геофизических и океанографических исследований поверхности планеты с космического летательного аппарата (КЛА) широко используются активные и пассивные радиолокационные системы. В частности, для оценки направления и скорости ветра над морями и океанами могут быть использованы методы [1—4], базирующиеся на измерениях диаграммы обратного рассеяния (ДОР) отражающей поверхности или ее ширины и анизотропности.

Известно, что для более детального изучения радиоконтрастного образа поверхности применяются активные радиолокаторы с синтезируемой апертурой [5], однако в этом случае требуется более сложная аппаратура.

В данной работе рассматриваются методы та особенности цифровой обработки отраженных радиосигналов в основном применительно к измерению ДОР в окрестности нормали к поверхности ($\pm 30^\circ$), хотя некоторые алгоритмы применимы и для получения радиоконтрастных образов поверхности.

Использование известных способов определений ДРР с помощью сканирования или множества узких диаграмм направленности антенн (ДНА) обычно вызывает определенные технические трудности при их реализации на борту КЛА. Поэтому наиболее приемлемыми оказываются способы, базирующиеся на грубой пространственной селекции и точной частотно-временной селекции [3, 4], особенно в диапазоне дециметровых и метровых радиоволн, когда создание узких управляемых ДНА на борту КЛА вообще затруднительно.

В этом случае возможна и часто для оперативности необходима многоканальная обработка отраженных радиосигналов, которая в настоящее время наиболее эффективно может быть реализована на оптических устройствах [5], микропроцессорах или в специализированной БЦВМ, оценка требований к которым с учетом особенности обработки сигналов представляет определенный интерес.

Исходные соотношения и постановка задачи. Полагаем, что КЛА находится в точке O_0 (рис. 1) на высоте H_0 и движется горизонтально относительно местного среднего уровня поверхности со скоростью $v > V_0$ в момент t . Введены две системы координат: земная $O_0 x_0 y_0 z_0$, связанная с Местной вертикалью z_0 , и бортовая $O_0 x_0 y_0 z_0$ \wedge U которой X_0 совпадает с Y_0 . Оси этих систем параллельны. При H_0 порядка нескольких сотен километров считается, что средний уровень поверхности совпадает с плоскостью xOy .

Радиосигнал излучается и принимается антенной системой с некоторой результирующей диаграммой по мощности $G_4^2(Q; \rho)$. При цифровой обработке отраженный сигнал удобно рассматривать квантованным по задержке t_d и доплеровскому сдвигу частоты f_d , т. е. для i -й реализации

при $\tau_{\text{дн}}^2/\tau_{\text{в}}^2 \geq 1 + u_{\text{дн}}^2$,

$$P^*(u_{\text{дн}}, v_{\text{дн}}) = P n_k^* C_i \sqrt{V n_k} \sqrt{t_{\text{дн}}}, \quad (46)$$

где $\gamma_{\text{дн}} = 4\pi Y(A_0; T_{\text{дн}} = 2Y_0/c; C_i = \epsilon 2d_1 t_{\text{дн}}^2 / 2z_{\text{гр}} A / \phi T_{\text{р}}$ — константы вычислений, а D/ϕ — эффективная полоса фильтра доплеровских частот и $t_{\text{р}}$ — временной интервал разрешения радиосистемы.

При этом в случае широких ДНА необходимо разрешить неоднозначность элементов при $\pm v_{\text{дн}}$ (или при $\pm \phi_{\text{дн}}$), лежащих на одной и той же изодопе и изодальности (рис. 1). Это достигается двухлепестковой антенной системой и специальной обработкой сигнала. При изотропных по $\langle r \rangle$ ДОР такое разрешение не требуется. Кроме того, можно использовать только частотную селекцию [1, 4] или селекцию по задержке [1, 3].

Общие алгоритмы обработки. Известно (например, [6]), что при оптимальной обработке принимаемой смеси $D(\xi) = \Gamma 5(\xi) + \Gamma a(\xi)$, $\Gamma D^c n^*$ — нормальный шум, необходимо для каждого элемента $\{n, \text{III}\}$ подбирать согласованный фильтр (коррелятор), реализующий когерентное накопление энергии сигнала на интервале его корреляции $D\xi \sim T_{\text{кор}}$ и осуществлять вторичное некогерентное накопление на интервале $T_{\text{не}}$ т. е.

$$P_{\text{дн}}^* = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M P_{\text{дн}}(m) = \frac{C_0}{M} \sum_{m=1}^M \left| \int_0^t U(t) \Phi_n \right|^2, \quad (5)$$

где $P_{\text{дн}}(m)$ — случайные «мгновенные» отсчеты мощности на интервале $A^{\wedge} n$; C_0 — константа; $M \approx T_{\text{не}}/B_{\text{дн}}$ — число некогерентных отсчетов; $\Phi_{\text{дн}}(\xi, \tau)$ — функция, максимизирующая точность измерения $P_{\text{дн}}$ в шумах.

При отсутствии корреляции между сигналами от разных элементов и стационарной $iA_n h(t)$ эта функция конкретизируется в виде

$$\Phi_{\text{дн}}(t, r) = h_{\text{дн}}(t - T; l) v^*(T - t) \quad (6)$$

где $h_{\text{дн}}(t - t)$ — низкочастотный эквивалент импульсной переходной функции фильтра, согласованного с флуктуациями $A_{\text{дн}}^{\wedge}$ знак (\wedge) означает ожидаемое значений параметров для $\{n, \&\}$.

Обычно для упрощения алгоритмов (5) и (6) вводят квазиоптимальную обработку, полагая $\Gamma_{\text{дн}} \&(t)$ независимой от $\{n, \text{III}\}$ и аппроксимируя ее удобной для вычислений функцией. Кроме того, компенсацию $Om h(t)$ можно не вводить, если $T_{\text{кор}} \wedge A_{\text{дн}}^{\wedge} \wedge a_{\text{дн}}^{\wedge} / 2$, где $A_{\text{дн}}^{\wedge} \wedge a_{\text{дн}}^{\wedge} / 2$ — интервал времени, в течение которого набег фазы $a_{\text{дн}} \wedge l(A_{\text{дн}}^{\wedge} \wedge a_{\text{дн}}^{\wedge} / 2) = l/2$. Из (!) он определяется так:

$$A_{\text{дн}}^{\wedge} \wedge a_{\text{дн}}^{\wedge} / 2 = a_{\text{дн}} \wedge l / a_{\text{дн}} \wedge l \sqrt{2} F_0. \quad (7)$$

Для волнующегося моря эффективное значение $t_{\text{кор}}$ для $A_{\text{дн}}^{\wedge}(t)$ определяется формулой [3]

$$T_{\text{кор}} = t_0 \langle D_0 / 4 a_{\text{дн}} \rangle, \quad (8)$$

где t_0 — временной радиус корреляции морских волн с их среднеквадратичной высотой σ_b .

Интервал накопления выбирается следующим образом.

Пример 1. Пусть $Y_0 = 0,1$ м, $Y_0 = 3 \cdot 10^3$ м, $F_0 = 8 \cdot 10^3$ м/с, $a_{\text{дн}} = 1$, $\langle T_{\text{в}} / T_0 \rangle = 1$ м/с. Тогда $D\xi_{\text{дн}} / 2 \ll T_{\text{кор}} \ll 10^{-2}$ с, т. е. компенсация $a_{\text{дн}}(f)$ при таком и большем волнении моря не требуется.

Алгоритм (5) записан при условии пространственного разрешения сигналов от симметричных элементов при $\pm \phi_{\text{дн}}^*$ (рис. 1), которое технически иногда сложно выполнить на борту КЛИА, особенно с увеличением АО, так как растут габариты антенны. Тем не менее с учетом возможностей дифровой обработки можно предложить алгоритму, позволяющие при пшироких ДНА (небольших антеннах) производить измерение анизотропной ДОР в окрестности нормали с высоким угловым разрешением:

$$A_{\text{дн}} \ll (2A_{\text{дн}} l C / Y_0)^{1/2} (\text{УТГ} - \text{rPI}),$$

где $n=1, 2$; $JV_{1,2}$, а ATR — интервал разрешения, что также достигается за счет большого значения H_0 для КЛА.

Дусть прим осуществляется на две антенны с широкими перекрывающимися ДНА (рис. 2). Тогда в любой момент времени t для элементарных сигналов на выходах* антенн U_1 и U_2 (без учета шумов) можно составить два связанных уравнения:

$$U_1 = A_1 J + A_2 D$$

$$U_2 = A_1 J D_{21} + A_2 D_{22} J$$

где A_1 и A_2 — мгновенное значение комплексных амплитуд сигналов от двух произвольных элементов, имеющих симметричные координаты $\pm U$; D_{12} — комплексное значение ДНА $D_i(\theta, \phi)$ по напряженности поля в направлении 1-го и 2-го элементов, а D_{21} и D_{22} — то же самое для $D_2(\theta, \phi)$

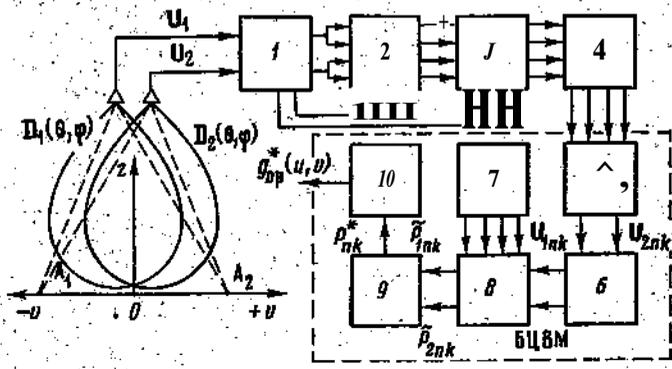


Рис. 2. Функциональная схема обработки радиосигналов: 1 — когерентный двухканальный приемопередатчик; 2 — синхронные детекторы; 3 — стробирующие каскады; 4 — аналого-цифровые преобразователи; 5 — массивы чисел квантованных видеосигналов; 6 — цифровая фильтрация; 7 — массивы антенных коэффициентов; 8 — антенная компенсация и квадратурование; 9 — вторичная обработка; 10 — преобразование координат и вычисление ДОР

Решение уравнений (9) имеет вид

$$U_1 = k_{22} U_1 - k_{12} U_2, \quad U_2 = k_{11} U_2 - k_{21} U_1, \quad (10)$$

где $k_{ii} = D_{ii} / |A_i|$, $k_{12} = D_{12} / |A_1|$ и т. д. — комплексные коэффициенты, а $|D|$ — определитель для коэффициентов в (9).

Чтобы избежать в (10) деления на ноль ($|D|=0$), равносигнальная плоскость должна совпадать с xOz , где не требуется разрешать неоднозначность и можно использовать U_4 или U_2 .

Пространственная селекция сигналов от симметричных элементов возможна лишь при $D_A(\theta, \phi) = D_2(\theta, \phi) \neq 0$. Угловой «разнос» диаграммы и их форма определяют точность измерения A_1 и A_2 и зависят от ширины ДОР и отношения сигнал — шум в радиосистеме.

Функциональная схема. В соответствии с изложенными принципами: гипотетическая схема "обработки дана на рис. 2. Когерентный приемопередатчика/излучает и принимает на две антенны радиосигналы U_1 и U_2 . После типовой обработки на промежуточной частоте они поступают на четырехканальный синус-косинусный синхронный детектор D куда также подается опорный сигнал $U_{out}(t)$ с учетом требуемого доплерровского сдвига частоты $f_{дк}$. При «большой эффективности» БЦВМ можно вести параллельно обработку сигналов на нескольких частотах, однако далее для простоты рассматривается одночастотный тракт.

Видеосигналы с выходов 2 поступают в стробирующие каскады 5, где

на каждом /м периоде T_p осуществляется временная выборка стробирующим сигналом $\hat{p}(0^-/_-, \overline{S(i--T \ll n)}$ при $l=1$; #** Далее временные выборки квантуются по уровням на аналогово-цифровом преобразователе 4 ж в виде последовательности двоичных чисел поступают в оперативную память ЗГБЦВМ, где в течение интервала времени T_p образуют два комплексных массива чисел

$$\{U_{1nk}[p]\} \text{ и } \{U_{2nk}[p]\}, n=1; \overline{N_p}$$

Дальнейшая цифровая обработка реализует алгоритмы (5) и (10). При этом нетрудно показать, что из-за линейности компенсационных операций (10) их можно выполнять не над мгновенными значениями сигналов, а после интегралов когерентного накопления в (6), что дает уменьшение гасла операций в БЦВМ в $A^{\wedge}-D_{гн}/G_0$ раз (при $D_{гн} > Y_0$). Тогда «мгновенные» оценки мощностей в (5) для левой полуплоскости $\{\pm ю, -y\}$ могут быть получены так:

$$P_{1nk}(m) \approx \left| k_{22} \sum_{j=1}^{N_p} M / tt - /ji \gg J_p N^{\wedge} \right| ; \quad (Ha)$$

Для расчета мощностей в правой полуплоскости ($i\omega, +^{\wedge}$) индексы 1 ла 2 в (Ha) заменяются на 2 и 1 согласно (10). Можно упростить алгоритм (Ha), используя простейший сглаживающий фильтр работающий ю рекуррентной формуле [7,8]

$$И_{фя}, Y - (\wedge w - u^{\wedge} i] W, \quad (И6)$$

где $T_f = 1/4 A / \phi \ll A^{\wedge} n$ — постоянная времени фильтра;

Для реализации этого алгоритма требуется одна ячейка памяти и три коротких операции. Более сложные алгоритмы можно найти, например, * [7,8].

Реализация алгоритма (116) осуществляется в условном блоке 6 (рис. 2), а умножение на k_{22}, k_2 и т. д. и квадрирование согаасно (11) -- в блоке 8. При этом массивы антенных коэффициентов $\{k_{11}\}_1 \{k_{21}\}$ и т. д. получаются в результате калибровки системы и хранятся в условном блр-ад7.

В блоке 9 в соответствии с (5) образуются текущие оценки для всех n в. какого-то k (при последовательном анализе по Л) gip следующему алгоритму:

$$P^{\wedge} N_0 = P^{\wedge} m - i \setminus + (P^{\wedge} - P_{nk}^* [m-1]) / m. \quad (12)$$

Там же к концу анализа образуется массив $\{P_{nk}^* [M]\}$ для всех $ng=1; JV_1, k=-K_0 \setminus KQ$ и обеих полуплоскостей. После этого в блоке 70 массив $\{P_{nk} / Ш\}$ преобразуется в координаты u_{nh} и v_k по формулам (4a) и (46) и вычисляется ДОР в соответствии с (3), а также другие характеристики рассеяния [3].

Выбор параметров. Рассмотрим требования к зондирующему сигналу, ДНА и характеристикам БЦВМ. Для наглядности будем полагать, что излучаются радиоимпульсы, хотя результаты /справедливы и для более -сложной модуляции.

Поскольку эффективная ширина ДОР $A_{6,p}$ для моря лежит в пределах $5-30^{\circ}$ [2-4], то обзор пространства имеет смысл проводить в секторе $4=A_0c=i(1,5-2)A_{6,p}/2$. Тогда максимальные задержка и длительность дальномерных сигналов равны

$$\tau_{R \max} = 2H_0 \sec \Delta \theta_{op} / c; \quad \Delta \tau_{R \max} \approx Y_0 A_{6,p}^2 / c. \quad (13)$$

Длительность импульса зависит от необходимого числа элементов раз-

рехпения ЛГ_T в пределах Абс, т.е.

$$\tau_{\text{д}} \leq \Delta \tau_{\text{д max}} / N_{\tau} \approx H_0 \Delta \theta_{\text{оп}}^2 / c N_{\tau}, \quad (14)$$

и для повышения точности должна изменяться с шириной ДОР, для чего требуется адаптация радиосистемы.

Диапазон анализируемых доплеровских сигналов также связан с $A0_{\text{оп}}$, [3,4] соотношением

$$\Delta F_{\text{д}} = (\Omega_{\text{дл max}} - \Omega_{\text{дл min}}) / 2\pi \approx (1,5 \div 2) 2V_0 \Delta \epsilon_{\text{оп}} / \lambda. \quad (15)$$

Шаг по $\gamma_{\text{д}}$ зависит от необходимого числа точек $2N_{\text{оп}}$:

$$\Delta \gamma_{\text{д}} = \frac{1}{2N_{\text{оп}}} \quad (16)$$

При этом должно выполняться условие $A^{\wedge}_{\text{кв}} \wedge 2A_{\text{ф}} = 1/2 \cdot \phi$.

Известно (например, [5]), что при импульсном излучении (или квантовании сигнала в стробирующих каскадах 3) возникает неоднозначность в измерении мощности доплеровских сигналов за счет строб-эффекта, приводящего к наложению сигналов на частотах, кратных частоте повторения F_p . Для уменьшения влияния этих помех необходимо [5]: заузить ДНА в плоскости x_0, θ, z_0 (увеличивать размер d^{\wedge} по $x < j$), направляя ее максимум в окрестность угла $\theta_{\text{дл}} = \epsilon 2_{\text{дл}} / \epsilon 2_{\text{дл}}$; увеличивать ширину спектра зондирующего сигнала и вводить случайное изменение $F_p(t) = i/T_p(t)$. Последнее значительно усложняет синхронизацию сигналов в радиосистеме, особенно при неоднозначности по дальности. Число помеховых сигналов можно оценить по формуле

$$N_{\text{пх}} = \min \{ N_{\text{лс}}, \#_2 \}, \quad (17a)$$

где $N_{\text{лс}} = 2VbT_0 \cos Q_0 / \lambda \sqrt{2d_{\text{лс}}} / L^{\wedge}_{\text{сти}} \wedge \text{ОЗбА} / D^{\wedge}_{\text{до}}$. За счет случайного независимого изменения $T_p(t)$ влияние помеховых сигналов уменьшается в K_n раз:

$$K_n \ll 4D\Gamma_0 \Delta^* \gamma / \Gamma_0^2, \quad (17b)$$

где $\Delta \Gamma_0$ — максимальное отклонение $T_p(t)$ относительно $T_0 = T_p(t)$ (у при равномерном распределении T_p в пределах $(T_{\text{рmin}}, T_{\text{рmax}})$. Минимальный период определяется длительностью сигнала (13), и при разрешении неоднозначности по дальности (за счет детерминированности траектории: КЛА) он может быть выбран с запасом $T_p \ln^{\wedge} 1,2 \text{ атл max}$. Учитывая, что с увеличением $\Delta \Gamma_0$ растет $2 \setminus \setminus \setminus = \Gamma_{\text{рmin}} + D\Gamma_0$, оптимум достигается при $\Delta \Gamma_0 \wedge \wedge \text{Jtrpmin И } T_0 = 2 \text{ Trp ln}^{\wedge} 2,4 D T_{\text{д max}}$

Число когерентно накапливаемых импульсов равно $N^{\wedge}_{\text{н}} \wedge T / T^{\wedge} \wedge 4 \text{ HQ}$. ло некогерентных пачек M определяется требуемой точностью оценок P_n^{\wedge} и восстановления $g_p^*(w, v)$ по точкам.

Пример 2. При условиях примера 1 и $\theta_{\text{оп}} = (5-30^\circ)$, $\text{И Ал} = 0,7 \text{ м.}$ $2^{\wedge}_{\text{т}} = 2L^{\wedge} \wedge \text{о} = 100$ получим: $A^{\wedge}_{\text{д}} = 160 \text{ кГц}$, $\wedge_{\text{д}} = 1,6 \text{ кГц}$, $2A_{\text{ф}} = 50 \text{ ТГц}$. $\text{Ат}_{\text{в ша х}} = 0,25 \cdot 10^{\wedge} \text{ с}$, $\tau_{\text{и}} = (0,014-5) \cdot 10^{-6} \text{ с}$, $r_{\text{рmin}} = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ с}$, $\Gamma_0 = 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ с}$, $\lambda_0 / \sqrt{2d_{\text{лс}}} = \Delta \theta_{\text{л}} = 0,1 \text{ рад}$, $\wedge_{\text{лс}} = 10$, $\wedge_{\text{лс}} = 30$, $\wedge_{\text{лс}} \ll 16$.

Из примера видно, что параметры сигнала технически реализуемы. Определенные технические затруднения может вызвать реализация преобразователя 4. Подавление помех удовлетворительное и дополнительно производится при вторичной обработке (12). ДНА должна иметь двухлепестковую форму (рис. 2) с эффективной шириной лепестков $30^\circ \times 6^\circ$ и поворачиваться вокруг оси $O_{\text{уб}}$ на угол $\pm 30^\circ$ примерно синхронно с изменениями $O_{\text{дл}}$.

Требуемые характеристики БЦВМ. Необходимый объем оперативной памяти для образования массива 5 равен $C_5 \wedge 2a_p N^{\wedge}$ где $\#5$ — объем памяти для одного комплексного числа. При результирующей точности отсчетов 0,5-1% [5] выбираем $a_5 = 2$ байт. Тогда $C_5 = 200$ байт.

При цифровой фильтрации последовательно ко всем каналам дальности применяется алгоритм (116). Число действительных фильтров при:

«одном значении n и двух ДНА равно 4, а общее число операций во всех каналах равно $4b_{\phi}N_{\tau}$, где b_{ϕ} — число условных операций (УО) * в алгоритме фильтра (116). Эти операции должны быть выполнены за $T_{p \min}$. Тогда требуемое максимальное быстродействие при последовательной обработке равно

$$v_{\phi \max} = 4b_{\phi}N_{\tau} / T_{p \min}. \quad (18)$$

Для алгоритма (116) $b_{\phi} = 3$. При условиях примера 2 $v_{\phi \max} = 2 \cdot 10^6$ УО/с. Это довольно высокие требования, поэтому целесообразно применить запараллеливание вычислений. Кроме того, для цифровых фильтров требуется хранить массив в оперативной памяти объемом $C_6 = 2a_6 N_{\tau}$, т. е. при $a_6 = 10^3$ и принятых условиях ($a_6 = 200$ байт).

Для выполнения операций алгоритма (На) после фильтрации отводится время $\Delta t_{\text{н}}$. Тогда требуемое быстродействие этого блока

$$v_6 = 2b_6 N_{\tau} / \Delta t_{\text{н}}, \quad (19)$$

где b_6 — число УО для выполнения (На) после фильтрации (116) для одного m, n, kiL одной полуплоскости. Здесь $b_6 = 19$ УО, а $i_6 = 190 \cdot 10^3$ УО/с.

Для хранения антенных коэффициентов в блоке 7 с учетом 20% -го перекрытия лепестков ДНА требуется массив в долговременной памяти объемом

$$C_7 = 4,8 N_{\tau}. \quad (20)$$

При принятых условиях $C_7 = 24$ кбайт.

Быстродействие блока д равно

$$v_7 = 2b_7 N_{\tau} / \Delta t_{\text{н}}, \quad (21)$$

где b_7 — число УО для выполнения (12) при одном n и k . Здесь $b_7 = 3$ УО и $v_7 = 30 \cdot 10^3$ УО/с при прежних условиях. Для хранения $P_{nb} \setminus m-1$ требуются $2N_{\tau}$ ячеек оперативной памяти и $4Af_{\tau} N_{\tau} \cdot 10^4$ ячеек долговременной. Выходной массив для $g_{op}^*(\nu)$ имеет такой же размер, а требования к быстродействию блока 10 определяются из общей оперативности системы, которая в основном зависит от времени первичной и вторичной обработки: $\Gamma_{op} = 2D_{\text{н}} - \text{ШУо}$, а также числа последовательных отсчетов по частоте $2 \cdot 10^6$. При $2 \cdot 10^6 = 100$, $Af = 20$ и $Afe = 10^{-2}$ с имеем $\Gamma_{op} = 20$ с.

Повышения оперативности и увеличения точности измерения можно достичь путем проведения параллельной обработки по каналам $O_{\text{дл}}$ и соответствующим увеличением памяти и быстродействия БЦВМ.

Заключение. Проведенный анализ показывает, что:

1. Возможно высокоточное определение характеристик поверхности Земли, в частности мгновенной и средней ДОР, радиоконтрастных образов и т. п. с борта КЛА при помощи активной радиосистемы с квазивертикальным зондированием ($\pm 30^\circ$) и частотно-временной селекцией локальных радиосигналов при их цифровой обработке.

2. Использование двухлепестковой широкой ДНА и цифрового массива антенных калибровочных коэффициентов позволяет осуществить разрешение неоднозначности для сигналов в двух полуплоскостях и с высокой точностью восстановить ДОР.

3. Полученные цифровые алгоритмы (На) — (12) и (4а, б) позволяют получить оптимальные оценки мощностей от локальных участков поверхности и с высокой точностью и большой оперативностью рассчитать мгновенные и усредняемые ДОР и другие характеристики поверхности Земли.

4. Требуемые параметры зондирующего сигнала, ДНА и устройств обработки технически реализуемы. Определенные затруднения может вызвать реализация высокоточного и быстродействующего преобразователя 4 ж синхронизации при случайном изменении периода модуляции.

¹ Далее в иллюстративных примерах УО определяются числом арифметических действий в алгоритмах.

5. Цифровая обработка радиосигналов для приведенных параметров может быть реализована на специальной БЦВМ или микропроцессорах с объемом оперативной памяти порядка единиц килобайт; долговременной памяти около 100 килобайт и среднем быстродействии порядка 10^4 УО/с. При этом наибольшего быстродействия требуют цифровые фильтры, численности которых должны быть частично запараллелены.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по радиолокации. Т. 1/Под ред. Скольника М. М.: Сов. радио, 1976. 456с.
2. Зубкович С. Г. - Статистические характеристики радиосигналов, отраженных от земной поверхности. М.: Сов. радио, 1968, 224 с.
3. Жуковский А. Д., Оноприенко Е. И., Чижов В. И. Теоретические основы радиовысртометрии. М.: Сов. радио, 1979, 320 с.
4. Алексеев Г. В., Волковский С. А., Жуковский А. П., Оноприенко Е. И., Трофимов В. Д. Экспериментальные исследования эффективной ширины ДОР поверхности и распределения отраженных сигналов в метровом и дециметровом диапазонах волн: -Изв. вузов. Радиофизика, 1972, т. 15, № 2, с. 200-210/
5. Реутов А. П., Михайлов Б. А., Кондратенков Г. С., Бойко Б. 5. Радиолокационные станции бокового обзора. М.: Сов. радир, 1970. 360с.
6. Вопросы статистической теории радиолокации/Под ред. Тартаковского Г. Ш Т.-1 и 2. Ш Сов. радио, 1963/64 424с. и 1079 с.
7. Лихарев В. А. Цифровые методы и устройства в радиолокации. М.: Сов. радио, 1973.456с.
8. Рабинер Д., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов М.: Мир, 1978. 848 с.

Поступила в редакцию»
21.XI.1980

DIGITAL PROCESSING OF RADIO SIGNALS REFLECTED FROM THE EARTH SURFACE

ONOPRIENKO E. I.

The problem of digital processing of radio signals reflected from the Earth surface and received by space vehicle for the purpose of studying the reflecting surfaces characteristics (momentary and mean diagrams of backscattering, its anisotropy, radio contrast etc.) are considered. The common algorithms of processing radio signals and of its digital realization are proposed for active on-board radio system. The estimation of required basic parameters of the radio system and on-board digital computer is given.

УДК 502.3:629.78

**ВЫБОР ОПОРНЫХ УЧАСТКОВ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ
КООРДИНАТНОЙ ПРИВЯЗКИ КОСМИЧЕСКОЙ
ВИДЕОИНФОРМАЦИИ:**

АВАНЕСОВ Г. А., БАБАЕВ В. А., ВЕРБИН В. ЭЦ

Координатная привязка космической видеоинформации является одним из важных этапов обработки, потребность в котором практически не зависит от характера дальнейшего использования данных. Для решения задачи автоматизации процесса координатной привязки с требуемыми на практике точностями порядка единиц элементов разрешения съёмочной системы необходимо так или иначе определять соответствующей точностью элементы внешнего ориентирования космической платформы, которые устанавливают связь между системами координат изображения и земной поверхности [1, 2]. Для определения элементов внешнего ориентирования существует ряд методов, оценка точности которых дана в таблице. Показатели каждого метода при соответствующих затратах того или иного рода без сомнения могут быть существенно улучшены, однако практически получить точность привязки порядка десятков метров на земной поверхности позволяет на сегодня лишь один из них, использующий характерные участки местности, так называемые опорные зоны, с известными земными координатами для вычисления линейных и угловых элементов внешнего ориентирования. Таким образом, реализация метода в автоматизированной системе требует создания каталога опорных зон на земной поверхности и аппарата их распознавания по формальным критериям без участия человека.

Разработка критериев выбора опорных зон, поддающихся автоматическому распознаванию, формирование каталога и, в конечном счёте, создание автоматизированной системы для точной координатной привязки видеоинформации представляет собой достаточно сложную научно-техническую проблему. В рамках настоящей публикации авторы излагают лишь ряд соображений и экспериментальных данных, относящихся к выбору опорных зон и факторов, влияющих на объём их описания, что представляется важным, с точки зрения оценки перспективности использования метода в реальных системах.

Метод координатной привязки, основанный на визуальном распознавании опорных зон на снимках земной поверхности, широко применяется на практике [2—9]. Квалифицированный специалист без особых усилий выбирает на снимке некоторое число точек, которые ему наиболее просто отождествить на карте. Для привязки нескольких снимков одного участка местности он может пользоваться разными точками или использовать объекты, появляющиеся на одном снимке несколько раз, может свободно оперировать практически всей площадью снимка, если, конечно, она не представляет собой однородную поверхность. В принципе можно следовать такому человеческому подходу к анализу видеоинформации, но объём соответствующего каталога и возможности его использования явно будут весьма ограничены. В связи с этим целесообразно рассматривая вопрос о

выделении в пределах реальной для космических съёмки площади снимков: минимального числа опорных зон и стремиться к уменьшению их размеров, считая отношение площади снимка к суммарной площади опорных зон показателем эффективности их выбора.

Каждая опорная зона в пределах определенной площади земной поверхности должна отвечать требованиям уникальности своего образа, что* легко обеспечивается при росте ее размеров. При достижении определенных размеров практически любой участок изображения становится уникальным в пределах снимка [10, 11]. В зависимости от топологии изобра-

Оценка точности измерения элементов внешнего ориентирования (ЭВО)

Наименование способа	Ошибка измерения	Источник
Наземные измерения орбиты, и вычисление линейных ЭВО	0,1...Юкм	[2-4].
Измерения с помощью гироскопических приборов	(XI. ...1°	[3,4!]
Измерение угловых ЭВО инфракрасными построителями местной вертикали	0Д ... 1°	[3,5];
Измерение угловых ЭВО солнечными датчиками	(ШИ... 0,5°	[3,5]
Измерение угловых ЭВО звездными датчиками	0,0001 ... 0,1°	[3,5]
Вычисление угловых и линейных ЭВО с помощью опорных точек, опознанных на изображении земной поверхности	0,1... 100м Г... Г	[2,6-8]

жения, характеризуемой показателем неоднородности, разные его участки становятся уникальными при большей или меньшей площади. Подобный вывод представляется достаточно очевидным, но требующим количественных оценок на основе анализа реальной информации. Представления о связи параметров неоднородности с реальными размерами опорных зон,, отвечающих понятию уникальности, т. е. не повторяющихся в пределах площади снимка, дает семейство кривых рис. 1. Они построены на основе статистического обобщения результатов обработки 150 фрагментов изображений, полученных с помощью системы оптического сканирования для различных типов земной поверхности* Параметр неоднородности **У вычислялся как средняя сумма модулей градиентов яркости дискретных элементов, составляющих исследуемый участок:

$$\Psi = M \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n'} |\text{grad } B_{ij}| \right\},$$

где n — число элементов в стороне квадратного участка; B_{ij} — яркость элементов, составляющих исследуемый участок. В этом же эксперименте изучались взаимосвязи числа подобных участков N во фрагменте изображения с их размерами при фиксированном значении дисперсии шума V_{nr} что отражено в семействе кривых на рис. 2.

Главным выводом проведенного эксперимента можно считать то, что описание уникального участка при различных сюжетах не превышало 1000 бит при 8-разрядном кодировании, т. е. площадь опорных зон составляла 100—120 элементов изображения.

Вместе с тем очевидно, что далеко не каждая площадка, уникальность которой может быть доказана математическим путем, представляет собой опорную зону с физико-географической точки зрения. Здесь ее представительность определяется таким фактором, как стабильность в пространстве и времени. Опорная зона должна быть в минимальной степени подвержена сезонным изменениям, не должна перемещаться в связи со сменой времен: года или из-за иных причин, а также, вероятно, отвечать целому ряду требований/ которые станут ясными после детальной проработки вопроса

специалистами соответствующих отраслей знаний. Не случайно, что в аналогичных зарубежных работах в качестве опорных зон выбирается ряд типов антропогенных образований, таких, как шоссеиные дороги и их пересечения, мосты через реки, каналы [9, 12]. Среди естественных образований предпочтение отдается небольшим озерам, местам слияния рек, пересечениям горных массивов, скалистым берегам озер, рек и морей. Таким образом, выбор опорных зон и формирование на их основе каталога требует совместных усилий специалистов в области наук о Земле и специалистов в области обработки информации.

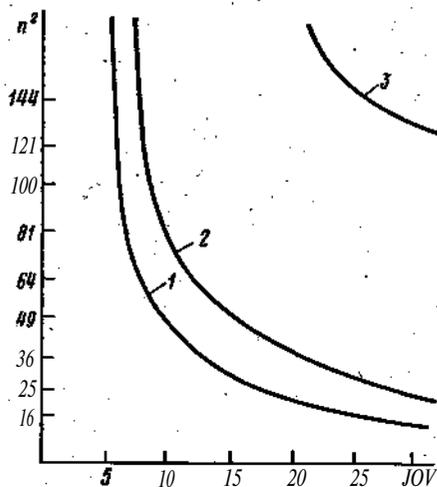


Рис. 1. Зависимость минимального числа элементов эталона от величины его параметра неоднородности W при различных значениях дисперсии шума:
 • 1 — $P_{ш}=7$; 2 — $Y_{ш}=9$; 3 — $Y_{ш}=12$

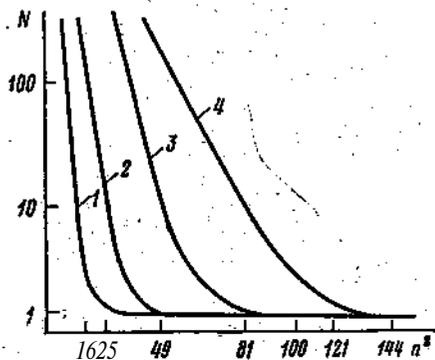


Рис. 2. Зависимость числа участков, подобных эталону JV , от числа его элементов $/г²$ при фиксированной величине шумового порога $Y_{ш}=7$ и различных значениях параметра неоднородности: 1 — $F=30$; 2 — $Y=17$; 3 — $Y=10$; 4 — $Y=7$

Однако даже при тщательном отборе опорных зон трудно рассчитывать на их полную идентичность во времени, поэтому для надежного распознавания, вероятно, потребуется не менее четырех-пяти сезонных эталонов на одну опорную зону, что повлечет за собой увеличение объема каталога и соответствующую потерю оперативности.

От подобных недостатков позволяет освободиться динамический способ формирования эталонов, основанный на их коррекции при очередной съемке одноименных районов земной поверхности. При этом предполагается, что период допустимых изменений выбранных опорных зон (т. е. при которых вероятность распознавания остается на заданном уровне) меньше периода обновления видеоинформации. В оперативных системах высокой периодичности это условие выполняется, причем с повышением периодичности вероятность распознавания увеличивается.

До сих пор вопрос о выборе опорных зон рассматривался безотносительно к виду исходной информации, способам ее получения и представления. Остановимся кратко на этом вопросе. Наиболее остро вопрос о точной: координатной привязке стоит в оперативных системах, где очень велики потоки информации, высокая периодичность обновления данных по одним и тем же районам и где ставится задача обработки с учетом малых интервалов старения исходной информации. Для современных оперативных систем характерны цифровые способы передачи информации по радиоканалам и типичным является использование многозональных съемочных систем, охватывающих диапазон длин волн от видимого до теплового ИК.

Соответственно изображения опорных зон передаются тем же потоком данных и позволяют анализировать как структурные, так и спектральные их особенности. Целесообразность совместного использования всего предоставляемого бортовыми средствами пространства признаков требует детального изучения, поскольку многозональность ведет к увеличению объема описания опорной: зсшы. В первом приближении представляется более целесообразным использовать зоны спектра, которые менее всего подвержены влиянию атмосферы, или использовать тот или иной вариант синтетического интегрального канала, формируемого, например, методом главных компонент [13--15]. Процесс опознавания опорных зон и последующие преобразования информации [16] должны производиться в цифровом виде путем сравнения текущих данных с хранимыми в каталоге образцами опорных зон, вызываемыми в соответствии с программой полета спутника.

Таким образом, можно предложить следующую методику выбора опорных зон на земной поверхности:

1) поиск и оконтуривание на снимках характерных участков удовлетворяющих физико-географическим требованиям;

2) выбор спектрального диапазона для описания эталонов опорных зон;

3) выбор опорных зон из оконтуренных участков на снимках, удовлетворяющих критерию-максимума параметра неоднородности;

4) исследование временной нестабильности выбранных опорных зон и определение максимально возможного периода динамической коррекции эталонов.

Приведенная последовательность действий, безусловно, относится только к ме-родачёскому этапу, предшествующему работам по составлению реального каталога опорных зон, но, однаж^ видно, что при таком подходе его практическое^ воплощение не является проблемой для современной вычислительной техники. Например, для коррекции орбитальных данных на каждом витке достаточно составить каталог, с числом эталонов порядка 5000; описание которых при 8-разрядном кодировании занимает объем памяти ЭВМ не более 5 Мбит.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лобанов А. Д. Аэрофототопография. М.: Недра, 1978. 575с.
2. Космическая фотосъемка и геологические исследования/Под'ред. Тонина Г. Б. и Стрельникова С. И.; Л.: Недра, 1975. 416 с.
3. Управление полетом космических аппаратов/Под ред. Крисса П. Ж. и Кузнецова Л. И. Пер. с авогл. М.: ИЛ, 1963. 464с.
4. Инженерный справочник по космической технике/Под ред. Солодова* А. В. М.; Воениздат, 1977. 430 с.
5. *ивандиков Я. М** Оптические приборы наведения и ориентации космических аппаратов. М.: М^йганостроение, 1979. 208 с.
- 6; *Журкин И. />* Прямой способ определения элементов внешнего и внутреннего ориентирования, снимков. Изв. вузов, Геодезия и аэрофотосъемка, 1979, № 5^ с. 59-64.
7. *Соловьев В. Я., Соловьева И. С.* Определение углов элементов внешнего ориентирования снимков с Метеорологических спутников.— Тр. Гидрометцентра СССР, 1967, вып. 11, с. 111-117.
8. *Зиман Я. Л., Красиков В. А., Собчук В. Fi* Аналитические методы координатной привязки видеoinформации) получаемой в целях исследования земных ресурсов.— В кн.: Космические исследования земных ресурсов. М.: Наука, 1975, с. 246-251.
9. *Bernstein R.* - Digital image processing of Earth observation sensor data.—IBM J. research & development, 1976, v. 20, № 1, p. 4D.
10. *Аванесов Г. Д.* Проблемы аэрокосмической спектроскопии земной поверхности.— Исслед. Земли^ из космоса, 1980, №2, с. 06-75.
11. *Курянов В. Д., Аванесов Г. А., Бахрушин А. П.* Определение размера опорной зоны путём статистической обработки снимков.—В кн.: Специализированные и комбинированные вычислительные устройства. Вып. 7. Рязань: Рязанский радиотехнический йн-т., 1979, с. 62-67.

12. *Swedlow M.* Experimental examination of similarity measures and preprocessing methods used for image registration.—Symposium on machiprrc. of rem. sensed data, 3-rd. West Lafayette, 1976, v. 4A-9.
13. *Красиков В. А., Хатунцева М. В., Штарьков Ю. М.* Метод главных компонент в задачах обработки многозональных данных.—В кн.: Аэрокосмические исследования Земли. М.: Наука, 1978, с. 143-150.
14. *Ту Дж., Гонсалес Р.* Принципы распознавания образов, М.: Мир, 1978. 411с*
15. *Ковалевский В. А.* Методы оптимальных решений в распознавании изображений. М.: Наука, 1976. 328 с.
16. *Собчук В. Г.* Координатная привязка видеоинформации по опорным точкам.— В кн.: Аэрокосмические исследования Земли. М.: Наука, 1978, с. 71-78.

Институт космических исследований
АН СССР, Москва

• Поступила в редакцию
I 9Л1.198Г

**SELECTION OF «REFERENCE ZONES» FOR SPACE IMAGES
AUTOMATIC «MAP CONTROL»**

AVANESOV G. A., VAVABV V. A., VERBIN V. E. /

Conceptions and experimental data are considered concerning selection of «reference zones» under automation of the process of «map control» of the Earth surface* images obtained by space survey systems. From the experimental results analysis on the base of real images a conclusion is made about the possible volume of automated catalogue of «reference zones» standards. The basic aspects are expounded of «reference-zones» selection on the Earth surface optimal in volume and reliability of identification

ОДК 528.727

К ВОПРОСУ О ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ СКАНЕРНЫХ СНИМКОВ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

ХИЖНИЧЕНКО В. И.

Космические телевизионные системы, устанавливаемые на борту ИСЗ, дают многоспектральные снимки земной поверхности, позволяющие решать ряд важных народнохозяйственных задач изучения природных ресурсов (ИПР), причем одними из наиболее перспективных являются системы сканирующего типа [1]. Решение этих задач на требуемом современном уровне возможно лишь на пути существенного повышения точностных характеристик космических снимков, в частности их геометрической точности. Ряд факторов, действующих в различных звеньях системы [2], однако, препятствует этому, что приводит к необходимости специальной наземной обработки снимков с помощью аналоговых либо цифровых вычислительных средств.

Цифровая обработка космических снимков [3] приобретает все большее распространение ввиду присущей ей гибкости и высокой точности. Для решения поставленных задач кроме точности также важнейшим условием является высокая оперативность получения, обработки и фоторегистрации видеoinформации. Поэтому особую актуальность приобретает задача разработки специальных алгоритмов геометрической коррекции, которые были бы оптимальны с точки зрения минимума временных затрат. Такие алгоритмы реализуют пересчет координат элементов изображения на основе специальных математических выражений с последующей пересылкой (либо более сложной обработкой) кодов, яркости. Оптимизация по времени возможна в первую очередь за счет упрощения математических выражений для пересчета координат.

На этом пути возможны два подхода. Первый из них широко применяется в США [3], ФРГ [4] и других странах при обработке снимков системы «Landsat» и состоит в полиномиальной аппроксимации (обычно не выше пятого порядка) упомянутых выше выражений. Коэффициенты полиномов находятся на основе обработки результатов измерения положений опознанных объектов (реперов). Для поиска и идентификации реперов требуется наличие специальных шаблонов и прецизионных оптико-механических устройств. Время, затрачиваемое на поиск и идентификацию реперов на снимке, в значительной мере зависит от квалификации обслуживающего персонала. По этим причинам оперативность обработки снимков может не соблюдаться.

Второй подход состоит в построении математической модели сканерной съемки, учитывающей лишь влияние наиболее весомых искажающих факторов. Но даже в случае упрощенных моделей (например, [4—6]) совокупность уравнений движения сканирующего и регистрирующего лучей дает неявные зависимости для пересчета координат, что приводит к необходимости искать решение итеративно с помощью ЭВМ [6]. На этом пути возможны существенные временные затраты, что может отрицательно сказаться на оперативности обработки.

В рамках второго подхода, однако, возможно построение такой модели «съемки специального вида, чтобы выделенные искажающие факторы были малы, что характерно для существующих и тем более перспектив-

ных систем НИР. В работе [2] предложена такая модель, она дает возможность нахождения желаемых зависимостей в явном виде как разложение в степенной ряд по малым искажающим факторам с последующим его усечением. Там же показано также, что для существующих и перспективных систем зачастую достаточно линейного приближения. Явный характер получаемых зависимостей исключает необходимость применения итеративных методов, что существенно экономит время. Дальнейшая экономия возможна, если рассчитывать по предложенной методике лишь узловые точки некоторой прямоугольной сетки, а промежуточные координаты получать с помощью алгоритмов типа билинейной интерполяции уже в процессе обработки снимков.

В настоящей работе на основе приближенного решения системы уравнений указанной выше специальной модели сканерной съемки получены выражения для пересчета координат элементов изображения применительно к сканеру с плоскостной разверткой. Эти выражения использовались при расчете координатных сеток для узловых точек, необходимых при обработке снимков с помощью алгоритма коррекции, изложенного в [6] и ориентированного на хранение массива оцифрованного изображения на магнитном диске, что позволяет реализовать двумерную коррекцию искажений. Описаны результаты обработки двух снимков Земли, полученных с одного из ИСЗ серии «Метеор», в 1977—1978 гг., и анализа полученного улучшения точностных характеристик снимков.

Выражения для пересчета номеров строк и столбцов элементов изображения. Как указывалось выше, в работе [2] изложена геометрическая модель сканерной съемки. Приведенные уравнения движения сканирующих и фоторегистрирующих лучей решались в линейном приближении относительно малых искажающих факторов детерминированного и случайного характера с целью нахождения зависимостей измеряемых по снимку искаженных геоцентрических координат a' , p' от истинных координат, отсчитываемых от оси ox^* орбитальной системы координат ox, y, z ; (рис. 1), фиксированной в момент t_n сканирования середины некоторой строки; принятой за центральную, применительно к задаче оценки геометрических искажений. Полюс, образованный в пересечении оси ox и поверхности Земли, принимается за центр кадра. Координаты a и p удобны для рассмотрения, так как, например, для снимков с охватом 600×600 км они не превышают величины $0,047$ в радианной мере вне зависимости от географической широты. Однако эти уравнения можно решить также в линейном приближении и относительно сканерных координат: угла сканирования β , отсчитываемого также от оси bx^{\wedge} и временного промежутка At между серединой текущей строки и моментом t_n ($\Delta t = t - t_n$) в зависимости от соответствующих параметров фоторегистратора: γ — угла поворота барабана фоторегистратора, A^{\wedge} — временного промежутка между записью текущей строки и моментом t_n' записи центральной строки ($\Delta p = t' - t_n'$). При этом получаются зависимости, которые можно использовать для пересчета координат элементов изображения с целью компенсации геометрических искажений.

Будем считать, что для съемки используется сканер с плоскостной разверткой, вектор падающего луча a (рис. 1) которого в орбитальной системе координат oYo^{\wedge} имеет компоненты $(\cos \theta, 0, -\sin \theta)$ (собственные искажающие факторы сканера считаем нулевыми). Считая далее, что запись производится на барабанный фоторегистратор* получим взаимосвязь координат снимка x, y и координат фоторегистратора β и At' в виде

$$x = v A^{\wedge} \beta, \quad y = p - \frac{m}{\theta} \Gamma, \quad (1)$$

где p — радиус барабана; θ и ω — угловые скорости вращения барабана и сканирующего луча соответственно; V — скорость подачи барабана вдоль оси.

Примем в качестве эталонной косоугольную цилиндрическую равнопромежуточную проекцию, ориентированную вдоль орбиты ИСЗ. Формулы для этой проекции можно представить в виде

$$x = M_r R_0 \beta', \quad y = M_r R_0 \alpha', \quad (2)$$

где R_0 — средний радиус кривизны референц-эллипсоида в центре кадра; M_r — коэффициент, отражающий главный масштаб снимка. Из (1) и (2) получим взаимосвязь между координатами of , p' и (τ') (τ' — вспомогательная безразмерная переменная) в виде

$$\alpha' = \frac{p' \Delta t'}{M_r R_0 \omega_0} \xi', \quad \beta' = \frac{v' \Delta t'}{M_r R_0} = \frac{\eta'}{M_r R_0}. \quad (3)$$

Воспользовавшись уравнениями модели съемки из [2] и изложенным там методом приближенного их решения относительно малых искажающих

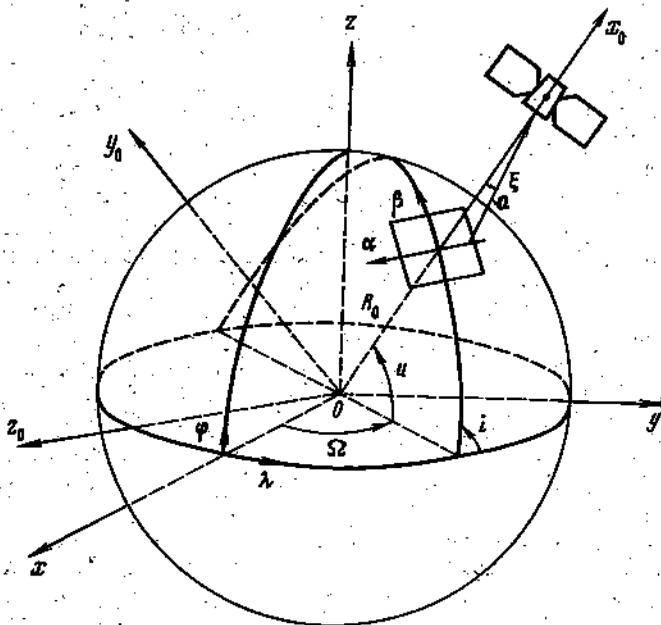


Рис. 1. Общая геометрия сканерной съемки

факторов, можно найти зависимости (α, p) и $(\tau)(\alpha, \beta) = v \Delta t$ (η — угловое положение ИСЗ относительно центра кадра). Опуская достаточно громоздкие промежуточные выкладки, получим

$$\begin{aligned} \xi = & \arctg \left(\frac{\sin \alpha}{k - \cos \alpha} \right) - \frac{ft \sin \alpha}{k^2 - 2k \cos \alpha + 1} \left[\frac{\Delta \lambda}{p} + \frac{e_0^2}{2} \sin^2 \varphi - \right. \\ & \left. - e (\cos \psi - \cos \theta) - p \sin (u - \omega) \right] + \frac{ft \cos \alpha - 1}{k^2 - 2ft \cos \alpha + 1} \times \\ & \times \left[\Delta Q - \frac{\Delta \lambda}{v} \beta \sin i \cos (u + \beta) - \Delta t \sin (u + \beta) \right] - \gamma - \frac{\gamma}{v} \beta, \\ \eta = & \beta - 2e \beta \cos (u - \omega) + \frac{k - \cos \alpha}{\cos \alpha} \left(\theta + \frac{\theta}{v} \beta \right) - \\ & - \operatorname{tg} \alpha \left(\psi + \frac{\psi}{v} \beta \right) - \left(\Delta \Omega - \frac{\omega_0}{v} \beta \right) [\cos i - \end{aligned}$$

$$-\sin i \operatorname{tg} a \sin (\gamma_0 + p)] + \Delta \gamma \operatorname{tg} a \cos (\gamma_0 + p) - \Delta t t, \quad (4)$$

где e_c — эксцентриситет референц-эллипсоида; ω_c — угловая скорость вращения Земли; $\langle p$ — географическая широта для центра кадра; $k = p/R_0 - p$, u , o , v , i , Q — стандартные орбитальные параметры для центра кадра; A_r , A_i , A_Q — соответствующие им ошибки измерений; Y , β , ϕ , $v \gg \beta \wedge \Phi$ — углы



Рис. 2. Снимок до обработки (о. Кюсю, Япония)

Рис. 3. Снимок (см. рис. 2) после обработки

крена, тангажа и рыскания системы ориентации; $v = \sqrt{\dot{\gamma}^2 (1 - e^2)^3} / \gamma^3$ — среднее движение ИСЗ; \wedge — гравитационная постоянная.

При отсутствии искажений должны выполняться равенства $a = a'$ и $\xi = \xi'$. Тогда, заменив o , Y на a , p в (3) и подставив полученные выражения в (4), получим требуемые зависимости $|\xi|$, $\kappa \setminus \xi$ и $i \setminus (\% \setminus t_j^7)$. Эти координаты легко пересчитываются в номера строк и столбцов элементов исходного (n и m) и обработанного (n' и m') изображений как

$$m = m_0 + \frac{1}{A} | (w' A_i, / \Gamma' \Delta \gamma) , \text{ и } \wedge / \Gamma_0 + \frac{1}{A_2} t_j (m' A_i, \text{ и } \Delta_2) , \quad (5)$$

где $\Delta_1 = v T / (k - 1)$ — величина желаемого углового разрешения, обеспечивающая равенство масштабов результирующего снимка по осям x и y ;

$\Delta_2 = vT$ — угол смещения ИСЗ за время периода строчной частоты T дг₀, γ_0 — координаты центра кадра в номерах элементов; A — угловое разрешение сканера.

Таким образом, выражения (5) с учетом (4) дают явные зависимости: для пересчета Координат элементов изображения в процессе геометрической коррекции.

Геометрическая коррекция снимков Земли. В качестве исходного материала использовались центральные фрагменты снимков, полученных в разное время с ИСЗ «Метеор» сканером малого разрешения на витке 9&4 и сканером ереднега разрешения на витке 5094 и отображающих соответственно Кавказ и о. Кюсю (Япония). Последний из них приведен на рис. 2.

На дни съемок имелись орбитальные данные в относительной экваториальной системе координат в момент t_0 начала первого в данные сутки витка на восходящей узле. Имелись также котировочные данные сканера, которые оказались аналогичными некоторым углам крена θ_0 и тангажа θ_0 .

На исходных снимках была осуществлена идентификация реперных объектов и определены соответствующие географические координаты. Число точек оказалось равным соответственно 14 и 12 для каждого снимка.

Далее снимки были оцифрованы на устройстве ввода/вывода изображений и введены поэлементно (с разрешением 100 мкм) в специальные файлы дисковой памяти ЭВМ в виде массивов элементов изображения размером 2048 строк \times 1020 столбцов. Введенные фрагменты имели размеры по поверхности Земли, равные 1781 \times 830 и 514 \times 237 км для каждого снимка. Учитывая члены разложения второго порядка по параметру $\langle D_e/v \rangle \approx 0,073$, являющемуся наиболее весомым из всех искажающих факторов, можно показать, что точность линейного приближения в выражениях (4) для обоих снимков составляет величину, меньшую одного элемента. После этого оба снимка были выведены на графический дисплей в полутоновом виде так, что размер каждого элемента равнялся 1 \times 1 мм. Это давало возможность просмотра и измерений на снимке с точностью до одного элемента.

Вначале производилась временная привязка центров кадров с координатами $/\gamma_0 = 1024$, $/M_0 = 510$. Для этого по графическим изображениям были определены номера строк, соответствующие началам минутных меток, формируемых бортовым датчиком времени в течение обратного хода сканера, а также размеры этих меток и ширина кадров в элементах. Эти измерения дали возможность определить эквивалентные угловое разрешение A и период строчной частоты T сканера для каждого снимка (эти параметры не равны истинным разрешению и периоду сканера, так как изображение вводилось с фотоснимка). Зная их и поправки бортового датчика времени на московское время, которые оказались равными 0,3 и 10 с для соответствующих снимков, были установлены времена прохождения центров кадров, звездное время было определено по астрономическому ежегоднику. Далее по стандартной методике были рассчитаны орбитальные параметры и азимут ξ , которые вместе с датой и московским временем прохождения центра кадра, звездным временем, а также юстировочными данными и эквивалентными величинами A и T представлены в табл. 1. Затем измерялись координаты x и y реперных точек по графическим изображениям.

Ввиду сравнительно невысокого быстродействия использованной ЭВМ по точным формулам (5) с учетом (4) предварительно рассчитывались лишь узловые точки криволинейных координатных сеток, соответствующих исходному снимку; координаты промежуточных точек вычислялись с помощью билинейной интерполяции в процессе собственно обработки снимков (см. ниже). Результатом таких расчетов явились два специальных файла на диске, содержащих a - и u -координаты узловых точек. Размеры ячеек An' и Am' (по строкам и столбцам) прямоугольной сетки,

соответствующей обработанному изображению, подбирались из условия малости искажений, вызванных заменой отрезков кривых, образующих стороны ячеек сетки, на отрезки прямых ввиду действия алгоритма билинейной интерполяции в процессе обработки снимков. Другое условие заключалось в том, чтобы криволинейная сетка не выходила за пределы исходного кадра. Величины $D\gamma'$ и Am' , а также соответствующие количества узловых точек по кадру ЛГ и строке M содержатся также в табл. 1.

Таблица!

Исходные данные для обработки снимков

Параметры	Снимок 1	Снимок 2	Параметры	Снимок 1	Снимок 2
Дата съемки	4.IX.1977г.	9.VI.1978г.	Q, град	269,86	95,11
Звездное время	22ч. 52м. 0,09с.	17ч. 08м. 02.15с.	D, град	$6,42 \cdot 10^{-2}$	$2,00 \cdot 10^{-2}$
γ	00ч. 05м. 11,53с	00ч. 46м. 05.21с.	Г, 0	$1,200 \cdot 10^{-2}$	$3,655 \cdot 10^{-2}$
p , км	7009	7004	У, град	$5,34 \cdot 10^{-2}$	$3,34 \cdot 10^{-2}$
e	$4,481 \cdot 10^{-3}$	$4,724 \cdot 10^{-3}$	0, град	$-4,33 \cdot 10^{-3}$	$4,33 \cdot 10^{-3}$
A град	97,92	97,86	D'	94	100
и, град	44,79	31,97	AI»	72	74
ю, град	148,85	1,98	N	20	20
v, 1/с	$1,0759 \cdot 10^{-3}$	$1,0771 \cdot 10^{-3}$	M	12	10
ϵ , град	-11,06	-9,22	л/г	868519^	2506986

И, наконец, производилась собственно обработка снимков с целью их геометрической коррекции по алгоритму, описанному в [7]; результат обработки снимка рис. 2 представлен на рис. 3. После обработки снова были получены графические изображения и произведены измерения координат реперных объектов. На основе знания эквивалентного периода строчной частоты для каждого снимка и среднего движения ИСЗ v находились коэффициенты M_T для полученных снимков по формуле

$$M_T = vTR_0 \cdot 10^7. \quad (6)$$

Соответствующие результаты сведены также в табл. 1.

Эффективность предложенного алгоритма коррекции снимков оценивалась в виде отношения погрешности измерения длин, углов и площадей, до обработки к соответствующим показателям после нее. В качестве указанных погрешностей брались соответственно величины

$$\delta_x = \left| \frac{M_T l_c - l_s}{l_s} \right|, \quad \delta_\gamma = |A_c - A_s|, \quad \delta_x = \left| \frac{M_T^2 S_c - S_s}{S_s} \right| \quad (7)$$

где l_c , A^* , S_c — длины сторон, углы и площади треугольников на снимке с вершинами в реперных точках; Z_s , D_s , S_s — те же характеристики для сферических треугольников на поверхности Земли. Рассчитывались осредненные показатели (6) для всевозможных пар (при измерении длин) и троек (при измерениях углов и площадей) реперных точек, исключая углы более 160° . Результаты расчетов, проведенных до и после обработки снимков, даны в табл. 2 (тильдой в таблице помечены величины искажений, имеющие место в обработанных снимках, $M(,J)$ означает операцию осреднения).

Теперь уместно выяснить методические погрешности, а затем перейти к анализу эффективности предложенного метода расчета координатных сеток и последующей коррекции снимков. Погрешности билинейной интерполяции, рассчитанные на основе данных для величин D/γ' , Am' , DO , D , приведенных в табл. 1, оказались менее $1/3$ элемента для всех снимков, т. е. ими можно пренебречь. Подробный анализ среднеквадратичных

погрешностей, обусловленных суммарным эффектом нанесения реперных точек (наколов), экстраполяцией географических координат и дискретизацией снимка, составили соответственно 0,49 и 0,47% для обоих снимков. Умножением на величину $2/\sqrt{2} \sim 0,8$ осуществляется переход к математическим ожиданиям критериев (6), если считать суммарные погрешности распределенными по закону, близкому к нормальному. Полученные таким образом данные в качестве погрешностей метода также сведены в табл. 2-

Таблица 2

Оценки искажений длин, углов и площадей, измеренных на снимках до и после обработки

Искажение до обработки	Снимок 1	Снимок "2
Искажение после обработки		
$M^{\wedge}, \%$	4,543	6,084
$M(6_{..}), \%$	1,656	2,180
$L/(6_{.}), \text{ мин}$	2,923	4,760
$L/(6_{.}), \text{ мин}$	1,411	0,876
$M(6_{п}), \%$	12,683	11,310
$ШБ_{.}), \%$	3,287	5,718
Погрешность метода, %	0,39	0,37

Погрешности измерений площадей будут приблизительно равны полученным данным, погрешности же измерений углов будут, видимо, пренебрежимо малы.

- Учитывая данные табл. 2 и приведенные выше величины методических погрешностей, можно сделать следующие выводы, например, в случае измерений длин. Для первого снимка соответствующую погрешность удастся свести примерно к 1,6%, а так как методическая погрешность здесь равна примерно 0,4%, то остаточную погрешность следует отнести за счет неучтенных погрешностей работы системы пространственной ориентации ИСЗ.

Полученные значения остаточных погрешностей после обработки снимков соответствуют требованиям, предъявляемым к современной технике картографирования. При визуальном сравнении снимков до и после обработки (рис. 2 и 3) с «картой соответствующего масштаба также видно лучшее соответствие обработанных, нежели исходных снимков, картографическим данным. Все сказанное выше позволяет сделать вывод о возможности использования предложенных методов расчета координатных сеток и обработки снимков с целью их геометрической коррекции для решения задач картографирования земной поверхности, а также ряда задач, возникающих при изучении природных ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Селиванов А. С., Чемоданов В. П., Суворов Б. А., Бараева М. К., Синельникова И* Ф.у Бндаренко Р. С., Сересун В. И. Оптико-механические сканеры для наблюдения Земли.—Техника кино, и телевидения, 1978, № 6, с. 17—21.
2. Хижениченко В. И. Методика оценки точностных характеристик сканерных телевизионных систем.— Геодезия и картография, 1979, № 11, с. 28—32.
3. Bernstein. Digital image processing of Earth observation sensor data.— IBM journal of research and development, 1976, у. 20, № 1, p. 40—57.
4. Schur W. Digitale Entzerrung multispektraler Bilder.— Bildmessung und Luftbildwesen, 1976, В. 44, № 5, s. 202—208.
5. Бочаров В. П., Сажин С. М. Коррекция геометрических искажений космической видеоинформации цифровыми методами.—Тр. ГосНИЦ ИПР, 1980, выл* 8, с. 8—16.

6. *Кадничанский С. А.* Фотограмметрическая обработка орбитальных телевизионных панорам с использованием опорных точек.—Тр. ЦНИИГАиК, 1979, вып. 222/ с. 59—80.
7. *Тюфлин Ю. С., Кадничанский С. А., Хижниченко В. И.* Аналитические преобразования орбитальных телевизионных панорам в картографическую проекцию,— *Геодезия и картография*, 1979, № 4, с. 51—57.

Поступила в редакцию
31.VII.1980

ON GEOMETRIC CORRECTION
OF THE EARTH SURFACE SCANNER IMAGES

1 ;

KHIZHNICHAENKO V. B

Earth images obtained by on board scanner TV-systems are subjected to geometric distortions resulting from a number of factors and require some correction with the aid of computers. In this case the processing algorithms are to be rapid enough to provide required operativeness. Expressions for transforming pixels during geometric correction processing are deduced basing the mathematical model of scanner image aquisition. Algorithms provided processing, speed required are given.

УДК 520.876

О ВЫДЕЛЕНИИ ЦВЕТНЫХ ТЕСТОВ НА ОСНОВЕ
ИНТЕРПРЕТАЦИИ СНИМКОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ ЧЕРЕЗ ФИЛЬТРЫ
КАМЕРЫ МКФ-6

ЧИНЬСКИ Р., САНЕЦКИ Ю.

Введение. В рамках программы «Интеркосмос» во время полета международного советско-подольского космического экипажа на пилотируемой станции «Салют-6» проведен эксперимент под названием «Земля—Телефото-78». Эксперимент проводился с самолета-лаборатории Ан-30 ИКИ АН СССР, выполнявшего многозональную съемку камерами МКФ-6 и МВ-470НАС одновременно со съемкой с борта орбитальной станции «Салют-6» камерой МКФ-6М.

С целью определения возможности выделения объектов с различными коэффициентами отражения, полученными на основе дешифрирования снимков, выполненных камерой МКФ-6, в Институте геодезии и картографии, а также на факультете наземного строительства и геодезии Военно-технической академии были проведены лабораторные исследования с применением необходимых дифференцированных цветных тестов.

В данной работе представлены только результаты исследований для фильтров, применяемых в многозональной камере МКФ-6. Результаты обработки многозональных снимков, выполненных многозональной камерой МВ-470НАС, опубликованы в работе [1].

Результаты экспериментальных работ. С целью определения возможности распознавания объектов на основе интерпретации многозональных снимков в лабораторных условиях был выполнен снимок планшета, состоящего из 32 цветных тестовых полей (рис. 1). Спектральные коэффициенты отражения отдельных тестовых полей представлены в работе [1].

Снимки выполнены при постоянных условиях освещения камерой Hasselblad 500 ЕБ/М с объективом «Planar» 2,8/80 на пленке Kodak Infra-red Aerographic 2424 через фильтры камеры МКФ-6.

Параметры экспозиций и характеристики использованных фильтров камеры МКФ-6 приведены в табл. 1. Кривые пропускания фильтров камеры МКФ-6, полученные на приборе типа «Spekord» в лабораторных условиях, приведены на рис. 2.

Негативы зональных изображений в составе 32 цветных тестов были подвергнуты микрофотометрическим исследованиям на микрофотометре ЗСS фирмы «Jouze Loebel». Результаты этих исследований представлены в табл. 2.

После интегрирования произведения пропускания фильтров камеры МКФ-6 (рис. 2) и спектральных кривых коэффициентов отражения цветных тестовых полей [1] получено следующее выражение для условного показателя коэффициента отражения:

$$R = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R(\lambda) T(\lambda) d\lambda. \quad (1)$$

Black 267	dMue 185	s.gB 169	deep V6 118	v.B 139	deep.Ч 85	s.OY 68	d.p.O 38
←* 266	m.Blue 182	brlu.gd 168	s.Y6 117	brill.6 Ш	v.Y 82	v.OY 66	StO 35
med. By 265	I.Blue 181	LgB 172	brill. Y6 116	1:6 m	*W 83	brilW 67	m.r.O 37
l.Gray 264	v.pB 184	v.LffB 171	I.Y6 119	0.1.6 T	I.Y 86	I.OY 70	***I 39

Рис. 1. Плашкет 32 цветных тестовых полей

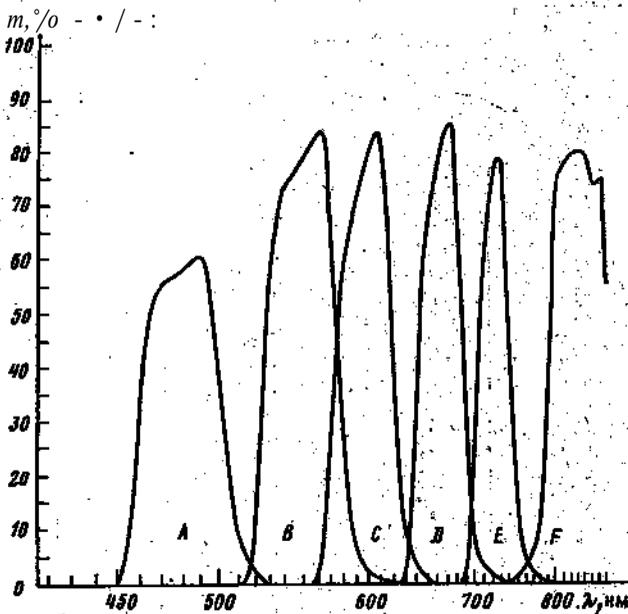


Рис. 2. Кривые пропускания использованных фильтров камеры МКФ-6

Вычисленные значения коэффициента отражения для отдельных каналов приведены в табл. 3.

В табл. 4 представлены результаты вычислений по установлению корреляционной зависимости между оптической плотностью D и соответствующей ей величиной условного показателя коэффициента отражения D .

Анализ данных табл. 4 указывает на высокую степень корреляции между набором величин для одного и того же канала и малую величину коэффициента корреляции для большинства каналов. Это обстоятельство особенно проявляется при большой их разнице в значениях λX ;

В табл. 5 приведены результаты вычислений корреляции между отдельными каналами, полученные с использованием данных табл. 3.

Из табл. 5 видно, что величина корреляции между отдельными каналами уменьшается по мере увеличения разности длин волн каналов. Опуская значения, полученные для канала A , можно говорить о сравнительно высокой степени корреляции во всех остальных Шпалах.

Характеристики фильтров камеры МКФ-6 и параметры экспозиций

№ снимка	Фильтр	№ фильтра	дл., нм	Величина диафрагмы	Время экспозиции
1	A	987-394/37	460-500	1:8	1/500
2	B	987-394/38	530-580	1:11	1/500
5	C	987-394/39	580-620	1:8	1/500
8	D	987-394/40	640-690	1:8	1/500
9	E	987-394/41	710-750	1:8	1/500
11	F	987-394/42	800-880	1:16	1/500

Таблица 2

Экспериментальные значения оптической плотности, полученные микрофотметрированием многозональных снимков цветных тестов путем фотографирования через фильтры камеры МКФ-6

№ теста	Обозначение теста	y	L	B	C	D	E	F
1	267	0,01		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	183	0,01		0,05	0,01	0,00	0,00	0,00
3	169	0,15		0,07	0,01	0,00	0,00	0,18
4	118	0,00		0,08	0,02	0,00	0,00	0,05
5	139	0,01		0,16	0,03	0,00	0,00	0,14
6	Ж	0,00		0,21	0,15	0,11	0,13	0,34
7	68	0,00		0,45	0,35	0,35	0,41	0,62
8	38	0,00		0,10	0,08	0,09	0,08	0,22
9	266	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	182	0,08		0,11	0,00	0,00	0,01	0,11
11	168	0,25		0,38	0,05	0,00	0,00	0,42
12	117	0,00		0,26	0,10	0,03	0,05	0,30
13	140	0,08		0,35	0,08	0,00	0,02	0,35
14	82	0,00		0,60	0,43	0,40	0,46	0,55
15	66	>0,00		0,55	0,42	0,41	0,46	0,57
16	35	0,00		0,36	0,20	0,26	0,30	0,52
17	265	0,04		0,02	0,05	0,03	0,04	0,02
18	181	0,24		0,40	0,11	0,03	0,03	0,45
19	172	0,21		0,30	0,08	0,02	0,02	0,28
20	116	0,03		0,55	0,33	0,18	0,23	0,56
21	144	0,10		0,25	0,08	0,02	0,02	0,25
22	83	0,01		0,58	0,45	0,42	0,46	0,64
23	674	0,00		0,56	0,43	0,40	0,42	0,64
24	Ж	0,00		0,24	0,15	0,18	0,18	0,39
25	Ж	> 0,17		0,27	0,20	0,04	6,10	0,30
26	1B4	0,38		0,50	0,26	0,18	0,20	0,54
27	171	0,36		0,50	0,22	0,08	0,08	0,52
28	119	0,08		0,50	0,32	0,20	0,23	0,52
29	143	0,16		0,44	0,18	0,05	0,06	0,42
30	86	0,06		0,60	0,43	0,36	0,42	0,63
31	70	0,05		0,53	0,40	0,35	0,38	0,62
32	39	0,02		0,10	0,09	0,06	0,05	0,20

Здесь же отметим/ что приведенная ниже матрица (табл. 5) в отличие от предыдущей является ортогональной. Одновременно отметим, что в наших рассуждениях не принимались во внимание дополнительные факторы, имеющие влияние на точность результатов: неопределенность света, используемого в процессе фотографирования; пространственные свойства спектрального коэффициента отражения (нематирика, тестов); зависимость контрастности светочувствительного материала Kodak IR 2424 от длины световой волны; уменьшение количества света, проходящего, через объектив «Planag» в функции радиального луча от главной точки снимка, по направлению к краю снимка; переменное значение спектральной чувствительности светочувствительного материала в зависимости от длины волны.

Значения расчетных величин условного показателя коэффициента отражения

№ теста	Обозначение теста	Канал Л		№ теста	Канал В		№ теста	Канал С		№ теста	Канал D		№ теста	Канал F	
		R	JA		R	R		R	R		R	R			
1	267	0,051-	1	0,077	1	0,034	1	0,035	1	0,028	1	0,039			
4	118	0,141	9	0,700	9	0,620	2	0,032	2	0,025	2	0,247			
6	85	0,200	17	0,890	10	0,249	3	0,100	3	0,09в	9	0,670			
7	68	0,207	2	0,042	2	0,042	4	0,481	4	0,175	17	0,730			
8	38	0,076	4	0,644	3	0,130	5	0,085	5	0,095	4	0,561			
9	266	0,204	8	0,274	4	0,430	9	0,600	9	0,470	10	1,026			
12	117	0,298	32	0,824	5	0,661	10	0,354	И	0,401	5	0,585			
14	82	0,235	10	0,449	11	0,502	10	0,454	10	0,497	3	0,999			
15	66	0,217	5	0,764	17	0,764	13	0,476	43	0,450	32	1,483			
16	35	0,153	3	0,441	8	0,873	49	0,689	17	0,570	8	1,276			
23	67	0,408	6	1,014	13	0,632	24	0,672	19	0,678	21	1,356			
24	37	0,280	24	0,772	19	0,786	12	0,755	24	0,600	19	1,563			
2	183	0,157	21	1,437	21	1,246	17	0,740	18	0,740	12	1,248			
5	139	0,479	12	1,341	32	1,435	18	0,832	12	0,572	25	1,909			
212	83	0,620	25	1,572	12	0,810	29	1,086	32	1,063	6	1,590			
32	39	0,334	19	1,334	18	0,801	38	1,382	29	0,985	13	1,308			
20	116	0,775	13	1,407	6	1,262	27	1,456	8	0,924	24	2,169			
17	265	0,586	16	0,670	24	1,594	8	1,136	27	1,187	11	1,933			
31	70	0,834	И	1,068	29	1,362	6	1,277	26	1,372	29	2,198			
30	86	0,917	18	1,264	16	1,824	25	1,780	6	1,025	18	2,434			
10	182	0,677	29	2,213	25	1,776	20	1,752	24	1,508	16	2,723			
13	140	0,884	7	1,592	27	1,583	24	1,917	26	1,792	27	2,870			
28	119	1,149	26	2,433	26	1,908	26	2,108	20	1,583	28	1,841			
21	144	(X)958	27	2,319	28	2,236	28	2,075	28	1,742	26	3,040			
3	169	0,929	28	2,758	20	1,660	16	2,332	16	1,882	14	3,425			
29	143	1,300	31	2,384	7	2,221	7	2,521	34	2,422	20	2,857			
25	264	1*249	15	1,778	31	2,821	34	3,011	7	2,046	15	3,390			
19	172	1,364	20	2,497	15	2,470	30	3,011	23	2,21	7	2,959			
18	181	1,328	23	2,523	14	2,649	14	2,883	30	2,456	34	3,476			
1d	168	1,325	22	2,961	23	2,821	23*	3,014	14	2,347	30	3,543			
27	171	1,890	14	2,478	30	2,880	45	2,781	45	2,282	22	3,513			
>26	184	1,919	30	2,984	30	2,880	Ж	3,041	22	2,456	23	3,472			

Таблица 4

Корреляционная зависимость между оптической плотностью снимков! и величиной условного показателя коэффициента отражения

Условные показатели коэффициента отражения	Оптические плотности ... > Г					
	A(D)	B(D)	Cφ)	·IND)	Eφ>	F(D)
A(R)	1,00	0,32	0,00	0,13	-0,16	0,28
B(R)	0,33	0,91	0,72	0,66	0,70	0,68
C(R)	-0,13	0,66	1,00	0,91	0,78	0,65
D(R)	-0,23	0,66	0,93	1,00	0,90	0,72
E(R)	-0,04	0,72	0,94	0,93	1,00	0,82
F(R)	0,19	0,74	0,81	0,87	0,83ri<>	0,94

Рассмотрим, какие тестовые объекты могут* быть однозначно выделены на основе интерпретации снимков, выполненных камерой JVK<1>-6.

На рис. 3 в качестве примера приведены значения величины D для отдельных каналов, сгруппированные в том же самом цвете, но только с разным насыщением окраски.

На рис. 4 показаны значения величины условного показателя коэффициента R для отдельных каналов, сгруппированные также в одинаковом цвете, опять-таки с разным насыщением окраски.

Анализируя эти графики (их получено 16 штук), видим, что нельзя выделить необходимые тесты только на основе значения величины их оп-

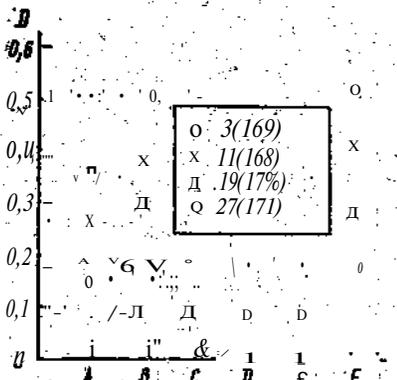


Рис. 3. Значение D для отдельных каналов (цифрами указаны номера и обозначения тестов)

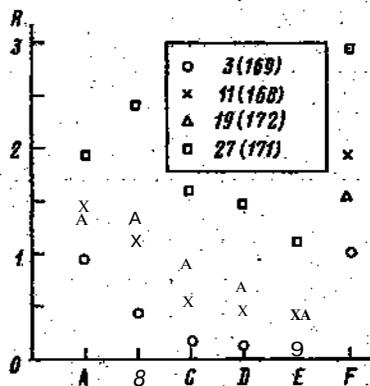


Рис. 4. Значение L для отдельных каналов (цифрами указаны номера и обозначения тестов)

Таблица 5

Коэффициенты корреляции значений условного коэффициента отражения в различных каналах

Условные коэффициенты отражения	A	B	C	p	E	F
D	100	0,46	0,05	(МН	0,03	0,29
47	0,08	1,00	6,83	0,76 *	0,77	0,85
* M	0,01	0,83	1,6	0,98	0,98	0,92
E	Д03	0,2	0,98	4,00	1,00	0,92
	0,29	0,17	0,98	1,00	1,00	0,93
		=0,85	0,98	(X92	0,33	1,00

тической плотности. μ э следующих группах: а) серо-черной: 17 (265), 9 (266) и 1 (267); б) желто-зеленой: 20 (116), 28 (119); в) оранжевой: 45 (66), 23 (67), 7 (68), 31 (70); г) красной: 8 (38) и: 32 (39).

В то же время f эти тесты, можно выделить на основе величины D -условных показателей отражения, а именно: а) тест № 17 от 1; 9 от 1 в каналах В, С, Д Е, F, а также 17 от 9 в канале А; б) тест № 20 от 28 в канале С; в) тест № 7 от 15 в каналах Е и F\ 15 от 31 в каналах А, В\ 15 от 23 в канале 5; 23 от 31 в канале А; г), тест № 8 от 32 в каналах В и С.

Таким образом, на основе анализа спектральных изображений, полученных через фильтры камеры МКФ-6, можно однозначно выделить почти все 32 цветных тестовых поля, в том числе и те, которые слабо различаются между собой по цветовой насыщенности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сәнецки Ю., Качиньски Р. Анализ возможности выделения цветных тестов и определение измерительных параметров на примере многозональной камеры МВ-470 НАС.-Гр. ИГиК, 1980, т. XXVII, № 1 (64), с. 41-70.

Институт геодезии и картографии, Варшава

Поступила в редакцию 3.XI.1980

ON COLOUR TESTS DISTINCTION ON THE BASE OF INTERPRETATION OF IMAGES TAKEN THROUGH THE MKF-6 CAMERA FILTERS

KAGZINSKI R., SANECKI Yu.

Problems of distinction the colour test fields are considered using correlation method for processing images taken by the MKF-6 camera.

ОБЗОРЫ

УДК 551.25:629.78

ЛИНЕАМЕНТЫ

(проблемы и направления исследований с помощью
аэрокосмических средств и методов)

МАКАРОВЕ. И.

Линеаменты представляют собой элементы структуры земной поверхности и, как мы теперь знаем, литосферы в целом, которые вызывают интерес геологов уже более 150 лет, но природа и геологическое значение которых во многом еще остаются загадочными.

Картирование линеаментов, выполненное в последние десять лет с помощью космических снимков (КС) в необычайно широких масштабах и охватившее самые разнообразные области всех континентов, наряду с определенными достижениями практического и теоретического характера породило и множество вопросов, по которым существуют довольно различные представления. Некоторые из этих вопросов и разногласий имеют уже достаточно длинную историю, другие возникли совсем недавно, главным образом в связи с развитием космических съемок.

Весьма многочисленные публикации последнего десятилетия, посвященные линеаментам как весьма обширных, так и сравнительно небольших территории и уже нередко-перекрывающие друг друга (т. е. характеризующие одни и те же территории), со всей очевидностью свидетельствуют о большом разночтении космических изображений и различиях в интерпретации последних.

Целью данного сообщения является обобщение тех основных вопросов, по которым существуют значительные неясности и разногласия среди исследователей, анализ возможных причин этих разногласий и в связи с этим выяснение направлений дальнейших исследований. Такой анализ сейчас весьма актуален, если учесть, что КС чрезвычайно широко внедряются в практику геологических исследований и, следовательно, требуется ясность общеметодологических и методических решений.

Возможности статьи слишком малы, чтобы сделать полный обзор множества отечественных и зарубежных работ, посвященных линеаментам, даже связанных только с «космическим» этапом их изучения. В ней указаны работы, которые либо являются основополагающими, либо могут быть лишь одними из многих примеров тех или иных точек зрения.

Статья касается линеаментов, но большая часть вопросов и проблем, на которые здесь обращено внимание, равным образом относится и к кольцевым образованиям, дешифрируемыми на космических изображениях Земли.

Ниже перечислены основные вопросы и аспекты изучения линеаментов, которые необходимо учитывать во всех дальнейших исследованиях этих, во многом еще загадочных образований: определение линеаментов; классификация линеаментов; генезис линеаментов; соотношение линеаментов и разрывных нарушений; линеаменты и планетарная трещиноватость; возраст линеаментов, их отношение к молодым и древним структурам; глубинность заложения линеаментов; иерархия (ранговый анализ) линеаментов; пространственно-временные закономерности развития линеаментов; линеаменты и общая геодинамика, фиксизм и мобилизм; линеаменты и полезные ископаемые; линеаменты и сейсмичность и т. д. Каждое из упомянутых направлений изучения линеаментов - предмет для самостоятельной статьи, поэтому жиге затронуты лишь некоторые, самые общие вопросы.

Определение линеаментов является, очевидно, и началом и конечной целью их изучения. В геологической литературе можно найти немало вариантов определений термина «линеамент», в том числе появившихся уже в связи с космическими методами их изучения. Все они характеризуют более или менее широкий круг явлений и образований, относящихся к линеаментам и отвечая, как правило, задачам конкретного исследования, являясь ограниченными и не исчерпывающими всей сущности рассматриваемых объектов.

В первых опытах применения космических снимков для решения геологических задач основное внимание было обращено на опознание крупных разломов на территориях США, Мексики, Северной Африки, Аравийского полуострова, Ближнего и Среднего Востока, Центральной Азии [1-10]. Но уже тогда неоднократно отмечалось, что разломы на космических снимках не всегда строго соответствовали имеющимся данным наземного картирования, а некоторые из них не были вовсе известны как таковые. Вопрос о сущности таких крупных «линеаментов» в тот период, фактически не ставился.

Дальнейшее активное развитие космических съемок, которыми теперь охвачена большая часть всех материков, привело по существу к новому «открытию» линеаментов. Они установлены практически повсеместно в большом количестве и лишь отчасти отвечают известным разрывным нарушениям или другим очевидным элементам структуры земной поверхности. Попытки интерпретации линеаментов как геологических образований и объяснения с их помощью тех или иных особенностей структуры земной коры привели в этот период к весьма различному пониманию* линеаментов и их геологической сущности.

Это сразу же нашло свое отражение в определениях тех линий или полос, которые дешифрируются на космических изображениях, и в дискуссиях, развернувшихся по этому поводу в геологической литературе. Возникла очевидная путаница в использовании самого термина «линеамент», в связи с чем были предложены и новые термины: «линеары», «линеации», «alignment» (выравнивание, размещение в линию предметов местности), «фотолинеаменты», «космографические линеаменты», «космолинеаменты».

Причиной появления таких терминов является, вероятно, то, что многие линейные образования, которые дешифрируются на КС и даже могут хорошо, согласовываться с геологической структурой, не проявлены достаточно очевидно в каких-либо особенностях земной поверхности и геологической структуре. Именно исходя из целей «фотогеологии» и дистанционного зондирования Земли, в «Геологическом словаре» Американского геологического института [11] разделяются линии на земной поверхности («тектонические линеаменты») и линии, проявленные на фотографиях или других изображениях («фотолинеаменты» или «фотогеологические линеаменты»)*.

Однако необходимость такого разделения признается далеко не всеми американскими геологами. Так, например, D. O'Leary, J. Friedman, П. Pohn [12] отмечают, что фотогеология и дистанционное зондирование являются не самоцелью, а средствами, которые помогают лучше понимать геологическое строение (в том числе и линеаменты), что причиной объектов, проявленных на аэро- и космических изображениях; являются некоторые физические (геологические) реальности. Только определенного рода физиографические особенности поверхности образуют линеаменты, и перед исследователем стоит задача определить природу этих особенностей и далее природу линеаментов.

Аналогичные разногласия имеются и в советской геологической литературе [16-20]. В ней можно обнаружить и очень осторожное отношение к линейным образованиям, проявленным на КС (фотолинеаменты, космолинеаменты и космографические линеаменты), и, напротив, свободное, априорное отождествление их с разрывными нарушениями (термин «линеамент» употребляется в таких случаях, как синоним «разлома», а нередко даже упраздняется). В большинстве же публикаций линеаменты рассматриваются как некоторые линейные или линейно организованные элементы структуры земной поверхности, которые прямо или косвенно отражают особенности геологической структуры, в том числе глубинные разрывы и трещины ватости погребенного фундамента.

При этом складывается впечатление, что эти различия в большинстве случаев не носят достаточно принципиального характера, и терминологическая «свобода» встречается нередко в работах даже одних и тех же авторов. Чаще всего даже в специальных работах, посвященных линеаментам, нет их определения, нет разъяснений употребляемых терминов, как если бы мы имели дело с чем-то достаточно изученным, не требующим дальнейшего исследования.

Фактически понимание линеаментов приобрело излишне широкий и, можно сказать, абстрактный характер, при котором оно теряет свое значение для конкретной научной работы и практического использования. Результатом и иллюстрацией этого являются очевидные расхождения не только в интерпретации, но и в самих схемах дешифрирования линеаментов одних и тех же территорий, нередко выполненных по одним и тем же исходным материалам.

Из этого следует, что первоочередным предметом исследования должна еще оставаться природа линеаментов, критерии и методы их выделения и дешифрирования.

По-видимому, в настоящее время большинство исследователей сходятся в одном

* В связи с этим необходимо отметить, что еще раньше в работах П. Бланше [13], Д. Молларда [14] и Л. Латмана [15] употреблялся и термин «аэрофотолинеамент», которым обозначались, в частности, зоны повышенной трещиноватости погребенного кристаллического основания, проявленные на аэрофотоснимках.

представлении, олицом к тому понятию линеаментов, которое имел в виду В. Хоббс [21], предложивший этот термин. Главной их характеристикой он считал то, что они образуют закономерно повторяющиеся направления, по которым организуются многие формы и элементы рельефа и геологической структуры.

Совершенно очевидно, что такое представление отражает лишь внешнее проявление линеаментов, и не вскрывает их генетической сущности как геологических образований. И в этом направлении в дальнейшем предстоит еще большая работа. Основным ее содержанием должна быть прежде всего разносторонняя классификация линеаментов, которая позволит дать и их полное определение.

Одним из важнейших нерешенных вопросов изучения линеаментов является их соотношение с разрывными нарушениями. Выше уже отмечалось, что в очень многих работах оба эти понятия рассматриваются как тождественные, нередко авторы считают даже возможным без каких-либо примечаний и доказательств опускать само слово «линеамент», заменяя его термином «разлом» или «разрыв». Это проявляется, в частности, в названиях и легендах схем и карт дешифрирования КС.

Другим проявлением этого отождествления являются отрицательные заключения многих геологов относительно тех или иных конкретных линеаментов, поскольку в соответствующих местах, по их данным, никаких разрывов и трещин нет.

В связи со сказанным необходимо напомнить, что еще В. Хоббс показал достаточно определенно, что природа линеаментов не ограничивается только разрывами и трещиноватостью. Действительно, обширная литература свидетельствует, что линеаменты совсем не обязательно соответствуют известным на земной поверхности (особенно в горно-складчатых областях) разрывам, в том числе даже крупным региональным разломам, хотя эти разрывы отдельными более или менее протяженными своими участками могут «вписываться» в линеаментную сеть. Разрывы представляют лишь частный, хотя и может быть, и типичный случай проявления линеаментов, которые складываются обычно из нескольких физиографических (или ландшафтных) и геолого-геофизических деталей. Такими деталями могут быть также литологические и литолого-стратиграфические Гранины, границы структурных и особенно азимутальных несогласий, границы различных фаций осадочных отложений, различного состава и фаций магматических образований, зоны геохимических аномалий.

Нельзя исключать также возможность опосредствованного проявления на земной поверхности некоторых линейных или других аномалий физических полей — тепловых, магнитных, гравитационных, которые могут быть связанными не только с разрывными нарушениями, но и с другими линейными телами разного типа.

В связи с этим отметим, что и самостоятельный анализ структуры геофизических полей позволяет выделять в них некоторые достаточно закономерно ориентированные направления, линии, вдоль которых ориентированы аномалии и высокоградиентные зоны или расположены различные элементы структуры физических полей, или эти линии разделяют области с достаточно различной структурой. Такие линии в литературе уже получили название «геофизических линеаментов». Так, например, П. Гей [22], изучая аэромагнитные карты различных территорий Северной Америки, показал, что они (карты) характеризуются протяженными линейными нарушениями контуров магнитного поля, которые он назвал «аэромагнитными линеаменами» и которые отвечают разрывам в погребенном кристаллическом основании. Многочисленные примеры соответствия линеаментов различного типа геофизическим аномалиям приведены в многочисленных статьях и других исследователей [17, 19-25].

Линеаменты представляются, таким образом, в виде прямолинейных или пологоизогнутых более или менее узких высокоградиентных зон изменения различных характеристик поверхности, частным случаем которых являются разрывы. Такое, более широкое представление о линеаменатах устранило бы целый ряд недоразумений и ложных толкований и, несомненно, правильнее характеризовало бы их геологическую информативность.

В тесной связи с вышеизложенным стоит вопрос об отношении линеаментов к планетарной трещиноватости. Действительно, имеющиеся схемы линеаментов обнаруживают определенное однообразие их ориентировок, хорошо согласующееся с направлениями так называемой планетарной трещиноватости [16, 26—32].

Учитывая ранее сказанное о соотношении линеаментов и разрывов вообще, следует предполагать, что линеаменты, как и планетарная трещиноватость, проявляют некоторую общую глобальную упорядоченность, определенную ротационными или какими-то иными общими причинами. В связи с этим необходимо, очевидно, продолжить систематический анализ линеаментов с точки зрения пространственных и временных закономерностей их распространения. Важным аспектом такого анализа является, в частности, установление определенного ритма или шага между линеаменатами одного порядка и возможных вариаций этого шага, которые могут определяться мощностью и составом земной коры, различной ориентировкой линеаментов, принадлежностью их к разным тектоническим эпохам или к существенно различным областям.

Принцип равноудаленности элементов геологической структуры использовался еще в работах А. Даубри [28], прямого предшественника В. Хоббса в области

линеamentной тектоники. Сам В. Хоббс также обращал внимание на этот аспект, отметив, что в восточных районах Северной Америки характерные расстояния между разломами северо-восточного, северо-западного и меридионального простираний составляют соответственно 125, 75 и 40 миль.

В дальнейшем вопрос о возможной закономерности (постоянстве) расстояний между разломами, трещинами и линеаментами ставился и в той или иной мере решался многими исследователями. В основном они исходили из эмпирических данных [16, 33, 34].

Наряду с этим предприняты попытки общепланетарного подхода к установлению таких закономерностей. Так, чехословацкий геолог В. Немец [30, 31] дискретность геологических структур определил формулой

$$U_x = 2 \cdot ЧЭ,$$

где U_x — расстояние между структурами (трещинами, линеаментами, разломами) одного порядка, x — порядок структуры, D — диаметр Земли.

Но насколько мне известно, никакого обобщения и окончательной ясности в этом вопросе до сих пор нет. Вместе с тем важность его решения очевидна, ибо в случае положительного результата мы подучили бы новый инструмент для изучения вариаций мощности земной коры и отдельных ее слоев, новые критерии для тектонического БУШ геодинамического районирования континентов, подразделения их на разновозрастные блоки.

Столь же важным аспектом изучения линеаментов являются региональные и планетарные закономерности их ориентировки. Несмотря на весьма большую историю этого вопроса, восходящую к трудам Эли де Бомона и Л. Буха [29], множество публикаций, специально посвященных ему, свидетельствует, что и этот вопрос еще далек от своего определенного решения.

В рамках гипотезы планетарной трещиноватости исследователи объединяют все множество трещин, разломов и линеаментов в системы сопряженных взаимноперпендикулярных пар. Однако количество пар, рассматриваемых как разновозрастные, сопряженные в своем происхождении и развитии, а также их ориентировка в разных областях Земли и у разных авторов нередко различаются, полной ясности в этом отношении нет. Чтобы убедиться в этом, достаточно познакомиться со специальным обзором П. Гея [26] или с серией статей, опубликованных в сборнике «Планетарная трещиноватость» [16] или в трудах международных конференций по тектонике фундамента [27].

Разногласия и неопределенности по указанным выше вопросам происходят, очевидно, из-за различий в исходных фактических данных, различий методов их анализа и исходных концепций. Важнейшим определяющим моментом здесь является также проблема возраста анализируемых систем трещин и линеаментов, без правильного определения которых никакие сопоставления невозможны.

Имеющиеся публикации, так или иначе касающиеся линеаментов, показывают, что обычно они используются специалистами для решения конкретных задач, возрастного диапазона которых в целом весьма широк (от глубокого докембрия до современности). При этом одни и те же исходные данные, в данном случае линеаменты, могут использоваться для характеристики весьма разновозрастных структур. В других случаях априори принимается исключительно молодой возраст линеаментов (неотектонический или современный). Но чаще всего о возрасте их ничего не говорится.

Учитывая важность вопросов, к решению которых привлекаются линеаменты (прогноз сейсмичности и «ейсмоопасных зон и узлов, металлогенических зон и т. д.), да и с самых общих позиций, рассматривая их как геологические объекты, следует, очевидно, более строго подходить к определению возраста дешифрируемых линеаментов и их отношению к разновозрастным структурам любого района.

Этот аспект имеет самостоятельное значение и с точки зрения решения проблем концепции планетарной трещиноватости, в рамках которой развиваются представления как об разновозрастности и сопряженности разноориентированных разрывов, трещин и линеаментов, так и о принадлежности того или иного направления или направления к определенным эпохам тектогенеза (например, [31, 32]). Поскольку этот вопрос до сих пор гипотетичен, строгое определение возраста линеаментов имеет важное значение.

Глубинность заложения, линеаментов — очень важный для теории и практики вопрос. Являются ли они особенностями исключительно приповерхностной структуры или же отражают в ней структуры более или менее глубоких слоев литосферы? Очень многие выводы определяются этим вопросом.

Сопоставление линеаментов, отдешифрированных на КС, с различными геодогеофизическими и геохимическими данными о структуре глубоких слоев литосферы, выполненное разными исследователями с целью разгадки природы линеаментов и для решения ряда частных геологических задач, показало со всей определенностью, что многие из таких линеаментов имеют глубинное заложение [20, 23–25]. Нередко они лучше соответствуют элементам глубинных структур, чем приповерхностным структурам. В настоящее время факты, подтверждающие это, настолько многочисленны, что возникло и успешно развивается представление о линеаментах, как о проявлении так называемой тектоники фундамента [26, 27, 35].

В связи с этим остается весьма насущной задача объяснения возможного механизма передачи глубинного «сигнала» на поверхность. Некоторые принципиальные пути решения этой задачи уже предложены [35], но многое еще остается неясным относительно деталей этого механизма и возможностей использования космических средств и методов для определения глубины заложения линейментов.

В общем возможны, по-видимому, три взаимосвязанных варианта передачи информации из глубин литосферы на ее поверхность. Первый из них заключается в механических деформациях земной поверхности, которые отражают либр дифференцированные горизонтальные смещения блоков фундамента, либо вертикальные движения некоего глубинного «щтлмпа». Таким путем проявляются, очевидно, лишь молодые, активные, глубинные структуры, включая активизированные элементы древних структур.

Второй вариант в целом можно определить как геотермо-геохимический. Он связан с непрерывным потоком тепла и газовой-жидких продуктов преобразования вещества из недр литосферы к ее поверхности и формированием здесь соответствующих тепловых и геохимических аномалий. Последние могут, очевидно, характеризовать как непосредственно источники, так и неоднородности (структуру) более высоких горизонтов коры, сквозь которые эти потоки проходят, испытывая те или иные качественные и (или) количественные преобразования [35].

Третий вариант состоит в возможном влиянии на экзогенные процессы формирования структуры земной поверхности некоторых глубинных неоднородностей литосферы, вызывающих, например, значительные аномалии гравитационного поля. Во втором и третьем вариантах интересующие нас аномалии могут характеризовать как молодые, так и древние погребенные структуры.

В непосредственной связи с рассматриваемой проблемой находится возможность определения или сравнительной оценки с помощью КГ глубины заложения линейментов и других образований. Эта задача очень важная и, по-видимому, перспективная, но имеет много неопределенных решений, на некоторых из которых необходимо сразу же остановиться.

Поскольку земная кора анизотропна и рассеивает образ (контур) какого-нибудь погребенного тела (например, разлома) в некоторый ореол, можно использовать ширину зоны рассеяния (ширину линеймента) как показатель глубины заложения верхней крошки этого тела. Именно поэтому для разделения разноглубинных деформаций уже используются изображения разных уровней генерализаций [20, 23].

Но дело осложняется тем, что ширину ореола рассеяния определяет не только глубина заложения возмущающего образования (источника), но и активность его развития, морфология и положение в разрезе, характер перекрывающих горизонтов коры, степень вертикальной расчлененности и дисгармонии этих горизонтов, наличие горизонтальных срывов и смещений и другие особенности. Поэтому, если один и тот же линеймент, выходя из области активного горообразования в пределы смежной платформы, изменяет свою ширину и морфологию проявления, это не является определенным или, во всяком случае, достаточным доказательством изменения глубины его заложения. Таким образом, рассматриваемая задача при своем решении требует особой осторожности и учета весьма различных обстоятельств, лишь на часть которых было указано выше.

Совсем еще слабо изученной является проблема рангового подразделения или иерархии линейментов, чрезвычайно важная для правильной их интерпретации. Что положить в основу такого подразделения - протяженность, ширину, глубинность заложения, возраст или какие-то иные критерии? Или, может быть, проявленность на КС разных уровней генерализации?

Анализ всех этих параметров показал, что ни один из них в общем случае не может быть достаточным для такого подразделения линейментов. Ясно, что формализованный подход к решению этого вопроса не даст необходимых результатов. Требуется, очевидно, более сложный анализ с привлечением дополнительных геолого-геофизических данных.

Наконец, необходимо коснуться некоторых проблем прикладного использования линейментов. Во многих статьях можно встретить подкупающе простые построения, связывающие с линейментами и месторождения полезных ископаемых различного типа, и проявления сейсмичности, и ряд других важных особенностей. К сожалению, приходится констатировать, что эти связи чаще всего остаются методологически необоснованными, хотя бы с точки зрения рассмотренных выше проблем.

Совершенно очевидно, что пространственное совпадение с линейментом или линейментной зоной некоторых известных рудопроявлений не является достаточным основанием для заключения о соответствующей рудной специализации этой зоны. Это особенно касается некоторых гигантских зон линейментов, ширина которых достигает нескольких десятков и сотен километров и в пределы которых естественно попадают многие рудопроявления. Необходимы, очевидно, прежде всего доказательства генетической природы таких совпадений, совпадений по возрасту и другим особенностям развития тех и других.

То же самое необходимо сказать о так называемых линейментных узлах, которые оказываются пригодными для объяснения весьма различных образований и явлений. В частности, с ними легко связывают и месторождения полезных ископаемых,

и сейсмические явления. Нельзя отрицать возможности таких связей. Но вопросом особой важности становятся тогда те критерии, которые позволили бы среди множества подобных узлов выделять сейсмоактивные или рудоцентрирующие. Дело в том, что в зависимости от масштаба исследования и использованных материалов, в том числе КС, для каждой области уже составлены или могут быть составлены линейментные сети весьма различной дробности и при этом практически любое рудопроявление или землетрясение может быть привязано к какому-нибудь узлу, особенно если учесть точность определения координат землетрясений.

Во всех этих и им подобных случаях необходимо проявлять, очевидно, особую аккуратность и выявлять прежде всего генетическую природу пространственных связей, коррелировать между собой образования либо одноранговые, либо соподчиненность которых не вызывает сомнений.

Очень важной стороной исследования линейментов является необходимость их рассмотрения с позиций существующих геотектонических гипотез. В настоящее время линейменты привлекаются и для доказательства фиксистских гипотезой для подтверждения мобилистических построений. Такая «аполитичность» линейментов вытекает, вероятно, из неопределенности их геологической сущности, а также некоторой оторванности, их изучения от других общих проблем и аспектов геологии.

Наконец, необходимо обратить внимание на некоторые вопросы технического характера. Это прежде всего картографирование линейментов, которое выполняется, судя по публикациям, недостаточно удовлетворительно. Главным в данном случае является то, что они недостаточно точно изображаются на топографических основах и это может быть источником дальнейших неправильных корреляций и выводов практического и теоретического характера. На данном этапе изучения линейментов эта сторона приобрела важнейшее значение.

Особенно ярко это проявляется на картах линейментов достаточно больших территорий (например, всей территории СССР), выполненных на топографической основе в конической проекции, на которых широтные линейменты нередко не согласуются с дугами широт, изображаясь в виде прямых линий, а кольцевые структуры изображаются в виде обычно правильных окружностей, а не яйцевидных овалов, вытянутых к полюсу, как того следует ожидать.

Таким образом, подводя итоги изучения линейментов за последние 5-10 лет, выполненного с помощью КС Земли, можно определить, этот этап изучения в целом, по-видимому, лишь как рекогносцировочный. Важнейшим результатом его является прежде всего то, что мы теперь отчетливо представляем отмеченные выше проблемы и вопросы, которые могут определить качественно новый уровень, программу и успех дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Bowman P. D.* Photography from space — geologic applications.—New York *Acad. Sci. Ann.*, 1966, v. 140, № 1, p. 99-106.
2. *Lowman P.D.* Geologic orbital photography, Experience from the Gemini-Program.—*Photogrammetria*, 1969, v. 24, № 3/4, p. 77-106.
3. *Hampill W. R., Danilchik N. W., Kats A. N.* Geological interpretation of Gemini photo.—*Photogramm. Eng.*, 1968, v. 34, № 2, p. 95-112.
4. *Van der Meer Mohr H. E.* Geological interpretation of hiperalitude photographs from Gemini spacecraft.—*Proc. XI-th Int. of Photogrammetry Congr. Lausanna*, 1968, p. 1-6.
5. *Abdel-Gawad M.* Interpretation of satellite photographs of the Red Sea and Gulf of Aden.—*Roy. Soc. London Trans., Series A*, 1970, v. 267, № 1181, p. 23-40.
6. *Гонин Г. В., Зейлик В. С., Хаджетлаше Ф. М., Яковлев Н. А.* Аэрофотосъемка с больших высот и фотографирование из космоса для решения геологических задач.—В кн.: *Прикладная фотограмметрия*. Л.: Наука, 1969, с. 92-99.
7. *Виноградов Б. В., Григорьев А. А.* Возможности геологического дешифрирования космических фотографий Земли.—*Изв. АН СССР. Сер. геол.*, 1970, № 1, с. 16-28.
8. *Скарятин В. Д.* Космоснимки на службе геологии.—*Природа*, 1970, № 3, с. 71—74.
9. *Виноградов В. В., Кондратьев К. Я.* Космические методы земледения. Л.: Гидрометеоздат, 1971. 190 с.
10. *Вашилова И. И., Еремин В. К., Махин Г. В.* Некоторые результаты применения телевизионных изображений Земли, сделанных из ближнего космоса, для изучения региональных геологических структур.—*Сов. геология*, 1972, № 1, с. 6-14.
11. *Cagy M., McAfee F. Jr., Wolf C. L. (eds).* Glossary of geology. Washington: D. C., American Geological Institute, 1972. 805 p.
12. *O'Leary D. W., Friedman J. D., Pohn H. A.* Lineament, linear, lineation: Some proposed new standarts for old terms.—*Geol. Soc. America Bull.*, 1976, v. 87, p. 1463-1469; 1978, v. 88, p. 159-160.
13. *Blanchet P. H.* Development of fracture Analysis as exploration method.—*Bull. Am. As. of Petrol. Geol.*, 1957, v. 41, № 8, p. 1748-1759.
14. *Mollard J. R.* Aerial mosaics reveal fracture patterns on surface materials in southern Saskatchewan and Manitoba. *Oil in Canada*, 1957, v. 26, p. 18140-18164.

15. *Lattman L.* Technique of mapping geologic fracture traces and lineaments on aerial photographs.-Photogram. Engineering, 1958, v. 24, p. 568-578.
16. Планетарная трещиноватость. Л.: Изд-во Ленинград, ун-та, 1973. 176 с.
17. Исследование природной среды космическими средствами. Геология и геоморфология. М.: ВИНТИ, 1973. 126с; т. 2, 1974. 176с.; т. 5, 1976. 292с.
18. Космическая фотосъемка и геологические исследования. Л.: Недра, 1975. 416 с.
19. *Кац Я. Г., Рябухин А. Г., Трофимов Д. М.* Космические методы в геологии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1976. 248 с.
20. *Трофимов В. Г., Макаров В. И., Деревянко О. С. и др.* Геологическое изучение Земли из космоса.- Тр. ГИН АН СССР. Вып. 317. М.: Наука, 1978. 228 с.
21. *Hobbs W. H.* Repeating patterns in the relief and in the structure of the Land.- BuU. Geol. Soc. Am., 1911, v. 22, p. 123-176.
22. *Gay P.* Aeromagnetic lineaments, their geological significance and their significance to geology. Salt Lake City: American Stereo Map Co., 1972. 94 p.
23. *Макаров В. И., Скобелев С. Ф., Трифионов В. Г. и др.* Глубинная структура земной коры на космических снимках.- В кн.: Исследования природной среды космическими средствами. Геология и геоморфология, т. 2. М.: ВИНТИ, 1974, с. 9-42.
24. *Трофимов Д. М.** Глубинная структура Восточно-Европейской платформы по данным дешифрирования космоснимков.— Изв. вузов. Геол. и разв., 1981, № 3, с. 21-30.
25. *Кац Я. Г., Макарова Н. В., Трофимов Д. М., Козлов В. В.* Структурно-геоморфологический анализ Крыма по дешифрированию космоснимков.— Изв. вузов. Геол. и разв., 1981, № 3, с. 8-20.
26. *Gay P.* Pervasive orthogonal fracturing in earth's continental crust. Salt Lake City. (Utah, U. S. A.): American Stereo Map Co., 1973, p. 124.
27. Proceeding of the First International Conference on the New Basement Tectonics, Salt Lake City (Utah, U.S.A.): Utah Geol. Association Publication, 1976, № 5, p. 636.
28. *Daubfee A.* Geologic experimentale. Libraire des Corps des Points et Chaussees, des Mines et des Telegraphes. V. 2. Paris, 1879. 828 p.
29. *Шульц С. С.* Планетарная трещиноватость (основные положения).- В кн.: Планетарная трещиноватость. Л.: Изд-во Ленинград, ун-та, 1973, с. 5-37.
30. *Nemec V.* The low of regular structural pattern: its' applications with special regard to mathematical geology.-Geostatistics, a cologuium (ed. D. F. Merriam), Plenum. N. Y.- London, 1970, p. 63-78.
31. *Немец В., Квет Р.* Проблемы применения математических методов для геологических исследований с учетом иерархий в планетарных равноудаленных разрывных системах.- В кн.: Методология геологических исследований. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1976, с. 49-56.
32. *Kvet R.* Planetary equidistant rupture (PER) systems in Moravia, Czechoslovakia.-Proc. of the 1-st Int. Conf. on the New Basement Tectonics. Utah, Salt Lake City, 1976, p. 290-295.
33. *Порошил С. В.* К вопросу о кратности параметров геологических тел.- В кн.: Симметрия структур геологических тел. Вып. 1. Л.: ВСЕГЕИ, 1976, с. 129-131.
34. *Кикина М. А., Порошил С. В.* Геологическая интерпретация дешифрирования линейных структур Азово-Каспийского региона.- Изв. вузов. Геол. и разв., 1980, № 6, с. 151-155.
35. *Макаров В. И., Соловьева Л. И.* Перекрестный структурный план земной коры и проблема проявления ее глубинных элементов на земной поверхности.— В кн.: Исследования природной среды космическими средствами. Геология и геоморфология, т. 5. М.: ВИНТИ, 1976, с. 18-41.

LINEAMENTS

(some problems and trends of further study by remote sensing technics)

MAKAROV v. i.

Controversy between geologists on problems arose under studying of lineaments are discussed. Difinition, origin, age, classification and depth of seating of lineaments, their connections and relations to planetary fracture systems, faults and other geological features, as well as other problems are considered in the light of their investigation trends.

РЕЦЕНЗИИ

УДК 551.32:029.782

**КОСМИЧЕСКАЯ ГЛЯЦИОЛОГИЯ НА СТРАНИЦАХ ГЛАВНОГО
ИЗДАНИЯ СОВЕТСКИХ ГЛЯЦИОЛОГОВ
(к 20-летию юбилею сборников «Материалы гляциологических
исследований. Хроника, обсуждения»)**

В ряду многих областей изучения Земли, обогащенных в последний период космическими методами исследований, стоит гляциология. Гляциологи не только широко используют материалы космических съемок, но и сами активно участвуют в постановке космических экспериментов. Яркий пример — широко известные визуальные наблюдения космонавтов за ледниками с борта советских орбитальных станций.

Эти новые черты гляциологической науки находят отражение в главном советском гляциологическом издании «Материалы гляциологических исследований. Хроника, обсуждения», для которого начало 1981 года знаменует 20-летний юбилей. За 20 лет вышло в свет 40 выпусков этого издания объемом 15—20 печатных листов каждый. Эти сборники, по существу представляющие собой всесоюзный гляциологический журнал, отражают все основные достижения советской гляциологии за 20 лет и приобрели заслуженный авторитет в нашей стране и за рубежом.

Первоначально задуманные как тематические выпуски «Хроника, обсуждения» в серии «Материалы гляциологических исследований», издававшейся Междугосударственным геофизическим комитетом для освещения хода и итогов исследований, проводимых по программе МГГ и другим межведомственным проектам в Советском Союзе и за рубежом, они имели, главным образом, информационный характер. Сборники включали материалы об итогах исследований, а также аннотированные библиографические указатели, материалы по терминологии, словари и т. п. По мере становления издания усиливалась его научно-теоретическая направленность и от информационного оно переходит к типу научного издания, поднимающего основные проблемы науки и в известной мере определяющего направления ее развития.

Издание секции гляциологии Междугосударственного геофизического комитета и Института географии АН СССР отражает тесное единение гляциологов нашей страны, охватывающее гляциологические центры, сформировавшиеся в республиканских отделениях Академии наук, Госкомгидромета, университетах и других научных, производственных и учебных учреждениях в Москве, Ленинграде, Алма-Ате, Томске, Тбилиси, Ташкенте, Ростове, Харькове, Петропавловске-на-Камчатке и др. городах. Этому единению способствуют регулярно проводимые Всесоюзные гляциологические симпозиумы (7-й из них состоялся в 1980 г. в Томске) и ежегодные собрания секции гляциологий, которые в последние годы проходят параллельно со школами-семинарами в Звенигороде. Они организуются отделом гляциологии Института географии АН СССР.

Ответственный редактор издания — чл.-корр. АН СССР Г. А. Авсюк; его заместитель и главный редактор — чл.-корр. АН СССР В. М. Котляков. Редакцию составляют представители всех основных гляциологических центров страны.

Характерная черта издания — отражение научно-технического прогресса и содействие внедрению новых, в частности космических, методов исследований в работу гляциологов. Начиная с 1973 г., когда в 22-м выпуске «Материалов» появилась коллективная статья о перспективах использования космических снимков для гляциологических целей, раскрывающая возможности использования космических методов в исследованиях снежного покрова, снежных лавин и ледников, выпуски регулярно обращаются к космической тематике. Основные направления статей по этой тематике — применение спутниковой информации в изучении динамики снеготаяния (работы Государственного гидрологического института, учреждений Госкомгидромета); изучение по космическим снимкам снежно-ледникового комплекса в горах, дешифрирование снежных лавин и горного оледенения, применение космических снимков в гляциологическом картографировании, в частности, в связи с выполнением крупного проекта по составлению Атласа снежно-ледовых ресурсов мира (работы МГУ им. М. В. Ломоносова); стереофотограмметрические измерения по космическим снимкам, в частности, для определения высоты снеговой линии в горах, разработка косвенных методов расчета снегоспасов, осуществляемого для горных территорий по высоте снеговой линии, и для равнинных территорий по динамике снеготаяния и наблюдениям за остаточными снежниками по космическим снимкам (работы Института географии АН СССР); изучение по снимкам из космоса пульсирующих ледников и космический мониторинг динамики оледенения, организация космической службы наблюдений за ледниками (работы Госцентра «Природа», ИГАН и зарубежных ученых); изучение морских льдов дистанционными методами, в том числе с применением съемки в тепловом инфракрасном и радиодиапазоне (работы Арктического и Антарктического НИИ); дистанционные радиофизические методы исследования ледников (работы ИГАН, ИРЭ АН СССР) и т. д. Таким образом, в издании находит освещение широкий круг вопросов гляциологического применения аэрокосмических снимков и широкий спектр методов дистанционного наблюдения за гляциологическими объектами. Регулярно публикуются обзоры работ в области космических методов гляциологических исследований, выполненных в СССР и за рубежом.

Книжников Ю. Ф., Крацова В. И.

ХРОНИКА

УДК 061.3 : 631.4 : 629.78

ВОПРОСЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ НА XI ВСЕСОЮЗНОМ СОВЕЩАНИИ ПО АКТИНОМЕТРИИ И СИМПОЗИУМЕ ПО ФИТОАКТИНОМЕТРИИ

(г. Таллин, 8—15 декабря 1980 г.)

Совещание и симпозиум были организованы Институтом астрофизики и физики атмосферы АН ЭССР совместно с Комиссией по радиации Секции метеорологии и физики атмосферы Межведомственного геофизического комитета при Президиуме АН СССР.

В совещании приняли участие 332 делегата, представлявших 93 учреждения из 41 города. Был заслушан и обсужден 231 доклад, в том числе 5 на пленарном заседании, остальные на секциях: 1) «Приборы и методы наблюдений» (46)[^]-2) «Актиноклиматология и прикладная актинометрия» (32); 3) «Радиационная энергетика» (31); 4) «Радиация, аэрозоль и облака» (38); 5) «Дистанционное зондирование атмосферы и подстилающей поверхности» (36); 6) «Фитоактинометрия» (43).

Проблемы дистанционного зондирования атмосферы и земной поверхности были затронуты в пленарном докладе К. Я. Кондратьева и в работе пятой секции, частично также в пленарном докладе Ю. К. Росса и в работе шестой секций.

В пленарном докладе К. Я. Кондратьева было освещено современное состояние дистанционного зондирования и выделены наиболее важные задачи:

1. Получение непрерывных данных об облачном покрове в глобальном масштабе.
2. Получение количественной информации о полях яркости с помощью сканирующей аппаратуры.

3. Восстановление вертикальных профилей температуры, влажности, концентрации озона и других параметров атмосферы путем измерения эмиссионного спектра уходящего излучения в видимом, инфракрасном и СВЧ-диапазонах.

4. Восстановление с помощью «лимбовых» и «затменных» экспериментов вертикального профиля аэрозоля и малых газовых компонент, возникающих вследствие воздействия на окружающую среду.

5. Определение температуры океана и суши в связи с проблемой климата.

6. Определение составляющих радиационного баланса системы земная поверхность— атмосфера.

7. Прослеживание распределения снежного и ледового покрова, состояния и динамики океанов, а также определение гидрологических параметров океана и суши.

8. Дистанционная индикация растительности, распознавание посевов сельскохозяйственных культур, лесов и других объектов, оценка их фенофаз и состояния, определение их продуктивности и урожая.

9. Прослеживание таких короткопериодных явлений, как торнадо, шквалы, грозы, пылевые бури, лесные пожары и др.

10. Прослеживание окружающей среды в целях решения различных задач охраны природы.

Характерным для современного этапа исследований является, переход от телевизионной и фотографической аппаратуры к сканирующей, все более широкое ис-

пользование вычислительной техники, разработка специализированных ИСЗ, применение систем ИСЗ и потребность в огромном количестве наземной информации, необходимой для интерпретации данных дистанционного зондирования.

Методам решения обратных задач и теории постановки эксперимента было посвящено восемь сообщений. Изложенный в докладе Д. М. Сонечкина метод регуляции, разработанный в Гидрометцентре СССР для решения некорректных обратных задач оптического зондирования атмосферы, базируется на использовании не климатологической, а метеорологической априорной информации, причем решение обратной задачи проводится в рамках динамико-статистической схемы. Этот метод лучше позволяет восстанавливать наиболее важные для практики аномальные состояния атмосферы.

В докладах О. М. Покровского были рассмотрены обратные задачи определения параметров нормально-логарифмического распределения аэрозольных частиц по размерам и профилю озона в атмосфере с использованием спектральных измерений отраженной ультрафиолетовой радиации. Показано, что при ошибках измерения 15% точность восстановления параметров распределения составляет 10—15%. Для определения профиля озона высота максимально информативного слоя зависит от длины волны УФ-радиации и снижается с 60 до 30 км при изменении длины волны от 2500 до 3000 Å.

Оптическим свойствам и передаточной функции атмосферы и учету влияния атмосферы при интерпретации данных о земной поверхности были посвящены четыре доклада.

В докладе Г. А. Иваняна на основе расчета вертикального профиля спектральных контрастов было показано, что спектральный интервал 0,4—0,5 мкм мало пригоден для съемки земной поверхности из космоса из-за сильного влияния атмосферной дымки, в интервале 0,5—0,8 мкм необходима радиометрическая коррекция на влияние атмосферы, а при 0,8 мкм вне полос поглощения безоблачная атмосфера влияет незначительно на измеренные из космоса отражательные характеристики земной поверхности. В докладе Л. И. Чапурского были изложены экспериментальные данные о КСЯ системы атмосфера — лес (болото) в спектральном интервале 0,38—2,4 мкм, полученные поздней осенью.

Вопросы спектроскопии атмосферных газов были рассмотрены в восьми сообщениях, Б серии* докладов Н. И. Москаленко с коллегами были изложены результаты широкого комплекса исследований по расчету функции спектрального пропускания атмосферы для атмосферных газов CO_2 , H_2O , CO , CH_4 , NO_2 , HCl , O_3 и N_2O , по лабораторному измерению спектров поглощения атмосферных газов и продуктов промышленного производства и по исследованию температурной зависимости параметров линии колебательно-вращательных полос паров H_2O и CO_2 . Соответствующий лабораторный комплекс аппаратуры позволяет осуществлять моделирование трасс протяженностью от нескольких сантиметров до 1 км, давление среды от долей мбар до 150 атм, температуру среды от 170 до 800 К, диапазон измерений 1—50 мкм с разрешением 0,05—0,2 см⁻¹ и 0,5—5 см⁻¹. В докладе Ю. М. Тимофеева с коллегами «была рассмотрена возможность определения малых газовых составляющих атмосферы в микроволновом и дальнем ИК-диапазонах спектра. Выяснено, что существенным при этом является вопрос о перекрытии выбранных линий поглощения с линиями других поглощающих компонент».

Среди семи докладов, посвященных уходящей ИК-радиации и определению по ней вертикальных профилей метеоэлементов, в докладе К. Я. Кондратьева и А. М. Бунаковфй рассматривался новый подход к методике дистанционного определения вертикального профиля температуры путем совместного решения уравнения переноса ИК-радиации и уравнения радиационного баланса на каждом этапе интегрирования по высоте. В докладе В. А. Варнавы и А. Б. Карасева был предложен усовершенствованный полипейный метод расчета ИК-радиации на основе каталога спектральных линий; Доклады Ю. М. Тимофеева с коллегами были посвящены сравнению измеренных и рассчитанных спектров ИК-излучения. Показано, что расхождение данных заметно меньше над морем. Погрешности совместного определения вертикальных профилей температуры, влажности и содержания озона в атмосфере по данным измерений уходящего теплового излучения велики, учитывая современ-

ные требования. Для повышения точности восстановления профиля влагосодержания необходимы дополнительные измерения в микроволновом диапазоне, а профиля озона — ультрафиолетовые измерения уходящего излучения.

В докладах Н. Н. Парамоновой с коллегами было показано, что на горизонтальной трассе непрерывное ослабление радиации в области 8—12 мкм в основном обусловлено водяным паром, вклад аэрозольного ослабления составляет 0,04—0,05. В области 8—10 мкм необходимо учитывать селективное поглощение в микроокнах прозрачности;

Дистанционному зондированию системы атмосфера—океан было посвящено шесть сообщений. В докладах М. С. Малкевича был изложен комплексный подход к решению многопараметрических обратных задач на основе измерения уходящего излучения в видимом, ИК- и СВЧ-диапазонах спектра. Этот подход использован для определения как температуры и примесей океана, так и вертикальных профилей температуры, влажности и аэрозольного ослабления атмосферы. Однако существующие методы позволяют определить температуру океана с ошибкой 5°, что не соответствует современным требованиям. В докладе Л. Г. Истоминой были приведены статистические характеристики пространственной структуры поля спектральной яркости системы океан—атмосфера. Обнаружен масштаб неоднородностей 10—15 км,* обусловленный океаном. В докладе Х. Ю. Арст и Г. А. Арста было оценено влияние на коэффициент яркости поверхности моря трех факторов: углового распределения яркости небесного свода, характеристик волнения и наличия на водной поверхности пленки нефти. В докладе У. К. Вейсмана с коллегами была описана зависимость спектральной яркости в надире от зенитного угла солнца z_0 для системы океан—атмосфера на основе измерений,* выполненных на орбитальных станциях «Салют-4» и «Салют-6». В интервале $15^\circ < z_0 < 35^\circ$ происходит быстрое убывание яркости вследствие уменьшения доли зеркального отражения от элементов водной поверхности.

Теории отражения от растительного покрова (РП) солнечной радиации посвящено пять сообщений. В докладе К. Росса с коллегами на основе модели КХ Росса и Т. Нильсона выполнен расчет угловой зависимости КСЯ РП в области ближней инфракрасной радиации (БИКР) с учетом одно- и многократного рассеяния. Показано, что при уменьшении высоты Солнца угловая зависимость КСЯ густого РП растет. В докладе В. А. Каневского и Ю. Росса приведены результаты расчета методом Монте Карло индикатрисы отражения отдельно стоящей ели с учетом внутренней архитектуры дерева. Результаты численных экспериментов, выполненных для области БИКР, показывают, что для индикатрисы характерна заметная асимметрия как по зенитному углу, так и по азимуту. В направлении обратного рассеяния имеет место резко выраженный всплеск («hot spot»-эффект. Увеличение густоты кроны вдвое приводит к заметному изменению индикатрисы отражения. Теории эффекта «hot spot» посвящены также доклады Т. Нильсона и А. Кууска. В случае для леса эффект «hot spot» растет при увеличении отношения высоты кроны к ее диаметру. Увеличение горизонтальной неоднородности РП вызывает увеличение асимметрии углового распределения КСЯ и эффекта «hot spot». В докладе О. А. Анисимва с коллегами, путем решения уравнения переноса в РП методом последовательных приближений показано, что в области фотосинтетически активной радиации (ФАР) достаточно учитывать однократное рассеяние, в области БИКР необходимо учитывать многократное рассеяние.

Большое число сообщений (14) посвящено методике и результатам измерений КСЯ и альбедо системы почва—растительность. Из доклада А. Д. Клещенко с коллегами вытекает, что точность классификации зерновых культур по однократным наземным и самолетным измерениям КСЯ низкая и в среднем составляет 65%, причем процент классификации сорта пшеницы колеблется от 20 до 80 для разных сортов. В докладе К. Я. Кондратьева и П. П. Федченко изложена методика картографирования засоренности посевов сельскохозяйственных культур по дистанционным измерениям КСЯ. В докладе О. С. Ватковского с коллегами методом кластерного анализа КОЯ исследована степень различия между 11 видами древесных пород и найдено, что наиболее четко различаются древесные породы в период осенней раскраски листвы и поздней зелени. Фенологическая изменчивость существенно превосходит видовые спектральные различия, а изменения КСЯ в связи с возрастом

растений могут скрывать видовые различия. Слабо различаются лиственные насаждения и луга Б середине вегетационного периода. В докладе А. А. Бузникова и Г. А. Лахтанова показано, что в видимой области спектра поляризационный метод может быть применен для обнаружения нефтяной пленки на поверхности моря, для определения влажности поверхностного слоя почвы. Наблюдается зависимость изменения степени поляризации от фенофазы растений. В докладе В. А. Коваленко отмечается, что кетчет высоты Солнца может привести к погрешности в определении КСЯ РП до 50% а неучет изменения доли рассеянной радиации в потоке суммарной радиации — до 30—40%. Оказывается возможным распознавание по КСЯ заболевания картофеля фитовторозом в случае, если проективное покрытие превышает 95%.

В докладе Т. Нильсона с коллегами на основе вертолетных измерений оценены вариации КСЯ различных типов РП. Наиболее однородным объектом являются поля люцерны с коэффициентом вариации $V=0,06-0,69$, ячменя; $V=0,10-0,18$, картофеля $V=0,15-0,27$, а в случае леса $V=0,44-0,60$. В области БЦКР V меньше, чем в области ФАР. Данные вертолетных измерений индикатрис отражения в видимой области спектра, изложенные в докладе К. Росса с коллегами, показывают, что индикатрисы отрезення различных типов растительного покрова имеют ярко выраженную зависимость от структуры объекта, от угла визирования O и от азимута, причем зависимость КСЯ от Φ сильнее выражена в плоскости вертикала Солнца. В докладе В. И. Рачулика и М. В. Ситниковой показано, что по мере увеличения площадки фотометрирования статистическая структура КСЯ меняется, причем автокорреляционная функция аппроксимируется формулой $f(s) = e^{-\alpha s} \cos\{t\epsilon$, где α и ϵ — ПОСТОЯННЫЕ, s — расстояние между центрами фотометрируемых площадок. В докладе В. А. Аллея и Ю. Росса установлено, что зависимость КСЯ почвы от ее влажности в оепдх чертах имеет одинаковый вид как в области ФАР, так и в области БЦКР. Теоретическая формула для приведения спектрального альbedo РП к одинаковсп высоте солнца и влажности почвы приведена в докладе Т. Нильсена. В доклад К. Я. Кондратьева и В. И. Корзова предложена методика расчета потока уходящей коротковолновой радиации на верхней границе атмосферы/если интенсивность радиации измерена со спутника в одном направлении, а индикатриса отраженной радиации измерена с самолета. Тепловой радиации и радиационной температуре загнои поверхности посвящено три сообщения. В докладе Я. Антона и Ю. Росса представлены кривые распределения радиационной температуры различных типов РП, полученные по данным измерений малоинерционным радиометром Рееманна с борта вертолета. В первом приближении-кривые распределения близки к гауссезекпм. В безоблачный солнечный день при температуре воздуха $t_a = 20^\circ\text{C}$ наиболее холодным является лес ($t_c = 19^\circ\text{C}$), наиболее теплым ($t_c = 26^\circ\text{C}$) — скошенный луг. Найдена линейная корреляция между разностью температур $t_c - t_a$ и потоком суммарной радиации, причем угол наклона прямой зависит от альbedo и транспирации РП. В докладе Я. Антона с коллегами представлены корреляционные связи между радиационной температурой и КСЯ в видимой и ближней ПК-областях спектра для различных типов РП. В докладе Б. Л. Шиндерова и В. М. Стершша найдена линейная зависимость между разностью радиационных температур хлопковое поле — оголенная почва и сомкнутостью посева.

Итоги совещания сформулированы в решении, где, в частности, сказано:

«Достигнуты значительные успехи в спектроскопическом обеспечении алгоритмов восстановления структурных параметров п состава атмосферы (исследования параметров тонкой структуры спектров поглощения, прямые расчеты молекулярного поглощения, оценки вклада различных компонентов и др.). Успешно продолжалась работа по совершенствованию алгоритмов восстановления. Особенно важное значение имеют работы, посвященные методам четырехмерного усвоения —обычной и радиометрической спутниково-метеорологической информации, которые позволяют в значительной мере повысить эффективность вклада дистанционного зондирования в результаты численного прогноза погоды.

Интенсивно развиваются работы по объективной оценке информативности данных дистанционной индикации и плакированию экспериментов; включая определение оптимального состава аппаратуры п условий осуществления измерений (вы-

бор спектральных каналов, геометрия съемки, пространственно-временная схема сбора информации). Широкое развитие получили исследования с целью решения задач дистанционной индикации, опирающихся на использование данных о коэффициентах спектральной яркости.

Разработан целый ряд современных приборов для измерения спектральной яркости в различных участках спектра.

В рамках программы «Интеркосмос» в сотрудничестве с академиями наук социалистических стран проведен целый ряд экспериментов по исследованию различных геосистем. Накоплен большой объем оптической информации о природных образованиях.

Особую тревогу вызывает продолжающееся серьезное отставание спутниковой метеорологии, которое проявляется в отсутствии необходимой бортовой аппаратуры дистанционного зондирования (и соответствующих данных наблюдений), что определяет крайне недостаточный вклад спутниковой информации в прогноз погоды. Столь же тяжелая ситуация сложилась в связи с отсутствием спутниковых наблюдений за радиационным балансом и его компонентами, необходимых для исследования антропогенных воздействий на климат и для решения задач теории климата.

Следует отметить недостаточное использование имеющейся, зарубежной оперативной спутниковой информации в объективном анализе метеорологических полей и численном прогнозе погоды. Необходимо ускорить проверку и внедрение методик четырехмерного анализа спутниковой радиометрической информации для оперативных целей.

Спутниковые измерения недостаточно поддерживаются - подспутниковыми экспериментами, что затрудняет однозначную интерпретацию получаемых результатов и, в частности, поиски путей повышения точности косвенных методов зондирования атмосферы и земной поверхности. Нет серьезных успехов в подготовке и проведении достаточно полных исследований малых оптически активных компонентов атмосферы со спутников. Существует большая методическая и инструментальная пестрота в решении задач дистанционной индикации природных образований по данным о спектральной яркости.

В области дистанционного зондирования растительного покрова аэрокосмическими методами недостаточно развиваются работы по: а) разработке теории отражения солнечной радиации от горизонтально неоднородного растительного покрова, б) установлению полуэмпирических связей между оптическими свойствами растительного покрова и структурными и биофизическими характеристиками растительного покрова, в) унификации и эталонированию приборов, измеряющих спектральный коэффициент яркости растительного покрова.

Практически отсутствует эффективная координация работ по дистанционному зондированию природных сред, в частности растительного покрова.

Совещание сочло целесообразным просить Госкомгидромет СССР созвать совещание для обсуждения состояния и перспектив развития советской спутниковой метеорологии и в течение 1981 г. провести ряд семинаров по актуальным проблемам дистанционного зондирования. Совещание поручило Институту астрофизики и физики атмосферы АН ЭССР организовать постоянно действующий семинар по дистанционному зондированию растительного покрова.

В целом на совещании был дан представительный обзор современного состояния и актуальных проблем актинометрии в Советском Союзе.

Росс Ю. К.

УДК 061.3:502.3:629.78

СОВЕЩАНИЯ ПО ПРОГРАММЕ «ИНТЕРКОСМОС»

В октябре 1980 г. в Братиславе состоялось первое координационное совещание по теме «Использование аэрокосмической информации при определении и контроле загрязнения окружающей среды». В совещании приняли участие национальные координаторы ВНР, ГДР, ПНР, СССР и ЧССР. Международную координацию по

теме осуществляет Позеф Квиткович - заместитель директора Географического института Словацкой академии наук.

В ходе дискуссии подчеркивалась особая важность и актуальность темы и выявилось различное понимание участниками; наиболее опасных загрязнений, вследствие чего не удалось выработать общую международную программу научных исследований по данной теме. Участники совещания обратились к советской стороне с просьбой подготовить проект международной программы научных исследований.

Второе совещание национальных координаторов по теме состоялось в марте 1981 г. в Москве. На этом совещании была обсуждена и принята международная программа научных исследований на 1981—85 гг., проект которой подготовили сотрудники Лаборатории антропогенного мониторинга (ЛАМ) и Института водных проблем АН СССР.

Указанная программа предусматривает разработку методов получения и обработки информации об антропогенных загрязнениях и выявление их воздействий на окружающую среду, включая экологические изменения антропогенного происхождения.

Исследование и определение видов загрязнений должно проводиться в атмосфере, суше, водоемах, морях и океанах. К 1985 г. намечено получить методики дистанционного определения антропогенных загрязнений и выявления их воздействия.

В марте с.г. в Будапеште состоялось совещание координаторов темы «Разработка методов исследования и контроля водных ресурсов и их загрязнения с использованием аэрокосмической информации». Международную координацию работ по данной теме осуществляет Года Ласло — директор Гидрологического института (ВНР).

На совещании присутствовали представители 5 стран: ВНР, ПИР, СРР, СССР и ЧССР, выступившие с информацией о работах, проведенных в течение 1980 г.

В ВНР составлены обзор методов прогнозирования стока талых вод, а также описание действующей наблюдательной сети для сбора данных о снежном покрове. Во время проведения совместного советско-венгерского космического полета венгерские специалисты активно участвовали в сборе наземных данных на контрольных полигонах Кшпкере и Балатон. Сделаны первые попытки машинной обработки космоснимков для определения характеристик бессточных вод и почвенных условий на полигоне Кшпкере.

В ЧССР с помолот аэрокосмической информации проводится: изучение гидрофизических характеристик почво-грунтов, подверженных эрозии; исследование характеристик снежного покрова; изучение геоморфологического развития водосборов в связи с образованием наносов и заилением водохранилищ.

В СРР главное внимание уделяется исследованию характеристик влажности почвы, которые определяются путем сопоставления полученных синхронных наземных, самолетных и космических данных.

В ПНР в истекшем году основной задачей являлось изучение тепловых загрязнений в водоемах и водотоках. На основе синхронных наземных наблюдений и аэроснимков исследовались характеристики теплового режима водных объектов.

Советскими специалистами с помощью аэрокосмической информации составлены гидрографические карты дельт рек, впадающих в северный Каспий, гидрогеологические карты района Ферганы и территории МНР, ведется большая работа по комплексному изучению водохранилищ.

При анализе результатов работ участники совещания отмечали ряд трудностей, возникающих из-за недостаточного количества технических средств для получения и обработки аэрокосмической информации и в первую очередь из-за крайне ограниченного числа самолетов, производящих аэросъемку.

Совещание обсудило общий план научных исследований по теме, предусматривающий следующие направления:

1. Разработка методологических основ оценки состояния и динамики водных объектов и их водосборов по данным аэрокосмических съемок,
2. Разработка методов оценки пространственного распределения снежного покрова и его водно-физических свойств с целью использования аэрокосмической информации в гидрологических прогнозах речного стока.
3. Изучение земной поверхности с целью определения районов распространения подземных вод.
4. Разработка методов определения состава и распространения загрязнений поверхностных и подземных вод.

Проведение исследований по перечисленным направлениям создаст к концу 1985 г. основу для составления общего методического пособия по использованию аэрокосмической информации для исследования, оценки и прогнозов водных ресурсов, что будет являться главным итоговым результатом работ по теме,

Гальперин И. М.

Технический редактор *Т. А. Аверкиева*

Сдано в набор 5.06.81 Подписано и печати: 21.07.81 Т-22126 Формат бумаги 70x105¹⁶
Высокая печать Усл. печ. л. 11,2+1 цв. вкл. Усл. кр.-отт. 17,3 тыс. Уч.-изд. л. 11,9 Бум. л. 4,0
Тираж 1400 экз. Зак. 519

Издательство «Наука», 103717 ТШН, Москва, К-62, Подсосенский пер., 21
2-я типография издательства «Наука», 121099, Москва, Шубинский пер., 10

УДК 551.46:629.7

НАБЛЮДЕНИЕ ВИДИМЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ ДИНАМИКИ ОКЕАНА С БОРТА ОРБИТАЛЬНОЙ СТАНЦИИ «САЛЮТ-6». *Гречко Г. М., Гришин Г. А., Толкаченко Г. А.* «Исследование Земли из космоса», 1981, № 4 л

Даны некоторые результаты исследований внутренних волн и вихревой структуры океана в районе Фолклендских островов, выполненных с борта пилотируемой орбитальной станции «Салют-6» в январе 1978 г. Подчеркивается возможность определения теплозапаса верхнего перемешанного слоя океана по дистанционным наблюдениям параметров внутреннего волнения. Илл. 3. Библ. 6 назв.

УДК 528.711.029.672

Д

ТЕПЛОВАЯ СЪЕМКА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЗАЛИВА КАРА-БОГАЗ-ГОЛ. *Горный В. И.* «Исследование Земли из космоса», 1981, №4

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований теплового поля поверхности соляного пласта залива Кара-Богаз-Гол и ряда «сухих» соляных озер Западной Туркмении. Показана существенная зависимость суточного хода температуры поверхности увлажненного соляного пласта от влажности воздуха. Для обоснования возможности применения тепловой космической съемки (ТКС) для изучения соляного пласта залива приведены тепловые аэроснимки соляных покровов, иллюстрирующие высокие изобразительные свойства теплового поля поверхности по отношению к составу, структуре и увлажнению солей. Сделан вывод о перспективности ТКС как метода изучения гидрологического и гидрохимического режима залива. Илл. 4. Библ. 8 назв.

УДК 616:629.78

ДИНАМИКА ЭКОСИСТЕМ БАСЕЙНА АРАЛА ПО МАТЕРИАЛАМ КОСМОФОТОСЪЕМОК. *Садов А. В.* «Исследование Земли из космоса», 1981, № 4.

Охарактеризованы возможности и методика изучения изменений окружающей среды бассейна Арала и прилегающих территорий на основе анализа материалов космофотосъемок. Анализ осуществляется путем экологического дешифрирования, предусматривающего установление пространственных границ экосистем, оценку степени их стабильности к техногенным воздействиям и выявление происшедших в них изменений. Илл. 1. Библ. 12 назв.

УДК 551.49:629.78

ОПЫТ ИНФОРМАЦИОННОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ В ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ. *Бурлешиш М. И., Колоскова В. Н.* «Исследование Земли из космоса», 1981, №4.

Используется информационный подход для оценки эффективности применения КС в гидрогеологическом картировании Устюрта. Космический снимок, промежуточные и окончательные схемы гидрогеологического дешифрирования представляются как канал связи. На основе использования теории информации производится количественная оценка и сравнение содержания гидрогеологических карт, составленных наземными методами исследования и путем дешифрирования КС. Библ. 6 назв.

УДК 553.98:629.78

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИКАСПИЙСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ. *Волчегурский Л. Ф., Пронин В. Г.* «Исследование Земли из космоса», 1981, №4

На основе изучения космических снимков уточнены границы Прикаспийской нефтегазоносной провинции и выделены линейные структуры, которые интерпретируются как разломы или зоны разломов. Дешифрируются кольцевые структуры, соответствующие структурам различных горизонтов осадочного чехла и фундамента. На основе полученных по космическим снимкам данных, предложена уточненная схема нефтегазогеологического районирования. Илл. 2. Библ. 8 назв.

УДК 553.98:629.78

О ВЗАИМОСВЯЗИ ЛИНЕЙНЫХ И ИЗОМЕТРИЧНЫХ ОБЪЕКТОВ НА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКАХ И НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ СТРУКТУР БУЗУЛУКСКОЙ ВПАДИНЫ. Трофимов -Д. М., Дмитриева Б. И. «Исследование Земли из космоса», 1981, № 4.

Рассматривается корреляция линейных и изометричных объектов, дешифрируемых на космических снимках, со сходными по форме нефтегазоносными структурами Бузулукской впадины. Линейные объекты, отвечающие разрывным нарушениям и приразломным валам, известным по геолого-геофизическим данным, контролируют в среднем 45% месторождений нефти и газа. С изометричными объектами сопоставляются сводовые поднятия и локальные вершины, осложняющие положительные и отрицательные структуры платформенного чехла, однако корреляция этих объектов ниже, чем линейных. Приведенные данные указывают на возможность использования дистанционных материалов для изучения структурных форм нефтегазоносных территорий. Илл. 3. Табл. 1. Библ. 5 назв.

УДК 551.46.0:629.78+528.7

МЕТОД КОМПЛЕКСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОКЕАНА И АТМОСФЕРЫ ИЗ КОСМОСА. Малкевич М. С., Бадаев В. В. «Исследование Земли из космоса», 1981, № 4

Рассматриваются пути создания физических основ дистанционных исследований системы океан — атмосфера на примерах: решения комплекса задач по определению температуры, излучательной способности и яркости океана; температуры, влажности и аэрозольного ослабления атмосферы и характеристик облачности по измерениям излучения в видимом, ИК- и СВЧ-диапазонах спектра. Илл. 5. Библ. 12 назв.

УДК 551.46:629.7

АНАЛИЗ ДАННЫХ СИНХРОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ С ИСЗ «МЕТЕОР» И СУДОВ У ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ. Ванюшин Г. П., Дядюнов В. Н., Сажин С. М. «Исследование Земли из космоса», 1981, № 4

Рассмотрены методические вопросы анализа данных синхронных измерений, выполненных с ИСЗ «Метеор» и судов у восточного побережья Каспийского моря. Приводятся результаты выявленных зависимостей между яркостью водной среды и концентрациями хлорофилла, неорганической взвеси, а также величинами относительной прозрачности. Илл. 6. Табл. 3. Библ. 16 назв.

УДК 551.57:629.78

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОБЛАЧНОЙ АТМОСФЕРЫ. Семин А. Г., Трохимовский Ю. Г., Халин Ю. Б., Эткин В. С. «Исследование Земли из космоса», 1981, № 4.

Приводятся результаты измерений радиотеплового излучения системы океан — атмосфера при наличии облачности. Измерения были выполнены радиометрами на частотах 20, 37 и 89 ГГц, установленными на борту самолета. По спектру радиоярких температур найдены интегральное содержание водяного пара, водозапас и эффективная температура облачности. Обсуждаются оценки точности определения параметров, а также приводится сопоставление найденной эффективной температуры с независимыми оценками. Илл. 3. Библ. 7 назв.

УДК 629.783:778.39

ОСОБЕННОСТИ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ НА БОРТУ ИСЗ ПРИБОРОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ПОЛОСАМИ ОБЗОРА. Асташкин А. А., Саульский В. К., Успенский Г. Р. «Исследование Земли из космоса», 1981, № 4

Обоснована целесообразность комплексирования на борту ИСЗ нескольких приборов для дистанционного зондирования природных ресурсов Земли, имеющих различные разрешающие способности и полосы обзора. Предложен метод определения параметров орбиты ИСЗ, позволяющий обеспечить сплошное покрытие Земли каждой из этих полос обзора в отдельности. Определены требования к точности поддержания высоты орбиты для выполнения многополосного глобального обзора. Илл. 1. Библ. 1 назв.

УДК 528.71:518

КОМПЛЕКСНАЯ ОБРАБОТКА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ И ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ. *Юдин В. С.* «Исследование Земли из космоса», 1981, №4

По данным эталонных участков устанавливается корреляция между проявлениями природного образования в геологических, геофизических измерениях и его отображением на космоснимке, использование которой при машинной обработке снимка позволяет выделить в его содержании полезную информацию. Комплексный анализ с использованием указанных корреляционных зависимостей позволил по ряду признаков произвести предварительную классификацию тектонических структур, вскрыть некоторые проявления в исследуемом регионе глубинных процессов. Полученные результаты могут быть использованы при поисках полезных ископаемых. Илл. 4 Табл. 1. Библ. 20 назв.

УДК 518

диалоговая система регионального прогнозирования минерально-сырьевых ресурсов по данным наземных и космических съемок. *Чумаченко Б. А., Марченко В. В., Власов Е. П., Немировский Э. А., Яковлев В. А.* «Исследование Земли из космоса», 1981, № 4

Рассматривается диалоговая система РЕГИОН, предназначенная для прогнозирования минерально-сырьевых ресурсов по данным наземных и космических съемок с помощью ЭВМ. Илл. 3. Библ. 5 назв.

УДК 551.508.85:621.396.96

ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА РАДИОСИГНАЛОВ, ОТРАЖЕННЫХ ОТ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ. *Онопrienко Е. И.* «Исследование Земли из космоса», 1981, №4.

Рассматриваются вопросы цифровой обработки радиосигналов, отраженных от земной поверхности и принятых на космическом летательном аппарате с целью изучения характеристик отражающих поверхностей (мгновенной и средней диаграмм обратного рассеяния, ее анизотропности, радиоконтрастности и т. п.). Для активной бортовой радиосистемы предложены общие алгоритмы обработки радиосигналов и ее цифровая реализация. Дана оценка требуемых основных параметров радиосистемы и бортовой ЦВМ. Илл. 2. Библ. 8 назв.

УДК 502.3:629.78

ВЫБОР ОПОРНЫХ УЧАСТКОВ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КООРДИНАТНОЙ ПРИВЯЗКИ КОСМИЧЕСКОЙ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ. *Аванесов Г. А., Ваваев В. А., Вербин В. Э.* «Исследование Земли из космоса», 1981, №4.

Рассматриваются исходные предпосылки и приводятся экспериментальные данные, касающиеся подхода к выбору опорных зон при автоматизации процесса координатной привязки изображений земной поверхности, полученных космическими съемочными системами. На основе анализа результатов экспериментов с реальными изображениями делается вывод о возможном объеме автоматизированного каталога эталонов опорных зон. Излагаются основные положения методики выбора оптимальных по объему и надежности распознавания опорных зон на земной поверхности. Илл. 2. Табл. 1. Библ. 16 назв.

УДК 528.727

К ВОПРОСУ О ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ СКАНЕРНЫХ СНИМКОВ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ *Хижниченко В. И.* «Исследование Земли из космоса», 1981, №4.

Космические снимки Земли, получаемые с помощью бортовых сканерных телевизионных систем, подвержены геометрическим искажениям, обусловленным действием целого ряда факторов, ввиду чего необходима их коррекция, осуществляемая, как правило, с помощью ЭВМ. Алгоритмы обработки в этом случае должны обладать максимальным быстродействием для обеспечения требуемой оперативности. В статье получены выражения для пересчета координат элементов снимка, осуществляемого в процессе коррекции, на основе предложенной математической модели сканерной съемки. Соответствующие алгоритмы позволяют обеспечить требуемое быстродействие. Приведены примеры обработки реальных изображений земной поверхности с помощью указанных алгоритмов. Илл. 3. Табл. 2. Библ. 7 назв.

УДК 520.876

О ВЫДЕЛЕНИИ ЦВЕТНЫХ ПОЛЕЙ НА ОСНОВЕ ИНТЕРПРЕТАЦИИ СНИМКОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ ЧЕРЕЗ ФИЛЬТРЫ КАМЕРЫ МКФ-6. *Качиньски Р., Сенецкий Ю.*: «Исследование Земли из космоса», 1981, № 4

Рассмотрены вопросы выделения цветных тестовых полей с использованием метода корреляционной обработки снимков, полученных с помощью камеры МКФ-6. Илл. 4. Табл. 5. Библ. 1 назв.

УДК 551.25:629.78

ЛИНЕАМЕНТЫ (ПРОБЛЕМЫ И НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ С ПОМОЩЬЮ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ). *Макаров В. И.* «Исследование Земли из космоса», 1981, № 4.

Анализируются различия взглядов исследователей по основным аспектам изучения линеаментов (определение, классификация, соотношение с планетарной трещиноватостью и разломами, глубинность заложения и т. д.), существующие в современной геологической литературе. Делаются выводы о необходимости и направлениях дальнейших исследований. Библ. 35 назв.

Саяз
И-1 Маршас

Цена 1р.50к.
Индекс 70420

“ИССЛЕДОВАНИЕ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА” 1961, N 4

