

аркуші прийнятої в Україні розграфки топографічних карт масштабу 1:50000. При ГЗР-50 в залежності від вирішуваних завдань і вже досягнутої вивченості виділяються такі види: геологічна зйомка (ГЗ-50); геологічне довивчення раніше закартованих площ (ГДП-50); глибинне геологічне картування (ГГК-50); складання та підготовка до видання Геолкарти-50 (25). Детальні аерокосмогеологічні дослідження є невід'ємною складовою частиною технологічного процесу всіх цих видів досліджень. При детальних дослідженнях використовуються середньо та крупномасштабні космічні знімки.

Технологічна модель застосування даних ДЗЗ при геологічному вивченні надр у сучасних умовах наведені на рисунку.

1. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / За ред. В. І. Лялька, М. О. Попова. — Київ: Наук. думка, 2006. — 357 с.

2. Організація та проведення геологічного довивчення раніше закартованих площ масштабу 1:200000, складання та підготовка до видання Державної геологічної карти України масштабу 1:200000. Інструкція. — К.: Геолком України, 1999. — 295 с.
3. Організація та проведення геологозйомочних робіт і складання та підготовка до видання Геологічної карти України масштабу 1:50000 (1:25000). Інструкція. — К.: Департамент геології та використання надр Міністерства екології та природних ресурсів України, 2002. — 204 с.

#### METHODICAL PRINCIPLES FOR THE USE OF DATA OF REMOTE SENSING OF THE EARTH FOR THE DEVELOPMENT OF THE STATE GEOLOGICAL MAP

*A. H. Mychak, V. Ye. Filipovych*

We consider the main methodical principles for the estimation of the geological informing, for digital treatment and interpretation of multizonal space survey data for the geological mapping and development of the distance basis for the State geological map. We offer some recommendations for application of remote sensing data at different levels of geological study of the Earth's bowels.

УДК 621.396.621.391.82

О. В. Сытник<sup>1</sup>, В. Б. Ефимов<sup>2</sup>,  
В. Н. Цымбал<sup>2</sup>, А. В. Кабанов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Інститут радіофізики і електроніки ім. А. Я. Усикова НАН України, Харків

E-mail:.. ssvp11@ire.kharkov.ua

<sup>2</sup> Центр радіофізического зондирования Земли ім. А. И. Калмыкова НАН і НКА України, Харків

E-mail:.. kalmukov@ire.kharkov.ua

## Метод объединения данных многочастотных систем дистанционного зондирования Земли

*Представлено 25.06.07*

У роботі розглядається метод об'єднання даних двочастотних РЛС зондування поверхні Землі. За основу методу прийнята властивість інваріантності до інверсних радіоконтрастів перетворення Хо. Аналіз радіозображень здійснюється у просторі спектрів параметрів на основі статистично оптимальних алгоритмів. Алгоритм ідентифікації просторово-розподілених об'єктів при двочастотному зондуванні полягає у формуванні РЛІ кожним локатором, квантуванні цих зображень і отриманні спектрів параметрів всієї сукупності об'єктів, відповідних кожному з бінарних зображень, а потім обчисленні оцінок спектрів параметрів для кожного класу об'єктів, що задовольняють мінімум середнього байєсівського ризику. Застосування розглянутого алгоритму для ідентифікації тріщин і ополонів в льодах по зображеннях 3- і 23-сантиметрового локаторів показало можливість ідентифікації шуканих об'єктів з вірогідністю не нижче 0.95 при прямих та інверсних радіолокаційних контрастах понад 10 дБ.

Радиолокаторы с синтезированием апертуры антенны (РСА) позволяют получать оперативную ин-

формацию о состоянии подстилающей поверхности в виде радиолокационных снимков местности. Осо-

бенно актуальными являются задачи идентификации ледовых покровов на судоходных трассах, обнаружения и локализации нефтяных и масляных пятен на поверхности моря и т. п. Однако применяемые на практике одночастотные РСА, как правило сантиметрового или дециметрового диапазонов в ряде случаев не позволяют получать оперативные однозначные решения и требуют либо дополнительных измерений, либо длительной статистической обработки принятых сигналов. В силу нестационарности наблюдаемых процессов, например подвижки льдов, быстрого промерзания трещин, переворачивания айсбергов, увлечения нефтяных пятен течениями использование дополнительных или повторных измерений не дает адекватных данных для решения задачи идентификации. В свою очередь, дополнительная детальная обработка информации на земле после проведения измерений снижает ценность получаемых решений в силу устаревания информации.

Оперативное решение задач идентификации представляется возможным при построении многочастотных систем дистанционного зондирования. Поскольку информативными параметрами объектов идентификации, как правило, являются оценки их координат, параметры формы, размеры, мощность рассеянного сигнала и т. п., то алгоритм идентификации должен включать стохастические модели рассеяния сигналов каждого из используемых диапазонов длин волн. Для оперативной обработки данных на борту носителя комплекса РСА возможно использование эмпирических моделей, например описанных в работах [2—5, 7]. Степень соответствия эмпирических моделей реальной действительности выражается в виде априорной неопределенности, как правило, относительно наблюдаемых данных (т. е. признаков распознавания), причем она не может быть устранена предварительным обучением в силу нестационарности наблюдаемого процесса.

Сигнал, рассеянный шероховатой подстилающей поверхностью для РСА дециметрового и сантиметрового диапазонов, описывается выражением [1]:

$$\begin{aligned} \dot{s}_{m,i}^K(t) = \\ = U_i^K G^K(t-t_i) \exp\{-j[2\pi V_n^2(t-t_i)^2/(\lambda^K r_i)] - \psi_i^K\}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\dot{s}_{m,i}^K(t)$  — элементарный рассеянный сигнал  $K$ -го локатора  $i$ -й точечной цели в  $m$ -й полосе дальности,  $U_i^K$  — максимальное значение отраженного одиночной точечной целью радиосигнала,  $G^K(t-t_i)$  — нормирующая функция, характеризующая модуляцию зондирующего и отраженного от цели сигнала при их передаче и приеме диаграммой направленности реальной антенны  $K$ -го лока-

тора,  $r_i$  — дальность до  $i$ -й точечной цели,  $V_n$  — скорость полета носителя,  $\lambda^K$  — длина волны зондирующего колебания соответствующего локатора,  $t_i = x_i/V_n$ ,  $x_i$  — абсцисса точечной цели, расположенной в  $m$ -й полосе дальности,  $\psi_i^K$  — изменение фазы радиосигнала  $K$ -го локатора при отражении от  $i$ -й цели.

Тепловые шумы аппаратуры дополнительно искажают сигнал, и следовательно, их необходимо учесть в алгоритме

$$\xi_{m,i}^K(t) = \dot{s}_{m,i}^K(t) + \dot{n}_{m,i}^K(t), \quad (2)$$

где  $\dot{n}_{m,i}^K(t)$  — некоррелированные гауссовские шумы с нулевым матожиданием и дисперсией  $(\sigma_{m,i}^K)^2$ .

При реализации в блоке обработки сигналов РСА этого алгоритма гармонического анализа радиолокационное изображение местности в  $m$ -й полосе дальности будет равно

$$J_m^K(\omega) = \int_{-T/2}^{T/2} \xi_{m,i}^K(t) \dot{h}_m^K(t) \exp(-j\omega t) dt. \quad (3)$$

Здесь  $\omega = 4\pi V_n \chi / (\lambda r_m)$ ,  $\chi$  — абсцисса сигнала радиолокационного изображения,  $T$  — интервал синтезирования,  $\dot{h}_m^K(t)$  — опорная функция для  $m$ -й полосы дальности  $K$ -го локатора, которая выбирается как взвешенная функция, комплексно сопряженная с сигналом, отраженным от одиночной точечной цели.

При установке на борту носителя двух локаторов различных диапазонов длин волн и при однотипной обработке сигналов в каждом из локаторов формируется два радиолокационных изображения (РЛИ) одного и того же участка поверхности. После предварительной обработки этих изображений, заключающейся в коррекции геометрических искажений, привязки к географическим координатам, процедуры фильтрации и бинарного квантования этих изображений они могут быть использованы в процедуре идентификации.

Будем считать, что каждое из полученных бинарных изображений представляет собой пространство сигналов  $L_2(R^n, R)$  размера  $n$ . Пространственно распределенные цели на подстилающей поверхности могут быть описаны совокупностью параметров  $\alpha$ , которая принадлежит пространству  $L_2(R^n, R)$ , называемому пространством параметров сигналов размера  $l$ . В пространстве сигналов выделим подмножество  $M \in R^n$  и введем в рассмотрение характеристическую функцию  $\Theta$ , с помощью которой будем отмечать принадлежность элемента  $J_m^K$  пространства  $L_2(R^n, R)$  подмножеству  $M$ , т. е.

$$\Theta(J_m^K/M) = \begin{cases} 1, & \text{если } J_m^K \in M, \\ 0, & \text{если } J_m^K \notin M. \end{cases} \quad (4)$$

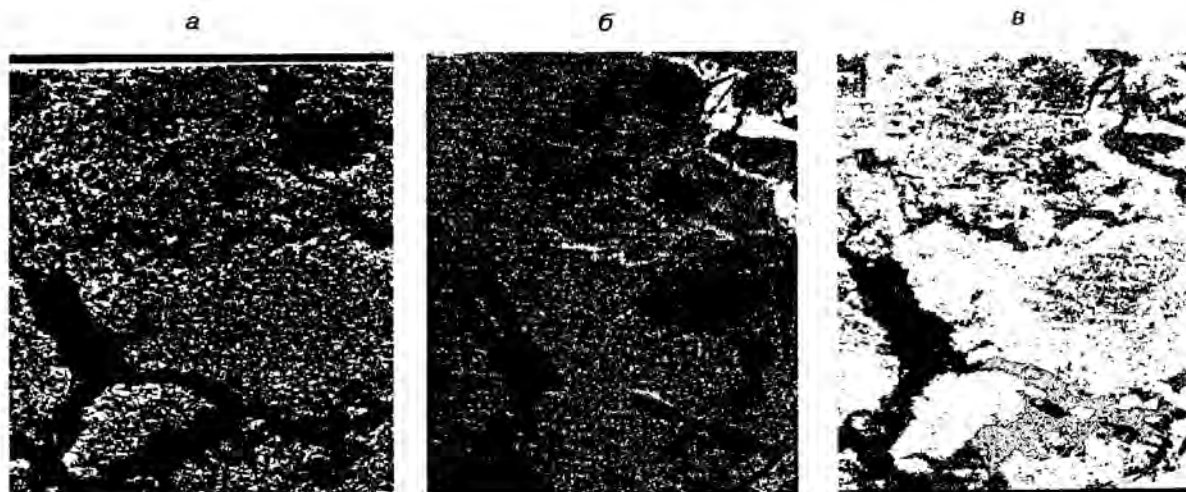


Рис. 1. Радиолокационные изображения участка поверхности моря, покрытого льдами: а — диапазон 23 см, б — диапазон 3 см, в — результат идентификации

Согласно [6, 8] спектр параметров  $\alpha \in L_2(R^l, R)$  может быть найден как

$$S_\varphi^K(\alpha) = \int \int_{R^n} \Theta(J_m^K) \delta[\varphi(J_m^K, \alpha)] dJ_m^K = \int \int_{R^n} \Theta(J_m^K) \Theta\{J_m^K / [\varphi(J_m^K, \alpha) = 0]\} dJ_m^K, \quad (5)$$

где  $\varphi(\cdot)$  — функция, устанавливающая зависимость между изображениями заданного класса объекта на подстилающей поверхности и совокупностью его параметров  $\alpha$ .

Очевидно, что преобразование (5) необходимо выполнить  $2p$  раз, где  $p$  — число классов распознаваемых функций  $\varphi(J_m^K, \alpha)$ . Поскольку всякое бинарное изображение можно рассматривать как характеристическую функцию  $\Theta(J_m^K)$  некоторого подмножества  $M$ , то каждый спектральный отсчет  $S_\varphi^K(\alpha)$  равен объему области, заключенной в пересечении подмножества  $M$  с поверхностью  $J_m^K(\alpha)$ . Очевидно, что максимальный спектральный отсчет  $S_\varphi^K(\alpha)$  характеризует то значение вектора параметров  $\alpha$ , при котором множество  $M$  в максимальной степени похоже на поверхность  $J_m^K(\alpha)$ . Другими словами, каждый спектральный отсчет  $S_\varphi^K(\alpha)$  в точке  $\alpha$  дает меру сходства произвольного подмножества  $M$  с заданной поверхностью  $J_m^K(\alpha)$ , имеющей параметр  $\alpha$ .

В силу свойства линейности преобразования неаналитические контуры объектов на исходных изображениях можно идентифицировать в виде набора моделей аналитических кривых. Пусть  $Z$  —  $f$ -то-

чечная модель объекта одного из классов в подмножестве сигнальной области  $R^n$ , а  $\Theta(J_m^K/Z)$  — его бинарное изображение. Тогда при наличии объекта на изображении хотя бы  $f_1 < f$  точек в спектральной области (5) окажутся на поверхности тела, определяемого уравнением  $\varphi(J_m^K, \alpha)$ , где  $\alpha \in M_Z$  — вектор параметров объекта, т. е.  $S_\varphi^K(\alpha) \geq f_1$ . Аналогичное решение по объекту  $Z$  выносятся и при обработке изображения от лоатора другого диапазона, т. е.  $S_\varphi^K(\beta) \geq f_1$ , где  $\beta$  — вектор параметров объекта, соответствующий изображению 2-го лоатора.

Экспериментальное исследование алгоритма показало его эффективность при решении задач идентификации и оценивания координат неоднородностей ледовых и земных покровов. Радиолокационные изображения участка поверхности моря, покрытого льдами, полученные с помощью радиолокаторов дециметрового и сантиметрового диапазонов показано на рис. 1, а и рис. 1, б соответственно. На рис. 1, в показан результат работы алгоритма.

Очевидно, что используя только данные лоатора дециметрового диапазона (рис. 1, а) или только данные лоатора сантиметрового диапазона (рис. 1, б), из-за ряда эффектов (таких как рассеяние РЛ-сигнала от шероховатых поверхностей льда, отражение сигнала от боковых стенок трещин льдин, рассеяние сигнала от мокрого снега на поверхности воды и т. п.) однозначная идентификация состояния поверхности выделенных на рис. 1, в участков затруднительна.

На рис. 1, в представлен результат совместной обработки двухчастотных РЛИ по предложенному

методу анализа радиоконтрастов. Цветом выделены участки, которые отнесены алгоритмом к различным классам поверхностей. Применение рассмотренного алгоритма для идентификации трещин и разводий во льдах по радиолокационным изображениям 3-сантиметрового и 23-сантиметрового локаторов показало возможность идентификации искомым объектов с вероятностью не ниже 0.95 при прямых и инверсных радиолокационных контрастах свыше 10 дБ.

Таким образом, алгоритм идентификации пространственно-распределенных объектов при двухчастотном зондировании состоит в формировании РЛИ каждым локатором, квантовании этих изображений и получении спектров параметров всей совокупности объектов, соответствующих каждому из бинарных изображений, а затем вычислении оценок спектров параметров для каждого класса объектов, удовлетворяющих минимуму среднего байесовского риска.

1. Антипов В. Н., Горяинов В. Т., Кулин А. Н. Радиолокационные станции с цифровым синтезированием апертуры антенны. — М.: Радио и связь, 1988.—304 с.
2. Ефимов В. Б., Калмыков А. И., Шестопалов В. П. и др. Исследование ледовых покровов радиофизическими средствами с аэрокосмических носителей // Изв. АН СССР. Сер. ФАО.—1985.—21, № 5.—С. 512—519.
3. Калмыков А. И., Фукс И. М. Модели рассеяния радиоволн подстилающими поверхностями и их учет в системах радиолокационного зондирования // Радиопизика и радиоастрономия.—1996.—1, № 1.—С. 31—41.
4. Кулеми Г. П., Разказовский В. Б. Рассеяние миллиметровых радиоволн поверхностью земли под малыми углами. — К.: Наук. думка, 1987.—229 с.
5. Разказовский В. Б. Дифракция на полуплоскости с неровным краем в задаче распространения радиоволн под поверхностью при малых углах скольжения // Изв. вузов.

Радиофизика.—1997.—40, № 8.—С. 965—979.

6. Сытник О. В., Дубовицкий В. А. Алгоритм идентификации пространственно-распределенных объектов при двухчастотном зондировании поверхности земли с помощью РСА // Изв. вузов. Радиозлектроника.—2000.—43, № 11.—С. 37—46.
7. Шестопалов В. П., Калмыков А. И., Комяк В. А. и др. Комплексные исследования природной среды Земли радиофизическими методами // ДАН СССР.—1985.—284, № 1.—С. 98—102.
8. Ballard D. H. Generalizing The Hough Transform To Detect Arbitrary Shapes // Pattern Recognition.—1981.—13, N 2.—P. 111—122.
9. Ulaby F. T. Microwave Backscatter Dependence on Surface, Roughness, Soil Moisture and Soil Texture: Part I Bare Soil // IEEE Trans. Geosci. Electron.—1983.—GE-16, N 4.—P. 286—295.

#### THE MERGE INFORMATION METHOD FOR MULTIFREQUENCY SYSTEMS OF REMOTE SENSING OF THE EARTH

*O. V. Sytnik, V. B. Efimov, V. N. Tsybal, A. V. Kabanov*

The merge information method for two-frequency radar earth surface remote sensing is considered. The method is based on the Hough transform property of radio contrast inverse invariance. The analysis of radio images is carried out in the space of spectrums of parameters on the basis of statistically optimal algorithms. The algorithm of identification of the spatially-distributed objects at two-frequency sounding consists in forming the SAR images by each radar, quantization of these images and obtaining spectrums of parameters for all multitude of objects corresponding to each of the binary images, and then in calculating estimations of spectrums of parameters for every type of objects satisfying the minimum of the middle Bayes risk. The application of the algorithm under consideration for identification of cracks in ices on the radar images of two-frequency radar remote sensing showed the possibility to identify the sought-for objects with a probability not below 0.95 at direct and inversed radar contrasts over 10 dB.