

Использование многочастотных радиолокационных данных для выявления геологических структур и месторождений полезных ископаемых дистанционными методами

**В.Н. Цымбал², С.Е. Яцевич¹, В.Б. Ефимов², А.С. Курекин¹, А.Я. Матвеев²,
А.С. Гавриленко², Д.М. Бычков²**

*¹Институт радиофизики и электроники им.А.Я. Усикова НАН Украины
61085, г. Харьков, ул. Ак.Проскуры 12
E-mail: sey@ire.kharkov.ua*

*²Центр радиофизического зондирования земли им. А.И. Калмыкова НАН и НКА Украины
61085, г. Харьков, ул. Ак.Проскуры 12
E-mail: matveyev@ire.kharkov.ua*

Экспериментально показана возможность определения проявлений геологических структур и месторождений полезных ископаемых, а также определения их параметров с использованием данных многоканального радиолокационного зондирования, в частности, многочастотных и поляризационных методов. Приведены многоканальные радиоизображения полученные с борта самолета лаборатории, а также их тематическая интерпретация.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, радиолокация, боковой обзор, СВЧ, поверхность, почва

Введение

Эффективное использование природных ресурсов требуют разработки и введения в практику природопользования дистанционных методов определения проявлений геологических структур и месторождений полезных ископаемых. Актуальность решения этих задач не вызывает сомнения, так как традиционные контактные измерения не обеспечивают получение информации с достаточной для большинства практических задач детальностью в пространстве и времени и, кроме того, оказываются трудоемкими.

Решение всех указанных выше проблем невозможно без внедрения дистанционных методов исследования Земли, основанных на анализе структуры сигналов, сформированных в результате отражения или излучения электромагнитных волн природными образованиями. Для получения наиболее полной информации об изучаемых подстилающих поверхностях необходимо использовать широкий спектр электромагнитных колебаний, поскольку разные его участки содержат различную информацию об окружающей среде. Достаточно интенсивно используются данные оптического и инфракрасного диапазонов. Они позволяют выделить информацию о состоянии растительного покрова и земной поверхности (оптический диапазон), о ее температуре, скрытых пожарах, утечках нефти и газа (инфракрасный диапазон). Существенным ограничением этих диапазонов является недостаточная проникающая способность, отсутствие всепогодности, так как облачность и темное время суток затрудняет получение информации. Радиофизические методы дистанционного зондирования, основанные на связи геометрических и электрофизических характеристик поверхностных и подповерхностных образований с параметрами отраженных или излученных поверхностью сигналов, свободны от этих недостатков и отличаются высокой проникающей способностью.

Применение радиофизических методов и средств для выявления геологических структур и месторождений полезных ископаемых

Поиск новых месторождений полезных ископаемых, который является чрезвычайно важной задачей из-за быстрого истощения разведанных залежей, все больше перемещается в самые удаленные и труднодоступные места планеты. Разведка ведется в пустынях, зонах вечной мерзлоты, на морском шельфе. Эффективность этих поисков напрямую зависит от применения методов аэрокосмического зондирования.

Действительно, на настоящее время накоплен значительный практический опыт использования многозональных оптических снимков и данных съемок в ИК - диапазоне для проведения поиска проявлений месторождений полезных ископаемых [1]. Эти данные широко используются на практике, требования к параметрам оптических и ИК систем (спектральные диапазоны, чувствительность и т.п.), предназначенных для этих работ, хорошо известны и апробированы. В качестве индикаторов проявлений залежей полезных ископаемых при этом используются аномалии в почве над ними различных элементов (метана, цветных металлов и т.п.). Эти аномалии, взаимодействуя с корневой системой растений, нарушают, как токсиканты, стандартные процессы фотосинтеза в растениях, что приводит к изменениям в их спектральных характеристиках. Эти изменения и используются как поисковые критерии на указанные полезные ископаемые при использовании данных аэрокосмических спектрометрических съемок в видимом диапазоне.

Радиолокационные же системы дистанционного зондирования начали применяться для поиска полезных ископаемых не так давно. Поэтому многим практическим специалистам не известно, что многие радиолокационные системы, чьи параметры выбирались исходя из традиционных для военной радиолокации подходов (максимально возможная разрешающая способность и возможность обнаруживать малоразмерные, но с достаточно большим обратным рассеиванием, цели на максимальных дальностях), малопригодны для эффективного поиска проявлений, связанных с месторождениями полезных ископаемых. Как показали многолетние эксперименты, проводившиеся при помощи многочастотного комплекса МАРС, многие информативные признаки месторождений малоконтрастны и достаточно протяжены, особенно на морской поверхности, где, например, признаками месторождений углеводородов на шельфе являются очень тонкие пленки поверхностно-активных веществ ПАВ, которые проникают из зон месторождений в морскую воду и специфическим образом модифицируют поверхностное волнение. Также весьма вероятно насыщение участков приповерхностного слоя воды мелкими пузырьками газов, проникающих по трещинам в породе из зон месторождений, эти участки также модифицируют высокочастотную часть спектра поверхностного морского волнения и измеряемую интенсивность ИК-излучения морской поверхности. Все это говорит о том, что пространственное разрешение радиолокационных систем, предназначенных для поиска полезных ископаемых, может быть ограничено на уровне 5–10 м, но зато контрастно-фоновая чувствительность (т.е. способность надежно идентифицировать слабые вариации интенсивности обратного рассеяния) должна быть максимальной – не менее 0,5 – 0,7 дБ. При этом необходимо учитывать, что стремление получить максимальное пространственное разрешение системы, как правило, приводит к ограничению её контрастно-фоновой чувствительности.

Результаты теоретического анализа и моделирования процессов подповерхностного радиолокационного зондирования убедительно свидетельствуют о принципиальной

возможности обнаружения радиолокационными средствами расположенных под поверхностью земли искусственных сооружений и геологических и структур [2-9].

При подповерхностном зондировании проявляются не менее сложные физические эффекты, которые зачастую не учитываются техническими разработчиками радиолокационных систем. Радиоволны, проникшие в почву под поверхность и рассеянные в обратную сторону, несут информацию как о расположенных на глубине подповерхностных структурах, так и промежуточном слое и границе раздела (т.е. поверхности почвы). Чтобы разделить эти данные необходимо одновременно использовать радиоволны с существенно различной (отличающейся не менее чем на порядок) проникающей способностью. При этом, наиболее перспективным является использование многочастотного и многополяризационного радиолокационного зондирования одновременно в метровом и более коротковолновых (например сантиметровом и дециметровом) диапазонах радиоволн, а также оптические (различных диапазонов) и инфракрасные волны. Наилучшие результаты достигаются в аридных и других засушливых районах благодаря более глубокому проникновению в почву радиоволн. Многочисленные эксперименты подтверждают эти выводы [1,7,9].

Ниже приведены результаты специальных экспериментов по обнаружению геологических структур при помощи одновременного зондирования в миллиметровом, сантиметровом, дециметровом и метровом диапазонах длин волн многочастотным радиолокационным комплексом МРЛК «МАРС»[9,10]. В состав комплекса, установленного на борту самолета – лаборатории ИЛ-18Д, входили радиолокаторы бокового обзора миллиметрового и сантиметрового диапазонов, а также РЛС с синтезированием апертуры дециметрового и метрового диапазонов (РБО-08, РБО-3, РСА-23 и РСА-180). Для комплекса радиолокаторов характерны совмещенные полосы обзора (в среднем 30км) и согласованное пространственное разрешение (в среднем 20-50м).

Рассмотрим пример использования многочастотного авиационного радиолокационного комплекса МРЛК «МАРС» для обнаружения и идентификации проявлений геологических структур (прежде всего разломных структур) в условиях вечной мерзлоты. На рис. 1 приведены синхронные радиолокационные изображения района алмазоносных – золотоносных месторождений «Северный берег» в бассейне р. Золотица (Архангельская обл., Россия), полученные МРЛК «МАРС» в оптическом (а), сантиметровом (б), дециметровом (в) и двухметровом (г) диапазонах радиоволн.

Совместно с сотрудниками УКРНИИГАЗа нашими сотрудниками был проведен анализ возможностей применения многочастотных РЛ – изображений для поиска месторождений нефти и газа. Для этого были рассмотрены полученные в ходе выполнения исследовательских полетов самолета – лаборатории МАРС РЛ (радиолокационные) – изображений трех диапазонов: сантиметрового, дециметрового и метрового с разной поляризацией излучения и приема – горизонтальной и вертикальной. Проведен оценочный анализ физико-географической ситуации с целью выявления тех элементов ландшафта, которые определяют рисунок РЛ – изображений разных диапазонов съемки.

В процессе работы был исследован район Коробочкинского газоносного узла приуроченного к северо-западному окончанию Лебяжинско – Кругляковской зоны, вытянутой вдоль Северного борта Днепровско – Донецкой впадины и северных окраин Донбасса.

В этом районе известны Ртищевовое, Коробочкинское, Лебяжинское, Южно – Гравковское и Борисовское газоконденсатные месторождения. Старопокровская, Грековская и Ново – Лиманская положительные структуры, опиcкованные на нефть и газ выведены из бурения о отрицательным результатом. На рис. 3 стрелками показано местоположение

ряда месторождений попавших в зону радиолокационной съемки. Результаты радиолокационной съемки представлены на рис. 4а-4в. На рис. 4а представлено РЛ – изображение РБО – 3 в сантиметровом диапазоне длин волн на вертикальной поляризации излучения и приема, на рис. 4б – РСА-23 и 4в – РСА -180 в дециметровом и метровом диапазонах на горизонтальной поляризации излучения и приема.

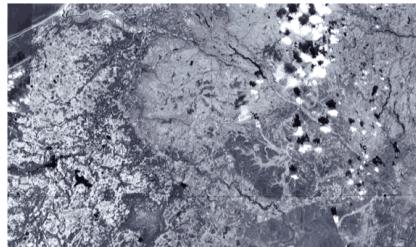


Рис. 1а. Оптическое изображение района алмазоносных – золотоносных месторождений «Северный берег» в бассейне р. Золотица (Архангельская обл., Россия)

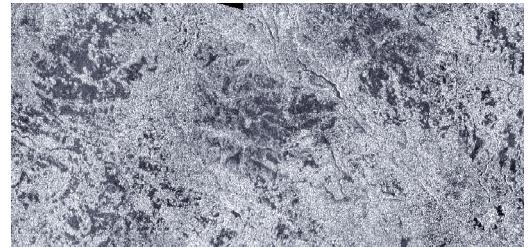


Рис. 1б. Радиолокационное изображение района алмазоносных – золотоносных месторождений «Северный берег» в бассейне р. Золотица (Архангельская обл., Россия), полученные МРЛК «МАРС» в сантиметровом диапазоне радиоволн



Рис. 1в. Радиолокационное изображение района алмазоносных – золотоносных месторождений «Северный берег» в бассейне р. Золотица (Архангельская обл., Россия), полученное МРЛК «МАРС» в дециметровом диапазоне радиоволн



Рис. 1г. Радиолокационное изображение района алмазоносных – золотоносных месторождений «Северный берег» в бассейне р. Золотица (Архангельская обл., Россия), полученное МРЛК «МАРС» в двухметровом диапазоне радиоволн

Рис. 1. Оптическое (а) и радиолокационное полученные МРЛК «МАРС(б-см, в-дм, г-м) изображение района алмазоносных – золотоносных месторождений «Северный берег» в бассейне р. Золотица (Архангельская обл., Россия)

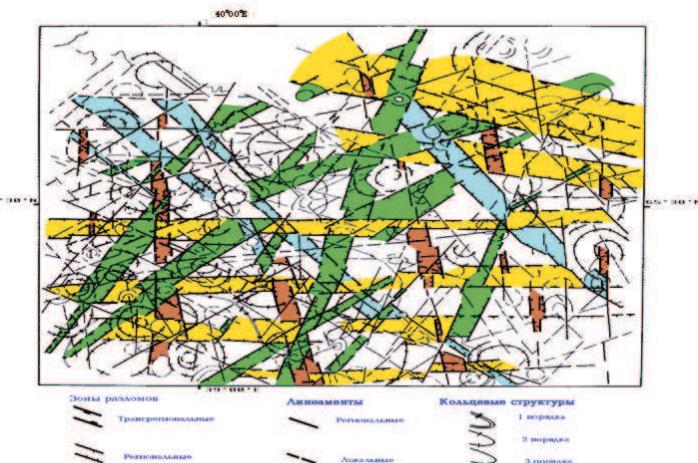


Рис. 2. Схема геологической структуры района алмазоносных и золотоносных месторождений бассейна р. Золотица, построенная экспертами-геологами по многочастотной радиолокационной информации. На схеме отмечены основные элементы этой структуры – зоны различных разломов, линеаменты, кольцевые структуры различного порядка

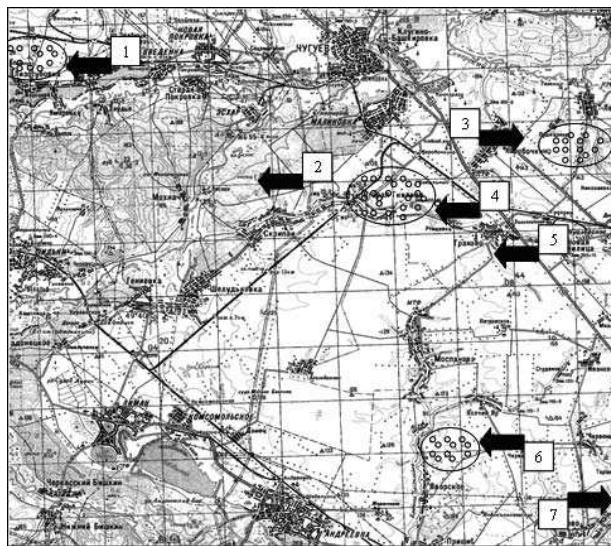


Рис. 3. Карта участка Харьковской области на которой стрелками показано местоположение ряда месторождений попавших в зону радиолокационной съемки:

1- Безлюдовское, 2- Старопокровское, 3 – Коробочкинское, 4 – Ртищевское, 5- Граковское, 6 - Вишневское,
7 – Волоховское, Бригадировское

При обработке РЛ – снимков исследовался характер изменения оптической плотности изображений в пределах участков расположения вышеперечисленных газоносных блоков.

Участки Ртищевского и Лебяжинского газоносных сводов отображаются на снимках в виде аномалий мозаично-светлого фототона, ограниченных контурами серых и темно - серых тонов. Это связано с тем, что центральные части аномалий представляют собой положительные формы рельефа с крутыми склонами, образующими о радиолучом прямой угол, вызывающий максимальное отражение радиоволн.

В центре Ртищевой аномалии выделяется минимальное значение яркости фототона. Подобный перепад фототона отмечен на соседнем Коробочкинском поднятии.

В отличие от Ртищевского свода участок Коробочкинского месторождения отображается на РЛ – снимках в виде удлиненной темной фототональной аномалии. Такое диффузное рассеяние радиоволн на участке приподнятого блока осадочного чехла может быть обусловлено аномальной увлажненностью территории за счет повышенной трещиноватости пород, с которой, вероятно» связаны пути миграции углеводородов. Линейно ориентированные фрагменты темно-серого фототона, прослеживаемые на РЛ – изображениях, интерпретируются как тектонические нарушения и часто находят себе подтверждение на структурных картах по поверхности фундамента этой территории. Некоторые тектонические нарушения отображены в виде контрастного фототона между участками, оказавшимися на разных гипсометрических уровнях вследствие неодинаковой амплитуды неотектонических движений.

При фильтрации РЛ – изображения Коробочкинского газоносного узла отчетливо дешифрируется субширотный линеамент, объединяющий участки Ртищевского, Зап. Коробочкинского и Коробочкинского поднятий. Этот линеамент может интерпретироваться как несогласный обрыв, трассируемый здесь по данным сейсморазведки.

Отмечено, что с увеличением длины волны радиолокационного излучения текстура изображения слаживается за счет уменьшения влияния мелких неровностей земной поверхности. В связи с этим на изображениях метрового диапазона четко проявляются глав-

ные элементы ландшафта: долины крупных рек и водоразделы, что их разделяют. Такое четкое чередование категорий рельефа позволяет наметить основные геоструктурные зоны территории и элементов ландшафта, с которыми будут связаны типы отражения радиоволн. Например, с ландшафтом залесенной поймы связана Старопокровская структура, к ландшафту выровненных низких террас приурочена Лавриковская структура. Характер рисунка РЛ – изображений разной поляризации и его текстурные особенности почти одинаковы. Наблюдается немного более контрастное изображение в горизонтальной поляризации от долинных склонов и на вертикальной на выровненных частях водоразделов и пойм на границах разных сред.

РЛ изображения сантиметрового диапазона имеют высокую информативность, но избыточность техногенных возмущений затрудняют индикацию геологических объектов. В этой связи наилучшими изображениями является РЛ – изображение дециметрового диапазона, крупнозернистая текстура которых позволяет обнаружить особенности геологического объекта при отражения радиоволн от земной поверхности.

Сравнение схем дешифрирования топооснов, аэрофото- и РЛ- изображений показывает, что общий план отражения геологических структур Коробочкинского газоносного узла на разных типах изображений близко сопоставим. Так во всех случаях в районе Ртищевского поднятия намечается почти круглый контур, созданный мелкими реками обтекания. В центре Ртищевской аномалии выделяется минимальное значение яркости. Такой же перепад интенсивности отмечается на соседнем Западном Коробочкинском.



Рис. 4а. РЛ – изображение РБО – 3 на вертикальной поляризации излучения и приема



Рис. 4б. РЛ – изображение РСА – 23 на горизонтальной поляризации излучения и приема



Рис. 4в. РЛ – изображение РСА – 180 на горизонтальной поляризации излучения и приема

Заключение

Таким образом применение многочастотных РЛ – изображений позволяет расширить возможности дистанционных методов в комплексном решении задач нефтегазовой геологии.

Проведенные исследования свидетельствуют с одной стороны о информативности РЛ – изображений, а с другой нуждаются в разработке специальной методики обработки и дешифризации этих материалов.

По заключению экспертов использование информации о геологической структуре, полученной на основе многочастотных радиолокационных данных, позволяет значительно уточнить положение предполагаемых месторождений и сузить границы наземных поиско-

вых работ, определить стратегию разработки полезных ископаемых и оценить пути возможного проникновения загрязнений, вызванных разработкой месторождения. Использование многочастотной информации позволяет существенно сократить расходы на проведение предварительной геофизической и геохимической разведки.

Литература

1. Кронберг П. Дистанционное изучение Земли: Основы и методы дистанционных исследований в геологии: Пер. с нем.- М.: Мир,1988.-343 с.
2. Финкельштейн М.И., Мендельсон В.Л., Кутев В.А. Радиолокация слоистых земных покровов. -М.: Сов.радио, 1977. -174 с.
3. McCanley J.F., Shaber G.G., Breed C.S. et al. Subsurface valleys and geoarcheology of eastern Sahara revealed by Shuttle radar // Science. -1982. -Vol. 218, N4576. -P.1004-1020.
4. Elashi C., Roth L.E. and Schaber G.G. Spaceborne radar subsurface imaging in hyperarid regions // IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing.-1986.-Vol.GE-22, N4.-P.383-387.
5. Berlin G.L., Tarabzonni M.A., Al.Naser A.H. et al. SIR-B subsurface imaging of a sand-buried landscape: Al Laban Plateau, Saudi Arabia // IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing.-1986. – Vol.GE-24, N4.-P.595-602.
6. Калмыков А.И., Фукс И.М., Цымбал В.Н. и др. Радиолокационные наблюдения сильных отражателей, расположенных под слоем почвы. Модель подповерхностных отражений: Препринт / АН УССР. Ин-т радиофизики и электроники; №93-6.-Харьков, 1993.-30 с.
7. Ulaby F.T., Moor R.K., Fung A.K. Microwave Remote Sensing, v.3.- Artech House, 1986.- 2162 p.
8. Kalmykov A.I., Tsymbal V.N., Matveev A.Ya., Gavrilenko A.S., Igolkin V.V. The Two-Frequency Multipolarisation L/VHF Airborne SAR for Subsurface Sensing// AEÜ International Journal of Electronics and Communications. Archiv für Electronik und Übertragunstechnik. -1996.- Vol.50, No 2. - P. 145-149.
9. Радиолокационные методы и средства оперативного дистанционного зондирования Земли с аэрокосмических носителей / Под редакцией С.Н. Конюкова. В.И. Драновского,. В.Н. Цымбала - Киев, ООО НТЦ «Авиадиагностка», изд. «Джулия принт», - 2007г. - 439с.
10. Калмыков А.И., Цымбал В.Н., Курекин А.С., Ефимов В.Б., Матвеев А.Я., Гавриленко А.С., Иголкин В.В. Многоцелевой радиолокационный самолетный комплекс исследования Земли “МАРС”//Радиофизика и Радиоастрономия. -1998. -T.3, №2.-C.119- 129.

Use of multifrequency radio-location information for the exposure of geological structures and deposits of minerals by distance methods

V.N. Tsymbal², S.Ye. Yatsevich¹, V.B. Yefimov², A.S. Kurekin¹, A.Ya. Matveev², A.S. Gavrilenko², D.M. Bychkov²

¹Institute for Radiophysics and Electronics, NASU
12 Proskura Str., Kharkov 61085, Ukraine,
Ph. +380(57)7203515, e-mail: sey@ire.kharkov.ua

²Center for radiophysical sensing of the earth, NASU, NSA, 12 Proskura Str., Kharkov 61085,
Ukraine,
Ph.: +380(57)7203412

Possibility of determination of manifestation of geological structures and deposits of minerals, as well as determination of their parameters using multichannel radar sensing, in particular, multifrequency and polarization methods, is shown experimentally. Multichannel radar images obtained on board of airplane-laboratory and their thematic interpretation are presented.

Keywords: remote sensing, radiolocation, SLAR, microwaves, surface, soil