

Применение радиофизических методов и средств для дистанционного обнаружения подповерхностных объектов с борта самолета-лаборатории

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

Теоретически и экспериментально показана возможность определения проявлений подповерхностных объектов, 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

Особенности подповерхностного радиолокационного зондирования

Радиолокационные методы исследования природной среды находят применение для решения широкого круга задач дистанционного зондирования. Одним из перспективных направлений радиолокационного дистанционного зондирования является наблюдение различных структур и объектов под слоем почвы [1]. Достигается это за счет проникающих свойств длинноволновой части диапазона СВЧ радиоволн. Поскольку характерная глубина проникновения радиоволн для почв составляет $\delta = \lambda \sqrt{\epsilon' / \pi \epsilon''}$ (λ – длина волны, а ϵ' и ϵ'' – действительная и мнимая части диэлектрической проницаемости грунта), в длинноволновой части СВЧ диапазона δ для сухих песков может достигать многих десятков метров.

Отдельные эксперименты, выполненные с использованием радиолокационных космических систем, например, наблюдения подповерхностных структур [2 – 4], позволили убедиться на практике, что и в режиме бокового радиолокационного обзора возможно получение информации о геологических структурах, находящихся под слоем песка.

Для обнаружения подповерхностных объектов и структур представляет интерес синхронное многочастотное радиолокационное зондирование, по крайней мере, в дециметровом и метровом диапазонах, где значительны, но существенно различны глубины проникновения радиоволн в грунт δ .

В настоящее время не существует однозначной физической модели, позволяющей строго описать процессы рассеяния радиоволн различными объектами, расположенными под слоем грунта. Ниже приводится упрощенная модель [5], которая позволяет интерпретировать результаты, полученные с использованием многочастотных РСА.

Радиолокационные сигналы при подповерхностном зондировании объектов (G) формируются в результате совместного влияния нескольких факторов: рассеяния на неровностях границы раздела воздух (среда 1) и грунта (среда 2); рассеяния на неоднород-

ностях грунта; отражения от объекта G , находящегося на глубине H под поверхностью; дифракции и рассеяния волн на неровностях поверхности самого объекта G и т.д. (рис.1).

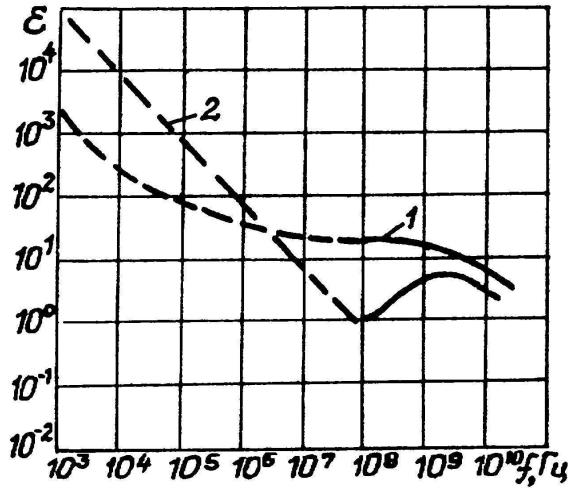


Рис.1. Схема формирования подповерхностных «сильных» отражений

Так как для подповерхностного зондирования используются дециметровые (дм), метровые(м) и более длинные волны, объемным рассеянием можно пренебречь, поскольку размеры частиц фрагментов грунта и расстояния между ними намного меньше длины радиоволны. Для достаточно крупных и “гладких” (в масштабе длины волны) объектов G можно также пренебречь диффузной и дифракционной компонентами сигнала, рассеянного на G , ограничившись учетом только зеркально отраженных волн.

Если в качестве подповерхностного объекта G выступает плоская граница раздела $Z = -H$ двух однородных сред 2 и 3, то удельное сечение обратного рассеяния G превышает сечение G_S рассеяния на неровностях грунта (граница раздела сред 1 и 2) в K раз. Для горизонтальной поляризации зондирующего сигнала коэффициент контраста K_h дается выражением [5]

$$K_h = \frac{\sigma}{\sigma_s} = \left| \frac{1 + \tilde{R}_l}{1 + R\tilde{R}_l} \right|^4, \quad (1)$$

а для вертикальной K_V –

$$K_V = \left| \frac{1 + \tilde{R}_l + 2\tilde{R}_l \frac{\sin^2 \Theta - \cos^2 \Theta}{\sin^2 \Theta + \cos^2 \Theta}}{(1 + R\tilde{R}_l)^2} \right|^2. \quad (2)$$

где \tilde{R}_l – экспоненциальный множитель, а R и R_l – коэффициенты Френеля отражения поляризованных волн от границ раздела сред 1 – 2 при $Z = 0$ и 2 – 3 при $Z = -H$, соответственно.

Особенностью этих формул является то, что их коэффициенты контраста K оказываются независящими от параметров шероховатостей и, от их энергетического спектра W , хотя отличный от нуля радиолокационный сигнал (при $\Theta \neq 0$) наблюдается только благодаря резонансному рассеянию [6] на шероховатых грунтах $Z = S(x,y)$.

Зависимость толщины слоя H входит в эти формулы только в виде экспоненциального множителя \tilde{R}_l :

$$\tilde{R}_l = R_l e^{i\varphi_l} = R_l e^{2kH(i\alpha - \beta)} = R_l e^{i\Phi - \Gamma}; \quad (3)$$

$$\alpha = \operatorname{Re} \sqrt{\varepsilon - \sin^2 \Theta} \approx \sqrt{\varepsilon' - \sin^2 \Theta}; \quad \beta = \operatorname{Im} \sqrt{\varepsilon - \sin^2 \Theta} \approx \varepsilon'' / 2\sqrt{\varepsilon' - \sin^2 \Theta},$$

здесь $\varepsilon' = \operatorname{Re} \varepsilon; \varepsilon'' = \operatorname{Im} \varepsilon, \Phi = 2kH\alpha, \Gamma = 2KH\beta$, причем предполагается, что поглощение в среде достаточно малое ($\varepsilon'' \ll \varepsilon' - \sin^2 \Theta$). Легко видеть, что K_h и K_v – являются осциллирующими функциями не только H , но и угла визирования Θ , длины волны λ . Этот факт описан в работе [7], где была решена задача рассеяния на слое с двумя шероховатыми границами. Периоды осцилляций $\Delta H, \Delta \Theta, \Delta \lambda$ по этим параметрам определяются из условия $\Delta \Phi = 2\pi$, откуда следует:

$$\Delta H = \lambda / 2\sqrt{\varepsilon' - \sin^2 \Theta}; \quad \Delta \Theta = \lambda \sqrt{\varepsilon' - \sin^2 \Theta} / H \sin 2\Theta; \quad \frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{\lambda}{2H\sqrt{\varepsilon' - \sin^2 \Theta}}. \quad (4)$$

Максимальное значение контраста на горизонтальной поляризации

$$K_{h\max} = \left| 1 + \frac{\sqrt{\varepsilon - \sin^2 \Theta}}{\cos \Theta} \right|^4 \quad (5)$$

имеет место в отсутствии затухания ($\beta = 0$) при отражении от хорошо проводящей среды ($|\varepsilon_1| \gg \varepsilon', R_l \approx -1$) в условиях резонанса, когда

$$kH\sqrt{\varepsilon' - \sin^2 \Theta} = (n + \frac{1}{2})\pi. \quad (6)$$

При выполнении условия (6) направление обратного рассеяния совпадает с направлением одного из пространственно – угловых интерференционных максимумов в среде 1, возникающих при многократном отражении от границ раздела $Z = 0$ и $Z = -H$ преломленных плоских волн в среде 2.

Формулы (1) и (2) являются результатом учета, вообще говоря, бесконечного числа таких отражений. Однако разложение их по степеням параметра \tilde{R}_l позволяет получить формулы для K , учитывающие любое конечное число отражений. В частности, если в среде 2 волна испытывает сильное затухание при распространении до границы слоя $Z = -H$ и обратно ($\Gamma = 2KH\beta > 1$), или коэффициент отражения R_l от границы $Z = -H$ достаточно мал (что имеет место при $|\varepsilon_1 - \varepsilon| \ll |\varepsilon|$), либо, наконец, линейный размер L_G отражателя G в плоскости падения меньше, чем расстояние $MM' = 2H \sin \Theta / \sqrt{\varepsilon' - \sin^2 \Theta}$ между двумя последовательными отражениями луча от плоскости $Z = -H$, то в (1) и (2) можно ограничиться учетом только однократных отражений от G . K_h можно выразить как:

$$K_h = \bar{K}_h + \delta K_h, \quad (7)$$

$$\bar{K}_h = 1 + 4e^{-2\Gamma} \left| R_l T_{2,1} \right|^2; \delta K_h = 4e^{-\Gamma} R_e (R_l T_{2,1} e^{i\Phi}), \quad 8)$$

где $T_{2,1}$ – коэффициент отражения от границы $Z = 0$ волны, падающей на нее из среды 2

$$T_{2,1} = 1 - R = \frac{2K'_z}{K_z + K'_z} = \frac{2\sqrt{\varepsilon - \sin^2 \Theta}}{\cos \Theta + \sqrt{\varepsilon - \sin^2 \Theta}}. \quad 9)$$

Формула для коэффициента контраста K_v на вертикальной поляризации имеет вид

$$T_{2,1} \rightarrow Q = \frac{2 \cos \Theta' (\sin^2 \Theta - \sqrt{\varepsilon} \cos \Theta \cos \Theta')}{(\cos \Theta' + \sqrt{\varepsilon} \cos \Theta) (\sin^2 \Theta + \cos^2 \Theta')}. \quad 10)$$

В формулах (9) и (10) угол преломления Θ' является комплексным и определяется законом Снеллиуса: $\sin \Theta' = \sin \Theta / \sqrt{\varepsilon}$. Рассчитанные по этим формулам контрасты $K_{h,v}$ соответствуют учету в радиолокационном сигнале наряду с волнами, рассеянными непосредственно на границе раздела $Z = S(x,y)$, также еще двух типов волн. В результате, имеет место, так называемое, усиление обратного рассеяния [6]. По этой же причине в формуле (8) возникают коэффициенты 4 (а не 2 – как должно было бы быть при некогерентном сложении интенсивностей волн). Интерференция этих волн с волной, непосредственно рассеянной на границе $Z = \zeta$ (без прохождения в среду 2), приводит к появлению осциллирующего по параметрам H, Θ, λ слагаемого δK_h в формуле (7) с периодами осциляций (4). Максимального значения K_h достигает при $\varepsilon \rightarrow \infty$ (объект G при этом является металлическим листом с размером $\lambda \ll L_G \ll MM_1$, находящимся на глубине H в однородной среде с проницаемостью ε). В этом случае коэффициент отражения $R_l = -1$ для горизонтальной поляризации и $R_l = 1$ – для вертикальной. Если можно пренебречь поглощением в среде 2 ($\Gamma \ll 1$) и учесть, что $(T_{2,1})_{\max} = 2$ (при $|\varepsilon| \gg 1$), то легко получить следующие оценки: $(\bar{K}_h)_{\max} = 17$, $(\delta K_h)_{\max} = 8$, т.е. максимально возможное значение контраста K_h равно 25 или 17,7 дБ.

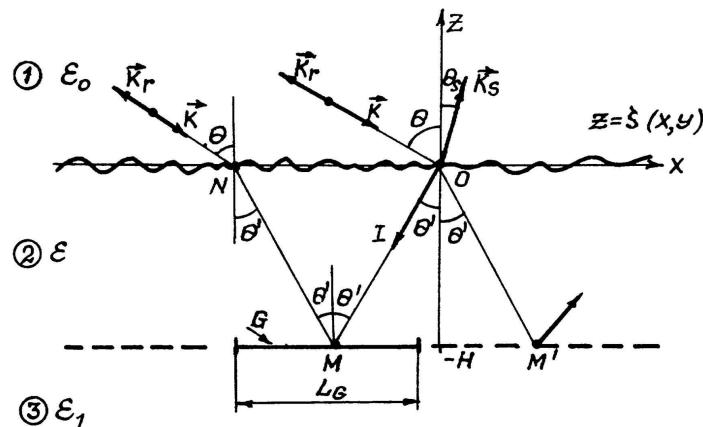


Рис.2. Типичные зависимости действительной (ε') – 1 и мнимой (ε'') – 2 частей диэлектрической проницаемости почв в диапазоне СВЧ, данные работы

Столь высокое значение контрастов при учете только однократных отражений от не очень протяженных подземных объектов ($L_G < MM_1$) могут реализоваться только при достаточно малом затухании волн в слое 2, когда выполняется неравенство

$$\Gamma = 2kH\beta = kH \frac{\epsilon''}{\sqrt{\epsilon' - \sin^2 \Theta}} \ll 1. \quad (11)$$

Типичные зависимости ϵ' и ϵ'' от частоты приведены на рис.2 [9]. В широком диапазоне частот ($10^6 \dots 10^9$ Гц) величина ϵ' монотонно убывает с частотой. Зависимость же ϵ'' от f имеет ярко выраженную особенность: уменьшение ϵ'' в диапазоне $10^8 - 10^9$ Гц является причиной существенного уменьшения затухания в дм и м диапазонах. Конкретные значения ϵ' и ϵ'' существенно зависят также от влажности [10].

По формулам (10-12) были получены расчетные зависимости средних значений коэффициентов контраста K_h и K_v , для двух поляризаций зондирующего сигнала для двух длин волн – 23 см и 1,8 м (см. рис.3, 4).

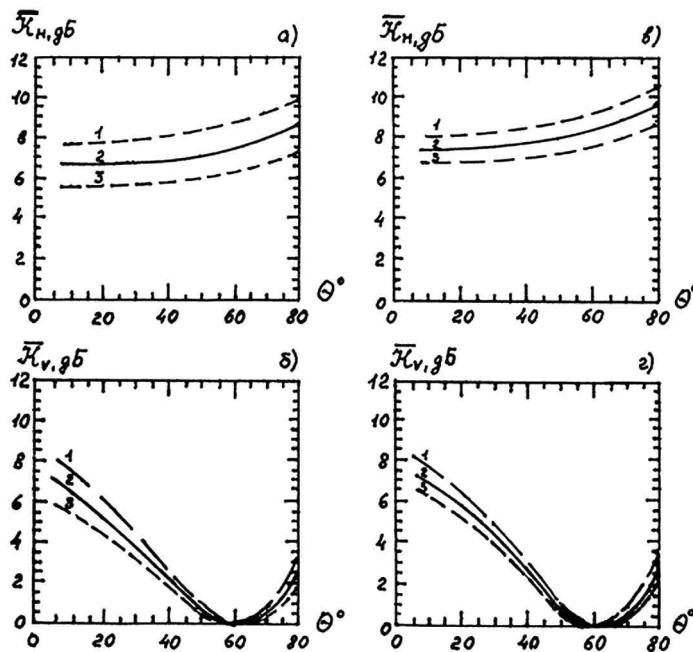


Рис.3. Расчетные зависимости коэффициентов контраста горизонтальной K_h и вертикальной K_v поляризаций от угла падения Θ в диапазонах волн 0,23 м (а,б) и 2 м (в,г) для различных глубин (тип почвы – песок); зависимости (а,б) соответствуют 1 - $h=1$ м, 2 - $h=2$ м, 3 - $h=3$ м, зависимости (в,г) соответствуют 1 - $h=5$ м, 2 - $h=10$ м, 3 - $h=15$ м.

Расчеты контрастов отражений металлической пластины под слоем песка ($\epsilon' = 3,2, \epsilon'' = 0,01$) показывают, что при горизонтальной поляризации значения \bar{K}_h в секторе углов $\Theta = 20^\circ - 80^\circ$ существенно выше, чем на вертикальной поляризации \bar{K}_v . Конtrast \bar{K}_h слабо зависит от угла облучения Θ , в то время как \bar{K}_v имеет глубокий минимум вблизи угла Брюстера $\Theta = \Theta_B$, где $\sin^2 \Theta_B = \epsilon' / (\epsilon' + 1)$.

Из (10) видно, что при $\epsilon'' = 0$ и $\Theta = \Theta_B$ величина $Q = 0$ и, следовательно, $\bar{K}_v = 1$, т.е. контраст полностью отсутствует. Результаты расчетов достаточно хорошо согласуют-

ся со значениями контрастов, наблюдаемых на практике. В варианте плоской верхней границы [5] повышение потенциала приводит к увеличению глубины обнаружения. Перспективы увеличения глубин наблюдения структур под песками связаны с удлинением волны РСА до декаметров. Однако это не позволит расширить диапазон глубин наблюдения глинистых почв, параметры которых приведены на рис.2. На рис. 5 видно, что глубина скин - слоя для глины растет с длиной волны в диапазоне от 10 до 200 см и далее рост глубины проникновения падающей волны ограничивается.

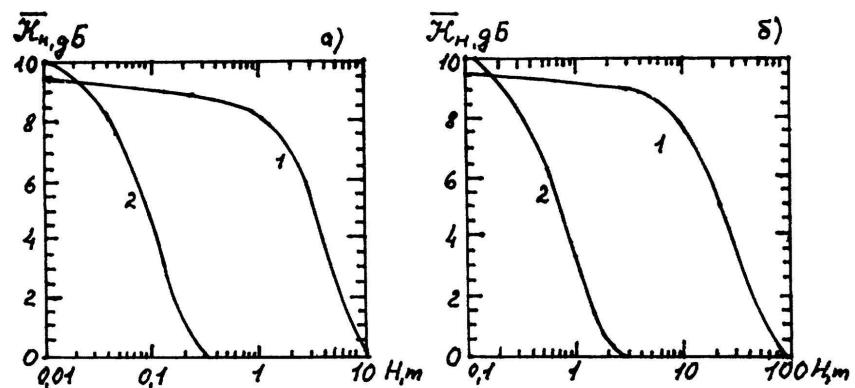


Рис. 4. Расчетные зависимости коэффициентов контраста горизонтальной поляризации K_h от глубины отражателей H при $\Theta=50^\circ$ для волн 0.23 м (а) и 2 м (б) для песка (1) и глины (2) соответственно

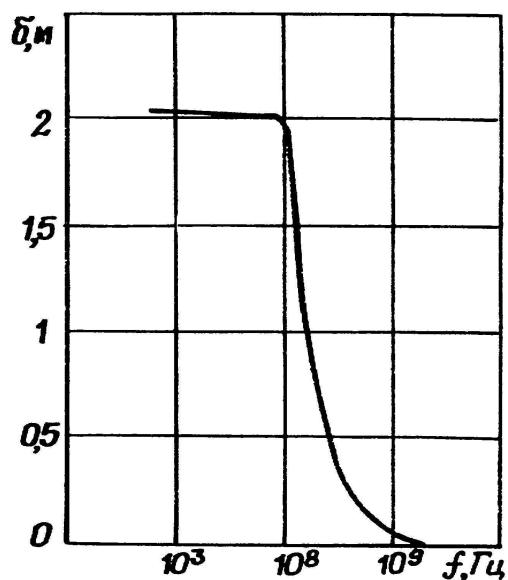


Рис. 5. Расчетная зависимость глубины проникновения в глину с учетом данных рис.2. Видно, что δ не растет с увеличением длины волны $\lambda \geq 3$ м

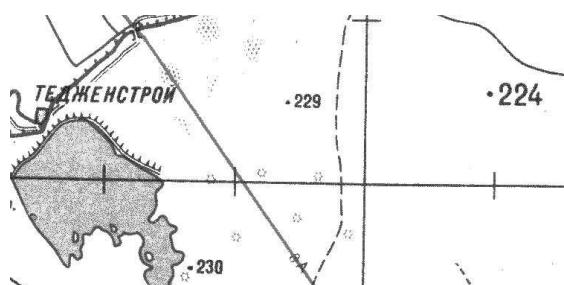


Рис. 6. Карта Теджеского оазиса

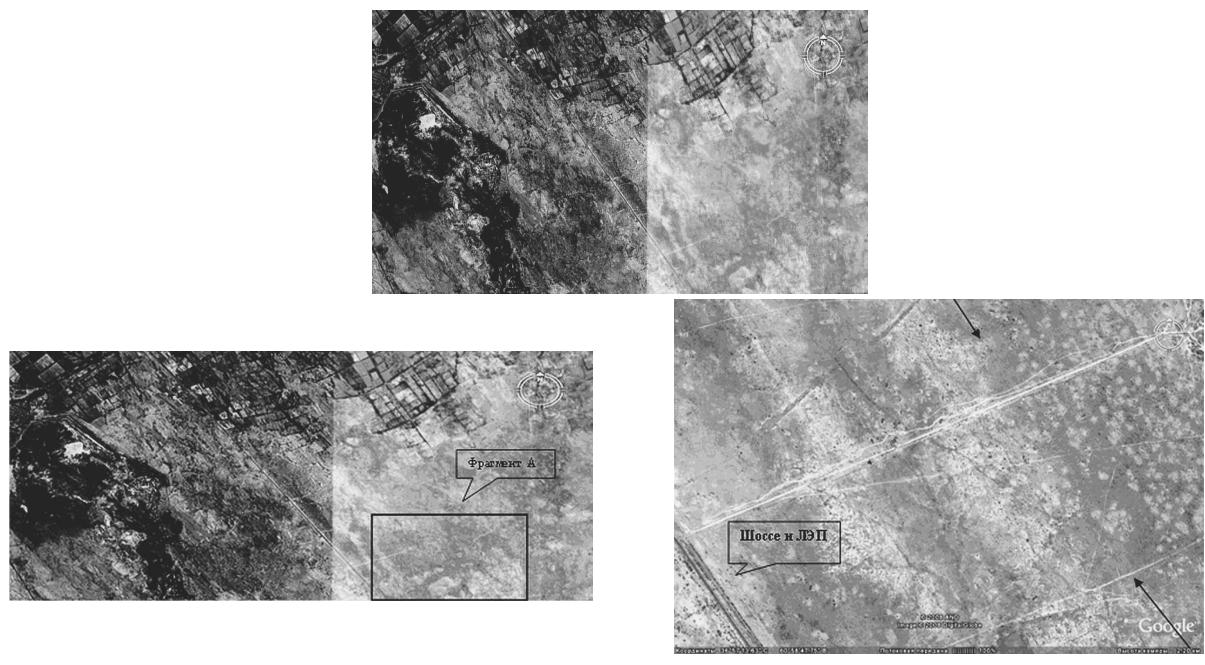


Рис. 7. Оптическое изображение Тадженского оазиса (а) и увеличенный фрагмент А (б) демонстрирующий месторасположения объекта под поверхностью

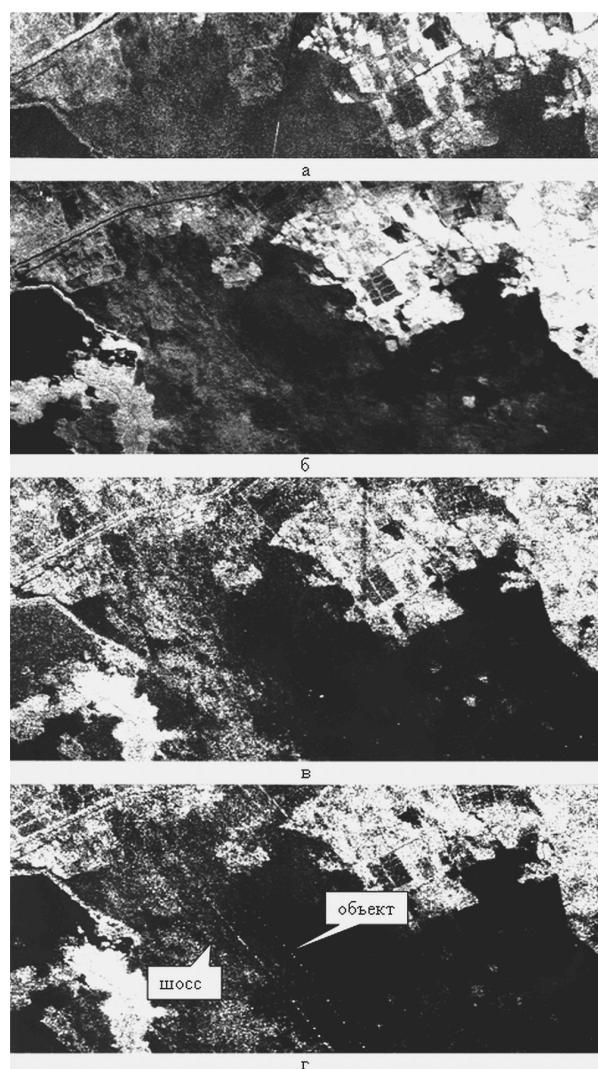


Рис. 8. Радиолокационные изображения района Тадженского оазиса.
(РБО-08 - а, РБО-3 – б, РСА-23ВВ – в, РСА-23ГГ)

Обнаружение подповерхностных образований самолетным комплексом “МАРС”

Результаты теоретического анализа и моделирования процессов подповерхностного радиолокационного зондирования, убедительно свидетельствуют о принципиальной возможности обнаружения радиолокационными средствами расположенных под поверхностью земли искусственных сооружений, геологических и гидрологических структур. При этом, наиболее перспективным является использование многочастотного и многополяризационного радиолокационного зондирования одновременно в метровом и более коротковолновых диапазонах радиоволн. Наилучшие результаты достигаются в аридных и других засушливых районах благодаря более глубокому проникновению в почву радиоволн. Многочисленные эксперименты подтверждают эти выводы [2 – 5, 13].

Ниже приведены результаты специальных экспериментов по обнаружению подповерхностных объектов при помощи одновременного зондирования в миллиметровом (мм), сантиметровом (см), дециметровом (дм) и метровом (м) диапазонах длин волн многочастотным радиолокационным комплексом МРЛК “МАРС”[13,14]. В состав комплекса, установленного на борту самолета – лаборатории ИЛ-18Д, входили радиолокаторы бокового обзора мм и см диапазонов, а также РЛС с синтезированием апертуры дм и м диапазонов (РБО-08, РБО-3, РСА-23 и РСА-180). Для комплекса радиолокаторов характерны совмещенные полосы обзора (~30км) и согласованное пространственное разрешение (~ 20-50м).

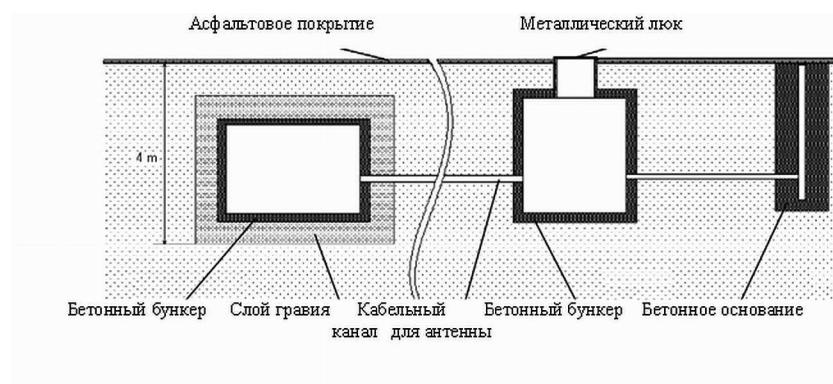


Рис. 9. Схематическое изображение подповерхностного объекта

Один из проведенных экспериментов по обнаружению подповерхностных объектов территориально проходил в опустыненных районах Средней Азии. Поверхность, представляющая собой песчаные барханы, представляла идеальные условия для обнаружения объектов в силу сильного проникновения радиоволн под поверхность (рис. 2). Рабочие маршруты самолета – лаборатории проходили в центральных Каракумах неподалеку от Тедженского оазиса в Туркмении. Карта исследуемого района представлена на рис. 6. Восточнее Тедженского водохранилища и реки Теджен проходит шоссе Теджен – Серахс (8А). Между шоссе и р. Теджен расположена зона активного земледелия. Восточнее шоссе простираются пески. Данная ситуация прослеживается на рис. 7а, представляющем оптическое изображение полученное с природоохранного спутника (данные получены на сайте <http://www.google.map.ru>). На рис.7б показан увеличенный фрагмент местности, на котором отлично видна дорога и линии электропередач вдоль нее. На рис. 8 представлены синхронные многочастотные изображения радиолокаторов комплекса «МАРС», полученные

ные по этому – же району. Сравнение оптического и радиолокационных изображений дает возможность уверенного обнаружения периодического протяженного подповерхностного объекта, который расположен параллельно шоссе на расстоянии 2х километров вглубь песчаного массива. В отличие от оптического (на рис.7б стрелками указано местоположение подповерхностного объекта) и коротковолновых радиолокационных изображений в см и мм диапазонах радиоволн этот объект с большим контрастом отображается в дм диапазоне на горизонтальной поляризации, что подтверждает теоретические предпосылки.



Рис. 10. Внешний вид места расположения подповерхностного объекта



Рис. 11а. Приведено радиолокационное изображение исследуемого района, полученное в СМ-диапазоне.
Стрелкой 1 показано место расположения подземного объекта



Рис. 11б. Приведено радиолокационное изображение исследуемого района, полученное в ДМ-диапазоне.
Стрелкой 1 показано место расположения подземного объекта

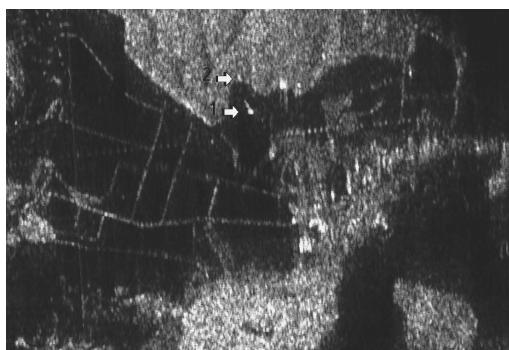


Рис. 11в. Приведено радиолокационное изображение исследуемого района, полученное в М-диапазоне.
Стрелкой 1 показано изображение подземного объекта

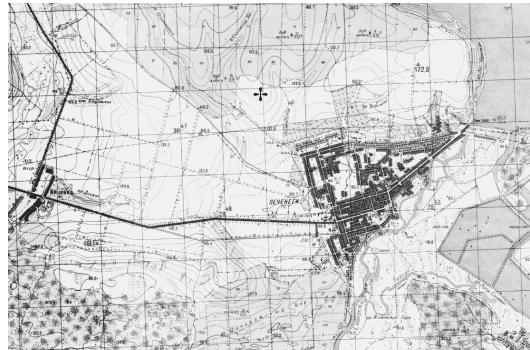


Рис. 11г. Топографическая карта соответствующая участку радиолокационной съемки.
Место расположения подземного объекта отмечено крестиком

В условиях грунтов, характерных для средней полосы Украины, где преобладают различного вида черноземы был проведен эксперимент по обнаружению тестового объекта. Подповерхностный объект представлял собой систему небольших подземных бетонных бункеров, соединенных между собой и с основанием антенны системой кабельных каналов рис.9. Обстановка на поверхности над бункерами представлена на рис. 10. Объект

был оставлен после расформирования одной из частей Советской армии и представляет собой основной бункер, расположенный на глубине 4м под поверхностью, малый бункер с металлическим люком, систему кабельных каналов и бетонное основание для установки антенной мачты. Поверхность над объектом покрыта асфальтовой дорожкой. Вокруг растет густая многолетняя трава. Общая протяженность объекта достигает 170м. На рис.11 представлены радиолокационные изображения исследуемой территории, а также карта соответствующая участку радиолокационной съемки.

На сантиметровом радиолокационном изображении хорошо наблюдаются лишь поверхностные образования – растительность и т.п. На нем стрелкой показано место расположения подземного объекта. На дециметровом радиолокационном изображении наблюдаются лишь более крупные поверхностные образования – искусственные сооружения, кустарник, лес и т.п., трава в районе исследуемого объекта не видна, но сам объект также не виден. На метровом радиолокационном изображении наблюдаются подповерхностные объекты, а поверхностные образования – трава и т.п. не наблюдаются. Стрелкой показано изображение подземного объекта.

Проведенный эксперимент подтвердил возможность наблюдения «сильных» подповерхностных объектов (расположенных на глубине 3 – 4 метров) многочастотным радиолокационным способом в условиях черноземно-глинистых грунтов средней полосы.

Литература

1. *Финкельштейн М.И., Мендельсон В.Л., Кутев В.А.* Радиолокация слоистых земных покровов. -М.: Сов.радио, 1977. -174 с.
2. *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.
3. *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.
4. *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.
5. *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.
6. *Райз器 В.Ю., Зайцева И.Г., Анискеевич В.М., Эткин В.С.* Определение физических параметров морского льда по данным дистанционных СВЧ-измерений в диапазоне 0,3-18см // Исслед. Земли из космоса.-1985.-N1.-C.23-31.
7. *Брюховецкий А.С.* Некогерентное рассеяние радиоволн шероховатой слоистой почвой. Борновское приближение для ЭПР // Межвед. науч. –техн. совещание «Статистические методы и системы обработки данных дистанционного зондирования окружающей среды»: Тез.докл.(Минск, 1-3 ноября 1989 г.) Минск. Из-во БГУ, 1989.
8. *Заворотный В.У., Татарский В.И.* Эффект усиления обратного рассеяния волн на теле, расположенному вблизи случайной границы раздела двух сред // Докл. АН СССР. –1982. –Т. 265, №3. –С.608-611.
9. *Hoekstra P., Delaney A.* Dielectric properties of soils at UHF and microwave frequencies // J.Geophys.Res. –1974. –Vol. 79, N11, -P.1699-1708.
10. *Лещинский Ю.М., Лебедева Г.Н., Шумилин В.Д.* Электрические параметры песчаного и глинистого грунтов в диапазоне сантиметровых, дециметровых и метровых волн // Изв. вузов. Радиофизика. –1971. –Т.14, №4. –С.562-569.
11. *Кронберг П.* Дистанционное изучение Земли: Основы и методы дистанционных исследований в геологии: Пер. с нем.- М.: Мир,1988.-343 с.

12. Радиолокационные методы и средства оперативного дистанционного зондирования Земли с аэрокосмических носителей / Под редакцией С.Н. Конюхова, В.И. Драновского, В.Н. Цымбала - Киев, НТЦ «Авиадиагностка», изд. «Джулиа прнт», - 2007г. - 439с.
13. Kalmykov A.I., Tsymbal V.N., Matveev A.Ya., et al. The Two-Frequency Multipolarisation L/VHF Airborne SAR for Subsurface Sensing// Intern. J. of Electronics and Communications. -1996.- Vol.50, No 2. - P. 145-149.
14. Калмыков А.И., Цымбал В.Н., Курекин А.С., и др. Многоцелевой радиолокационный самолетный комплекс исследования Земли “МАРС”//Радиофизика и Радиоастрономия. -1998. -Т.3, №2.-С.119- 129.

Application of radiophysical methods and facilities for the remote sensing of subsuperficial objects from the SLAR of airplane-laboratory

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

¹*Institute for Radiophysics and Electronics, NASU
12 Proskura Str., Kharkov 61085, Ukraine,
E-mail: sey@ire.kharkov.ua*

²*Center for radiophysical sensing of the earth, NSA, 12 Proskura Str., Kharkov 61085,
Ukraine,
E-mail: matveyev@ire.kharkov.ua*

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

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