

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОЧВ НА ОБРАТНОЕ РАССЕЯНИЕ РАДИОВОЛН В САНТИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ

д.ф.-м.н. В.К. Иванов, к.ф.-м.н. С.Е. Яцевич

Представлены экспериментальные данные о характеристиках обратного рассеяния радиоволн открытыми почвами в сантиметровом диапазоне радиоволн при дистанционном зондировании с борта самолета.

Введение. Эффективное использование природных ресурсов и экологический мониторинг земной поверхности требуют разработки и введения в практику природопользования дистанционных методов определения характеристик почвенного покрова. Актуальность решения этих задач не вызывает сомнения, так как традиционные контактные измерения не обеспечивают получение информации с достаточной 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.

В многочисленном экспериментальных, проведенных во всем мире получен широкий спектр взаимосвязи характеристик радиосигналов с интегральными параметрами грунтов [1 – 4]. Однако эти исследования не охватывают всех условий наблюдения, разрознены по времени и географическими поясам, часто неподкреплены репрезентативными наземными измерениями. Поэтому на данном этапе установление взаимосвязей экспериментальных данных с параметрами почв и создание адекватных теоретических моделей есть один из перспективных путей интерпретации дистанционной информации.

Целью данной работы является получение информации о состоянии почв по данным радиолокационного зондирования тестовых полигонов, путем установления связей между рассеянным сигналом от грунта и его природными морфологическими характеристиками.

Результаты исследований. Радиолокационная съемка аграрных территорий была проведена с борта самолета ИРЭ НАНУ «МАРС» [5]

сантиметровом диапазоне радиоволн. Синхронно проведены полевые работы, включающие отбор проб грунта с их последующей камеральной обработкой.

При радиолокационных исследованиях сельскохозяйственных территорий ранней весной и поздней осенью приходится иметь дело преимущественно с полями, лишенными растительности. Шероховатость таких поверхностей определяется системой обработки пахотного слоя (вспаханные, боронованные, культивированные и засеянные поля), общей отличительной чертой которого является квазирегулярность поверхностных неровностей. Если при радиолокационной съемке направление обработки почвы неизвестно, то возникают неопределенности в трактовке результатов. Пример, иллюстрирующий это, приведен на рис. 1.

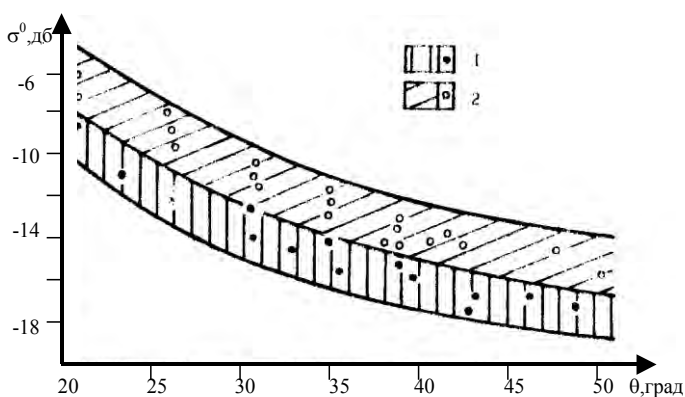


Рис. 1. Экспериментальные угловые зависимости УЭПР для боронованных полей с направлением борозд, параллельным (1) и перпендикулярным (2) направлением обзора

По данным [2] неопределенность из-за неизвестного направления обработки не создает заметных трудностей, так как первоначальная квазирегулярная структура поверхности со временем становится менее выраженной из-за замытости. Зависимость сохраняется, меняется лишь σ^0 . С этим выводом нельзя согласиться безоговорочно: по данным наших исследований, рядная структура полей в большинстве случаев сохраняется не только после дождя, но даже после таяния снежного покрова.

Радиолокационные изображения сельскохозяйственных площадей ранней весной характеризуются мозаичностью, обусловленной, главным образом, различиями обработки почвенного покрова, которая, в свою

очередь, определяется амплитудой и пространственным периодом поверхностных неровностей. На рис. 2 приведены экспериментальные угловые зависимости УЭПР для полей с различным обработанным почвенным покровом. Значения УЭПР в диапазоне углов визирования $25 - 40^\circ$ наиболее выровненной поверхности (засеянное поле) падает на 6,5 дБ, тогда как для вспаханных и боронованных полей эта величина не превышает 5 дБ, что подтверждает известные теоретические расчеты [6 – 9].

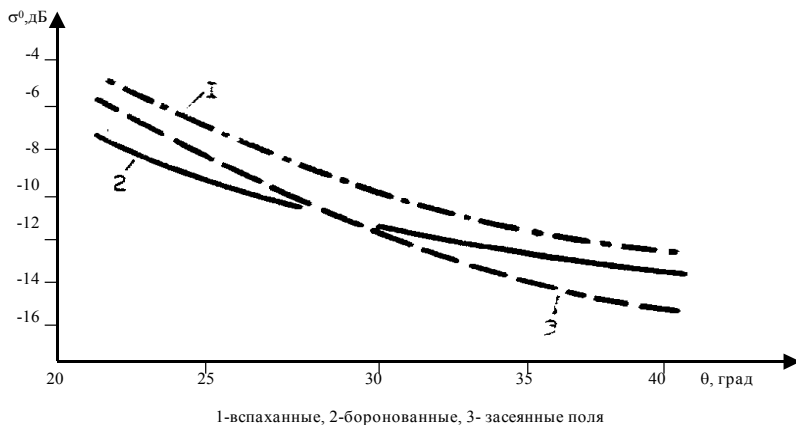


Рис. 2. Экспериментальные угловые зависимости УЭПР для полей с открытым почвенным покровом (направление обзора перпендикулярно бороздам обработки)

Автокорреляционные функции для различным образом обработанных полей при различном направлении обзора к азимуту вспашки представлены на рис. 3. Достаточно хорошо выделяются поля с направлением вспашки перпендикулярным обзору и засеянные поля со всходами озимых (поле 4с). Вторая группа полей, с меньшим радиусом корреляции, выделяется при съемке параллельно бороздам вспашки.

Корреляционный анализ геометрических и физико-химических параметров почвенного покрова, по данным наземных исследований (99 определений), обнаружил для УЭПР (в диапазоне углов визирования 30°) положительные коэффициенты корреляции со среднеквадратичными высотами неровностей поверхности. При этом, как видно из табл. 1, наиболее высокие связи характерны для среднеквадратичных высот неровностей, рассчитанных для направления, параллельного направлению облучения, хотя и значения, измеренные перпендикулярно квазирегулярным структурам полей, имеют значимый показатель корреляции с

УЭПР.

Из изученных физико-химических параметров почв линейную зависимость от значений УЭПР обнаруживают плотность и рН почвенных растворов.

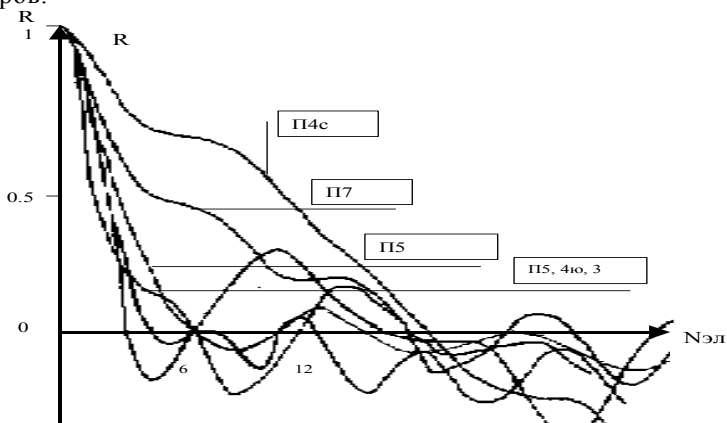


Рис. 3. Автокорреляционные функции для отраженных сигналов от полей с направлением борозд параллельно (п7, 4с) направлению обзора РБО и перпендикулярно ему (п3, 4ю, 5)

Таблица 1

Корреляционные связи УЭПР ($\theta = 30^\circ$) с физико-химическими и геометрическими параметрами почвенного покрова

	Влаж-ность	Мех. свойства	Eh	pH	Ca ²⁺	Минерализация	Na ⁺	ρ	$\sigma_r; \sigma_\perp$
r	-0,17	0,10	0,03	0,21	0,20	0,21	0,03	0,23	0,38; 0,31
T	1,65	0,98	0,26	2,13	1,99	2,08	0,27	2,27	3,96; 3,12

Примечание: если показатель значимости $T \geq 3$, то коэффициент корреляции отличается от нуля значимо (1 %), если $2 < T < 3$, то значимо (5 %), если $T \leq 2$, то незначимо.

Заключение. В результате проведенных исследований получены устойчивые зависимости между шероховатостью почвенного покрова и его физико-химическим составом с параметрами рассеянного сигнала. Результаты исследований являются базой для создания усовершенствованных математических моделей рассеяния радиоволн, а также послужат основой для интерпретации данных дистанционного зондирования в СВЧ диапазоне с аэрокосмических носителей.

Исследования, представленные в публикации, выполнены при частичной поддержке ДФФД Украины по планам работы по проекту

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ulaby F. T., Tahera E, Van Deventer, East J.R. Millimeter-Wave Bistatic Scattering From Ground and Vegetation Targets // IEEE Trans. Geosc. Remote Sens. – 1988. – V. 26, №3. – P.229 – 243.*
2. *Ulaby F.T., Buch T.F. Corn growth as monitored by radar. – IEEE Trans. Antennas Propagat. – 1976. – V. 24, № 6. – P. 819 – 828.*
3. *Яцевич С.Е., Ефимов В.Б., Цымбал В.Н и др. Исследование земельных ресурсов по материалам многочастотной радиолокационной съемки // Космічна наука і технологія. – 1999. – Т. 5., № 2/3. – С. 34 – 41.*
4. *Иванов В.К., Можжаев А.А., Силин А.О и др. Экспериментальные исследования взаимосвязи обратного рассеяния радиоволн с параметрами почвогрунтов при многочастотных методах радиолокационного зондирования // Системы обработки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2002. – Вип. 3 (19). – С. 265 – 267.*
5. *Калмыков А.И., Цымбал В.Н., Курекин А.С. и др. Многоцелевой радиолокационный комплекс исследования Земли “МАРС” // Радиофизика и радиоастрономия. – 1998. – Т.3, № 2. – С. 119 – 129.*
6. *Басс Ф.Г., Фукс И.М. Рассеяние волн на статистически неровной поверхности. – М., 1972. – 424 с.*
7. *Исимару А. Распространение и рассеяние волн в случайно неоднородных средах. Т.2. – М.: Мир, 1981. – 317 с.*
8. *Ulaby F.T., Moore R.K., Fung A.K. Microwave Remote Sensing: Active and Passive, From Theory to Applications / Dedham, MA: Artech House, 1986. – 2162 p.*
9. *Kulemin G. R., Shcherbinin I. V., Yatsevich S. E. et. al. Physical Principles of Microwave Remote Sensing of Terrains // Proc. of the 6th physics international school “Microwave physics and technique” – Varna (Bulgaria). – World Scientific Publ.Co. Singapore, Utopia Press. – 2 – 7 Oct. 1989. – P. 16 – 33.*

Поступила 18.04.2003

ИВАНОВ Виктор Кузьмич, доктор ф.-м. наук, ст. научн. сотр., зав. отд. ИРЭ НАНУ. Области научных интересов – дистанционное зондирование Земли с аэрокосмических носителей, радиолокация, радиотеплокация, обработка информации.

E-mail: ivanov@ire.kharkov.ua

ЯЦЕВИЧ Сергей Евгеньевич, канд. ф.-м. наук, научн. сотр. ИРЭ НАНУ. В 1981 году окончил ХГУ. Области научных интересов – дистанционное зондирование Земли с аэрокосмических носителей, радиолокация, радиотеплокация, обработка информации.

E-mail: sey@ire.kharkov.ua