

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОСВЯЗИ ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ РАДИОВОЛН С ПАРАМЕТРАМИ ПОЧВОГРУНТОВ ПРИ МНОГОЧАСТОТНЫХ МЕТОДАХ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

д.ф.-м.н. В.К. Иванов, к.ф.-м.н. А.А. Можаяев, А.О. Силин,
к.ф.-м.н. С.Е. Яцевич, Е.И. Яцевич

Рассмотрены вопросы возможностей получения информации о состоянии почв по данным многочастотного радиолокационного зондирования тестовых полигонов путём установления связей между рассеянным сигналом от грунта и его природными морфологическими характеристиками.

Радиолокационная съёмка аграрных территорий была проведена с борта самолёта лаборатории ИРЭ НАНУ «МАРС» [1] одновременно в см, дм и метровом диапазонах радиоволн. Синхронно проведены полевые работы, включающие отбор проб грунта и растительного покрова с их последующей камеральной обработкой. Параллельно проводились измерения и описание состояния и степени обработки полей (высота растений, площадь проективного покрытия, направление вспашки, глубина борозд, комковатость и пр.).

На тестовом участке было отобрано 12 контрольных площадок, которые характеризовали состояние земельных угодий на момент съёмки. Оценивались следующие параметры: плотность почвы (до глубины 50 см), содержание физической глины (до глубины 50 см), влажность почвы в % от массы и объема (до глубины 50 см). Использовались геоморфологические характеристики площадок (уклоны, экспозиции высот и пр.), а также такие показатели как ёмкость нанорельефа и максимальный размер глыб на полях.

Результаты обработки многочастотных радиолокационных данных и контактных параметров почв проводились методом парной корреляции и представлены в табл. 1, где **G** – содержание физической глины; **Wm** – влажность грунта в % от массы; **Vn** – ёмкость нанорельефа; **Wv** – влажность грунта в % от объема; **R** – размер комков, **ρ** – плотность грунта; **E** – экспозиция; **N** – наклон. Наибольшая корреляция рассеянного сигнала с плотностью грунта наблюдается на глубинах 0 - 10 и 10 - 20 см в сантиметровом и дециметровом диапазонах. В метровом диапазоне коэффициент корреляции составляет 0,53 - 0,56 для слоев 0 - 10, 10 - 20, 20 - 30 см. Таким образом, из всех характеристик грунта радиолокационные данные наиболее связаны с плотностью грунта в слое 0 - 10 см, причём этот показатель уменьшает своё влияние на отражательную способность по мере увеличения длины волны радиолокатора.

Наибольшая связь рассеянного сигнала с содержанием объёмной влаги наблюдается в слое 0 - 10 см для дециметрового (0.58) и метрового (0.41) диапазонов. В более глубоких слоях такая зависимость не наблюдается.

Таблица 1

Значения коэффициентов корреляции между данными РЛ съёмки и характеристиками почвогрунтов

	РБО-3	РСА-23	РСА-180		РБО-3	РСА-23	РСА-180
G ₀₋₂₀	0.05	0.15	0.31	Wv ₃₀₋₄₀	0.17	0.03	0.08
G ₂₀₋₄₀	0.01	0.09	0.27	ρ ₀₋₁₀	0.63	0.61	0.56
G ₄₀₋₆₀	0.01	0.11	0.28	ρ ₁₀₋₂₀	0.58	0.53	0.52
Wm ₀₋₁₀	0.27	0.06	0.28	ρ ₂₀₋₃₀	0.31	0.34	0.53
Wm ₁₀₋₂₀	0.53	0.31	0.33	ρ ₃₀₋₄₀	0.53	0.20	0.21
Wm ₂₀₋₃₀	0.41	0.42	0.43	Vn	0.25	0.34	0.43
Wm ₃₀₋₄₀	0.53	0.44	0.45	R	0.31	0.39	0.45
Wv ₀₋₁₀	0.28	0.58	0.41	E	0.10	0.09	0.06
Wv ₁₀₋₂₀	0.16	0.26	0.32	N	0.37	0.48	0.27
Wv ₂₀₋₃₀	0.02	0.12	0.23				

Обработка РЛИ позволила оценить связь рассеянного сигнала с содержанием влаги в грунте (в весовых процентах). Эта связь наиболее выражена в сантиметровом диапазоне на глубинах 10 - 20 и 30 - 40 см ($r = 0,53$).

Анализ приведённых в таблице данных показывает, что характеристики рельефа и шероховатости поверхности слабо коррелируют с данными РЛ зондирования. Слабая зависимость объясняется тем, что в данном эксперименте не проводились детальные измерения шероховатости поверхности, в масштабах, сравнимых с длиной радиоволны.

Для учёта комплекса показателей системы “почва-агрофон” использовалась модель, в основе которой лежит уравнение многомерной линейной пошаговой регрессии. Проводилось построение уравнения зависимости РЛ данных по каждому диапазону со следующими переменными: x_1 – объёмная влажность агрофона; x_2 – влажность растительности; x_3 – площадь проективного покрытия; x_4 – содержание физической глины на глубине 0 - 20 см.; x_5 – плотность почвы на глубине 0 - 10 см.

В ходе обработки были получены следующие уравнения регрессии:
 $Y_{см} = - 66,93 + 0,49x_1 - 0,65x_2 + 5,89x_4 - 147,89x_5$ ($R=0,89$; $R^2=0,79$); (1)
 $Y_{дм} = 145,7 - 1,03x_2 + 1,03x_3 - 96,42x_5 + 0,75x_1$ ($R=0,89$; $R^2=0,79$); (2)
 $Y_{м} = 35,7 - 0,27x_2 - 57,2x_5 + 1,54x_4 + 0,2x_1$ ($R=0,65$; $R^2=0,42$), (3)
 где $Y_{см}$, $Y_{дм}$, $Y_{м}$ – РЛ нормированная интенсивность в сантиметровом, дециметровом и метровом диапазонах радиоволн соответственно, R – множественный коэффициент корреляции, R^2 – коэффициент детерминации.

Второе направление дешифрирования РЛ снимков базировалось на использовании метода иерархического кластерного анализа. В качестве векто-

ров, описывающих многомерное пространство, выступали данные РЛ съемки в различных диапазонах радиоволн. Для исследования взаимосвязи РЛ данных с гранулометрическим составом почв были отобраны поля с «лёгкими почвами» (супесчаные и легкосуглинистые с содержанием физической глины 10 - 30 %) и «тяжёлые» (легкоглинистые и среднеглинистые с содержанием физической глины 60 - 85 %). Для заведомого исключения влияния растительности на отраженный сигнал использовались вспаханные и боронованные поля.

Обработка данных кластерным анализом показала, что при любой комбинации радиодиапазонов объекты разделяются на два кластера, однако точность классификации зависит от используемых комбинаций. Наилучшее распознавание происходит при использовании данных

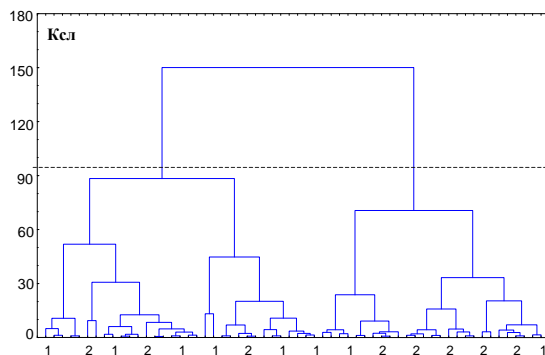


Рис. 1. Распределение грунтов по гранулометрическому составу 1

сантиметрового и дециметрового диапазонов (рис. 1, по данным РЛ съемки в см (I = 3 см), дм (I = 23 см) диапазонах волн; условные обозначения: 1 – "лёгкий" гранулометрический состав; 2 – "тяжёлый" гранулометрический состав; ---- – линия разделения дендрограммы на кластеры).

Исследования, представленные в публикации, выполнены при частичной поддержке ДФФД Украины по плану работы по проекту №Ф7/354-2001.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.

Поступила 27.05.2002

ИВАНОВ Виктор Кузьмич, доктор ф.-м. наук, ст. научн. сотр., зав. отделом ИРЭ НАНУ. Область научных интересов – дистанционное зондирование Земли радиофизическими методами, радиолокация, радиометеорология. E-mail: ivanov@ire.kharkov.ua .

МОЖАЕВ Александр Александрович, канд. ф.-м. наук, ст. научн. сотр., вед. научн. сотр. научного центра при ХВУ. Область научных интересов – проблемы распространения радиосигналов различных диапазонов в задачах дистанционного зондирования.

СИЛИН Александр Олегович, научн. сотр. ИРЭ НАНУ. В 1977 году окончил ХГУ. Область научных интересов – радиолокация, радиометеорология, дистанционное зондирование.

ЯЦЕВИЧ Сергей Евгеньевич, канд. ф.-м. наук, научн. сотр. ИРЭ НАНУ. Область научных интересов – дистанционное зондирование Земли с аэрокосмических носителей, радиолокация, теплорадиолокация, обработка информации. E-mail: sey@ire.kharkov.ua .

ЯЦЕВИЧ Елена Игоревна, мл. научн. сотр. ИРЭ НАНУ. В 1998 году окончила ХНУ.

Область научных интересов – дистанционное зондирование Земных покровов радиофизическими методами, исследование резонансов. E-mail: yal@ire.kharkov.ua .