

7. SP 31.13330.2012 Vodosnabzhenie. Naruzhnye seti i sooruzhe-nija. Aktualizirovannaja redakcija SNiP 2.04.02-84.
8. SP 32.13330.2012 "SNiP 2.04.03-85. Kanalizacija. Naruzhnye seti i sooruzhenija".
9. Zel'dovich Ja.B., Myshkis A.D. Jelementy prikladnoj matema-tiki. M. Izd-vo: "Nauka". 1972. 592 s.
10. Doochistka stochnyh vod na karkasno-zasypnyh fil'trah Sa-larskoj stancii ajeracii g.Tashkenta/ N.V. Kravcova, Ju.N. Golovenkov, G.V. Oficerova, Z.K. Coj // Ref. inf. CINIS. M. Gosstroj SSSR. 1976. N 12.
11. Kichigin V.I. Modelirovanie processov ochildki vody: ucheb-noe posobie. M.: Izd-vo ASV, 2003. 230 s.
12. Minc D.M. Teoreticheskie osnovy tehnologii ochildki vody. M.: Izdatel'stvo literatury po stroitel'stvu, 1964. 156 s.

УДК 528.873;631.6

КОМБИНИРОВАННЫЙ ДИСТАНЦИОННЫЙ МЕТОД ДВУХУРОВНЕВОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ В ЦЕЛЯХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАВОДНЕНИЙ

Р.М. Данзиев, К.Х. Исмаилов, Н.Г. Джавадов

Показана принципиальная неоднозначность результатов измерений влажности почвы с помощью инфракрасного радиометра. Составлена классификационная таблица качественных признаков функционирования инфракрасного спектрометра и микроволнового радиометра используемых для измерения влажности почвы. На базе составленной классификационной таблицы признаков предложен метод двухуровневого измерения влажности почвы с помощью комплекса аппаратуры, состоящего из спутника с инфракрасным радиометром и низколетящего легкомоторного самолета с микроволновым радиометром.

Ключевые слова: влажность почвы, дистанционное зондирование, радиометр, наводнение, спектр отражения.

Как отмечается в работе [1], наличие данных о влажности почвы, а также таких геореференсированных данных как измеренные лидаром сведения о рельефе местности позволяет в случаях наводнений осуществлять меры по обеспечению безопасности, а также предсказать возможные потери и разрушения. Следует отметить, что результаты дистанционного зондирования влажности почвы играют важную роль при оценке изменений водного цикла в гидросфере, биосфере, атмосфере и на поверхности Земли [2-4]. Информация о влажности почвы также важна для изучения динамики развития растительности, движения различных загрязнителей; распро-

странения тепловых потоков между атмосферой и земной поверхностью [5-9].

Для изучения влажности почвы, солености и температуры земной поверхности широко используются микроволновые радиометры. Хорошо известно, что электромагнитные волны миллиметрового и дециметрового диапазона составляют основу наиболее чувствительных к влажности и солености почвы и океанских вод методов дистанционного зондирования. Микроволновые измерители влажности обладают минимальной чувствительностью к воздействию радиационных потоков, исходящих от растительного покрова. Известны факты использования радиометров микроволнового диапазона в Российско – Болгарском спутнике Интеркосмос в 1981-м году, в программе SMOS ESA в 2007-м году, а также в спутнике Aquarius NASA в 2009-м году.

Вместе с тем, следует отметить, что спутниковые микроволновые радиометры имеют слишком низкое геометрическое разрешение, достигающее 50 – 60 км и практически не пригодны для проведения работ по прогнозированию наводнений.

Указанный недостаток исключается, если микроволновые радиометры установить на низколетящих самолетах или на вертолетах.

В работе [1] сообщается о разработке компании MIRAMAP, создавшей GNSS интегрированные микроволновые радиометры X, C и L диапазонов, позволяющих достичь пространственного разрешения на уровне 5 – 50 м. Согласно [1], существуют специальные алгоритмы, позволяющие извлечь показатели, характеризующие состояние почвы, воды и растительности из данных, полученных дистанционно, в ходе полета. При этом, для извлечения информации о влажности почвы используется формула Шутко и Роутова

$$\sqrt{\varepsilon} = \rho_w \cdot \sqrt{\varepsilon_w} + (1 - \rho_w) \cdot \sqrt{\varepsilon_d} \quad (1)$$

где

$$\varepsilon = \varepsilon' + i\varepsilon'' \quad (2)$$

$$\varepsilon_w = \varepsilon'_w + i\varepsilon''_w \quad (3)$$

ε – комплексная диэлектрическая проницаемость влажной почвы; ε_w – комплексная диэлектрическая проницаемость воды; ρ_w – относительное объемное содержание воды в почве.

Из формулы (1) находим

$$\rho_w = \frac{\sqrt{\varepsilon} - \sqrt{\varepsilon_d}}{\sqrt{\varepsilon_w} - \sqrt{\varepsilon_d}} \quad (4)$$

Таким образом формула (4) позволяет определить величину ρ_w в зависимости от σ_0 , σ_d .

Однако, использование легкомоторных самолетов или вертолетов на достаточно больших площадях также накладно и не обеспечивает опе-

ративный сбор информации. Оперативность сбора информации о влажности почвы с использованием малой авиации может быть достигнута при наличии специального наводящего источника, оперативно выявляющего потенциально опасные участки, подлежащие выборочному исследованию с помощью средств малой авиации. Очевидно, что такими средствами, определяющими потенциально опасные участки с высокой влажностью почвы могут стать спутниковые средства оснащенные сканирующими спектрометрами, работающими в инфракрасном диапазоне.

Несколько подробно рассмотрим специфику ИК зондирования почвы со спутников. Как отмечается в работе [10] спектральные свойства почвы в инфракрасном диапазоне определяются рядом факторов. Спектральное отражение почвы определяется такими факторами, как цвет, текстура, структура, минералогия, органические вещества, свободные карбонаты, соленость, влажность, наличие окисей железа и марганца.

Помимо вибрационного механизма поглощения существуют механизмы молекулярной ротации и переходов. Почвенная вода имеет абсорбционные пики на длинах волн 1450 нм, 1880 нм, 2660 нм. На рис. 1 приведены спектры поглощения воды и гидроксильных связей в почве.

Как наглядно показано на графиках, приведенных на рис. 1 полная величина перепада $\Delta_i, i = \overline{1,3}$, с увеличением влаги от 0,8 % до 20 % в составе почвы сначала растет в диапазоне 0,8 - 12,9 % до величины Δ_2 затем уменьшается в диапазоне 12,9 - 20,2 % до значения Δ_3 .

Аналогичный результат также получается при исследовании спектральных кривых отражения, приведенных на рис. 2 [11].

Как видно из данных, приведенных в табл. 2, значения Δ_i имеет максимум в зависимости от содержания воды в почве. Очевидно, что если дистанционное измерение количества влаги осуществлять на длине волны 1880 нм по признаку величины Δ_i можно столкнуться с неоднозначностью результата измерения. Так, например, при $\Delta_i = 1,7 \div 1,8$ невозможно определить каково содержание воды, 0,319 или 0,058. Следовательно, можно заключить, что спутниковое дистанционное измерение содержания влаги в почве на длине волны 1880 нм по признаку величины полного перепада (Δ_i) в принципе может дать недостоверный результат. Логически напрашивается вывод о том, что спутниковый измеритель содержания влаги в почве может быть использован только в качестве целеуказателя, т.е. обнаружителя мест, где значение Δ_i превышает определенное пороговое значение. Согласно данным, приведенным в табл. 2, таким пороговым значением может стать 1,65. При этом сигнал, полученный от спутникового измерителя, должен быть передан на центр обработки и управления, функцией которого является выработка команд управления для нижнего звена двухуровневого комплекса исследования количества влаги в почве. Таким

нижним звеном комплекса может стать низколетящий, легкомоторный самолет, оснащенный микроволновым радиометром.

Алгоритм функционирования предлагаемого метода построения комплекса дистанционного определения содержания влаги в почве показан на рис. 3.

Принцип работы комплекса заключается в следующем. Данные о местонахождении спутника, а также измерительные данные ИК спектрометра после выполнения условия предиката передаются в центр управления и обработки. Центр управления и обработки вырабатывает команду на проведение вертолетных измерений с помощью микроволнового радиометра в зонах выполнения условий предиката. Использование низколетящего авиационного средства в данном случае преследует две цели:

1. Устранение неоднозначности результатов измерений с помощью спутникового ИК спектрометра.

2. Реализация возможности оперативного управления по выбору почвенных участков на основе спутниковых данных.

Таким образом, можно сформулировать следующие основные выводы проведенного исследования:

1. Показана принципиальная неоднозначность результатов измерений влажности почвы с помощью инфракрасного радиометра.

2. Составлена качественная классификационная таблица признаков инфракрасного спектрометра и микроволнового радиометра в режиме измерения влажности почвы.

3. На базе качественной классификационной таблицы признаков предложен метод двухуровневого измерения влажности почвы с помощью комплекса аппаратуры, состоящего из спутника с инфракрасным радиометром и низколетящего легкомоторного самолета с микроволновым радиометром.

В табл. 1 приведены длины волн поглощения основных составляющих почвы по вибрационному механизму.

Таблица 1

Длины волн поглощения основных составляющих почвы по вибрационному механизму

Составляющая	Длина волны (нм) поглощения
1	2
H ₂ O (вибрационный механизм поглощения)	3106
	2903
	6080
	2770
	2200 (2300)
Окиси	5000
Гематиты	20000
Карбонаты	7000,11000,12000

Окончание табл. 1

1	2
Фосфаты	9250,10300,18000
Сульфаты	9000,10200, 16000, 22200
Гипс	1750, 2300
Силикаты	1000, 12000...15000

В табл. 2 приведены значения содержания воды в почве и соответствующие величины $\Delta_i, i = \overline{1,8}$.

Таблица 2

Значения содержания воды в почве и соответствующие величины

$$\Delta_i, i = \overline{1,8}$$

N	Содержание воды	Δ_i
1	2	3
1	–	1,65
2	0,319	1,7
1	2	3
3	0,239	1,9
4	0,167	2,15
5	0,102	2,15
6	0,058	1,8
7	0,022	0,95
8	–	0,7

Таблица 3

Качественная признаковая классификация

Признаки	Признаки	Разрешение	
	Свойства	Высокое	Низкое
Однозначность	Однозначно	Микроволновый радиометр на вертолете	Микроволновый радиометр на спутнике
	Неоднозначно	ИК спектрометр на спутнике	—
Охват территории	Широкий охват	ИК спектрометр на спутнике	Микроволновый радиометр на спутнике
	Неширокий охват	Микроволновый радиометр на вертолете	—

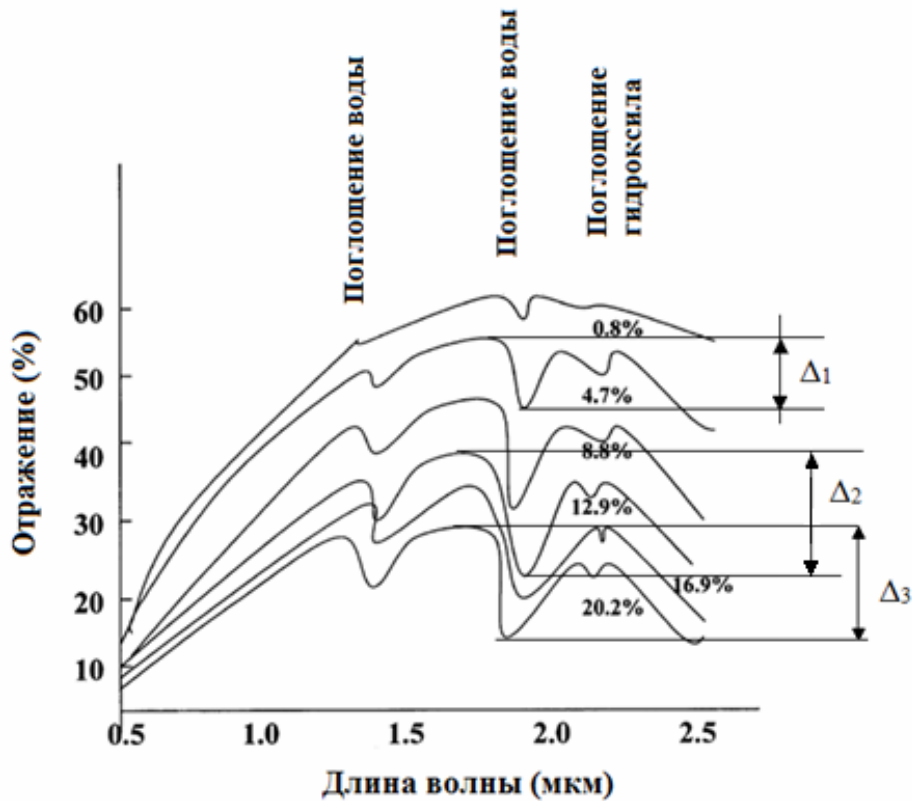


Рис. 1. Спектры отражения почвы с пиками поглощения на длинах волн 1450; 1880 и 2660 нм

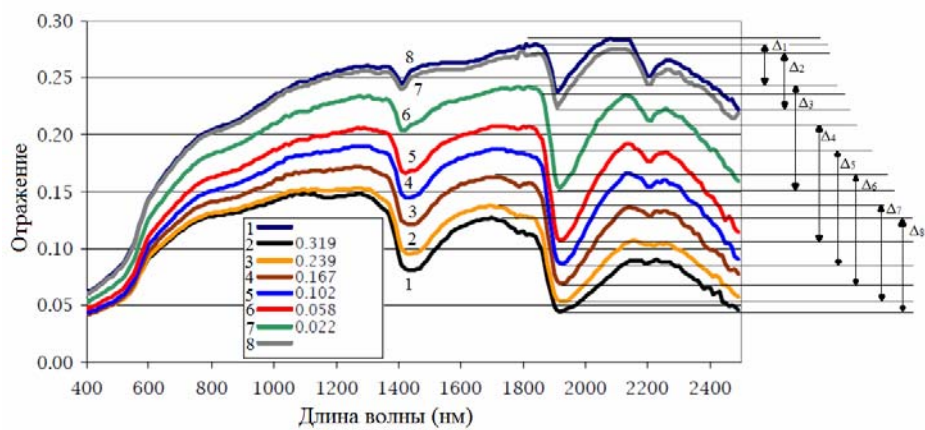


Рис. 2. Спектры отражения почвы типа Argic Aridisol в зависимости от содержания в ней влаги. Цифрами указаны: 1 – почва высушенная в печи; 8 – почва высушенная на воздухе; Δ_i – перепад амплитуды спектра поглощения в зоне 1880 нм

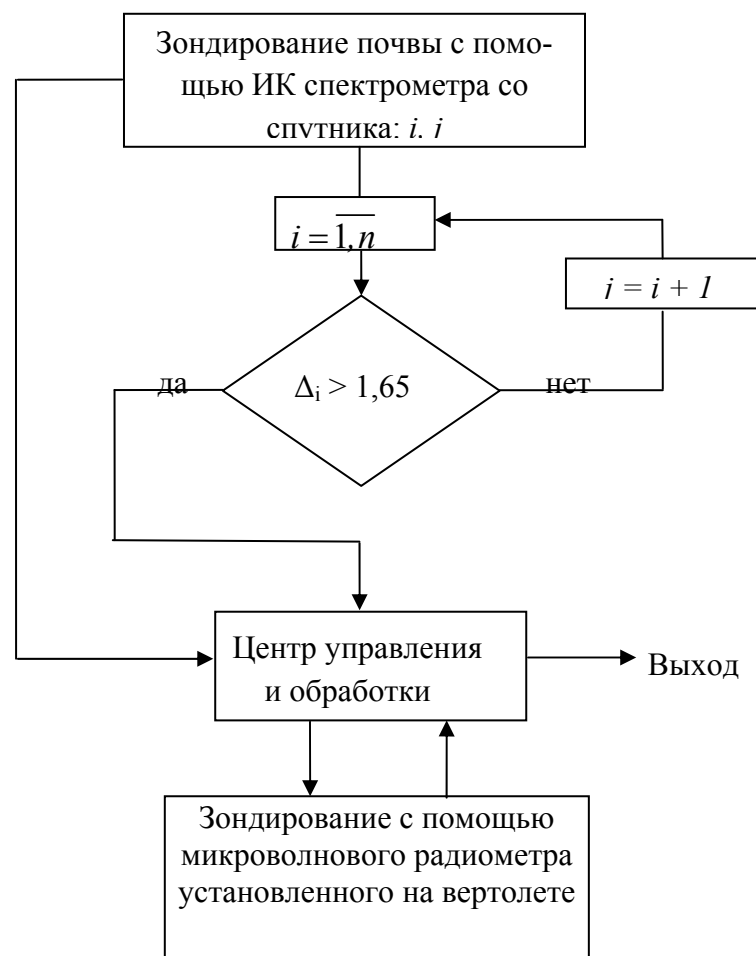


Рис. 3. Алгоритм функционирования предлагаемого метода построения комплекса дистанционного определения содержания влаги в почве

Логический вывод о необходимости построения двухуровневого комплекса обосновывается качественной признаковой классификацией показанной в табл. 3.

Список литературы

1. Weichelt H., Schmidt K., Shutko A., Reutov E., Ijash G., Jackson T., Schmutge T., Swift C., Pampaloni P., Paloscia S., Rao K. Progress and problems in microwave remote sensing of soil moisture (instruments and application). www.ispr.org/proceedings/XXIX/congress/part2/543_XXIX-part2.pdf
2. Moore R.J. Real-time flood forecasting systems: Perspectives and prospects. In: R. Casale and C. Margottini (eds), Floods and landslides: Integrated Risk Assessment, 1999, Chapter 11, 147-189, Springer.

3. Xu C.Y. Climate change and hydrologic models: A review of existing gaps and recent research developments. *Water Resources Management*, 13(5), P. 369-382.
4. Blyth E.M. Relative influence of vertical and horizontal processes in large – scale water and energy balance modeling. 2001. IAHS Publ. no. 270, P. 3-10.
5. Moore R.J. The probability – distributed principle and runoff production at point and basin scales. *Hydrological Sciences Journal*, 1985, 30(2), 273-297.
6. Todini E. The ARNO rainfall-runoff model. 1996. *Journal of Hydrology*, 175, P. 339-382.
7. Van Den Hurk B., Viterbo P., Beljaars A., Betts A. Offline validation of the ERA40 surface scheme. 2000. ECMWF Technical Memorandum No.295, P. 42.
8. Beljaars A.C.M., Viterbo P., Miller M.J., Betts A.K. The anomalous rainfall over the United States during July 1993: Sensitivity to land surface parameterization and soil moisture anomalies. 1996. *Monthly Weather Review*, 124(3), P. 362-383.
9. Viterbo P., Beljaars A.C.M. An improved land surface parameterization scheme in the ECMWF Model and its validation. 1995. *Journal of climate*, 8, 2716-2748.
10. Manchanda M.L., Kudrat M., Tiwari A.K. Soil survey and using remote sensing. *Tropical Ecology* 43(1): 2002. P. 61-74.
11. Philpot W. Spectral Reflectance of Wetted Soils. <http://www.asdi.com/getmedia/eeeb7ad1-c964-44fd-9404-d4870657e738/Spectral-Reflectance-of-Wetted-Soils.pdf.aspx>

Данзиев Рамал Мирзагасан оглы, асп., danziev1983@mail.ru, Азербайджан, Баку, Азербайджанский государственный архитектурный и государственный университет,

Исмаилов Камал Хейрадин оглы, д-р техн. наук, проф., kamalismailov@mail.ru, Азербайджан, Баку, Национальная академия авиации,

Джавадов Натиг Гаджи оглы, д-р техн. наук, проф., ген. директор, djavadov1955@mail.ru, Азербайджан, Баку, ПО «Промавтоматика»

*THE COMBINED REMOTE METHOD FOR TWO LEVEL DETERMINATION
OF THE SOIL HUMIDITY FOR FLOODING PREDICTION*

R.M. Danzиеv, K.Kh. Ismailov, N.H. Djavadov

The principal ambiguity of results of measurements of soil humidity using the infrared radiometer is shown. The classification table of qualitative signs of functioning of infra-

red spectrometer and microwave radiometer used for the soil humidity measurements is formed.

On the basis of the formed classification table the method for two – level measurements of the soil humidity realized by spaceborne infrared radiometer and airborne microwave radiometer is suggested.

Key words: soil humidity; remote sensing; radiometer; flooding; reflection spectrum.

Danziev Ramal Mirzagasiyn ogli, postgraduate, danziev1983@mail.ru, Azerbaijan, Baku, Azerbaijan University of Architecture and Construction,

Ismailov Kamal Heiraddin ogli, Doctor of Sciences, Full Professor, kamalismailov@mail.ru, Azerbaijan, Baku, National Academy of Aviation,

Djavadov Natig Gadji ogli, Doctor of Sciences, Full Professor, General Director, djavadov1955@mail.ru, Azerbaijan, Baku, PO “Promavtomatika”

Reference

1. Weichelt H., Schmidt K., Shutko A., Reutov E., Ijash G., Jackson T., Schmutge T., Swift C., Pampaloni P., Paloscia S., Rao K. Progress and problems in microwave remote sensing of soil moisture (instruments and application). www.ispr.org/proceedings/XXIX/congress/part2/543_XXIX-part2.pdf
2. Moore R.J. Real-time flood forecasting systems: Perspectives and prospects. In: R. Casale and C. Margottini (eds), Floods and landslides: In-tegrated Risk Assessment, 1999, Chapter 11, 147-189, Springer.
3. Xu C.Y. Climate change and hydrologic models: A review of exist-ing gaps and recent research developments. Water Resources Management, 13(5), R. 369-382.
4. Blyth E.M. Relative influence of vertical and horizontal processes in large – scale water and energy balance modeling. 2001. IAHS Publ. no. 270, R. 3-10.
5. Moore R.J. The probability – distributed principle and runoff pro-duction at point and basin scales. Hydrological Sciences Journal, 1985, 30(2), 273-297.
6. Todini E. The ARNO rainfall-runoff model. 1996. Journal of Hy-drology, 175, R. 339-382.
7. Van Den Hurk B., Viterbo P., Beljaars A., Betts A. Offline valida-tion of the ERA40 surface scheme. 2000. ECMWF Technical Memorandum No.295, R. 42.
8. Beljaars A.C.M., Viterbo P., Miller M.J., Betts A.K. The anoma-lous rainfall over the United States during July 1993: Sensitivity to land sur-face parameterization and soil moisture nanomalies. 1996. Monthly Weather Review, 124(3), R. 362-383.
9. Viterbo P., Beljaars A.C.M. An improved land surface parameteri-zation scheme in the ECMWF Model and its validation. 1995. Journal of climate, 8, 2716-2748.
10. Manchanda M.L., Kudrat M., Tiwari A.K. Soil survey and using remote sens-ing. Tropical Ecology 43(1): 2002. R. 61-74.
11. Philpot W. Spectral Reflectance of Wetted Soils. <http://www.asdi.com/getmedia/eeeb7ad1-c964-44fd-9404-d4870657e738/Spec-tral-Reflectance-of-Wetted-Soils.pdf.aspx>