

УДК 528.813 + 631.432.2

ВЛИЯНИЕ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ НА ВРЕМЕННУЮ ДИНАМИКУ ЯРКОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В МИКРОВОЛНОВОМ ДИАПАЗОНЕ*

П. П. Бобров¹, О. А. Ивченко¹, С. В. Кривальцевич²

¹Омский государственный педагогический университет
Россия, 644099, Омск, наб. Тухачевского, 14. E-mail: bobrov@omgpu.ru

²Омский научно-исследовательский институт приборостроения
Россия, 644009, Омск, ул. Масленникова, 231. E-mail: kriser2002@mail.ru

Приведены результаты исследования яркостной температуры почв на длинах волн 3,6, 5, 11 и 18 см. Показано, что различия в динамике яркостной температуры почв с различным засолением и содержанием гумуса объясняются различиями в шероховатости поверхности, в градиентах влажности и скорости высыхания после интенсивного увлажнения. Показаны возможности многочастотного радиометрического метода дистанционного зондирования для исследования почвенной структуры, определения некоторых почвенных гидрологических констант и глубины промерзания. Исследованы возможности оценки испарения с поверхности почв радиометрическим методом.

Ключевые слова: микроволновая радиометрия, засоление почв, гумус, испарение.

EFFECTS OF SOIL HYDROPHYSICAL PROPERTIES ON TEMPORAL DYNAMICS OF BRIGHTNESS TEMPERATURE WITHIN MICROWAVE RANGE

P. P. Bobrov¹, O. A. Ivchenko¹, S. V. Krivaltsevitch²

¹Omsk State Pedagogical University
14 Tukhachevskiy st., Omsk, 644099, Russia. E-mail: bobrov@omgpu.ru

²Omsk Scientific and Research Institute of Instrument Engineering
231 Maslennikov st., Omsk, 644009, Russia. E-mail: kriser2002@mail.ru

The results of the soils brightness temperature study at wavelengths 3.6, 5, 11 and 18 cm are presented. It is shown that differences in the dynamics of the brightness temperature of soils with different salinity and humus content can be explained by differences in the surface roughness, moisture gradients and drying speed after intensive irrigation. The possibilities of multi-frequency radiometric remote sensing technique for studying the soil structure, for determination of some soil hydrological constants and depth of freezing, are shown. Possibilities of evaporation estimating from the soil surface by radiometric remote sounding method are investigated.

Keywords: microwave radiometry, soil salinization, humus, evaporation.

Длительные многочастотные радиометрические наблюдения во время выпадения осадков, в процессах высыхания почвы, ее промерзания и оттаивания дают новую богатую информацию для гидрологии и климатологии. Те или иные особенности динамики коэффициента излучения участков различных почв, находящихся при таких условиях, определяются тремя основными причинами: различной динамикой влажности поверхностного слоя, различной степенью шероховатости поверхности и ее устойчивостью в различных погодных условиях и, наконец, различной температурой поверхностного слоя. Температура поверхностного слоя почв при одних и тех же метеоусловиях зависит от коэффициента отражения почв в видимом и ИК диапазонах, теплопроводности и теплоемкости. Эти теплофизические характеристики зависят как от свойств почвенной породы и содержания гумуса, так и от влажности почвы.

Динамика влагосодержания определяется двумя факторами – испарением с поверхности и подтягива-

нием к поверхности грунтовых вод. Испарение и вертикальные потоки влаги в почве во многом зависят от коэффициента влагопроводности почвы и водоудерживающей способности (капиллярно-сорбционного потенциала). Эти гидрофизические характеристики почв определяются, в основном, гранулометрическим и агрегатным составом (на них в значительной степени влияет содержание гумуса), плотностью и степенью засоления.

Структура поверхностных неровностей формируется на стадии механической обработки почвы. При обработке одними и теми же орудиями степень шероховатости сильно зависит от типа почвы, степени засоления и влажности на момент обработки. Степень устойчивости поверхностных неровностей к воздействию осадков, ветра и других факторов определяется структурой почвы, водоустойчивостью агрегатов, межагрегатной и внутриагрегатной пористостью. На эти свойства почв сильно влияют опять-таки гранулометрический состав и степень засоления.

* Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки в части проведения НИР.

Коэффициент излучения засоленной почвы после выпадения осадков изменяется медленно, что объясняется низким испарением из этой почвы из-за уменьшения пористости при набухании. В незасоленных почвах испарение выше, поэтому быстрее растет и коэффициент излучения [1]. Но наиболее сильный контраст яркостных температур засоленных и незасоленных почв наблюдается при отрицательных температурах ниже 0 °С, когда свободная вода в незасоленных почвах замерзает при температуре около 0 °С, а в засоленных – при температуре около –3...–4 °С.

Зависимости коэффициента излучения двух участков с разной степенью засоления S от температуры поверхностного слоя почвы, измеренные на длине волны 5 см приведены на рис. 1. Обращает на себя внимание значительный контраст яркостных температур около 55 К (контраст коэффициента излучения 0,2), существовавший на протяжении более двух часов при оттаивании почвы после ночного заморозка.

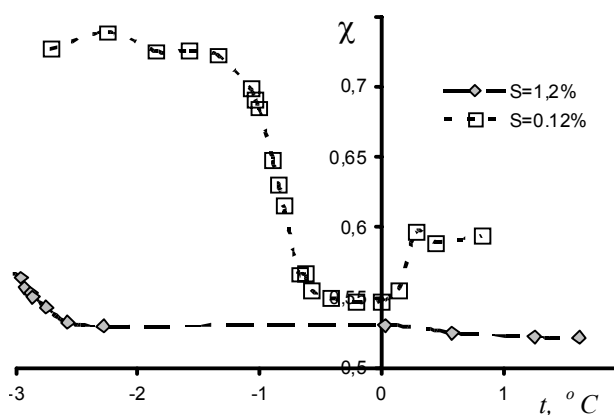


Рис. 1

Различия в структуре и водопрочности агрегатов почв с различным содержанием гумуса проявляются при сильном увлажнении после схода снежного покрова или после сильных дождей [2]. После таяния снежного покрова, когда почва достаточно длительное время находится в состоянии насыщения влагой, почвенные агрегаты из-за низкой водоустойчивости на поверхности почвы с малым содержанием гумуса почти полностью разрушаются, образуя более гладкую поверхность, чем почвы, богатые гумусом. Яркостная температура участка 2 с высоким содержанием гумуса (6,6 %) на длине волны 11 см примерно на 15 К превышает яркостную температуру участка 1 с низким содержанием гумуса (0,6 %), а на длине волны 3,6 см это превышение составляет 25–30 К (рис. 2).

Большая разность яркостных температур участка 2 на длинах волн 11 и 3,6 см свидетельствует о высоком градиенте влажности в поверхностном слое этой почвы. Градиент влажности, устанавливающийся в поверхностном слое почвы после интенсивного дождя или полива при значительном испарении, является информационным признаком, отражающим такие свойства почв, как пористость и влагопроводность. Значение градиента влажности можно оценить по значению

нормализованной разности яркостных температур на разных длинах волн:

$$NFI = (T_{\lambda 1} - T_{\lambda 2}) / (T_{\lambda 1} + T_{\lambda 2}),$$

где $T_{\lambda 1}$, $T_{\lambda 2}$ – яркостные температуры на длинах волн 11 и 3,6 см, соответственно [3].

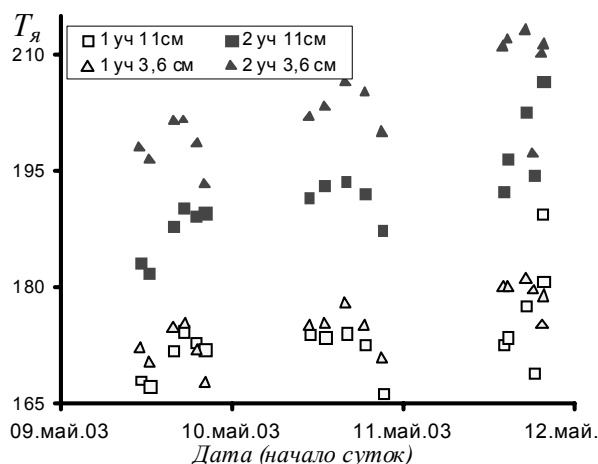


Рис. 2

Данные об изменении NFI двух почвенных участков с различным содержанием гумуса после полива слоем воды 18 мм приведены на рис. 3. Сплошной линией аппроксимированы данные для участка с высоким содержанием гумуса, штриховой – для участка с низким содержанием гумуса. Видно, что через сутки после полива установилось наибольшее различие в значениях NFI для разных почвенных участков. Положительному градиенту профиля влажности (возрастанию влажности с приближением к поверхности) соответствует положительная величина NFI . Почва с высоким содержанием гумуса обладает более высокой влагопроводностью, поэтому сразу после полива установился профиль с меньшим положительным градиентом, а в результате быстрого высыхания верхнего слоя через сутки установился отрицательный градиент.

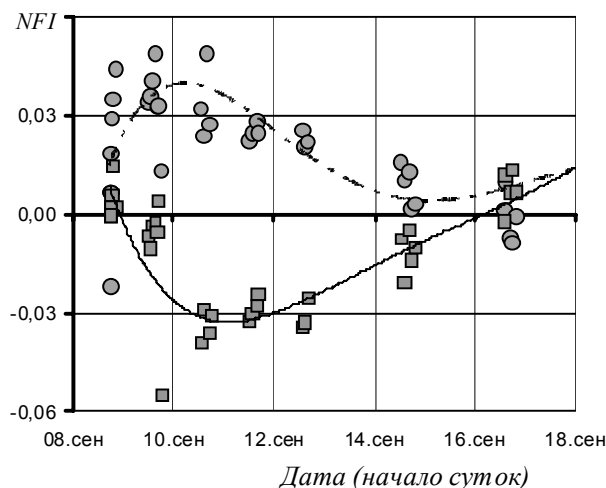


Рис. 3

Измерение яркостных температур и степени поляризации зенитного излучения на нескольких частотах позволяет определять профиль влажности в поверхностном слое [4; 5] и более точно определять влажность поверхностного слоя почв, а в случае проведения таких измерений в течение длительного времени вплотную подойти к решению задачи дистанционного определения испарения.

При невысоких температурных градиентах испарение можно рассчитать через плотность потока влаги в почве, определяемую обобщенным уравнением Дарси, которое в случае высокой влажности можно записать в виде

$$Q = -K \frac{\partial \Psi_c}{\partial W} \frac{\partial W}{\partial z}, \quad (1)$$

где K – коэффициент влагопроводности жидкой фазы, W – объемная влажность почвы; $\Psi = \Psi_c + gz$ – полный потенциал почвенной влаги (Ψ_c – капиллярно-сорбционный потенциал); z – вертикальная координата. При отсутствии гравитационной влаги $\Psi = \Psi_c$. Таким образом, уравнение (1) позволяет, измерив градиент влажности dW/dz в поверхностном слое почвы, определить поток влаги через поверхность (т. е. испарение), если известны гидрофизические характеристики почвы – K и $d\Psi/dz$ [6].

Преимуществом такого способа явилось бы определение испарения на момент измерения градиента влажности. В экспериментах, проводимых с использованием трех радиометров с длинами волн 3,6, 5 и 11 см, когда в течение суток проводилось измерение градиента влажности и определялось на этой основе интегральное испарение за сутки, не удалось получить хорошего совпадения с данными, полученными при прямых измерениях влажности в слое 0–50 см [6]. Причины кроются в невысокой точности дистанционного измерения градиентов влажности (погрешность 40–50 %) и косвенной оценке гидрофизических характеристик почвы через гранулометрический состав по приближенным формулам.

Возможен способ дистанционной оценки испарения через измерение динамики влажности в поверхностном слое. Здесь трудность заключается в том, что влажность радиометрическим методом измеряется в тонком поверхностном слое, а изменяется она при испарении в слое толщиной до 0,5–1 м. Расчеты с использованием модели движения почвенной влаги [7], показывают, что связь изменения влажности с полным испарением наиболее сильная в слое 0–1 см, но влажность в этом слое наиболее всего подвержена влиянию гидрофизических параметров почвы и начальных условий. Наиболее устойчивая связь при влажности 0,2–0,3 см³/см³ наблюдается в слое 0–6 см. Для определения влажности в этом слое рабочая длина радиометра должна выбираться в пределах 15–25 см, и данные аппарата SMOS вполне могут использоваться для этих целей.

Эксперимент проводился нами с использованием радиометра с длиной волны 18 см. Испарение измерялось через общее уменьшение влагозапаса в слое 0–50 см по результатам прямых измерений, производимых с периодичностью в 1–3-е суток. Связь испарения E

со скоростью изменения коэффициента излучения за соответствующие периоды приведена на рис. 4. Здесь по оси абсцисс отложены изменения коэффициента излучения $\Delta\chi$, деленные на время Δt , в течение которого эти изменения произошли.

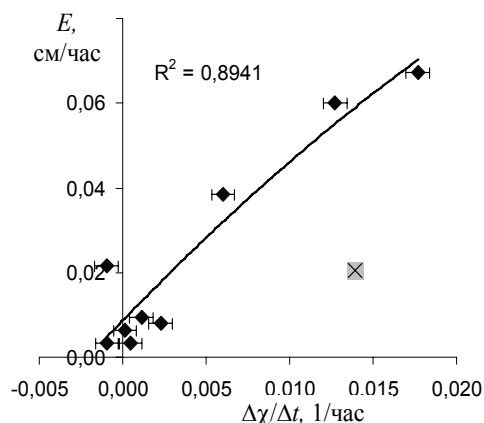


Рис. 4

Точки, сгруппированные вблизи начала координат, соответствующие малым значениям испарения, получены в сухой период. В некоторых случаях при достаточно большом среднем испарении изменения коэффициента излучения отрицательны. Это обусловлено тем, что при общем уменьшении влагосодержания слоя 0–50 см происходило увеличение влажности в тонком верхнем слое за счет выпадения росы или подтягивания влаги к поверхности в ночные часы. Большие значения испарения наблюдались в первые сутки после дождливого периода.

Из результатов эксперимента вытекает, что наиболее точно радиометрическим методом можно определять суточные значения испарения, если измерять коэффициент излучения в вечерние часы (за несколько часов до захода солнца) и сравнивать их с измерениями, производимыми в такое же время предыдущих суток. В эти часы испарение уже невелико, градиенты влажности в поверхностном слое немного уменьшены, но еще не начался подток влаги из нижних слоев.

Измеряя коэффициент излучения на одной частоте 6,9 или 1,4 ГГц при промерзании почвы, удастся определить не только влажность почвы, но и максимальное количество связанной воды [8], а также статистически связанные с ней гидрофизические параметры: влажность устойчивого завядания [9] и содержание физической глины [10]. Проведение поляризационных измерений на двух частотах 1,4 и 6,9 ГГц до и после промерзания позволяет определить не только диэлектрическую проницаемость почвы, но и толщину слоя промерзания [11].

Библиографические ссылки

1. Бобров П. П. Влияние различий в структуре засоленных и незасоленных почв на собственное СВЧ-излучение // Исслед. Земли из космоса. 1999. № 5. С. 83–87.

2. Бобров П. П., Галеев О. В. Динамика радиояростной температуры почв с различным содержанием гумуса // Исслед. Земли из космоса. 2001. № 4. С. 74–80.

3. Бобров П. П., Ивченко О. А., Кривальцевич С. В. Исследование почвенной структуры методом двухчастотной микроволновой радиометрии // Исслед. Земли из космоса. 2005. № 2. С. 82–88.

4. Особенности сверхвысокочастотного излучения периодическими неровных почв / П. П. Бобров, Т. А. Беляева, Ю. К. Шестопалов, И. М. Щеткин // Радиотехника и электроника. 2000. № 10. С. 1059–1067.

5. Beljaeva T. A., Bobrov P. P., Ivchenko O. A. Radiohydrophysical model of evaporation of soils moisture // XIV Intern. Symp. Atmospheric and Ocean Optics. Atmospheric Physics : abstracts / Institute of Atmospheric Optics SB RAS. Tomsk, 2007. P. 213.

6. Оценка тепловых потоков при испарении с поверхности почв по метеорологическим параметрам и микроволновой радиометрии / А. Л. Афанасьев, П. П. Бобров, О. А. Ивченко, С. В. Кривальцевич // Естественные науки и экология : межвуз. сб. науч. тр. Вып. 8. Кн. 1. Омск : Изд-во ОмГПУ. 2004. С. 3–6.

7. Бобров П. П. Исследование испарения, влажности и структуры поверхностного слоя почв дистанционными микроволновыми методами // Почвоведение. 2000. № 5. С. 574–578.

8. Яценко А. С., Бобров П. П., Миронов В. Л. Дистанционный радиометрический метод определения некоторых почвенных гидрологических констант // Известия вузов. Физика. 2008. № 9/2. С. 105–110.

9. Пат. 2331062 С1 Российская Федерация, МПК G01N 22/04 / Бобров П. П., Миронов В. Л., Яценко А. С., заявитель и патентообладатель ИФ СО РАН – № 2006135882/09; заявл. 10.10.06; опубл. 10.08.08, Бюл. № 22.

10. Пат. 2411505 С2 Российская Федерация, МПК G01N 22/04 / Миронов В. Л., Бобров П. П., заявитель и патентообладатель ИФ СО РАН. № 2009108599/08; заявл. 10.13.2009; опубл. 10.02.2011, Бюл. № 4.

11. Бобров П. П., Миронов В. Л., Яценко А. С. Суточная динамика радиояростных температур почв на частотах 1,4 и 6,9 ГГц в процессах промерзания и оттаивания // Радиотехника и электроника. 2010. № 4. С. 424–431.

References

1. Bobrov P. P. Issled. Zemli iz kosmosa. 1999, no. 5, pp. 83–87.

2. Bobrov P. P., Galeyev O. V. Issled. Zemli iz kosmosa. 2001, no. 4, pp. 74–80.

3. Bobrov P. P., Ivchenko O. A., Krivaltsevich S. V. Issled. Zemli iz kosmosa. 2005, no. 2, pp. 82–88.

4. Bobrov P. P., Belyayeva T. A., Shestopalov Yu. K., Shchetkin I. M. Radiotekhnika i elektronika. 2000, no. 10, pp. 1059–1067.

5. Beljaeva T. A., Bobrov P. P., Ivchenko O. A. XIV International Symposium. Atmospheric and Ocean Optics: Abstracts. – Tomsk: Institute of Atmospheric Optics SB RAS. 2007, pp. 213.

6. Afanasyev A. L., Bobrov P. P., Ivchenko O. A., Krivaltsevich S. V. Yestestvennyye nauki i ekologiya. Vol. 8, Kn. 1. Omsk : OmGPU. 2004, pp. 3–6.

7. Bobrov P.P. Eurasian Soil Science. 2000, no. 5, pp. 501–505.

8. Yashchenko A. S., Bobrov P. P., Mironov V. L. Izvestiya vuzov. Fizika. 2008, no. 9/2, pp.105–110.

9. Pat. 2331062 C1 RF, MPK G01N 22/04. Bobrov P. P., Mironov V. L., Yashchenko A. S., zayavitel i patentoobladatel IF SB RAS – № 2006135882/09; zayavl. 10.10.06; opubl. 10.08.08, Byul. no. 22, 7 p.

10. Pat. 2411505 C2 RF, MPK G01N 22/04. Mironov V. L., Bobrov P. P., zayavitel i patentoobladatel IF SB RAS. № 2009108599/08; zayavl. 10.13.2009; opubl. 10.02.2011, Byul. no. 4, 11 p.

11. Bobrov P. P., Mironov V. L., Yashchenko A. S. Journal of Communications Technology and Electronics, 2010, vol. 55, no. 4, pp. 395–402.

© Бобров П. П., Ивченко О. А., Кривальцевич С. В., 2013

УДК 535.391.4

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ РАДИОЯРОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ТЕРРИТОРИИ БУРЯТИИ КОСМИЧЕСКИМ РАДИОМЕТРОМ SMOS*

П. Н. Дагуров, А. В. Дмитриев, А. В. Базаров, С. Б. Раднаева

Институт физического материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук
Россия, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6. E-mail: dprn@ipms.bsnet.ru

Приведены результаты исследования радиояростной температуры на территории Бурятии по данным космического микроволнового радиометра SMOS/MIRAS. В качестве примера рассмотрены точки, одна из которых находится на акватории оз. Байкал, а другая располагается вблизи озера. Представлены результаты, полученные в летний и зимний период. Показано, что наблюдается значительное расхождение расчета и эксперимента для точки на поверхности оз. Байкал, более удовлетворительное соответствие для точки на суше и хорошее соответствие для контрольной точки, расположенной в экваториальных водах. Сделан вывод о достоверности результатов, получаемых радиометром.

Ключевые слова: SMOS, радиометр, микроволны, радиояростная температура.

* Работа выполнена при частичной поддержке грантами РФФИ № 12-05-980622-р_сибирь_а, РФФИ № 13-08-01132, интеграционным проектом СО РАН № 73.