

• в состав проектов внутрихозяйственного землеустройства ввести обязательные разделы участкового землеустройства по вопросам: противоэрозионной организации территории; рекультивации заросших лесом участков, а также мелиорации земель с повышенной кислотностью.

Заключение

Проведение этих мероприятий в составе регионального землеустройства Присалаирской зоны Алтайского края, на наш взгляд, позволит во многом приостановить прогрессивно развивающиеся процессы деградации почвенного покрова, улучшить контроль за использованием земель, повысить продуктивность сельскохозяйственного производства.

Библиографический список

1. Указ Президента РФ от 01.04.1996 N 440 «О Концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию».
2. Занин Г.В. Геоморфология Алтайского края // Природное районирование Алтайского края. – М.: Изд-во АН СССР, 1958. – 187 с.
3. Агроклиматический справочник по Алтайскому краю. – Л.: Гидрометеиздат, 1957. – 214 с.
4. Бурлакова Л.М., Татринцев Л.М., Рассыпнов В.А. Почвы Алтайского края: учеб. пособие. – Барнаул: АСХИ, 1988. – 69 с.
5. Ерёмин Е.А. Охрана и использование земель сельскохозяйственного назначения в Присалаирской лесостепи: автореф. дис. ...

канд. с.-х. наук. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2009. – 17 с.

6. Волков С.Н. Региональное землеустройство. – М.: Колос, 2009. – Т. 9. – 597 с.

7. Каминский В.Ф., Литвинов Д.В., Шаронова Н.Л. Биологический круговорот органического вещества и элементов питания в короткоротационных севооборотах // Достижения науки и техники АПК. – 2014. – № 3. – С. 11-15.

References

1. Ukaz Prezidenta RF ot 01.04.1996 N 440 «O Kontseptsii perekhoda Rossiiskoi Federatsii k ustoychivomu razvitiyu».
2. Zanin G.V. Geomorfologiya Altaiskogo kraja // Prirodnoe raionirovanie Altaiskogo kraja. – M.: Izd-vo AN SSSR, 1958. – 187 s.
3. Agroklimaticheskii spravochnik po Altaiskomu kraju. – L.: Gidrometeoizdat, 1957. – 214 s.
4. Burlakova L.M., Tatrintsev L.M., Rassypnov V.A. Pochvy Altaiskogo kraja: ucheb. posobie. – Barnaul: ASKhl, 1988. – 69 s.
5. Eremin E.A. Okhrana i ispol'zovanie zemel' sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya v Prisalairskoi lesostepi: avtoref. diss. ... kand. s.-kh. nauk. – Barnaul: Izd-vo AGAU, 2009. – 17 s.
6. Volkov S.N. Regional'noe zemleustroistvo. T.9. – M.: Kolos, 2009. – 597 s.
7. Kaminskii V.F., Litvinov D.V., Sharonova N.L. Biologicheskii krugovorot organicheskogo veshchestva i elementov pitaniya v korotkorotatsionnykh sevooborotakh // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. – 2014. – № 3. – S. 11-15.



УДК 631.425.2

А.Г. Болотов
A.G. Bolotov

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД ПОДЪЕМА КАПИЛЛЯРНОЙ КАЙМЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНТАКТНОГО УГЛА СМАЧИВАНИЯ В ПОЧВЕ

MODIFIED CAPILLARY RISE METHOD FOR CONTACT ANGLE DETERMINATION IN SOIL

Ключевые слова: почва, контактный угол смачивания, почвенный влагомер, объемная влажность почвы.

Гидрофобность почвы влияет на инфильтрацию, испарение, устойчивость к эрозии и гидрологический баланс почв. Водоотталкивающие свойства почвы проявляются в том случае, когда притяжение между молекулами твердой и жидкой фазы незначительное. Одним из распространенных методов для измерения гидрофобности почв является метод капиллярного поднятия, основанный на измерении прироста массы образца пористого материала в результате капиллярных явлений и ад-

сорбции жидкости. Предложен модифицированный метод подъема капиллярной каймы, позволяющий определять контактный угол смачивания почвы с применением диэлькометрической влагометрии. Для апробации предложенного метода были проведены измерения контактного угла в черноземе южном легкосуглинистом. Полученные экспериментальные данные согласуются с данными из литературных источников. Применение частотной диэлькометрии упростит проведение эксперимента и дает возможность создания многоканального автоматизированного комплекса, который позволит исследовать явление капиллярного подъема на нескольких почвенных образцах одновременно, что

открывает новые возможности для исследования порового пространства, структурной неоднородности почвы и ее архитектуры как функции гидрофобности рассматриваемых почв.

Keywords: soil, contact angle, soil moisture meter, volumetric soil moisture.

Soil hydrophobicity affects soil infiltration, evaporation, erodible resistance and hydrologic balance. Soil moisture-repellant properties are revealed in the case when the molecular attraction of the solid and liquid phases is inconsiderable. A common method of measuring soil hydrophobicity is a capillary rise method based on measuring the weight gain of a

porous material sample caused by capillary occurrence and liquid adsorption. This work proposes a modified capillary rise method which enables determining the contact angle using dielectric moisture metering. To validate the proposed method, we measured the contact angle in the southern light loamy chernozem. The obtained experimental data are consistent with the literature data. The use of frequency dielectricometry simplifies the experiment and enables creating multichannel automated system to simultaneously investigate the occurrence of capillary rise in several soil samples; that opens new possibilities for studying pore space, soil structural heterogeneity and soil architecture as a hydrophobicity function of the studied soils.

Болотов Андрей Геннадьевич, к.с.-х.н., доцент, каф. физики, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-53. E-mail: agbolotov@gmail.com.

Bolotov Andrey Gennadyevich, Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Physics Dept., Faculty of Natural Resources Mgmt., Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-53. E-mail: agbolotov@gmail.com.

Введение

Гидрофобность почвы влияет на инфильтрацию, испарение, устойчивость к эрозии и гидрологический баланс почв [1-4]. Водоотталкивающие свойства почвы проявляются в том случае, когда притяжение между молекулами твердой и жидкой фазы незначительное [5, 6]. Одним из распространенных методов для измерения гидрофобности почв является метод капиллярного поднятия [3, 7], основанный на измерении прироста массы образца пористого материала в результате капиллярных явлений и адсорбции жидкости. Метод применим ко всем образцам, в том числе угол смачивания которых больше 90°, что является преимуществом перед другими методами.

Определение контактного угла смачивания методом подъема капиллярной каймы, как правило, проводят на экспериментальной установке, которая позволяет измерять изменение массы жидкости в колонке по закону:

$$m_{жс}^2 = \frac{c\rho_{жс}^2\sigma t \cos \vartheta}{\eta}, \quad (1)$$

где c – геометрический фактор, m^5 ;

$\rho_{жс}$ – плотность жидкости, $кг \cdot м^{-3}$;

η – вязкость жидкости, $Па \cdot с$;

ϑ – контактный угол;

σ – поверхностное натяжение жидкости на границе с воздухом, $Н \cdot м^{-1}$ [8].

Множитель c определяется независимо с использованием референсного раствора, например, октана, который полностью смачивает почву ($\vartheta = 0$, $\cos \vartheta = 1$).

Применение частотной диэлектрики упрощает проведение данного эксперимента и дает возможность создания многоканально-

го автоматизированного комплекса, который позволит исследовать явление капиллярного подъема на нескольких образцах одновременно, что открывает новые возможности для исследования порового пространства, структурной неоднородности почвы и ее архитектуры как функции гидрофобности рассматриваемых почв.

Целью исследований была модификация метода подъема капиллярной каймы для определения контактного угла смачивания почв с применением диэлектрической влагометрии. В **задачи** исследований входило: вывод рабочей формулы метода капиллярной каймы при использовании диэлектрической влагометрии и апробация модифицированного метода при измерении контактного угла в почвах Алтайского края.

Объекты и методы

На начальном этапе исследования были проведены измерения контактного угла смачивания электронным частотно-диэлектрическим (FD) влагомером-логгером E+soil MCT, производства фирмы Eijkelkamp Agrisearch Equipment. Данный прибор позволяет регистрировать значения объемной влажности во времени с записью во внутреннюю память и последующим копированием массива экспериментальных данных в компьютер. Исследования проводили на высушенных образцах чернозема южного легкосуглинистого естественного сложения, помещенных в полипропиленовые цилиндры-колонки.

Экспериментальная часть и обсуждение результатов

Перепишем формулу (1) расчета контактного угла смачивания, определяемого мето-

дом подъема капиллярной каймы, для случая измерения объемной влажности почвы:

$$\cos \vartheta = \frac{m_{ж}^2}{\rho_{ж}^2} \cdot \frac{\eta}{t \cdot \sigma \cdot c}, \quad (2)$$

$$V_{ж} = \frac{m_{ж}}{\rho_{ж}} \quad \theta = \frac{V_{ж}}{V_{почвы}}$$

учитывая, что $\rho_{ж}$ и $V_{почвы}$ [9], получим рабочую формулу для определения контактного угла смачивания:

$$\cos \vartheta = \theta^2 \cdot V_{почвы}^2 \cdot \frac{\eta}{t \cdot \sigma \cdot c}, \quad (3)$$

применительно к цилиндрическому образцу:

$$\cos \vartheta = \frac{\pi^2 \theta^2 D^4 h^2 \eta}{16 t \sigma c}, \quad (4)$$

где ϑ – контактный угол;

θ – объемная влажность, измеренная влагомером, m^3/m^3 ;

D и h – диаметр и высота образца, м;

η – вязкость жидкости, Па·с,

$\eta_{H_2O} = 8,9 \cdot 10^{-4}$ Па·с;

t – время, с;

σ – поверхностное натяжение жидкости на границе с воздухом, $H \cdot m^{-1}$,

$\sigma_{H_2O} = 71,99 \cdot 10^{-3}$ $H \cdot m^{-1}$;

c – геометрический фактор, m^5 .

Для автоматизированного многоканального комплекса используется набор измерительных диэлектрических ячеек, представляющих собой полипропиленовые цилиндры, на внутренних стенках которых размещены по две полусферических обкладки воздушных фольговых конденсаторов, подключенных к соответствующим автогенераторным преобразователям, частотные выходы которых подключены к входу многоканального частотомера. Реализация частотомера на основе однокристалльной микроЭВМ (микроконтроллера) позволяет использовать калибровку и расчетную зависимость вида $m = k \cdot Cod$, где m – функция кода Cod , полученного частотомером. Калибровочный эксперимент выглядит следующим образом. Дизелькометрический датчик заполняется постоянным, равномерным потоком воды, с синхронной записью массы воды m или объемной влажности θ (в зависимости от используемого влагомера) и Cod с получением коэффициента k для воды и референсного раствора. При исследовании архитектуры почвы в лабораторных условиях образцы, помещаемые в дизелькометрические датчики, отбираются по сетке с необходимым масштабом. В полевых условиях датчики пространственно размещаются в

почвенной толще, с учетом целей эксперимента, при этом с затруднением обеспечения капиллярного увлажнения водный раствор подается с верхней границы почвенного горизонта, что диктует необходимость учета гравитационного фактора.

Для апробации модифицированного метода были проведены измерения контактного угла в черноземе южном легкосуглинистом (рис. 1, 2).

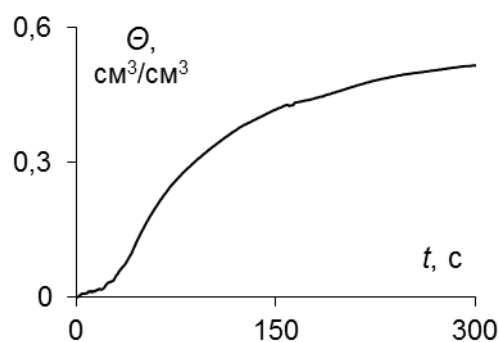


Рис. 1. Кривая водопоглощения гумусово-аккумулятивного горизонта чернозема южного легкосуглинистого во времени

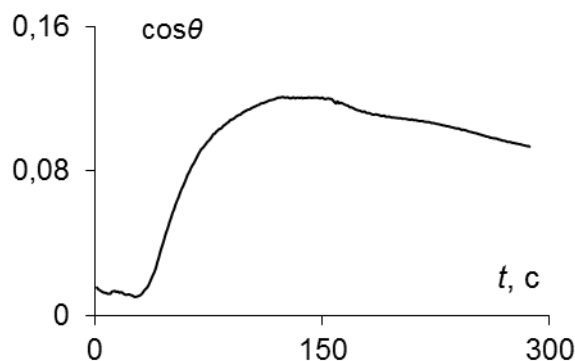


Рис. 2. Значения косинуса контактного угла смачивания ($\cos \vartheta$) гумусово-аккумулятивного горизонта чернозема южного легкосуглинистого в течение времени проведения эксперимента

Критерий выбора расчетной точки основан на определении точки расхождения линейного участка кривой водопоглощения $\vartheta(t)$ при проведении касательной к этой кривой. Для рассмотренного примера значение $\cos \vartheta = 0,12$ принимается за искомое, при этом $\vartheta = 83,1^\circ$, что соответствует литературным данным [8, 10, 11].

Выводы

Модификация метода подъема капиллярной каймы позволила определить контактный угол смачивания почвы с применением диэлькометрической влагометрии, что намного упрощает и позволяет расширить возможности проведения эксперимента по определению вышеуказанной величины.

Библиографический список

1. Feng G.L., Letey J., Wu L. 2001: Water ponding depths affect temporal infiltration rates in a water-repellent sand // *Soil Sci. Soc. Am. J.* – 2001. – Vol. 65 (2). – P. 315-320.
2. Wallis M.G., Scotter D.R., Horne D.J. An evaluation of the intrinsic sorptivity water repellency index on a range of New Zealand soils // *Aust. J. Soil Res.* – 1991. – Vol. 29. – P. 353-362.
3. Wallis M.G., Horne D.J. Soil water repellency // *Adv. Soil Sci.* – 1992. – Vol. 20. – P. 91-146.
4. Тихончук П.В., Хайрулина Т.П. Влияние влажности почвы на антиоксидантную систему защиты сои // *Достижения науки и техники АПК.* – 2014. – № 7. – С. 11-13.
5. Heslot F., Cazabat A.M., Levinson P., Fraysse N. Experiments on wetting on the scale of nanometers: Influence of the surface energy // *Phys. Rev. Lett.* – 1990. – Vol. 65. – P. 599-602.
6. Roy J.L., McGill W.B. Assessing soil water repellency using the molarity of ethanol droplet (MED) test // *Soil Sci.* – 2002. – Vol. 167. – P. 83-97.
7. Милановский Е.Ю. Гумусовые вещества почв как природные гидрофобно-гидрофильные соединения. – М.: ГЕОС, 2009. – 188 с.
8. Leelamanie D.A.L., Karube J., Yoshida A. Characterizing water repellency indices: Contact angle and water drop penetration time of hydrophobized sand // *Soil Science and Plant Nutrition.* – 2008. – No. 3. – Vol. 54 (2). – P. 179-187.
9. Шейн Е.В. Курс физики почв: учебник. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 432 с.
10. Grant S.A., Bachmann J. Effect of temperature on capillary pressure. – In: *Geophysical Monograph Series, Volume 129. Environmental Mechanics: Water, Mass and Energy Transfer in the Biosphere.* Eds.: P.A.C. Raats, D. Smiles, A.W. Warrick. Washington, D.C.: American Geophysical Society.

11. Wessel A.T. On using the effective contact angle and the water drop penetration time for classification of water repellency in dune soils // *Earth Surf. Processes and Landforms.* – 1988. – Vol. 13 (6). – P. 555-561.

References

1. Feng G.L., Letey J., Wu L. 2001: Water ponding depths affect temporal infiltration rates in a water-repellent sand // *Soil Sci. Soc. Am. J.* – 2001. – Vol. 65 (2). – P. 315-320.
2. Wallis M.G., Scotter D.R., Horne D.J. An evaluation of the intrinsic sorptivity water repellency index on a range of New Zealand soils // *Aust. J. Soil Res.* – 1991. – Vol. 29. – P. 353-362.
3. Wallis M.G., Horne D.J. Soil water repellency // *Adv. Soil Sci.* – 1992. – Vol. 20. – P. 91-146.
4. Tikhonchuk P.V., Khairulina T.P. Vliyanie vlazhnosti pochvy na antioksidantnyuyu sistemu zashchity soi // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK.* – 2014. – № 7. – S. 11-13.
5. Heslot F., Cazabat A.M., Levinson P., Fraysse N. Experiments on wetting on the scale of nanometers: Influence of the surface energy // *Phys. Rev. Lett.* – 1990. – Vol. 65. – P. 599-602.
6. Roy J.L., McGill W.B. Assessing soil water repellency using the molarity of ethanol droplet (MED) test // *Soil Sci.* – 2002. – Vol. 167. – P. 83-97.
7. Milanovskii E.Yu. Gumusovye veshchestva pochv kak prirodnye gidrofobno-gidrofil'nye soedineniya. M.: GEOS, 2009. – 188 s.
8. Leelamanie D.A.L., Karube J., Yoshida A. Characterizing water repellency indices: Contact angle and water drop penetration time of hydrophobized sand // *Soil Science and Plant Nutrition.* – 2008. – No. 3. – Vol. 54 (2). – P. 179-187.
9. Shein E.V. Kurs fiziki pochv: uchebnik. – M.: Izd-vo MGU, 2005. – 432 s.
10. Grant S.A., Bachmann J. Effect of temperature on capillary pressure. – In: *Geophysical Monograph Series, Volume 129. Environmental Mechanics: Water, Mass and Energy Transfer in the Biosphere.* Eds.: P.A.C. Raats, D. Smiles, A.W. Warrick. Washington, D.C.: American Geophysical Society.
11. Wessel A.T. On using the effective contact angle and the water drop penetration time for classification of water repellency in dune soils // *Earth Surf. Processes and Landforms.* – 1988. – Vol. 13 (6). – P. 555-561.

