

АГРОЭКОЛОГИЯ

УДК 631.423.2

А.Г. Болотов
A.G. Bolotov

РАСЧЕТ ЭНЕРГИИ ВОДОУДЕРЖИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОЧВЫ ЧЕРЕЗ ПОЧВЕННО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ

THE CALCULATION OF SOIL MOISTURE RETENTION ENERGY THROUGH SOIL-HYDROLOGICAL CONSTANTS

Ключевые слова: гидрофизические свойства почв, кривая водоудерживания почв, энергия водоудерживания почв, почвенно-гидрологические константы.

Для количественной оценки эколого-физического состояния почв используется показатель интегральной энергии водоудерживания, физический смысл которого соответствует удельной энергии со стороны твердой фазы по удержанию влаги в выбранном диапазоне. Приводится вывод аналитического выражения для расчета энергии водоудерживания как функции почвенно-гидрологических констант, что позволяет рассчитать значение этой величины без кривой водоудерживания. При этом открывается возможность проведения ретроспективного анализа физической деградации почв, водно-физические свойства которых в прошлом были выражены в почвенно-гидрологических константах. Приведен пример расчета по полученной формуле интегральной энергии водоудерживания чернозема обыкновенного. Сравнение результатов расчета энергии водоудерживания почвы через почвенно-гидрологические константы с результатами расчета этой величины через параметры Брукса-Кори показало их практически полное соответствие. Параметры Брукса-Кори, использованные в качестве входных характеристик, были получены в результате аппроксимации экспериментальных значений кривой водоудерживания.

Keywords: hydro-physical properties of soils, soil moisture retention curve, soil moisture retention energy, soil-hydrological constants.

To give quantitative evaluation of environmental and physical condition of soils, the index of integral moisture retention energy is used; its physical meaning corresponds to the specific energy on the part of solid phase for moisture retention in the selected range. The derivation of the analytic expression to calculate moisture retention energy as a function of soil-hydrological constants is presented; which enables calculating this value without moisture retention curve. That also enables post-hoc evaluation of the physical degradation of those soils which water and physical properties were previously expressed through soil-hydrological constants. An example of the calculation of the integral moisture retention energy for ordinary chernozem from the derived formula is presented. The comparison of the results of soil moisture retention energy calculation through soil-hydrological constants with the results of this value calculation through Brooks-Corey parameters showed their almost exact correspondence. Brooks-Corey parameters used as input characteristics were obtained by the approximation of the experimental values of moisture retention curve.

Болотов Андрей Геннадьевич, к.с.-х.н., доцент, каф. физики, фак-т природообустройства, 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

В настоящее время для количественной оценки состояния почвенного покрова используются различные подходы [1]. В рамках структурно-функциональной термодинамиче-

ской концепции физического состояния почв предложен показатель интегральной энергии водоудерживания, который удобно использовать при сравнительном анализе водоудерживающей способности почв [2, 3].

Исследованиями А.Д. Воронина показано, что на кривой водоудерживания можно выделить ряд предельно равновесных (критических) состояний, соответствующих почвенно-энергетическим и почвенно-гидрологическим константам (ПГК), где происходят качественные изменения физического состояния почвы [4-6]. Аналитическое выражение энергии водоудерживания, полученное через ПГК, позволяет рассчитать значение этой величины без кривой водоудерживания [7]. При этом открывается возможность проведения ретроспективного анализа физической деградации почв, водно-физические свойства которых в прошлом были выражены в почвенно-гидрологических константах.

Цель работы – получение аналитического выражения для расчета энергии водоудерживания почвы через почвенно-гидрологические константы. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: 1) решение системы уравнений функций Брукса-Кори, выраженных через ПГК; 2) проведение расчета энергии водоудерживания почвы через ПГК и сравнение полученных величин с результатами расчета через параметры Брукса-Кори. **Объект исследований** – водоудерживающая способность почвы; **предмет** – аналитическое выражение энергии водоудерживания.

Результаты исследований

Запишем уравнение Брукса-Кори с учетом эквивалентности капиллярно-сорбционного давления почвенной влаги и матричного потенциала [8, 9]:

$$\psi(\theta) = \psi_b \left(\frac{\theta_s - \theta_r}{\theta - \theta_r} \right)^{-\lambda^{-1}} \quad (1)$$

где ψ – матричный потенциал, Дж/кг;

ψ_b – потенциал барботирования, Дж/кг;

θ_r – параметр минимальной влажности, соответствующий прочносвязанной, неподвижной для вязкого течения влаги, см³/см³;

θ_s – объемная влажность почвы, соответствующая полному влагонасыщению, см³/см³;

λ – эмпирический параметр.

Интегральную энергию водоудерживания (E_1) в диапазоне влагосодержания от θ_r до θ_s через ПГК выразим из формулы [7]:

$$E_1[\theta_r, \theta_s] = \frac{\psi_b \lambda (\theta_s - \theta_r)}{\lambda - 1} = \psi_b (\theta_s - \theta_r) \left(1 + \frac{1}{\lambda - 1} \right). \quad (2)$$

Найдем значения параметров уравнения Брукса-Кори с учетом соответствия θ_r – максимальной гигроскопичности, θ_{wp} – влаги завядания, θ_{fc} – наименьшей влагоемкости, θ_s – полной влагоемкости. Для этого решим систему уравнений:

$$\begin{cases} \psi_{wp} = \psi_b \left(\frac{\theta_s - \theta_r}{\theta_{wp} - \theta_r} \right)^{-\lambda^{-1}} \\ \psi_{fc} = \psi_b \left(\frac{\theta_s - \theta_r}{\theta_{fc} - \theta_r} \right)^{-\lambda^{-1}} \end{cases}$$

из первого уравнения системы выразим ψ_b :

$$\psi_b = \psi_{wp} \left(\frac{\theta_s - \theta_r}{\theta_{wp} - \theta_r} \right)^{\lambda^{-1}} \quad (3)$$

полученное выражение подставим во второе уравнение системы:

$$\psi_{fc} = \psi_{wp} \left(\frac{\theta_{fc} - \theta_r}{\theta_{wp} - \theta_r} \right)^{\lambda^{-1}}$$

отсюда λ^{-1} :

$$\lambda^{-1} = \frac{\ln(\psi_{fc} / \psi_{wp})}{\ln\left(\frac{\theta_{fc} - \theta_r}{\theta_{wp} - \theta_r}\right)} \quad (4)$$

Окончательное выражение интегральной энергии водоудерживания (2) с учетом уравнений (3) и (4):

$$E_1[\theta_r, \theta_s] = \psi_{wp} (\theta_s - \theta_r) \left(\frac{\theta_s - \theta_r}{\theta_{wp} - \theta_r} \right)^{\frac{\ln(\psi_{fc} / \psi_{wp})}{\ln\left(\frac{\theta_{fc} - \theta_r}{\theta_{wp} - \theta_r}\right)}} \left(1 + \frac{\left(\frac{\ln\left(\frac{\theta_{fc} - \theta_r}{\theta_{wp} - \theta_r}\right)}{\ln\left(\frac{\psi_{fc}}{\psi_{wp}}\right)} - 1 \right)^{-1}}{\ln\left(\frac{\psi_{fc}}{\psi_{wp}}\right)} \right) \quad (5)$$

Сравнение результатов расчета энергии водоудерживания в диапазоне 20-80 Дж/кг для легко- и среднесуглинистого чернозема через ПГК (5) с результатами расчета этой величины через параметры Брукса-Кори (2) показало их практически полное соответствие (рис.).

Дальнейшие исследования будут направлены на изучение влияния точности задания $\psi_{вр}$ и ψ_{fc} на погрешность расчета искомой характеристики и на проведение ретроспективного анализа физической деградации почв с помощью полученной зависимости.

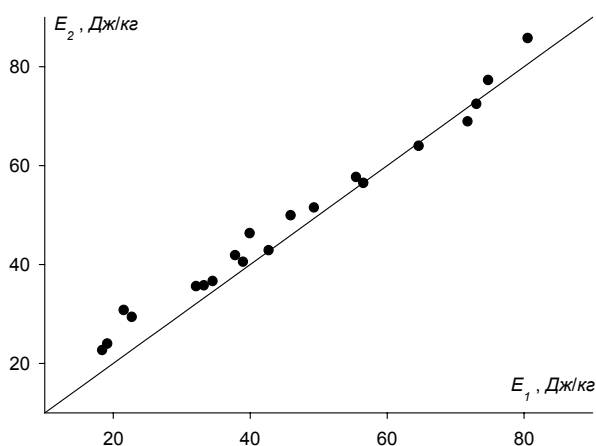


Рис. Соответствие энергии водоудерживания, рассчитанной по ПГК (E_2) с энергией водоудерживания, рассчитанной через параметры Брукса-Кори (E_1). Чернозем обыкновенный, легко- и среднесуглинистый

Выводы

1. Получено аналитическое выражение для расчета энергии водоудерживания почвы через почвенно-гидрологические константы.
2. Сравнение результатов расчета энергии водоудерживания почвы через ПГК с результатами расчета этой величины через параметры Брукса-Кори показало их практически полное соответствие.

Библиографический список

1. Кудрявцев А.Е., Кудрявцева Н.Ф. Агроэкологическая оценка плодородия пахотных почв колючей степи Алтайского Приобья // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 10. – С. 6-9.
2. Смагин А.В., Садовникова Н.Б., Мизури Маауиа Бен-Али. Определение основной гидрофизической характеристики почв методом центрифугирования // Почвоведение. – 1998. – № 11. – С. 1362-1370.
3. Смагин А.В., Садовникова Н.Б. Влияние сильнонабухающих полимерных гидрогелей на физическое состояние почв легкого гранулометрического состава. – М.: МАКС-Пресс, 2009. – С. 208.

4. Воронин А.Д. Структурно-функциональная гидрофизика почв. – М.: Изд-во МГУ, 1984.

5. Шеин Е.В. Курс физики почв. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 432 с.

6. Смагин А.В. Почвенно-гидрологические константы: физический смысл и количественная оценка на базе равновесного центрифугирования // Доклады по экологическому почвоведению. – М., 2006. – № 1. – Вып. 1. – С. 31-56.

7. Болотов А.Г. Расчет энергии водоудерживающей способности почвы // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 10. – С. 20-22.

8. Brooks R.H., Corey A.T. Hydraulic Properties of Porous Media // Hydrology Papers. – Civil Engineering Dept., Colorado State Univ., Fort Collins, Colorado. – 1964. – No. 3. – 37 p.

9. Глобус А.М. Почвенно-гидрофизическое обеспечение агроэкологических математических моделей. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 428 с.

References

1. Kudryavtsev A.E., Kudryavtseva N.F. Agroekologicheskaya otsenka plodorodiya pakhotnykh pochv kolochnoi stepi Altaiskogo Priob'ya // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. – 2013. – № 10. – S. 6-9.

2. Smagin A.V., Sadovnikova N.B., Mizuri Maauia Ben-Ali. Opredelenie osnovnoi gidrofizicheskoi kharakteristiki pochv metodom tsentrifugirovaniya // Pochvovedenie. – 1998. – № 11. – S. 1362-1370.

3. Smagin A.V., Sadovnikova N.B. Vliyanie sil'nonabukhayushchikh polimernykh gidrogelei na fizicheskoe sostoyanie pochv legkogo granulometricheskogo sostava. – М.: МАКС-Press, 2009. – С. 208.

4. Voronin A.D. Strukturno-funktsional'naya gidrofizika pochv. – М.: Izd-vo MGU, 1984.

5. Shein E.V. Kurs fiziki pochv. – М.: Izd-vo MGU, 2005. – 432 s.

6. Smagin A.V. Pochvenno-gidrologicheskie konstanty: fizicheskii smysl i kolichestvennaya otsenka na baze ravnovesnogo tsentrifugirovaniya // Doklady po ekologicheskomu pochvovedeniyu. – М., 2006. – № 1. – Vyp. 1. – S. 31-56.

7. Bolotov A.G. Raschet energii vodouderzhivayushchei sposobnosti pochvy // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2014. – № 10. – S. 26-29.

8. Brooks R.H., Corey A.T. Hydraulic Properties of Porous Media // Hydrology Papers. – Civil Engineering Dept., Colorado State Univ., Fort Collins, Colorado. – 1964. – No 3. – 37 p.

9. Globus A.M. Pochvenno-gidrofizicheskoe obespechenie agroekologicheskikh matematicheskikh modelei. – L.: Gidrometeoizdat, 1987. – 428 s.