

УДК 63.631

А. В. Человечкова¹, И. В. Комиссарова²

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОСНОВНОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫЩЕЛОЧЕННЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ И СОЛОНЦОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ КУРГАНСКОЙ ОБЛАСТИ

¹ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ», КУРГАН, РОССИЯ

²ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «КУРГАНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ ИМЕНИ Т.С. МАЛЬЦЕВА», КУРГАН, РОССИЯ

A. V. Chelovechkova¹, I. V. Komissarova²

COMPARATIVE ANALYSIS OF BASIC HYDROPHYSICAL CHARACTERISTICS OF LEACHED CHERNOZEMS AND SOLONETZES OF THE CENTRAL PART OF THE KURGAN REGION

¹FEDERAL PUBLIC BUDGETARY EDUCATIONAL INSTITUTION OF THE HIGHER EDUCATION "KURGAN STATE UNIVERSITY", KURGAN, RUSSIA

²FEDERAL STATE BUDGETARY EDUCATIONAL INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION "KURGAN STATE AGRICULTURAL ACADEMY BY T.S. MALTSEV", KURGAN, RUSSIA



Анна Владимировна Человечкова
Anna Vladimirovna Chelovetchkova
chelovechkova_2011@mail.ru



Ирина Валерьевна Комиссарова
Irina Valerevna Komissarova
кандидат биологических наук, доцент
ir.komissarova@mail.ru

Аннотация. На современном этапе развития агрофизической науки необходимо знать и количественно прогнозировать передвижение веществ в почвах, а также – влагоперенос. При этом следует помнить, что вопросы управления процессами всегда должны опираться на предварительные расчеты, которые выполняются на основании математических и компьютерных моделей. Для этого был разработан программный продукт математического моделирования на примере основной гидрофизической характеристики (ОГХ) почв. Для разработки алгоритма расчетов компьютерной модели исследованы свойства черноземов и солонцов. Работа была выполнена на основании результатов почвенных исследований разных лет, проводимых кафедрой землеустройства, земледелия, агрохимии и почвоведения на территории Курганской области. Основные результаты получены на овощном сортоспытательном участке Курганской области. Объектом исследования были черноземы выщелоченные и солонцы, расположенные на территории Курганской области. В 2013-2015 гг. проводили полевые работы, где изучали физические свойства почв. Во время полевых работ были заложены основные разрезы на наиболее типичных позициях рельефа. При создании расчетной модели использовали метод, в основу которого положены регрессионные уравнения Воронина. Проведен анализ построения основной гидрофизической характеристики почв. На основании этого анализа сделан вывод, что данные алгоритмы расчета могут быть применены при построении кривой водоудерживания различного типа почв, так как кривые сохраняют форму, но имеют смещения по оси влажности, которые зависят от свойств исследуемых почв. Проведенный анализ построения ОГХ исследованных черноземов и солонцов Курганской области с помощью созданного программного комплекса показал, что данные алгоритмы расчета могут быть применены при построении кривой водоудерживания различного типа почв, так как полученные кривые сохраняют форму. Смещение графиков функций кривой водоудерживающей способности по оси влажностей зависит от свойств почв. Изменение ОГХ происходит при осолонцевании. Это свойство чаще всего связано с повышенным содержанием обменного натрия в почвенном поглощающем комплексе.

Ключевые слова: почвенная влага, основная гидрофизическая ха-

рактеристика, влажность, поровое пространство почвы, давление влаги, плотность, пористость, черноземы, солонцы.

Abstract. At the present development stage of agrophysical science it is necessary to know and to quantitatively predict movement of substances in soils and also – moisture transfer. At the same time it is necessary to remember that processes management always has to rely on predesigns which are carried out on the basis of mathematical and computer models. For this purpose the authors have developed mathematical modeling software product on the example of the main hydrophysical characteristic (MHC) of soils and investigated properties of chernozems and solonetzic soils for calculation algorithm for computer model. Soil researches of different years conducted by department of land management, agriculture, agrochemistry and soil science in the territory of the Kurgan region were the basis of the work. The authors received main results on the crop-testing station of the Kurgan region. Object of research were chernozems lixivious and solonetzic soils located in the territory of the Kurgan region. In 2013-2015 authors carried out field works where studied physical properties of soils and put the main cuts on the most typical positions of a relief. The authors used a method based on Voronin regression equations for creation design model and made analysis of construction of the main hydrophysical characteristic of soils. On the basis of this analysis the conclusion is drawn that these calculation algorithms can be applied when plotting water keeping in various soils types as curves keep a form, but have shifts on humidity axes which depend on properties of the explored soils. The carried-out analysis of creation MHC of the explored chernozems and solonetzic soils of the Kurgan region by means of created program complex has shown that these calculation algorithms can be applied when plotting water keeping of various soils types as the received curves keep a form. Shift of function graphs of curve water-retaining ability on humidity axis depends on soils properties. Change of MHC happens when soil turns into solonetz. This property is most often connected with the increased content of exchange sodium in the soil absorbing complex.

Keywords: soil moisture, main hydrophysical characteristic, moisture content, pore space of soil, moisture pressure, density, porosity, black soil, solonetzes.

Введение. Вопросы водного режима корнеобитающего слоя почвы, процессы испарения и транспирации имеют важное значение для сельского хозяйства. Данные процессы определяют условия роста, развития и зимовки сельскохозяйственных культур. Велика роль миграции и инфильтрации влаги в формировании продуктивных запасов

влаги на сельскохозяйственных полях. В настоящее время очень актуальными стали вопросы изучения и прогноза передвижения веществ в почвах, а также – влагопереноса. На современном этапе развития агрофизической науки, прежде всего, необходимо знать и количественно прогнозировать развитие рассматриваемых процессов, для того чтобы

можно было управлять этими процессами. При этом следует помнить, что вопросы управления процессами всегда должны опираться на предварительные расчеты, которые выполняются на основании математических и компьютерных моделей. Процедура моделирования очень удобна при прогнозе явлений затоплений, разработке систем водоснабжения, управлении водными ресурсами, а также наглядна при попытке создания искусственных насыпных грунтов. Существует множество математических физически обоснованных моделей гидрологических процессов [1]. И все-таки вопрос построения простой в применении и наглядной при экспериментальном использовании модели остается актуальным.

В представленной работе в качестве экспериментального обеспечения модели используются гидрофизические свойства почв – основная гидрофизическая характеристика (ОГХ), или функция водоудерживания. Она представляет собой количественную характеристику водоудерживающей способности почв, выражая зависимость капиллярно-сорбционного давления влаги от влажности почв [2]. Современная физика почв использует разнообразный набор методов для определения ОГХ: это и прямые экспериментальные определения с помощью различных методов [2, 4], и различные расчетные методы (педотрансферные функции) [3–6]. Поэтому важно выбрать наиболее адекватный и в то же время общедоступный метод получения экспериментального обеспечения модели. Целью работы стало создание алгоритма расчетов ОГХ [5] и проверка работы предложенной методики на примере основных типов почв Курганской области.

Методика. Работа была выполнена на основании результатов почвенных исследований разных лет, проводимых кафедрой землеустройства, земледелия, агрохимии и почвоведения на территории Курганской области. Основные результаты получены при исследовании выщелоченных черноземов овощного сортиспытательного участка Курганской области.

Объектом исследования были черноземы выщелоченные Курганского овощного сортиспытательного участка и солонцы, расположенные на территории Курганской области. Полевые работы проводили в 2013–2015 гг., где изучались физические свойства почв (плотность почвы, плотность твердой фазы, гранулометрический состав по Качинскому, пористость). Во время полевых работ были заложены основные разрезы на наиболее типичных позициях рельефа. Все перечисленные характеристики необходимы для построения основной гидрофизической характеристики лабораторным и расчетным методами. Но анализ данных методов показал, что обработка результатов – процесс длительный по времени. Поэтому дальнейшая работа была посвящена моделированию. Моделирование в почвоведении – это в первую очередь формализация некоторых общих понятий, способствующих качественному и количественному анализу рассматриваемых явлений [1]. Мы попытались овладеть процессом создания почвы известного гранулометрического состава из частиц различной механической прочности, которые образовывая различные прослойки, обладают различной способностью удерживать влагу. Работа в лаборатории показала, что такое моделирование возможно, если известны гидрофизические характеристики различных почв, базу которых можно создать, используя предлагаемый нами метод. При этом следует отметить, что программное обеспечение создавалось без учета минерализации почв и ее тепловых свойств. В основу положена концепция развитая А.Д. Ворониным [5], согласно которой каждой почвенно-гидрологической константе

(ПГК) на кривой водоудерживания соответствует определенное давление влаги.

Результаты. На первоначальном этапе работы была построена и изучена ОГХ выщелоченных черноземов центральной части области на примере овощного сортиспытательного участка Курганской государственной сельскохозяйственной академии имени Т.С. Мальцева [7, 8]. Сравнив методы построения ОГХ на основании лабораторных исследований и с помощью расчета почвенно-гидрологических констант (ПГК), получив хорошую сходимость результатов, был создан алгоритм расчетов для изучения ОГХ выщелоченных черноземов центральной части Курганской области [8]. Проверку работоспособности программного обеспечения для построения и изучения ОГХ решено было провести на примере солонцов центральной части Курганской области, которые занимают по распространению второе место после черноземов. Солонцы по своим свойствам очень сильно отличаются от черноземов.

После проведения изучения чернозема выщелоченного, который представляет основной фон почвенного покрова области, были получены результаты, представленные в таблице 1. Почвообразующими породами являются делювиальные иловатые супеси.

Таблица 1 – Гранулометрический состав и физические свойства чернозема выщелоченного (Курганский овощной сортиспытательный участок)

Горизонт	Глубина, см	Гранулометрический состав		Плотность твердой фазы, г/см ³	Плотность, г/см ³	Общая пористость, %
		<0,01, %	<0,001, %			
A пах	0-10	22,64	13,42	2,63	1,11	57,8
	10-20	23,31	12,48	2,59	1,33	48,7
	20-30	19,91	11,19	2,63	1,39	47,1
	30-40	26,98	17,80	2,63	1,13	57,0
B	40-50	34,25	21,71	2,66	1,39	47,7
	50-60	26,17	20,14	2,70	1,21	55,2
	60-70	30,05	12,61	2,70	1,26	53,3
	70-80	31,70	22,85	2,70	1,62	40,0
BC	80-90	13,67	11,32	2,70	1,42	47,4
	90-100	23,58	11,74	2,90	1,50	48,3

Помимо этого следует отметить, что современные исследования почвообразования, изучение свойств почв и анализ их функционирования показывают, что объективная интерпретация полученных при этом результатов, возможность оптимизации ряда режимов почв требует использования одной из стабильной почвенной характеристики – удельной поверхности почв. Несмотря на очевидность факта – тесной связи множества свойств почв с качественными и количественными характеристиками удельной поверхности почв, ее изучение и разработка методов ее определения до настоящего времени не получали должного внимания. В работах Н.А. Качинского [10], А.Д. Воронина [5] данная характеристика почвы определяется как «общая площадь поверхности почвенных частиц, отнесенная к единице массы почвы или ее объема».

Удельную поверхность в почвоведении принято разделять на общую, внешнюю и внутреннюю. Однако формальных, логических и научно обоснованных критериев подразделения на внешнюю и внутреннюю разновидности нет. Предлагаемое разделение поверхности осуществляется на основе методов ее определения. Внешняя поверхность определяется методом низкотемпературной адсорбции азота по принципу БЭТ, а общая поверхность методом БЭТ,

адсорбцией паров воды. Таким образом, молекулы азота как более крупные ($d = 3,72 \text{ \AA}$) не адсорбируются на поверхностях, куда проникают молекулы H_2O ($d = 2,5 \text{ \AA}$). Считается, что внешняя удельная поверхность является более активной в «жизни» почвы. Роль удельной поверхности в функционировании и свойствах почв многогранна и до конца не исследована. К настоящему времени ни почвоведение, ни коллоидная химия не располагают достаточно точными методами определения удельной поверхности дисперсных систем. Во всех методах, применяемых для ее определения, делаются определенные допуски, делающие полученные результаты приблизительными, и по их значениям можно говорить лишь о сравнительном порядке величин. Для определения удельной поверхности почвы пользуются прямыми и косвенными методами. В работе удельная поверхность определялась с помощью прибора SORBI MS. По результатам исследования слоя, необходимого для оптимального развития растений, были получены результаты, представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Удельная поверхность частиц (чернозем выщелоченный, Курганный овощной сортиспытательный участок)

Горизонт	Глубина, см	Удельная поверхность (метод БЭТ), $\text{m}^2/\text{г}$	Удельная поверхность (метод STSA), $\text{m}^2/\text{г}$
A	10-20	$6,1 \pm 0,0$	$6,7 \pm 0,1$
	20-30	$6,1 \pm 0,0$	$7,3 \pm 0,4$
AB	30-40	$6,3 \pm 0,2$	$5,7 \pm 0,5$
B	40-50	$21,0 \pm 0,3$	$19,6 \pm 0,4$

Факт связи между продуктивностью почв и ее удельной поверхностью был установлен при проведении бони-

тировочных работ, в процессе выделения приоритетных факторов плодородия почв. Статистический анализ экспериментального материала, на основании которого определяется роль свойств почв в формировании урожая, показал, что удельная поверхность и плотность сложения почв, объединенные в форме индекса удельной поверхности J_{Sh} достоверно коррелируют с продуктивностью почв. Индекс удельной поверхности вычисляют по формуле:

$$J_{Sh} = S \cdot d \cdot h \cdot 10^4 \quad (1)$$

где J_{Sh} – индекс удельной поверхности;

S – удельная поверхность почвы, $\text{m}^2/\text{г}$;

d – плотность почвы, $\text{г}/\text{cm}^3$;

h – мощность пахотного слоя почвы, см.

Ворониным А.Д. получены результаты и регressive уравнения:

$$\varepsilon = 0,805 - 0,183\omega_1 + 0,285\omega_2 + 0,057\omega_3 - 0,266\rho;$$

$$W_{\text{пп}} = 0,082 + 1,163\omega_2 - 0,287\omega_3 - 0,107\omega_6 + 0,312\varepsilon;$$

$$W_{\text{hb}} = 0,15 + 0,085\omega_1 + 0,514\omega_2 + 0,142\omega_4 - 0,145\omega_6;$$

$$W_{\text{ммв}} = 0,053 + 0,941\omega_2 - 0,139\omega_3 - 0,031\omega_6 + 0,165\varepsilon;$$

$$W_{\text{mr}} = -0,009 + 0,198\omega_1 - 0,059\omega_2 + 0,04\omega_4 + 0,078\omega_5,$$

где $\omega_1, \omega_2 \dots \omega_6$ – фракции гранулометрического состава почвы от ила до крупного песка по классификации Н.А. Качинского [10].

Эти уравнения позволили построить кривую водоудерживающей способности выщелоченных черноземов центральной части Курганской области. Дальнейшая работа была связана с моделированием и созданием программного продукта, который позволил снизить трудоемкость и увеличить наглядность проводимых расчетов. С помощью программы были получены графики модельного и опытного построения, совмещение которых позволило проводить анализ применяемых методов исследования (рисунок 1).

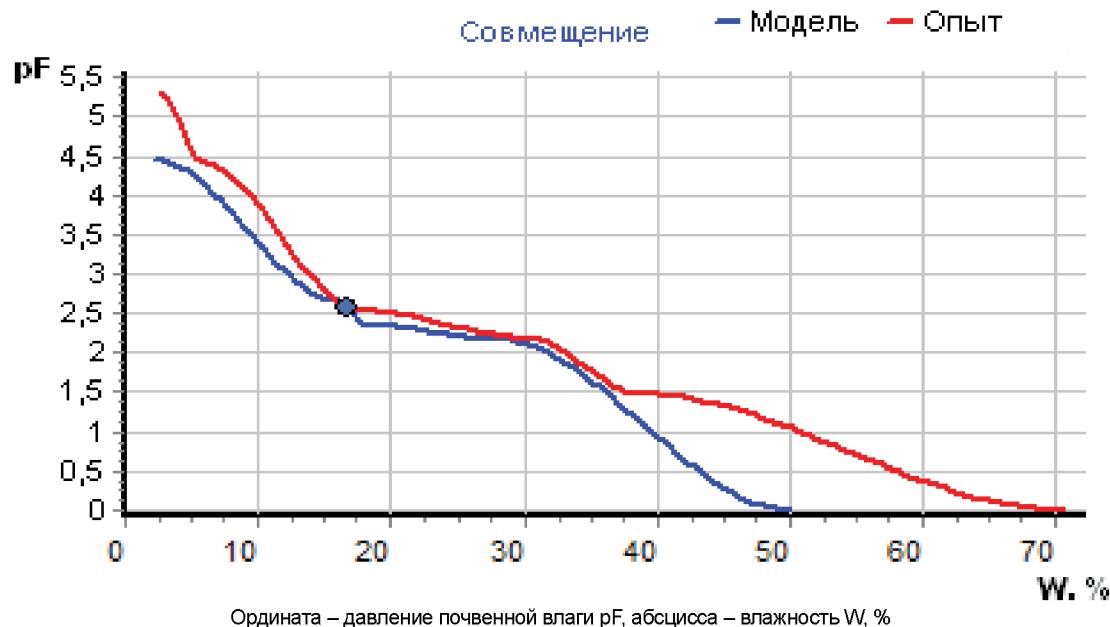


Рисунок 1 – Совмещение графиков модельного и опытного построения кривой водоудержания, полученных с помощью программного комплекса

Описание программного комплекса и методики работ представлены в статье «Создание программного комплекса для решения задач по нахождению и расчету значений гранулометрических составляющих фракций почвы по заданным влажностям» [11].

Была разработана программа, которая позволяет получить основную гидрофизическую характеристику почв по

регressive уравнениям Воронина, и получены после сравнительного анализа результаты, схожие с лабораторными исследованиями на примере чернозема выщелоченного. Работоспособность этой программы проверили при построении ОГХ черноземов различных участков и на других видах почв, часто встречающихся в Курганской области. В качестве таких почв были выбраны солонцы.

С помощью программного комплекса, который проводит расчеты по регрессионным уравнениям Воронина, были получены следующие кривые водоудержания солонцов (рисунки 2, 3).

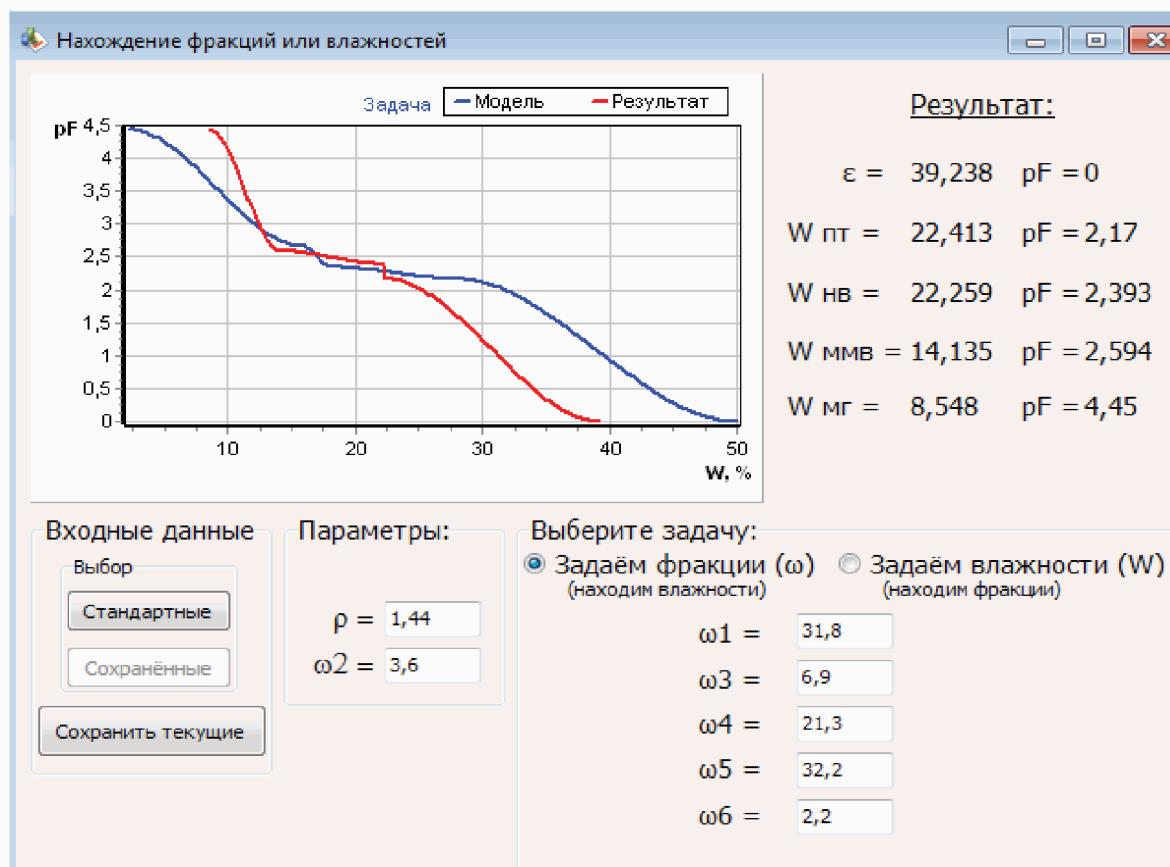


Рисунок 2 – Совмещение графиков функции кривой водоудерживающей способности (ОГХ) для модели выщелоченных черноземов и солонца черноземно-лугового типичного мелкого, горизонт В₁

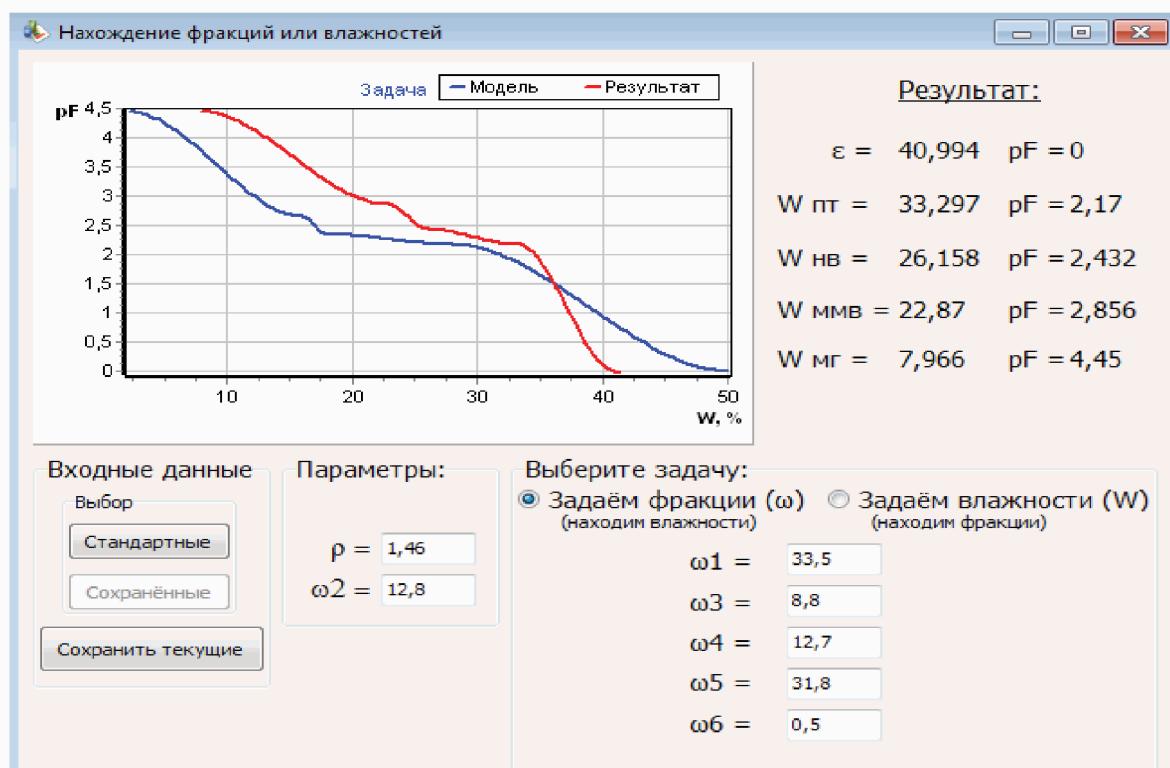


Рисунок 3 – Совмещение графиков функции кривой водоудерживающей способности (ОГХ) для модели выщелоченных черноземов и солонца черноземно-лугового типичного среднего, горизонт В

При всем разнообразии солонцов им свойственны однотипное строение профиля и некоторые одинаковые специфические морфологические признаки. Гранулометрический состав солонцов различен, в области распространены от легкосуглинистых до глинистых разновидностей, но легкие разновидности встречаются изредка, преимущественно в южной части Курганской области. Значительно шире распространены тяжелые разновидности. Солонцы характеризуются удовлетворительными и неудовлетворительными физическими, водно-физическими и физико-механическими свойствами, особенно в солонцовом горизонте (таблица 3).

Таблица 3 – Физические свойства солонцов [12]

Название солонца	Горизонт	Глубина, см	Плотность твердой фазы, г/см ³	Плотность, г/см ³	Общая пористость, %
Черноземно-луговой типичный мелкий (Варгашинский район)	A	0-10	2,30	1,02	55,7
	B ₁	10-20	2,42	1,44	40,5
	B ₂	30-40	2,46	1,48	39,8
	B ₂	50-60	2,59	1,65	36,3
	BC	70-80	2,50	1,61	35,6
	BC	80-90	2,50	1,63	34,8
Лугово-черноземный типичный глубокий (Далматовский район)	A	0-20	2,49	1,22	51,0
	B ₁	20-30	2,52	1,38	45,2
	B ₂	35-45	2,55	1,45	43,1
	BC	60-70	2,57	1,46	43,2
	C	100-110	2,59	1,47	43,2

Выводы. Проведенный анализ построения ОГХ исследованных черноземов и солонцов Курганской области с помощью созданного программного комплекса показал, что данные алгоритмы расчета могут быть применены при построении кривой водоудерживания различного типа почв, так как полученные кривые сохраняют форму. Смещение графиков функций кривой водоудерживающей способности по оси влажностей зависит от свойств почв. Изменение ОГХ происходит при осолонцевании. Это свойство чаще всего связано с повышенным содержанием обменного натрия в почвенном поглощающем комплексе.

Список литературы

- 1 Рыжова И.М. *Математическое моделирование почвенных процессов*. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. 82 с.
- 2 Шеин Е.В., Початкова Т.Н., Рычева Т.А., Сидорова А.М., Смагин А.В., Умарова А.Б. *Лабораторные методы исследования физических свойств почв*. М.: ГЕОС, 2000. 55 с.
- 3 Шеин Е.В., Архангельская Т.А., Гончаров В.М. *Полевые и лабораторные методы исследования физических свойств и режимов почв*. М.: Изд-во МГУ, 2001. 199 с.
- 4 Вадюнина А.Ф., Корчагина В.А. *Методы исследования физических свойств почв*. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
- 5 Воронин А.Д. *Основы физики почв*. М., Колос, 1986. 244с.
- 6 Gander R. A method of measuring capillary tension of soil moisture over a wide moisture range. SS, 1937, v. 43, p. 238-277.
- 7 Человечкова А.В. Использование кривых водоудерживающей способности для характеристики физико-механических свойств выщелоченных черноземов Зауралья. *Аграрный вестник Урала*. 2015, №1(131). С. 12–16.
- 8 Человечкова А.В. Построение кривых водоудерживающей способности выщелоченных черноземов Зауралья инструментальным и расчетным методами. *Аграрный вестник Урала*. 2014, №3 (121). С. 13–18.
- 9 Человечкова А.В. Использование программного моделирования для построения и анализа основной гидрофизической характеристики выщелоченных черноземов Зауралья. *Альманах мировой науки. Наука и образование третьего тысячелетия: по материалам Международной научно-практической конференции 31 мая 2016 года*. 2016. № 5-1(8). С. 48–49.
- 10 Качинский Н.А. *Физика почв. Ч.1*. М.: Высшая школа, 1965. 321 с.
- 11 Человечкова А.В. Создание программного комплекса для решения задач по нахождению и расчету значений гранулометрических составляющих фракций почвы по заданным влажностям. *Восточно-Европейский научный журнал (Wschodnioeuropejskie Czasopismo naukowe)*. 2016, №6 (10). С. 100–105.
- 12 Егоров, В.П., Кривонос, Л.А. *Почвы Курганской области*. Курган: Изд-во Зауралье, 1995. 174 с.
- 13 Shein E.V., Arkhangelskaya T.A., Goncharov V.M. *Field and laboratory methods for studying physical properties and soil regimes*. Moscow: Izd-vo MGU, 2001. 199 p. (in Russ.).
- 14 Vadjunina A.F., Korchagina V.A. *Methods for studying the physical properties of soils*. Moscow: Agropromizdat, 1986. 416 p.
- 15 Voronin A.D. *Fundamentals of soil physics*. Moscow: Kolos, 1986. 244 p. (in Russ.).
- 16 Gander R. A method of measuring the capillary tension of the soil. SS, 1937, v. 43, P. 238-277. (in Russ.).
- 17 Chelovechkova A.V. The use of water retention curves to characterize the physico-mechanical properties of leached chernozems of the Trans-Urals. *The agrarian messenger of the Urals*. 2015, No. 1 (131). Pp. 12-16. (in Russ.).
- 18 Chelovechkova A.V. Construction of water retention curves of leached chernozems of the Trans-Ural region using instrumental and calculation methods. *The agrarian messenger of the Urals*. 2014, No. 3 (121). Pp. 13-18. (in Russ.).
- 19 Chelovechkova A.V. Use of software modeling for construction and analysis of the basic hydrophysical characteristics of leached chernozems of the Trans-Urals. *Almanac of world science. Science and education of the third millennium: based on the materials of the International Scientific and Practical Conference on May 31, 2016*. 2016. No. 5-1 (8). Pp. 48-49. (in Russ.).
- 20 Kachinsky N.A. *Soil physics. Part 1*. Moscow: Higher School, 1965. 321 p.
- 21 Chelovechkova A.V. Creation of a software complex for solving problems of finding and calculating the values of granulometric constituents of soil fractions according to specific humidity. *Eastern European Scientific Journal (Wschodnioeuropejskie Czasopismo naukowe)*. 2016, No. 6 (10). Pp. 100-105. (in Russ.).
- 22 Egorov, VP, Krivonos, LA *Soil of the Kurgan region*. Kurgan: Izd-vo Zaurolye, 1995. 174 p. (in Russ.).