

# АГРОЭКОЛОГИЯ

УДК 631.423.2 С.В. Бабошкина, А.В. Пузанов, О.А. Ельчинова, Т.А. Рождественская  
S.V. Baboshkina, A.V. Puzanov, O.A. Yelchinina, T.A. Rozhdestvenskaya

## ВОДНО-ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ ВЛАГИ В ЧЕРНОЗЕМАХ ЮЖНЫХ КАНСКОЙ МЕЖГОРНОЙ КОТЛОВИНЫ (БАССЕЙН р. ЧАРЫШ, СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ АЛТАЙ)

### WATER-PHYSICAL PROPERTIES AND MODELING OF MOISTURE TRANSFER IN THE SOUTHERN CHERNOZEMS OF THE KANSK INTERMONTANE DEPRESSION (THE CHARYSH BASIN, NORTH-WEST ALTAI)

**Ключевые слова:** Алтай, черноземы южные, Канская степь, р. Чарыш, пашня, пастбище, почвенная влага, основная гидрофизическая характеристика, функция Ван-Генухтена, коэффициент влагопроводности, потоки влаги, RETC 6.02.

Исследованы физические и гидрофизические свойства черноземов южных, используемых под посевы и пастбища в Канской (бассейн р. Чарыш, приток 1-го порядка р. Обь) межгорной котловине Алтая. Полученные основные гидрофизические характеристики (ОГХ) и функции влагопроводности позволяют описать вертикальное движение влаги в ненасыщенных влагой степных почвах как одну из составляющих частей расходной статьи водного баланса почв. ОГХ исследуемых почв были восстановлены расчетными полуэмпирическими методами. Для нахождения параметров аппроксимации ОГХ функцией Ван-Генухтена по педотрансферным функциям программы RETC 6.02 использовали данные гранулометрического состава, приведенные к международной классификации, и данные по плотности почвы. Также построение ОГХ выполнялось с помощью почвенно-гидрологических констант по методу «секущих Воронина». При расчетах и построении различными методами кривых влагоудержания черноземов южных Канской степи установлена хорошая сходимость результатов в области низких значений давления и влажности. Выявлено, что с иссушением и снижением давления почвенной влаги кривые ОГХ более уплотненных В и С горизонтов отклоняются вправо, в сторону больших значений влажности. Это связано с тем, что в области малоподвижной (пленочной, сорбированной) влаги влагоудерживающая способность почвы определяется наличием в ней тонких капилляров, которых больше в уплотненной почве. В области высоких значений влажности лучше удерживает влагу более рыхлый верхний Ап горизонт чернозема южного распаханного с большим количеством крупных пор. Выявлено, что в влагопроводность

Вк горизонта чернозема южного под пастбищем выше, чем влагопроводность Вк горизонта почвы, используемой как пашня, поэтому вертикальный нисходящий переток влаги будет лучше выражен между А и В горизонтами чернозема под пастбищем, чем чернозема под пашней. При этом в пахотном слое, очевидно, будет более выражен боковой внутрипочвенный сток.

**Keywords:** *Altai, southern chernozems, Kansk steppe, Charysh River, filled soil, pasture, soil moisture, water retention curve (WRC), van Genuchten function, hydraulic conductivity coefficient, moisture flux, RETC 6.02 software.*

The physical and hydro-physical properties of the southern chernozems used for crops and pastures in the Kansk intermontane depression of the Altai (Charysh River, the 1st order tributary of the Ob River) were studied. The obtained water retention curves (WRCs) and hydraulic conductivity functions allow describing the vertical water transfer in unsaturated steppe soils as an outflow component of soil water balance. The water retention curves for the investigated soils were constructed based on semi-empirical methods. Using the pedotransfer functions from RETC 6.02 v.1.1 software, we determined the parameters of WRC approximation by van Genuchten function due to the data on soil density and granulometric composition (in line with the international classification). The WRCs were also constructed by means of soil-hydrological constants according to the Voronin's secants method. The WRCs for the southern chernozems of the Kansk steppe constructed by different methods show good convergence for low soil pressure and moisture. With soil drying up and reducing pressure of soil moisture, the WRC of more compacted B and C horizons are shifted to the right, i.e. to higher moisture values. This is due to the fact that the water retention capacity of dry soil depends on thin capillaries which are abundant in consolidated soils. A looser horizon Ap of the southern chernozems used as tilled lands (under

crops) keeps moisture better at high moisture values. It is found that the hydraulic conductivity of Bk horizon of the southern chernozems under the pasture is higher than that of tilled soil. Therefore, a vertical downward flow of moisture will be better

pronounced between A and B horizons of the southern chernozems under pasture than under crops (in tilled soil). Obviously, within the tilled layer a lateral subsurface runoff will be clearly marked.

**Бабошкина Светлана Вадимовна**, к.б.н., с.н.с., лаб. биогеохимии, Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул. Тел.: (3852) 666-516. E-mail: svetlana@iwep.ru.

**Пузанов Александр Васильевич**, д.б.н., проф., зам. директора по науке, Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул. Тел.: (3852) 666-445. E-mail: puzanov@iwep.ru.

**Ельчинина Ольга Анатольевна**, д.с.-х.н., директор, Горно-Алтайский филиал, Институт водных и экологических проблем СО РАН. Тел.: (38844) 2-93-25. E-mail: GAVivep@mail.GORNY.ru.

**Рождественская Тамара Анатольевна**, к.б.н., с.н.с., лаб. биогеохимии, Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул. Тел.: (3852) 666-516. E-mail: rtamara@iwep.ru.

**Baboshkina Svetlana Vadimovna**, Cand. Bio. Sci., Senior Staff Scientist, Biogeochemistry Lab., Institute for Water and Environmental Problems, Sib. Branch of Rus. Acad. of Sci., Barnaul. Ph.: (3852) 666-516. E-mail: svetlana@iwep.ru.

**Puzanov Aleksandr Vasilyevich**, Dr. Bio. Sci., Prof., Deputy Director for Research, Institute for Water and Environmental Problems, Sib. Branch of Rus. Acad. of Sci., Barnaul. Ph.: (3852) 666-445. E-mail: puzanov@iwep.ru.

**Yelchinina Olga Anatolyevna**, Dr. Agr. Sci., Director, Gorno-Altaysk Branch, Institute for Water and Environmental Problems, Sib. Branch of Rus. Acad. of Sci. Ph.: (38844) 2-93-25. E-mail: GAVivep@mail.GORNY.ru.

**Rozhdestvenskaya Tamara Anatolyevna**, Cand. Bio. Sci., Senior Staff Scientist, Biogeochemistry Lab., Institute for Water and Environmental Problems, Sib. Branch of Rus. Acad. of Sci., Barnaul. Ph.: (3852) 666-516. E-mail: rtamara@iwep.ru.

### Введение

Почвенно-биогеохимическая обстановка водосборного бассейна является одним из главных факторов формирования количественной и качественной составляющих гидрохимического стока. Для количественного прогнозирования развития определяющих гидрохимический сток природных процессов на водосборах необходимо исследовать закономерности передвижения влаги и веществ в почвах, которые, в свою очередь, должны опираться на предварительные прогнозные расчеты. В настоящее время процедура прогнозного моделирования гидрологических процессов в почвах широко применяется при исследовании поведения пестицидов в почвах [1, 2], прогнозе затопления, при разработке систем городского и сельскохозяйственного водоснабжения, управлении водными ресурсами [3]. Важнейшим этапом разработки физически обоснованных моделей является получение и применение их экспериментального обеспечения [4, 5] – плотности почвы, порозности, гранулометрического состава, основной гидрофизической характеристики (ОГХ), функции влагопроводности.

При изучении водного режима степных почв необходимо учитывать, что процессы впитывания и перемещения в них влаги происходят, как правило, в условиях недостаточной увлажненности. Процесс инфильтрации и движения влаги в сухой почве определяется прежде всего давлением влаги в порах и обусловлен сложной совокупностью структурно-функциональных (физических и гидрофизических) свойств почвы, главными из ко-

торых являются функция влагопроводности (или ненасыщенная гидравлическая проводимость) и основная гидрофизическая характеристика – зависимость между капиллярно-сорбционным давлением почвенной влаги и ее содержанием в почве (объемной влажностью). Для описания перетока жидкой фазы в ненасыщенных влагой почвах, совместно с ОГХ и функцией влагопроводности, используется феноменологическое уравнение Ричардса, согласно которому поток влаги пропорционален градиенту ее матричного потенциала [4, 6].

**Цель работы** – изучение влагопроводности черноземов южных Канской межгорной котловины Алтая, различных по типам их сельскохозяйственного использования.

### Задачи:

1) восстановление основных гидрофизических характеристик черноземов южных (под пашней и пастбищем) расчетными полумпирическими методами (для различных генетических горизонтов);

2) получение функции влагопроводности черноземов южных, как зависимости между капиллярно-сорбционным давлением влаги в почве и коэффициентом влагопроводности в различных генетических горизонтах;

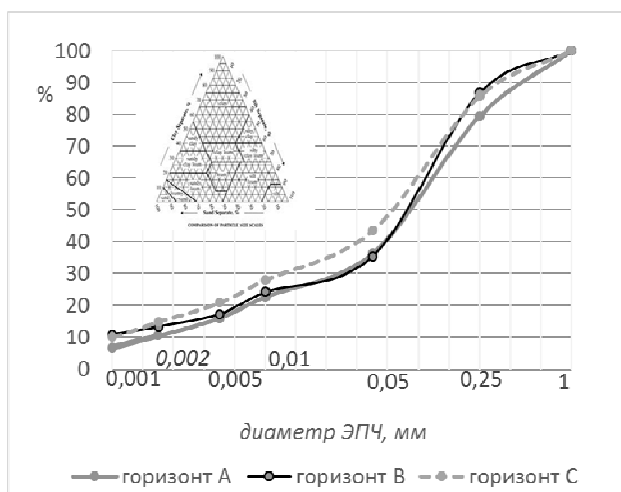
3) сравнение коэффициентов влагопроводности и вертикальных потоков влаги в черноземах южных под пашней и пастбищем в условиях ненасыщенности почв влагой.

### Объекты и методы

Канская межгорная котловина расположена в Центральном Алтае, в пределах Усть-

Канского административного района Республики Алтай, на высоте 1100-1200 м над уровнем моря (днище). Климат умеренно-холодный, годовая норма осадков 300-350 мм, за период с мая по июль выпадает 170-190 мм [7].

Объекты исследования – черноземы южные легкосуглинистые Канской степи (бассейн р. Чарыш, приток 1-го порядка р. Обь) различных видов сельскохозяйственного использования – пашни и пастбища, сформированные на щебнисто-песчаных окисленных хлорито-серецитово-сланцевых элювио-делювиальных отложениях остепненных юго-западных склонов Теректинского хребта (окрестности с. Яконур). Разрез 03-14 – чернозем южный под разнотравно-(полюнно-лапчатково)-злаковой степью и разрез 04-14 – чернозем южный распаханый под посевами овса. По некоторым литературным источникам Канская степь относится к районам темно-каштановых почв с пятнами черноземов южных [7], другие исследователи диагностируют в Канской степи черноземы южные и обыкновенные [8] – полнопрофильные, с мощным А горизонтом.



**Рис. 1. Интегральная (кумулятивная) кривая гранулометрического состава А, В и С горизонтов чернозема южного легкосуглинистого распаханного Канской котловины**

Гранулометрический состав почв определяли по методу Качинского [9] – исследуемые почвы являются (по отечественной классификации) в основном легкосуглинистыми.

С использованием графической интерполяции, по полученным кумулятивным кривым гранулометрического состава почв (рис. 1), было определено содержание в них фракций размеров, используемых в зарубежной классификации, т.е. <0,002 мм (глина), 0,002-0,05 мм (пыль) и 0,05-2 мм – песок. Зная эти величины, по треугольнику Ферре (рис. 1), мы осуществили переход от отечественной

классификации к зарубежной [4]. Приведенные к зарубежной классификации данные гранулометрического состава использовались при работе в программе RETC 6.02 для получения параметров аппроксимации функции Ван-Генухтена, которая была нами выбрана для описания ОГХ почв, как наиболее употребительная в настоящее время в мировом почвоведении функцией:

$$\theta(P) = \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + (\alpha P)^n)^m} + \theta_r$$

где  $m = 1 - 1/n$ ;

$\theta$  – равновесная влажность (влажность, соответствующая определенному давлению почвенной влаги  $P$ ;

$\theta_s$  – влажность, близкая к влажности насыщения за вычетом объема, занятого заземленным воздухом;

$\theta_r$  – остаточная влажность;

$\alpha$  и  $n$  – эмпирические коэффициенты, которым также приписывают физический смысл:  $\alpha$  – величина, обратная величине капиллярно-сорбционного давления, приближающегося к давлению входа воздуха,  $n$  – крутизна кривой [10].

Параметры аппроксимации ОГХ функцией Ван-Генухтена были определены нами по педотрансферным функциям Rosetta Litev.1.1 программы RETC 6.02.

Для определения ОГХ методом «секущих» по Воронину определяли почвенно-гидрологические константы (ПГК), такие как: максимальную гигроскопичность, влажность разрыва капилляров, с которой связан показатель нижнего предела пластичности (почва теряет пластичность с исчезновением капиллярной подвижной влаги, когда начинает доминировать влага в тонких капиллярах и пленках), и капиллярную влагоемкость (которая обусловлена максимальным количеством капиллярной влаги) [4, 5].

Согласно энергетической концепции Воронина, каждой почвенно-гидрологической константе (характерная влажность почвы, устанавливаемая по ее состоянию или по состоянию контактирующих с ней объектов) соответствует давление влаги, определяемое уравнениями:

- 1)  $\varepsilon \rightarrow pF = 0$ , где  $\varepsilon$  – пористость почвы (поправок не вводили, поскольку исследуемые почвы являются песчаными и легкосуглинистыми);
- 2)  $W_{ПТ} \rightarrow pF = 2,17$ , где  $W_{ПТ}$  – влажность на пределе текучести;
- 3)  $W_{НВ} \rightarrow pF = 2,17 + W$ , где  $W_{НВ}$  – наименьшая влагоемкость;
- 4)  $W_{ПП} \rightarrow pF = 2,17 + 3W$ , где  $W_{ПП}$  – влажность на пределе пластичности;
- 5)  $W_{МГ} \rightarrow pF = 4,5$ , где  $W_{МГ}$  – влажность при максимальной гигроскопичности почвы [11].

Определение указанных констант для восстановления ОГХ по методу Воронина производилось следующими методами: общую пористость – через соотношение плотности почвы и плотности ее твердой фазы (определение выполнялось по ГОСТ 5180-84), пределы текучести и пластичности – балансирным конусом по А.М. Васильеву (как влажность почвы, при которой балансирный конус весом 79 г погружается в почву на определенную глубину за определенное время), определение наименьшей влагоемкости в поле проводили через 24 ч после окончания экспериментов на водопроницаемость, максимальную гигроскопичность почвы – по А.В. Николаеву [9]. Для всех перечисленных почвенно-гидрологических констант влажность определялась термостатно-весовым методом (ГОСТ 5180-84).

Коэффициенты влагопроводности чернозема южного пашни и пастбища были рассчитаны по формуле Генухтена-Муалема:

$$K_{вл} = K_{\phi} * Se^{1/2} [1 - (1 - Se^{1/m})^m]^2,$$

где  $Se$  – относительное водонасыщение,  $Se = (\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r)$ .

Имеющий ту же размерность, что и коэффициент фильтрации, коэффициент влагопроводности характеризует способность почвы проводить поток влаги в условиях ненасыщенности, но не является величиной постоянной для данного почвенного объекта, а уменьшается по мере снижения матричного давления влаги. Функции влагопроводности черноземов, как зависимость между  $K_{вл}$  и капиллярно-сорбционным давлением почвенной влаги, строились в программе RETC 6.02.

Полученные гидрофизические свойства каждого почвенного горизонта изученных черноземов, наряду с плотностью и мощностью рассматриваемых слоев, исходных значений влажности (и давлений влаги – исходя из полученных кривых влагоудержания), служили экспериментальным обеспечением для расчета вертикального передвижения влаги в почве (между отдельными почвенными слоями) по уравнению Ричардса:

$$Q = K_{вл(P_{к-с})} * \left( \frac{\Delta P_{к-с}}{\Delta z} - 1 \right),$$

где  $\Delta P_{к-с}$  – перепад капиллярно-сорбционного давления влаги между точками измерения давления;

$\Delta z$  – расстояние по вертикальной координате между этими точками;

$K_{вл(P_{к-с})}$  – коэффициент влагопроводности при определенном капиллярно-сорбционном давлении почвенной влаги [4].

Полученные нами значения параметров аппроксимации уравнения Ван-Генухтена хорошо сходятся с таковыми для черноземов Алтайского края [12]. Так, параметр  $\theta_s$ ,

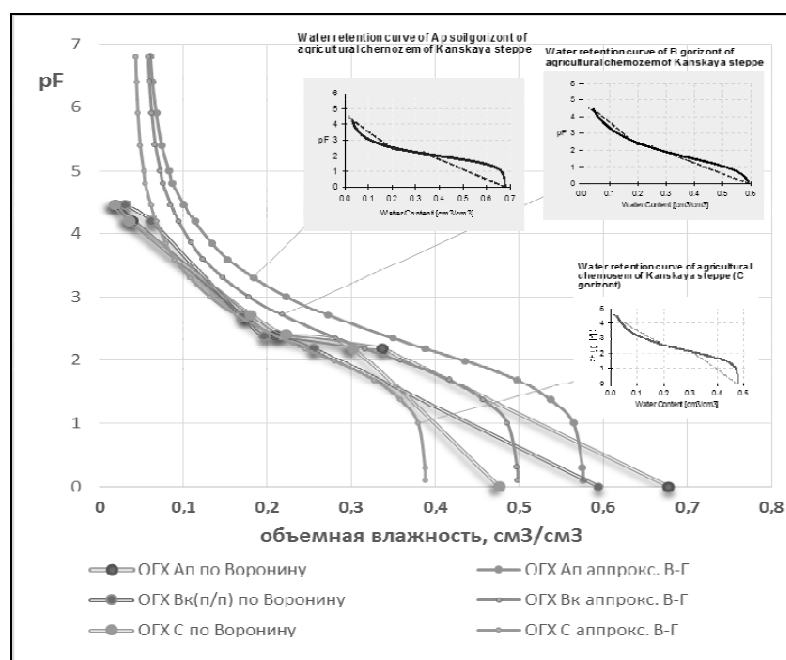
(влажность почвы, соответствующая ее полной влагоемкости) в Ал горизонтах черноземов южных легкосуглинистых составляет  $0,524 \pm 0,036 \text{ см}^3/\text{см}^3$  [12], тогда как, по результатам наших исследований, в Ал горизонтах черноземов южных Канской степи  $\theta_s$ , изменяется от 0,503 до  $0,577 \text{ см}^3/\text{см}^3$ . Значения параметра  $\alpha$ , который обратно пропорционален по значению давлению входа воздуха и определяет положение первого перегиба кривой ОГХ, в изученных нами черноземах южных Канской котловины ( $0,018-0,021 \text{ см}^{-1}$  в А горизонтах) практически совпадает с литературными данными ( $0,018 \pm 0,006 \text{ см}^{-1}$ ) [12]. Несколько ниже, чем для верхних пахотных горизонтов черноземов южных Алтайского края, получились в исследуемых нами черноземах параметры  $n$  (определяющий крутизну наклона кривой ОГХ) – 1,39-1,41 по сравнению с  $1,83 \pm 0,07$  [12] и  $\theta_r$  (минимальная влажность) –  $0,046-0,056 \text{ см}^3/\text{см}^3$  по сравнению с  $0,072 \pm 0,013$  [12], что объясняется более легким (по сравнению с черноземами равнинной части Алтая) гранулометрическим составом почв Канской котловины.

Кривые водоудержания изученных нами черноземов южных Канской степи имеют выраженную S-образную форму и хорошо дифференцированы по горизонтам в области капиллярной и гравитационной влаги, тогда как в области пленочной влаги различия по горизонтам выражены слабее (рис. 2).

Результаты построения кривых влагоудержания черноземов Канской степи различными методами хорошо сходились в верхних частях графика ОГХ, в области низких значений давления и влажности (рис. 2). Заметно, что со снижением давления кривые ОГХ уплотненных  $V_k$  и  $S_k$  почвенных горизонтов исследуемых черноземов отклоняются вправо, в сторону больших значений влажности. Это связано с тем, что в области малоподвижной (пленочной и адсорбированной) влаги влагоудерживающая способность определяется наличием в почве тонких капилляров, которых больше в уплотненной почве. По литературным данным, сдвиг вправо кривых ОГХ черноземов равнинного Алтая отмечен в случае утяжеления их гранулометрического состава [12].

В области высоких значений влажности положение кривых ОГХ черноземов Канской степи, построенных различными методами, различается более существенно, однако очередность их смещения в сторону большей влажности остается постоянной ( $A > B > C$ ) – больше удерживает влаги более рыхлый верхний Ал горизонт с большим количеством крупных пор.





**Рис. 2. Кривые влагоудержания (ОГХ) различных горизонтов чернозема южного распаханного (Канская степь, бассейн р. Чарыш), восстановленные по ПТФ Roseffta аппроксимацией функцией Ван-Генухтена, а также построенные с помощью ПКГ по методу «секущих Воронина» (на маленьких рисунках приведены кривые ОГХ, построенные в программе RETC)**

При рассмотрении полученных нами зависимостей  $K_{вл} (см/сут.) = f(p)$  для А и В горизонтов черноземов южных (рис. 3) можно отметить, что при иссушении и уменьшении давления почвенной влаги влагопроводность почвы существенно снижается. Низкой влагопроводящей способностью ненасыщенных влагой почв объясняется наблюдаемое в природе явление слабого впитывания влаги при поливе сильно иссушенных почв: первые несколько секунд высохшая поверхность почвы практически не впитывает воду, пока не увлажнится ее поверхностный слой и возрастает его влагопроводность.

Отметим, что влагопроводность А и Вк горизонтов чернозема южного Канской котловины отличается друг от друга по значению более существенно в случае использования почвы в качестве пашни, чем пастбища, что предопределяет различные особенности влагопереноса между этими горизонтами в этих почвах (табл., рис. 3). При иссушении и снижении капиллярно-сорбционного давления (в области капиллярной подвижной и пленочно-капиллярной слабо-подвижной влаги) Вк горизонт пастбища проводит влагу лучше, чем Вк горизонт пашни, значит, при выпадении осадков после засушливого периода вертикальный нисходящий переток влаги будет лучше выражен между А и В горизонтами чернозема пастбища, чем чернозема пашни, т.к. влагопроводность В горизонта пастбища выше. При этом, очевидно, в черноземе пашни бу-

дет более выражен боковой внутрипочвенный сток в пределах верхнего пахотного слоя.

При рассмотрении коэффициентов влагопроводности при различных энергетических состояниях влаги в почве (табл.) можно отметить, что при одинаковых влагоемкостных состояниях почвенного профиля, наибольшие значения  $K_{вл}$  в распаханном варианте чернозема наблюдаются в верхнем Ап горизонте, тогда как в черноземе пастбища, напротив, лучшими влагопроводящими свойствами в условиях ненасыщенности влагой обладает В горизонт.

Для сравнения, коэффициент влагопроводности черноземов выщелоченных среднесуглинистых НИИ им. М.А. Лисавенко (южная окраина г. Барнаула, на левом берегу р. Оби) в диапазоне высокого давления влаги (от 0 до  $\approx -10$  см вод. ст.) сравнительно ниже (35-15 см/сут.) [6], чем  $K_{вл}$  изучаемых нами супесчаных черноземов южных. Последние, более рыхлые и крупнопористые, в области высокого давления гравитационной и капиллярной форм почвенной влаги проводят влагу лучше, чем более тяжелые по гранулометрическому составу черноземы выщелоченные. Однако в области низкого давления влаги (-1000 см вод. ст.)  $K_{вл}$  черноземов выщелоченных не опускается ниже 0,01 см вод. ст. [6], тогда как величина  $K_{вл}$  изученных нами черноземов южных при данном значении давления – на порядки ниже (от 0,000п до 0,0000п см вод. ст.).

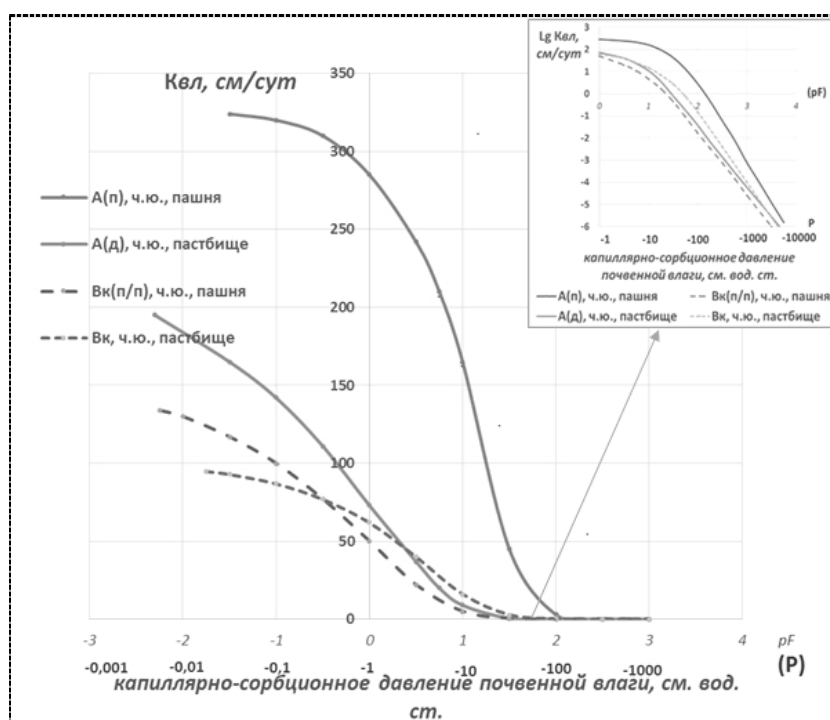


Рис. 3. Функции влагопроводности А и В горизонтов почв Канской котловины – черноземов южных, с различным сельскохозяйственным использованием

Таблица  
Кoeffициенты влагопроводности А и В горизонтов черноземов южных пашни и пастбища при различных значениях давления и влажности, соответствующие различным переходным состояниям влаги

Состояния влаги Горизонт	ММВ=ВРК (ПП)			МКСВ (НВ)			КВ (ПТ)		
	Θ, см <sup>3</sup> /см <sup>3</sup>	pF	Квл, см/сут.	Θ, см <sup>3</sup> /см <sup>3</sup>	pF	Квл, см/сут.	Θ, см <sup>3</sup> /см <sup>3</sup>	pF	Квл, см/сут.
Чернозем южный, пашня									
Ап	0,18	2,65	<b>0,0166</b>	0,21	2,42	<b>0,158</b>	0,34	2,17	<b>0,63</b>
Вп/п	0,18	2,73	<b>0,00015</b>	0,20	2,40	<b>0,0001</b>	0,25	2,17	<b>0,0055</b>
Чернозем южный, пастбище									
Ад	0,22	2,82	<b>0,00022</b>	0,24	2,41	<b>0,025</b>	0,26	2,17	<b>0,014</b>
Вк	0,17	2,68	<b>0,00158</b>	0,20	2,37	<b>0,070</b>	0,27	2,17	<b>0,040</b>

Примечание. ММВ – максимальная молекулярная влагоемкость – влагосодержание при максимальном содержании пленочной влаги; ВРК – влажность разрыва капиллярных связей; МКСВ – капиллярно-сорбционная влагоемкость, соответствующая наименьшей влагоемкости, при которой происходит смена капиллярно-сорбционного механизма удержания влаги на капиллярный; КВ – капиллярная влагоемкость – влажность, при которой влага содержится в крупных порах (кривизна менисков почти плоская), соответствующая пределу текучести почвы.

На основании полученного нами экспериментального обеспечения можно (принимая во внимание некоторые допущения, такие как, например, отсутствие эвапотранспирации) выполнить расчет вертикального передвижения влаги в почве между отдельными почвенными слоями по уравнению Ричардса. Например, при влажности верхнего Ап горизонта чернозема южного распаханного, соответствующей его наименьшей влагоемкости (0,21 см<sup>3</sup>/см<sup>3</sup> в верхнем Ап горизонте и 0,20 см<sup>3</sup>/см<sup>3</sup> в подпахотном В горизонте) (табл. 2), запас влаги в верхнем (5 см) слое данной почвы составляет 1,05 см. В случае выпадения 1 см осадков и соответствующего изменения объемной влажности этого верх-

него слоя и увеличения в нем давления почвенной влаги до -95 см вод. ст. (находим по графику ОГХ) на глубину 25 см (Δz) из Ап горизонта в подпахотный В горизонт нисходящий переток влаги составит всего:

$$Q = K_{вл(pк-с)} * \left( \frac{\Delta P_k - c}{\Delta z} - 1 \right) = 0,00216 \text{ см/сут.} * \left( \frac{-240 \text{ см вод. ст.} - (-95 \text{ см вод. ст.})}{25 \text{ см}} - 1 \right) = 0,00216 * (-6,8) = 0,0086 \text{ см/сут.}$$

водного слоя.

Кoeffициент влагопроводности в данном случае берем для наименьшего давления (для В горизонта) – при соответствующей влажности 0,196 см<sup>3</sup>/см<sup>3</sup> и давлении почвенной влаги

-240 см вод. ст. (или  $rF=2,37$ ), равный 0,00126 см/сут. Выполнив такие же расчеты для А и В горизонтов пастбища (при таком же начальном запасе влаги в верхнем слое), получим, что при выпадении 1 см осадков нисходящий перетокиз Ад в Вк горизонт будет в 20 раз интенсивнее и составит 2 мм в сутки.

#### Выводы

1. Установлена хорошая сходимости результатов построения различными расчетными методами кривых влагоудержания черноземов южных Канской степи в области низкой влажности почвы.

2. Со снижением давления почвенной влаги водоудерживающая способность более плотных почвенных горизонтов черноземов южных увеличивается, что определяется большим содержанием в них тонких капилляров, которые удерживают в почвах пленочную и сорбционную (малоподвижную) влагу.

3. Инфильтрация влаги в черноземах южных под пастбищем заметно превышает таковую (или нисходящие потоки влаги в ненасыщенных влагой почвах) под пашней.

4. Низкая влагопроводность подпахотного горизонта чернозема южного распаханного Канской степи определяет замедленность нисходящего потока влаги, что может стимулировать боковой сток в пределах его верхнего Ал горизонта.

#### Библиографический список

1. Шеин Е.В., Зинченко С.И., Банников М.В., Мазиров М.А., Поздняков А.И. Методы оценки и прогноза агрофизического состояния почв / ГНУ Владимирский НИИСХ, Россельхозакадемия. – Владимир, 2009. – 106 с.
2. Шеин Е.В., Губер А.К., Кухарук Н.С. Перенос воды и веществ по макропорам в дерново-подзолистой почве // Вестник Московского ун-та. Сер. 17. Почвоведение. – 1995. – № 2. – С. 22-32.
3. Зайдельман Ф.Р. Генезис и экологические основы мелиорации почв и ландшафтов. – М.: Изд-во КДУ, 2009. – 720 с.
4. Шеин Е.В. Курс физики почв. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 432 с.
5. Панина С.С. Экспериментальное изучение и моделирование передвижения влаги в почве при малонапорной и безнапорной инфильтрации: дис. ... канд. биол. наук. – М.: МГУ, 2015. – 138 с.
6. Гончаров И.А., Болотов А.Г., Гончаров Н.А. Функции влагопроводности черноземов выщелоченных Алтайского Приобья // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – № 4 (126). – С. 30-34.
7. Почвы Горно-Алтайской автономной области. – Новосибирск: Наука, 1973. – 352 с.

8. Балькин Д.Н., Пузанов А.В. Марганец, медь, молибден и бор в почвах среднегорных котловин Алтая // Мир науки, культуры, образования. – 2007. – № 4. – С. 27-30.

9. Агрохимические методы исследования почв. – М.: Наука, 1975. – 655 с.

10. van Genuchten M.Th. A Closed-Form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils // Soil. Sci. Soc. Am. J. – 1980. – Vol. 44 (5). – P. 892-898.

11. Шеин Е.В., Щеглов Д.И., Москвин В.В. Моделирование процесса водопроницаемости черноземов каменной степи // Почвоведение. – 2012. – № 6. – С. 648-657.

12. Болотов А.Г., Дубский С.Н., Шаталов А.Н., Шаталов А.Н., Бутырин И.Н., Кузнецов Е.Н., Гончаров И.А., Гончаров Н.А. Моделирование основной гидрофизической характеристики черноземов Алтайского края. // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – № 2. – С. 31-35.

#### References

1. Shein E.V., Zinchenko S.I., Bannikov M.V., Mazirov M.A., Pozdnyakov A.I. Metody otsenki i prognoza agrofizicheskogo sostoyaniya pochv / GNU Vladimirsii NIISKH, Rossel'khozakademiya. – Vladimir, 2009. – 106 s.
2. Shein E.V., Guber A.K., Kukharuk N.S. Perenos vody i veshchestv po makroporam v dernovo-podzolistoi pochve // Vestnik Moskovskogo un-ta. Ser. 17, Pochvovedenie. – 1995. – № 2. – S. 22-32.
3. Zaidel'man F.R. Genezis i ekologicheskie osnovy melioratsii pochv i landshaftov. – M.: Izd-vo KDU, 2009. – 720 s.
4. Shein E.V. Kurs fiziki pochv. – M.: Izd-vo MGU, 2005. – 432 s.
5. Panina S.S. Eksperimental'noe izuchenie i modelirovanie peredvizheniya vlagi v pochve pri malonapornoj i beznapornoj infil'tratsii: dis. ... kand. biol. nauk. – M.: MGU, 2015. – 138 s.
6. Goncharov I.A., Bolotov A.G., Goncharov N.A. Funktsii vlagoprovodnosti chernozemov vshchelochennykh Altaiskogo Priob'ya // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. – № 4 (126). – S. 30-34.
7. Pochvy Gorno-Altayskoi avtonomnoi oblasti. – Novosibirsk: Nauka, 1973. – 352 s.
8. Balykin D.N., Puzanov A.V. Marganets, med', molibden i bor v pochvakh srednegornyykh kotlovin Altaya // Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya. – 2007. – № 4. – S. 27-30.
9. Agrokhimicheskie metody issledovaniya pochv. – M.: Nauka, 1975. – 655 s.
10. van Genuchten M.Th. A Closed-Form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils // Soil. Sci. Soc. Am. J. – 1980. – Vol. 44 (5). – P. 892-898.

11. Shein E.V., Shcheglov D.I., Moskvina V.V. Modelirovanie protsessa vodopronitsaemosti chernozemov kamennoi stepi // Pochvovedenie. – 2012. – № 6. – S. 648-657.

12. Bolotov A.G., Dubskii S.N., Shatalov A.N., Shatalov A.N., Butyrin I.N., Kuz-

netsov E.N., Goncharov I.A., Goncharov N.A. Modelirovanie osnovnoi gidrofizicheskoi kharakteristiki chernozemov Altaiskogo kraia // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. – № 2. – S. 31-35.



УДК 631.436

С.В. Макарычев  
S.V. Makarychev

## ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КАШТАНОВЫХ ПОЧВ КУЛУНДИНСКОЙ СТЕПИ

### THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF CHESTNUT SOILS OF THE KULUNDA STEPPE

**Ключевые слова:** каштановые почвы, теплоемкость, теплопроводность, температуропроводность, диапазон активной температуропроводности, теплофизический бонитет.

Каштановые почвы занимают самостоятельную зону на центральной Кулундинской аллювиальной равнине, где слагают крупные массивы. Характерным признаком их является малая мощность гумусово-аккумулятивного горизонта. Эти почвы чаще всего легкосуглинистые, но встречаются и среднесуглинистые разновидности. Особенности формирования каштановых почв нашли отражение в распределении теплофизических характеристик в их почвенных профилях. В однородных по гранулометрическому составу почвах изменение объемной теплоемкости главным образом определяется плотностью генетических горизонтов и увеличивается с глубиной. Лугово-каштановые солонцеватые почвы отличаются повышенными значениями теплоаккумуляции. Изменения температуропроводности в профиле каштановых почв являются следствием сложного сочетания почвенного уплотнения и облегченного гранулометрического состава. Теплопроводность при переходе от гумусово-аккумулятивного слоя к почвообразующей породе имеет тенденцию к росту. В целом легкосуглинистые горизонты отличаются повышенными абсолютными и относительными изменениями коэффициентов теплопередачи по сравнению со среднесуглинистыми как в темно-каштановых, так и в лугово-каштановых почвах. При водных мелиорациях наиболее качественными, обеспечивающими оптимальный теплообмен, являются темно-каштановые среднесуглинистые почвы. Хорошими показателями характеризуются также легкосуглинистые почвы. В то же время солонцеватые, более тяжелые

по гранулометрическому составу, лугово-каштановые подтипы малоэффективны.

**Keywords:** chestnut soils, thermal capacity, thermal conductivity, thermal diffusivity, active thermal diffusivity range, thermophysical bonitet.

The chestnut soils occupy a separate zone in the central Kulunda alluvial plain and they make up large massifs there. A specific feature of these soils is their thin humus-accumulative horizon. These soils are mostly light-loamy though there are medium-loamy types. The formation features of chestnut soils are reflected in the distribution of the thermophysical characteristics in their soil profiles. In the soils with homogeneous particle size distribution the volumetric thermal capacity is largely determined by the density of genetic horizons and increases with depth. The meadow-chestnut solonchic soils reveal high values of thermal storage. The changes of the thermal diffusivity in chestnut soil profiles are the result of a complex combination of soil compaction and lighter particle size distribution. The thermal conductivity reveals an increasing trend at the transition from the humus-accumulative layer to the parent rock material. In general, light-loamy horizons are distinguished by higher absolute and relative changes in the heat transfer coefficients as compared to medium-loamy horizons both in dark-chestnut and meadow-chestnut soils. Dark-chestnut medium-loamy soils are the best ones for water amelioration since they ensure the optimum heat transfer. The light-loamy soils are also characterized by good indices. At the same time, the solonchic meadow-chestnut soil subtypes are heavier in their particle size distribution and less effective.

**Макарычев Сергей Владимирович**, д.б.н., проф., зав. каф. физики, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-53. E-mail: phys\_asau@rambler.ru.

**Makarychev Sergey Vladimirovich**, Dr. Bio. Sci., Prof., Head, Physics Dept., Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-53. E-mail: phys\_asau@rambler.ru.

#### Введение

Каштановые почвы формируются в сухом континентальном климате с теплым засушли-

вым продолжительным летом и холодной зимой с незначительным снежным покровом. Средняя годовая температура в азиатской