

12. Абатуров Ю.Д. Влияние сосновых и березовых лесов на почвы Южного Урала // Почвоведение. – 1961. – № 6. – С. 59-67.

13. Куликова В.К. Динамика подвижных форм элементов минерального питания в почвах еловых и березово-еловых насаждений в условиях Карелии // Лес и почвы. – Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В.Н. Сукачева СО АН СССР, 1968. – С. 276-288.

14. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.

References

1. Eytingen G.R. Lesovodstvo: uchebnik dlya agromicheskikh institutov i fakultetov. – 4-e izd., pererab. i dop. – М.: Selkhozgiz, 1949. – 368 s.

2. Belyaev A.B. Mnogoletnyaya dinamika svoystv chernozemov vyshchelochennykh pod raznymi lesonasazhdeniyami // Pochvovedenie. – 2007. – № 8. – S. 917-926.

3. Vaychis M.V. K voprosu o vliyani listvennitsy evropeyskoy na izmenenie dernovo-podzolistykh pochv // Pochvovedenie. – 1958. – № 5. – S. 12-22.

4. Gavrilov K.A. Vliyanie razlichnykh lesnykh kultur na pochvu // Lesnoe khozyaystvo. – 1950. – № 3. – S. 30-35.

5. Firsova V.P., Kulay G.A., Rzhannikova G.K. K voprosu o vliyani smeny porod na khimicheskie i mikrobiologicheskie svoystva dernovo-podzolistykh pochv Zauralya // Trudy In-ta biologii UF AN SSSR. – 1966. – S. 187-195.

6. Trofimov I.T., Bekhovykh Yu.V., Bolotov A.G., Sizov E.G. Fizicheskie svoystva chernozemov pod khvoynymi lesopolosami // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – № 9. – S. 23-27.

7. Kaurichev I.S., Panov N.P., Rozov N.N. i dr. Pochvovedenie. – 4-e izd., pererab. i dop. – М.: Agropromizdat, 1989. – 719 s.

8. Zonn S.V., Kuzmina E.A. Vliyanie khvoynykh i listvennykh porod na fizicheskie svoystva i vodnyy rezhim vyshchelochennykh chernozemov // Vliyanie khvoynykh i listvennykh nasazhdeniy na vyshchelochennye chernozemy lesostepi. – М.: Izd-vo AN SSSR, 1960. – Т. 1. – S. 145-201.

9. Trofimov I.T., Klyuchnikov M.V., Mikhaylova N.V. Vliyanie drevesnykh i kustarnikovykh porod na nekotorye svoystva chernozema vyshchelochennogo Predaltayskoy provintsii // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2008. – № 6. – S. 26-28.

10. Bekhovykh Yu.V., Sizov E.G., Levin A.A. Fizicheskie svoystva chernozema vyshchelochennogo pod razlichnymi drevesnymi porodami polezashchitnykh lesopolos // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. – № 8. – S. 61-66.

11. Smolyaninov I.I. Pochvoobrazuyushchee vozdeystvie sosny i berezy na razlichnykh pochvakh // Tr. I Sibirskoy konferentsii pochvovedov. – Krasnoyarsk, 1962. – S. 65-80.

12. Abaturov Yu.D. Vliyanie sosnovykh i berezovykh лесов на почвы Южного Урала // Pochvovedenie. – 1961. – № 6. – S. 59-67.

13. Kulikova V.K. Dinamika podvizhnykh form elementov mineralnogo pitaniya v pochvakh elovykh i березово-еловых насаждений в условиях Карелии // Лес и почвы. – Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В.Н. Сукачева СО АН СССР, 1968. – С. 276-288.

14. Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.



УДК 631.436(М 12)

М.А. Мазиров, С.В. Макарычев
M.A. Mazirov, S.V. Makarychev

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОРОШАЕМЫХ И БОГАРНЫХ ПОЧВ ЗАПАДНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ С УЧЕТОМ ПОЧВЕННО-ФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

THE PECULIARITIES OF CALCULATED DETERMINATION OF THERMOPHYSICAL CHARACTERISTICS
OF IRRIGATED AND RAIN-FED SOILS OF THE WESTERN TIEN SHAN WITH ACCOUNT
OF THE SOIL-PHYSICAL FACTORS

Ключевые слова: объемная теплоемкость, температуропроводность, теплопроводность, плотность, дисперсность, гумус, орошение, корреляция, уравнения регрессии.

Keywords: volumetric thermal capacity, thermal diffusivity, thermal conductivity, density, dispersion, humus, irrigation, correlation, regression equations.

Вертикальная зональность, к которой относится Западный Тянь-Шань, представлена сероземами предгорий и низкогорий, средневысотный горный пояс – коричневыми и бурыми горно-лесными, а лугово-степные высокогорья – светло-бурими почвами. Теплофизические свойства этих почв не изучались до девяностых годов прошлого столетия, поэтому нами проводились массовые экспериментальные измерения их теплоемкости, тепло- и температуропроводности. В итоге был создан обширный банк данных по теплофизическим свойствам почвенного покрова данного региона. Аналитическая обработка полученных данных и почвенно-физических факторов, таких как влажность, плотность почвы и содержание в ней гумуса позволили получить ряд регрессионных уравнений, которые дали возможность решить проблему картирования почв региона по их теплофизическому состоянию. Использование значений термических коэффициентов при абсолютно сухом состоянии почв обеспечили независимость картирования от меняющихся во времени климатических особенностей региона и гидротермических режимов в почвенном профиле.

The vertical zonality which includes the Western Tien Shan is represented by sierozems of foothills and low mountains; the belt of medium-altitude mountains – by brown and brown mountain-forest soils; the meadow-steppe highlands – by light brown soils. The thermophysical properties of these soils were not studied until the nineties of the past century, so we carried out large-scale experimental measurements of their thermal capacity, thermal diffusivity and thermal conductivity. As a result, an extensive database on the thermophysical properties of the soil cover of this region was created. Analytical processing of the obtained data and soil-physical factors as moisture content, soil density and humus content enabled obtaining a number of regression equations that made it possible to solve the problem of soil mapping of the region according to the soil thermophysical condition. The use of thermal coefficient values of absolutely dry soils ensured the independence of mapping from the time-varying climatic features of the region and the hydrothermal regimes in the soil profile.

Мазиров Михаил Арнольдович, д.б.н., проф., зав. каф. земледелия и опытного дела, Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева. E-mail: mazirov@mail.ru.

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.

Mazirov Mikhail Arnoldovich, Dr. Bio. Sci., Prof., Head, Chair of Agriculture and Experimentation, Russian State Agricultural University – Timiryazev Moscow Agricultural Academy. E-mail: mazirov@mail.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

Западный Тянь-Шань отдельные исследователи считают особым почвенно-географическим образованием в ранге округа [1] или провинцией [2]. Современная классификация этих почв базируется на представлениях о том, что в системе широтных почвенно-климатических зон Узбекистана равнинная часть территории располагается в зоне пустынь. Вертикальная зональность, к которой относится Западный Тянь-Шань, представлена сероземами предгорий и низкогорий, средневысотный горный пояс – коричневыми и бурыми горно-лесными почвами, а луговостепные высокогорья – светло-бурими почвами.

Теплофизические свойства этих почв не изучались до девяностых годов прошлого столетия, поэтому нами были проведены массовые экспериментальные измерения теплоемкости, тепло- и температуропроводности как в лаборатории, так и в естественных условиях в течение многих лет [3, 4]. В результате был создан обширный банк данных по теплофизическим свойствам почв Западного Тянь-Шаня, который дает возможность перейти к разработке соотношений, определяю-

щих взаимосвязь указанных показателей и почвенно-физических факторов. Это позволяет получить уравнения регрессий, по которым можно определять расчетным путем весь комплекс теплофизических коэффициентов горных почв.

Объекты и методы

Цель исследований – вывод уравнений регрессии на основе полученных экспериментальных данных для расчетного определения комплекса теплофизических коэффициентов почвенного покрова.

Объектами исследований явились горные коричневые и бурые горно-лесные почвы, а также сероземы низкогорий и равнин региона. При этом использовались **методы** плоского нагревателя, цилиндрического зонда, а также **методы** математической статистики.

Результаты исследований

Имея обширную базу экспериментальных данных по плотности сложения, по содержанию физической глины и органического вещества в генетических горизонтах почвенного покрова средне-

азиатских почв, а также по комплексу теплофизических коэффициентов, таких как объемная теплоемкость, температуропроводность и теплопроводность, нами проведен анализ взаимосвязей между этими показателями при различной степени почвенного увлажнения (табл. 1).

В таблице 1 показаны коэффициенты корреляции теплофизических характеристик с плотностью, содержанием физической глины и органического вещества. Исходя из этих данных, можно отметить, что по отношению к теплопроводности во всем диапазоне почвенного увлажнения отсутствует доминирующий фактор. В обезвоженном состоянии теплопроводность, прежде всего, зависит от содержания гумуса в почвенном профиле ($\lambda = -0,625$). При увеличении влажности от максимальной гигроскопичности (МГ) до влажности завядания (ВЗ) максимальное воздействие оказывает плотность почвы. Но коэффициенты корреляции столь малы, что говорить об устойчивой взаимосвязи не логично. Скорее всего, это связано с преобладающим влиянием влагосодержания, от которого экспоненциально зависит теплопроводность.

Корреляционные взаимосвязи объемной теплоемкости и почвенно-физических параметров показывают, что доминирующее воздействие оказывает плотность почвы. Здесь имеет место высокая положительная корреляция в диапазоне от абсолютно сухого состояния почвы до полной влагоемкости (ПВ) ($\rho = 0,82-0,75$). Физическая глина не обеспечивает значимого соответствия с объемной теплоемкостью почвенных горизонтов.

Соотношение теплоемкости с количеством органики оказалось негативным во всем диапазоне почвенной влажности. При этом с увеличением содержания гумуса объемная теплоемкость снижается. Хотя коэффициенты корреляции невелики, тем не менее являются значимыми при уровне доверительной вероятности $P = 0,999$ [5-6].

Поскольку влагосодержание в почве оказывает основное влияние на температуропроводность, максимальный коэффициент корреляции по модулю в отношении к плотности почвы наблюдается при ее абсолютно сухом состоянии ($\rho = -0,76$). С увеличением влагосодержания до НВ зависимость температуропроводности от плотности сложения почвы становится меньше.

Количество глинистой фракции также имеет отрицательную корреляцию с температуропроводностью. При увлажнении почвы от МГ до ВЗ содержание гумуса в ней определяющим образом влияет на температуропроводность. В этом случае коэффициенты корреляции близки к 0,7. Скорее всего, это область слабого воздействия влагосодержания, так как при анализе параболических зависимостей температуропроводности от влажности почвы имеет место максимальная скорость изменения температуры. При этом увлажнение от ВЗ до ВРК (влажности разрыва капиллярных связей) вызывает незначительное изменение температуропроводности. Здесь доминирующее влияние на величину скорости изменения температуры (температуропроводности) оказывает содержание гумуса.

Таблица 1

Коэффициенты корреляции термических характеристик к почвенно-физическим свойствам при разной степени почвенной влажности

Характеристика	0	МГ	ВЗ	НВ
Плотность почвы				
Теплопроводность	0,440	0,575	0,491	0,322
Объемная теплоемкость	0,814	0,781	0,749	0,746
Температуропроводность	-0,759	-0,562	-0,637	-0,435
Содержание физической глины				
Теплопроводность	-0,396	0,191	0,232	-0,057
Объемная теплоемкость	0,039	0,097	0,128	0,083
Температуропроводность	-0,464	0,132	0,129	-0,127
Содержание гумуса				
Теплопроводность	-0,625	-0,238	-0,208	-0,075
Объемная теплоемкость	-0,496	-0,452	-0,430	-0,427
Температуропроводность	0,215	0,717	0,704	0,387

Примечание. МГ – максимальная гигроскопичность; ВЗ – влажность завядания; НВ – наименьшая влагоемкость, %.

Аналитическая обработка полученных нами ранее экспериментальных данных, определяющих соотношение теплофизических характеристик почв и почвенно-физических факторов, таких как влажность и плотность почвы, а также содержание в ней органического вещества (гумуса) позволили получить ряд регрессионных уравнений.

В таблице 2 представлены уравнения регрессионных соотношений объемной теплоемкости, тепло- и температуропроводности от плотности почвы (X_1), содержания глинистой фракции (X_2), количества органики (X_3).

Полученные нами уравнения регрессии по теплофизическим свойствам почвенного покрова Западного Тянь-Шаня позволили решить проблему картирования почв региона. Впервые картосхемы теплофизических коэффициентов равнинной территории СССР разработаны Н.В. Серовой [7]. Она рассчитала среднюю за теплое время года тепло- и температуропроводность для верхнего 50-сантиметрового почвенного слоя. При этом усреднение проводилось не только в почвенной толще, но и во времени. Такая карта довольно далека от реальности, поскольку любое изменение температуры или почвенного увлажнения приводит к значительным несоответствиям в теплофизических свойствах, представленных на карте и в естественном природном состоянии почвенного профиля.

С.В. Макарычевым [8] был разработан иной метод картирования почвенного покрова Западной Сибири, а затем и Западного Тянь-Шаня. Для

этого экспериментально создается банк данных по теплофизическому состоянию почвенных разностей. Полученные значения удельной и объемной теплоемкости, тепло- и температуропроводности, а также теплоусвояемости обезвоженных почвенных образцов служат основой карты по любому из этих параметров. Такой подход обеспечивает независимость картирования от меняющихся во времени климатических особенностей и гидротермических режимов в почвенном профиле.

В то же время составление почвенной картосхемы по тепловым показателям усложнено пестротой почвенного покрова. Поэтому нами был предложен такой стабильный показатель, как дисперсность, с которой согласована разработанная карта по тому или иному теплофизическому параметру. Таким образом величины удельной теплоемкости, а также тепло- и температуропроводности двухметровой почвенной толщи легли в основу картосхем.

Максимальной удельной теплоемкостью свыше 1200 Дж/(м³К) обладают типичные сероземы, высококультурные и плодородные, расположенные в зоне древнего орошения. Темные сероземы предгорий и низких гор имеют теплоемкость от 1200 до 1000 Дж/(кг К). Теплоемкость менее 1000 Дж/(кг К) имеют грубоскелетные эродированные, сформированные на склонах средневысоких гор высотой от 1500 до 2500 м коричневые почвы. Сюда же можно отнести и бурые горнолесные почвы с высоты более 2500 м почвы.

Таблица 2

Регрессионные зависимости теплофизических характеристик от плотности почвы, дисперсности и содержания гумуса

ТФХ	Гидроконстанты	Уравнения регрессии
λ	Абс. сухая	$Y = 0,594 + 0,125X_1 - 0,004X_2 - 0,044X_3$
	МГ	$Y = -1,669 + 1,697X_1 + 0,009X_2 + 0,017X_3$
	ВЗ	$Y = -1,422 + 1,563X_1 + 0,011X_2 + 0,012X_3$
	НВ	$Y = 0,203 + 0,852X_1 - 0,001X_2 + 0,012X_3$
Ср	Абс. сухая	$Y = -3,430 + 3,772X_1 + 0,009X_2 - 0,042$
	МГ	$Y = -4,054 + 4,296X_1 + 0,014X_2 - 0,034X_3$
	ВЗ	$Y = -4,295 + 4,495X_1 + 0,018X_2 - 0,034X_3$
	НВ	$Y = -4,044 + 5,059X_1 + 0,016X_2 - 0,036X_3$
α	Абс. сухая	$Y = 1,008 - 0,424X_1 - 0,003X_2 - 0,009X_3$
	МГ	$Y = 0,662 - 0,202X_1 + 0,001X_2 + 0,041X_3$
	ВЗ	$Y = 0,832 - 0,296X_1 + 0,001X_2 + 0,036X_3$
	НВ	$Y = 0,902 - 0,307X_1 - 0,003X_2 + 0,019X_3$

Примечание. λ – теплопроводность; Ср – объемная теплоемкость; α – температуропроводность почвы.

Распределение почв по теплопроводности представляет территорию, на которой выделяются четыре области: слабой теплопередачи с $\lambda = 0,35-0,40$ Вт/(м К) – бурые горно-лесные почвы; удовлетворительной $\lambda = 0,40-0,50$ Вт/(м К) – коричневые почвы, луговые и болотно-луговые почвы пояса типичных сероземов. Отдельную область образуют темные сероземы $\lambda = 0,50-0,55$ Вт/(м К) и, наконец, участки с теплопроводностью $> 0,55$ Вт/(м К).

Имеется также возможность составления почвенных карт по теплофизическим показателям при различной степени увлажнения: при ВЗ, ВРК или НВ. Такие карты представляют определенный интерес, поскольку равнинные сероземы орошаются в течение длительного времени и, большей частью, до наименьшей влагоемкости.

Итак, почвенные карты, составленные по тому или иному теплофизическому показателю, позволяют разработать определенные агроприемы, направленные на рациональное, научно обоснованное водопотребление, так важное в засушливых регионах. Разработка оптимальных оросительных норм будет способствовать сохранению водных ресурсов, повышению почвенного плодородия и урожайности сельскохозяйственных культур.

Заключение

Аналитическая обработка экспериментальных данных, определяющих соотношение теплофизических характеристик и почвенно-физических факторов (влажности, плотности, содержания гумуса), позволили получить ряд регрессионных уравнений. Эти уравнения дали возможность решить проблему картирования почв региона по их теплофизическому состоянию.

При этом полученные значения теплоемкости, тепло- и температуропроводности почв в абсолютно сухом состоянии послужили основой для создания карт по любому из этих параметров. Такой подход обеспечил независимость картирования от меняющихся во времени климатических особенностей региона и гидротермических режимов, формирующихся в почвенном профиле.

Библиографический список

1. Розанов Б.Г. Морфология почв. – М.: Изд-во МГУ, 1983. – 320 с.

2. Шувалов С.А., Горбунов Б.В., Кимберг Н.М. Опыт классификации почв Узбекистана. – Ташкент: Узбекистан, 1941. – 285 с.

3. Мазиров М.А., Макарычев С.В. Агрофизическая характеристика сероземных почв Западного Тянь-Шаня // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 11 (145). – С. 38-43.

4. Макарычев С.В., Мазиров М.А. Физические свойства и теплофизическая характеристика горных почв Западного Тянь-Шаня // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 11 (145). – С. 34-38.

5. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. – М.: Изд-во МГУ, 1972. – 377 с.

6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

7. Серова Н.В. О картировании теплофизических характеристик почв // Климат почв. – Л.: Гидрометеоздат, 1971. – С. 80-86.

8. Макарычев С.В., Болотов А.Г. К вопросу об использовании расчетных методов определения теплофизических характеристик почвы // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 8 (142). – С. 20-24.

References

1. Rozanov B.G. Morfologiya pochv. – M.: Izd-vo MGU, 1983. – 320 s.

2. Shuvalov S.A., Gorbunov B.V., Kimberg N.M. Opyt klassifikatsii pochv Uzbekistana. – Tashkent: Uzbekistan, 1941. – 285 s.

3. Makarychev S.V., Mazirov M.A. Agrofizicheskaya kharakteristika serozemnykh pochv Zapadnogo Tyan-Shanya // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – № 11 (145). – S. 38-43.

4. Mazirov M.A., Makarychev S.V. Fizicheskie svoystva i teplofizicheskaya kharakteristika gornyykh pochv Zapadnogo Tyan-Shanya // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – № 11 (145). – S. 34-38.

5. Dmitriev E.A. Matematicheskaya statistika v pochvovedenii. – M.: Izd-vo MGU, 1972. – 377 s.

6. Dospikhov B.A. Metodika polevogo opyta. – M.: Agropromizdat, 1985. – 351 s.

7. Serova N.V. O kartirovanii teplofizicheskikh kharakteristik pochv // Klimat pochv. – L.: Gidrometeoizdat, 1971. – S. 80-86.

8. Makarychev S.V., Bolotov A.G. K voprosu ob ispolzovanii raschetnykh metodov opredeleniya teplofizicheskikh kharakteristik pochvy // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – № 8 (142). – S. 24-29.

