

## ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГОРНЫХ ПОЧВ ЗАПАДНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ

### PHYSICAL PROPERTIES AND THERMOPHYSICAL CHARACTERISTICS OF MOUNTAIN SOILS OF THE WEST TIEN SHAN

**Ключевые слова:** горные почвы, гранулометрический состав, микроагрегатный состав, плотность, водно-физические свойства, теплоемкость, температуропроводность, теплопроводность.

Климатические особенности Западного Тянь-Шаня обусловлены его расположением на границе умеренного и субтропического поясов. При этом горные коричневые почвы распространены в вертикальной почвенной зоне средневысотных гор. Бурые горно-лесные почвы сформированы наряду с коричневыми и занимают наиболее увлажняемые склоны. Плотность сложения профиля коричневой почвы гораздо выше, чем бурой, особенно в верхних гумусово-аккумулятивных и переходных горизонтах. Гранулометрический состав этих почв тяжелосуглинистый. Коричневые почвы сильно оглинены, а бурые характеризуются значительной пылеватостью и малым содержанием ила и песка. Наименьшая влагоемкость горных коричневых почв ниже, чем бурых горно-лесных, на 20-25%. Влажность разрыва капилляров соответствует 15-17% от веса почвы. Особенности физических свойств нашли отражение в распределении теплоемкости, тепло- и температуропроводности по генетическим горизонтам горных почв. Минимальная теплоемкость имеет место в верхних менее плотных слоях, а максимальная – в иллювиальных горизонтах. Теплопроводность с глубиной также растет, в то время как температуропроводность имеет тенденцию к снижению. Это характерно для всех исследованных профилей. Характерной особенностью горных почв является то, что максимум температуропроводности соответствует их влажности разрыва капиллярных связей (ВРК). Следует отметить также слабую теплоаккумуляционную спо-

собность бурых почв, вследствие их рыхлого строения.

**Keywords:** mountain soils, particle-size distribution, microaggregate composition, density, hydro-physical properties, thermal capacity, thermal diffusivity, thermal conductivity.

The climatic features of the West Tien Shan are determined by its location on the border of temperate and subtropical zones. Brown mountain soils occur in the vertical soil area of medium-high mountains. Brown mountain-forest soils are formed along with cinnamon brown and occupy the wettest slopes. The density of cinnamon brown soil is much higher than that of brown soil particularly in upper humus-accumulative and transition horizons. The particle-size distribution of these soils is heavy loam. Cinnamon brown soils are strongly clayed; and brown soils are powder-like with small content of silt and sand. The least field capacity of mountain cinnamon brown soils is lower than that of brown mountain-forest soils by 20-25%. The discontinuous capillary moisture corresponds to 15-17% of soil weight. The physical properties are reflected in the distribution of thermal capacity, thermal diffusivity and thermal conductivity in the genetic horizons of mountain soils. The minimum thermal capacity occurs in the upper layers of lesser density; it is at maximum in illuvial horizons. Thermal conductivity increases with depth while thermal diffusivity tends to decrease. This is typical for all studied profiles. A characteristic feature of mountain soils is that the maximum thermal diffusivity corresponds to the discontinuous capillary moisture. Weak heat accumulation of brown soils due to their loose structure should be also mentioned.

**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

Климатические особенности Западного Тянь-Шаня обусловлены его расположением на границе между умеренным и субтропическим поясами. Для субтропического пояса характерно господство в зимнее

время над его территорией воздушных масс умеренных широт, летом – масс тропического типа. Однако в горных условиях эти общие черты климата трансформируются под влиянием, прежде всего, рельефа.

Горные коричневые почвы распространены в вертикальном почвенном поясе средневысотных гор [1, 2]. Основной тип почвообразующих пород здесь делювий коренных пород, который местами перекрыт лессами и лессовидными суглинками. Среди коричневых почв преобладают глинистые и тяжелосуглинистые разновидности. Общими морфологическими признаками профилей этих почв являются:

- наличие гумусового горизонта различной мощности с содержанием гумуса до 5% в целинных почвах и от 1,2 до 2,6% в карбонатных и выщелоченных;
- коричневая окраска всего почвенного профиля, особенно иллювиального горизонта В;
- значительная оглиненность с очень плотным сложением средней части профиля;
- резкая граница начала карбонатных выделений на различной глубине.

Бурые горно-лесные почвы сформированы наряду с коричневыми и занимают наиболее увлажняемые склоны. Гумусовый горизонт их покрыт лесной подстилкой, цвет буровато-темно-серый, структура зернисто-комковатая, сложение рыхлое. Переходный горизонт растянут, плотный с заметным оглинением, ореховато-комковатый.

#### Объекты и методы

Исследования проводились на территории Бостанлыкского горно-ботанического стационара на высоте 1050 м над уровнем моря, на юго-восточном склоне Угамского хребта (разрез 101) и на хребте Каржан-Тау (разрез 11).

**Цель** – изучение физических и теплофизических свойств горных коричневых и бурых горно-лесных почв. **Методы** определе-

ния физических и водно-физических свойств общепринятые в почвоведении [3]. Теплофизические коэффициенты экспериментально измерены с помощью импульсного метода плоского источника тепла [4, 5].

#### Результаты исследований

Известно, что плотность сложения почвы зависит от характера слагающих ее материалов, содержания органического вещества, структуры и порозности. Она определяет состояние корневой системы растений, водный, воздушный и тепловой режимы в почвенном профиле. В горных коричневых почвах плотность растет с глубиной от 1,17 до 1,60 г/см<sup>3</sup> (табл. 1). Плотность твердой фазы составляет 2,40-2,72 г/см<sup>3</sup>. Профиль бурой почвы отличается меньшей уплотненностью. В гумусово-аккумулятивном горизонте оно меньше единицы, а до глубины 1 м возрастает до 1,36 г/см<sup>3</sup>.

Полученные результаты гранулометрического анализа позволяют классифицировать горные коричневые почвы как тяжело-суглинистые. Имеет место утяжеление состава в иллювиальном горизонте (35-107 см) за счет накопления илистой фракции. Содержание физической глины распределяется по профилю равномерно и составляет 46-56%.

Отличительной особенностью коричневых почв является сильное оглинение, затрагивающее большую часть почвенного профиля. В целом во всех разрезах гранулометрический состав дернового горизонта менее дисперсен, что улучшает водопроницаемость почв. Имеет место утяжеление состава в иллювиальном горизонте, что свидетельствует о вымывании мелких фракций атмосферными осадками.

Таблица 1

*Общие физические и водно-физические свойства (% от объема почвы) коричневых и бурых горно-лесных почв*

| Глубина, см                       | Плотность, г/см <sup>3</sup> | Порозность, % | НВ, % | ВРК, % | ВЗ, % | МГ, % |
|-----------------------------------|------------------------------|---------------|-------|--------|-------|-------|
| Горная коричневая почва (Р. 10)   |                              |               |       |        |       |       |
| 0-9                               | 1,17                         | 51,5          | 22,0  | 15,4   | 10,3  | 6,9   |
| 9-35                              | 1,28                         | 48,5          | 21,3  | 14,9   | 12,3  | 8,2   |
| 35-55                             | 1,44                         | 47,7          | 23,7  | 16,6   | 13,4  | 9,0   |
| 55-107                            | 1,53                         | 48,5          | 25,1  | 17,6   | 16,3  | 10,9  |
| 107-180                           | 1,40                         | 47,6          | 23,2  | 16,7   | 12,1  | 8,1   |
| Бурая горно-лесная почва (Р. 101) |                              |               |       |        |       |       |
| 0-6                               | 0,92                         | 62,0          | 33,6  | 20,1   | 13,4  | 8,9   |
| 6-20                              | 0,96                         | 50,6          | 30,0  | 17,8   | 11,9  | 7,6   |
| 20-41                             | 1,08                         | 50,8          | 28,7  | 15,8   | 10,5  | 7,0   |
| 41-105                            | 1,36                         | 50,2          | 25,1  | 15,3   | 10,2  | 6,1   |
| 105-125                           | 1,33                         | 50,0          | 25,0  | 12,3   | 8,7   | 5,8   |
| 125-165                           | 1,20                         | 49,8          | 24,5  | 12,0   | 8,0   | 5,7   |

Гранулометрический состав горных коричневых и бурых горно-лесных почв

| Горная коричневая почва (Р. 10)   |             |           |           |           |            |             |        |       |
|-----------------------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|------------|-------------|--------|-------|
| Глубина, см                       | Фракции, мм |           |           |           |            |             |        |       |
|                                   | 1-0,25      | 0,25-0,10 | 0,10-0,05 | 0,05-0,01 | 0,01-0,005 | 0,005-0,001 | <0,001 | <0,01 |
| 0-9                               | 0,5         | 0,8       | 6,6       | 40,7      | 17,7       | 18,5        | 15,2   | 51,4  |
| 9-35                              | 0,8         | 0,9       | 7,3       | 38,7      | 16,9       | 17,7        | 17,7   | 52,3  |
| 35-55                             | 0,3         | 0,3       | 5,8       | 36,2      | 15,4       | 18,5        | 23,5   | 57,4  |
| 55-107                            | 0,1         | 0,3       | 7,3       | 36,3      | 12,3       | 16,2        | 27,5   | 56,0  |
| 107-180                           | 3,9         | 3,3       | 5,2       | 38,9      | 17,6       | 16,0        | 15,1   | 48,7  |
| Бурая горно-лесная почва (Р. 101) |             |           |           |           |            |             |        |       |
| 0-6                               | 1,4         | 0,6       | 7,2       | 40,2      | 19,7       | 21,8        | 9,2    | 49,3  |
| 6-20                              | 1,5         | 0,5       | 8,9       | 39,3      | 19,3       | 20,6        | 9,8    | 50,3  |
| 20-41                             | 2,3         | 0,2       | 6,2       | 37,4      | 21,4       | 21,2        | 13,5   | 46,0  |
| 41-105                            | 0,6         | 0,1       | 6,0       | 38,5      | 19,4       | 17,3        | 18,1   | 45,2  |
| 105-125                           | 2,3         | 0,4       | 7,4       | 38,7      | 18,9       | 19,5        | 12,9   | 51,2  |
| 125-165                           | 4,9         | 0,6       | 9,3       | 34,8      | 18,4       | 21,4        | 10,7   | 49,6  |

Данные таблицы 2 показывают, что профиль бурых почв (Р. 101) также тяжело-посуглинистый. В нем сохранились признаки лессовидной породы: высокая пылеватость, малое содержание ила и фракции песка.

Почвы различных склонов различаются по коэффициенту структурности, количеству микроагрегатов и по фактору дисперсности. При этом наиболее агрегированы выщелоченные горные коричневые почвы. Микроагрегатный состав бурых горно-лесных почв характеризуется процессами дезагрегации, а микроагрегированность довольно низкая.

Во всех исследуемых коричневых почвах влажность завядания колеблется в пределах от 10 до 16% от объема почвы. Наименьшая влагоемкость определяется прежде всего гранулометрическим составом и плотностью сложения генетических горизонтов и составляет 21-25%. В бурых почвах она выше (25-34%).

Особенности физических свойств горных коричневых почв нашли отражение в распределении теплофизических коэффициентов в ее профиле. Так, объемная теплоемкость сухой карбонатной почвы имеет минимальное значение в гумусово-аккумулятивном слое ( $0,844 \times 10^6$  Дж/м<sup>3</sup> К). Максимум ее отмечается в иллювиальном горизонте, затем уменьшается до  $1,156 \times 10^6$  Дж/(м<sup>3</sup> К) на глубине 90-100 см, а в почвообразующей породе опять увеличивается.

Наибольшие величины тепло- и температуропроводности имеют место на глубине 40-60 см и составляют 0,270 Вт/(м К) и  $0,424 \times 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с. С глубиной теплопроводность растёт, тогда как температуропроводность имеет тенденцию к снижению. Причина изменения теплофизических пока-

зателей в профиле коричневой почвы обусловлена прежде всего плотностью сложения и порозностью ее профиля.

Многими исследователями установлено определяющее влияние степени почвенного увлажнения на комплекс теплофизических характеристик почвы [6-8]. Полученные нами данные показывают, что качественный характер изменения этих коэффициентов по профилю коричневых почв в зависимости от влажности остается практически одинаков, хотя степень их изменения разная. Так, при одинаковой степени увлажнения объемная теплоемкость и теплопроводность имеют наименьшие значения в гумусово-аккумулятивном горизонте, а с глубиной увеличиваются. С повышением влажности теплоемкость наиболее существенно возрастает в слабоуплотненном высокопористом гумусовом слое. При переходе к нижним слоям скорость возрастания теплоемкости становится более выраженной.

Теплопроводность генетических горизонтов такой почвы при увлажнении закономерно увеличивается и достигает насыщения при влажности 15-17% от веса почвы, что соответствует влажности разрыва капиллярных связей (ВРК). Температуропроводность, имея параболическую зависимость, при увеличении влагосодержания экстремальна также при ВРК, а при дальнейшем увлажнении резко снижается. В верхнем гумусовом горизонте температуропроводность коричневой карбонатной почвы составляет  $0,661 \times 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с, а выщелоченной –  $0,765 \times 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с. Оглиненным горизонтам соответствуют минимальные значения этого показателя, которые равны  $0,606 \times 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с в карбонатной,  $0,400 \times 10^{-6}$  – в выщелоченной и  $0,610 \times 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с в типичной коричневой почве.

Характерной особенностью этих почвенных разностей является то, что максимум величины, характеризующей скорость изменения температуры, имеет место при влажности, близкой к ВРК. Очевидно, при этом создаются наилучшие условия для совместного проявления кондуктивного и пародиффузионного механизмов теплопередачи в почвенных горизонтах.

Низкая плотность сложения верхних гумусированных горизонтов бурой горно-лесной почвы, значительное выщелачивание и перенос илистой фракции в нижележащие слои обусловили высокие значения коэффициента температуропроводности в абсолютно сухом состоянии. Так, в разрезе 101 на глубине 20 см он оказался равен  $0,4 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ . При этом минимум температуропроводности характерен для наиболее плотных горизонтов, хотя теплоемкость здесь наибольшая и в три раза превышает значение этого показателя верхних рыхлых почвенных слоев.

В целом исследованные профили до глубины 2 м характеризуются снижением температуропроводности на фоне роста теплоаккумуляционных характеристик. Верхний слабо уплотненный слой бурых почв в этом случае является как бы естественным барьером, слабо пропускающим тепло, особенно весной, в нижележащую толщу почвы. Поэтому такие почвы прогреваются в начале вегетации медленно, тем самым сохраняя влагу, по сравнению с горно-коричневыми почвами, расположенными в том же поясе.

Характеризуя профиль бурой горно-лесной почвы в целом, следует отметить, что высокую способность к теплонакоплению имеют ее нижние горизонты со значительной теплоемкостью. При этом тепло, быстро минуя верхний 50-сантиметровый слой, аккумулируется в подстилающих породах с запозданием.

### Заключение

Горные коричневые почвы Западного Тянь-Шаня распространены в вертикальном почвенном поясе средневысотных гор. Бурые горно-лесные почвы сформированы наряду с коричневыми и занимают наиболее увлажняемые склоны.

Основным физическим показателем почвенного профиля является его плотность. Она определяет состояние корневой системы, водный, воздушный и тепловой режимы генетических горизонтов. В горных коричневых почвах плотность сложения растет с глубиной от 1,17 до 1,60 г/см<sup>3</sup>.

Профиль бурой горно-лесной почвы отличается меньшим уплотнением. Так, в гумусово-аккумулятивном горизонте плотность составляет только 0,92 г/см<sup>3</sup>, увеличиваясь с глубиной до 1,36 г/см<sup>3</sup>.

По гранулометрическому составу коричневые почвы тяжелосуглинистые, особенно их иллювиальный горизонт. Эти почвы сильно оглинены, причем этот процесс затрагивает большую часть профиля. Бурые почвы также тяжелосуглинистые. Для них характерны высокая пылеватость, малое содержание ила и песка. Гидрофизические константы бурых горно-лесных почв выше, чем коричневых.

Особенности физических свойств нашли отражение в распределении теплоемкости, тепло- и температуропроводности по генетическим горизонтам горных почв. Минимальная теплоемкость имеет место в верхних менее плотных слоях, а максимальна она в иллювиальных горизонтах. Теплопроводность с глубиной также растет, в то время как температуропроводность имеет тенденцию к снижению. Это характерно для всех исследованных профилей.

Характерной особенностью горных почв является то, что максимум температуропроводности соответствует их влажности разрыва капиллярных связей (ВРК). Следует отметить также слабую теплоаккумуляционную способность бурых почв, вследствие их рыхлого строения.

### Библиографический список

1. Герасимов И.П. Опыт генетической диагностики почв СССР на основе элементарных почвенных процессов // Почвоведение. – 1975. – № 5. – С. 3.
2. Розанов В.Г. Генетическая морфология почв. – М.: Наука, 1975. – 342 с.
3. Макарычев С.В., Мазиров М.А. Теплофизика почв: методы и свойства. – Суздаль, 1996. – 231 с.
4. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв и грунтов. – М.: Высшая школа, 1973. – 399 с.
5. Болотов А.Г. Измерение теплопроводности почвы импульсным методом линейного источника тепла // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2003. – № 4. – С. 42-45.
6. Чудновский А.Ф. Теплофизика почв. – М.: Наука, 1976. – 352 с.
7. Димо В.Н. Агрофизическая характеристика почв Нечерноземной зоны Азиатской части СССР. – М.: Колос, 1973. – С. 134-173.

8. Панфилов В.П., Макарычев С.В., Лу-нин А.И. и др. Теплофизические свойства и режимы черноземов Приобья. – Новоси-бирск: Наука, 1981. – 120 с.

**References**

1. Gerasimov I.P. Opyt geneticheskoy di-agnostiki pochv SSSR na osnove elemen-tarnykh pochvennykh protsessov // Pochvovedenie. – 1975. – № 5. – S. 3.  
 2. Rozanov V.G. Geneticheskaya morfolo-giya pochv. – M.: Nauka, 1975. – 342 s.  
 3. Makarychev S.V., Mazirov M.A. Tep-lofizika pochv: metody i svoystva. – Suzdal', 1996. – 231 s.  
 4. Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv

pochv i gruntov. – M.: Vysshaya shkola, 1973. – 399 s.

5. Bolotov A.G. Izmerenie teploprovod-nosti pochvy impul'snym metodom lineynogo istochnika tepla // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2003. – № 4. – S. 42-45.

6. Chudnovskiy A.F. Teplofizika pochv. – M.: Nauka, 1976. – 352 s.

7. Dimo V.N. Agrofizicheskaya kharakteris-tika pochv nechernozemnoy zony Aziatskoy chasti SSSR. – M.: Kolos, 1973. – S. 134-173.

8. Panfilov V.P., Makarychev S.V., Lu-nin A.I. i dr. Teplofizicheskie svoystva i rezhimy chernozemov Priob'ya. – Novosibirsk: Nauka, 1981. – 120 s.



УДК 631.436

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

**АГРОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА  
 СЕРОЗЕМНЫХ ПОЧВ ЗАПАДНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ**

**AGROPHYSICAL CHARACTERISTICS OF SIEROZEMIC SOILS OF THE WEST TIEN SHAN**

**Ключевые слова:** гранулометрический состав, дисперсность, плотность, порозность, гумус, водно-физические постоянные.

Распространение сероземов в Средней Азии приурочено к области контакта горных сооруже-ний Тянь-Шаня с равнинами Туранской низменности. Формируясь в среде, испытывающей влияние горной страны, сероземы принадлежат к почвам вертикальной зональности и образуют нижний от-дел Туранской почвенно-климатической высотной поясности. Сероземообразование на лессах со-провождается выщелачиванием из породы водо-растворимых солей, гипса и карбонатов. Скорость выщелачивания определяется, прежде всего, вод-ным и тепловым режимами. Гранулометрический состав сероземов отражает особенности почво-образующей породы. Характерной особенностью сероземов является оглинение почвенного профи-ля, приуроченное к иллювиальному горизонту. При этом по всему почвенному профилю отме-чается преобладание фракции крупной пыли. Кроме того, содержащиеся в лессах илистые ча-стицы и фракция тонкой пыли находятся в агреги-рованном состоянии. Максимальную порозность имеют более богатые макроагрегатами темные сероземы, у типичных сероземов она меньше. При этом у сероземов, сформированных на склонах, она больше, чем на водоразделах. В профиле сероземов имеет место уплотнение подпахотного горизонта. Во всех разрезах плот-ность генетических горизонтов хорошо коррели-руется с их гранулометрическим составом и со-

держанием карбонатов. Водные свойства серо-земов зависят от характера литологического строения отдельных почвенных разрезов. В целом водно-физические свойства исследованных почв обусловлены, прежде всего, гранулометрическим составом, плотностью и содержанием в них орга-нического вещества.

**Keywords:** particle-size distribution, dispersion, density, porosity, humus, hydro-physical constants.

Sierozem distribution in Central Asia is confined to the area of contact of the mountain structures of the Tien Shan to the plains of the Turan lowland. Being formed in the environment affected by the uplands, sierozems belong to the soils of vertical zoning and form a lower section of the Turan soil and climatic altitudinal zones. Sierozem formation on loess is accompanied by leaching of soluble salt, gypsum and carbonates. Leaching rate is determined, first of all, by water and thermal regimes. The particle-size distribution of sierozems reflects the features of the parent rock. A characteristic feature of sierozems is claying of soil profile confined to the illuvial horizon. Predominance of coarse silt fraction is found throughout the soil profile. The loess silt particles and fine silt fraction are aggregated. Dark sierozems rich in macro-aggregates have maximum porosity; typical sierozems reveal lesser porosity. The porosity is greater in sierozems formed on slopes compared to that of sierozems formed in watersheds. Compac-tion of subsurface horizon occurs in sierozem profiles. In all soil profile cuts the density of genetic horizons