

**ТЕПЛОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЧЕРНОЗЕМОВ  
ПРЕДГОРНЫХ РАВНИН, ПРЕДГОРИЙ И НИЗКОГОРИЙ АЛТАЙСКОГО КРАЯ****THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF THE CHERNOZEMS OF THE PIEDMONT PLAINS,  
FOOTHILLS AND LOW MOUNTAINS OF THE ALTAI REGION**

**Ключевые слова:** влажность, плотность, гидроконстанты, гранулометрический и микроагрегатный составы, теплоемкость, тепло- и температуропроводность.

Экспериментальное изучение теплофизических характеристик горных глинистых черноземов показало, что объемная теплоемкость верхних слабо уплотненных горизонтов минимальна. Увеличение плотности, а также доли илистой фракции приводит к уменьшению их температуропроводности с глубиной. В целом черноземы предгорий и низкогорий Алтая характеризуются пониженными значениями тепло- и температуропроводности и повышенными удельной теплоемкости, что обусловлено значительным содержанием гумуса и илистых частиц. В зависимости от гранулометрического состава генетических горизонтов глинистых черноземов максимум температуропроводности может сдвигаться в область пониженной влажности или же наблюдаться при одинаковой степени почвенного увлажнения. Бонитировка предполагает оценку качества почвы как самостоятельного природного тела, обладающего плодородием за счет аккумуляции и трансформации солнечной энергии. В нашем случае речь может идти о бонитировочной классификации черноземов на основе их теплофизических параметров. Так, среди горных глинистых черноземов лучшим диапазоном активной температуропроводности обладают выщелоченные, а наименьшим – обыкновенные. Согласно оптимальной температуропроводности (ОТ), соответствующей почвенному увлажнению 0,75 НВ, теплофизический бонитет горных выщелоченных среднеглинистых и обыкновенных легкоглинистых черноземов составляет 64 балла, а легкоглинистых лугово-черноземных почв – только 55.

**Keywords:** moisture content, density, hydrologic constants, particle-size composition, microaggregate composition, thermal capacity, thermal conductivity, thermal diffusivity.

The experimental study of the thermal properties of the mountain clayey chernozems showed that the volumetric thermal capacity of the upper weakly compacted horizons is minimal. The increase of density and the percentage of the silt fraction lead to the reduction in their thermal conductivity with the depth. In general, the chernozems of the foothills and low Altai Mountains have lower values of thermal conductivity and thermal diffusivity and higher values of specific thermal capacity due to significant content of humus and silt particles. Depending on the particle-size composition of the genetic horizons of clayey chernozems, the maximum thermal diffusivity may be shifted to the area of low moisture content or to occur at the same level of soil moisture. The soil bonitet involves the quality evaluation of soil as an independent natural body which possesses fertility due to the accumulation and transformation of solar energy. In our case, it may mean the quality classification of chernozems based on their thermal indices. For instance, in the mountain clayey chernozems, the best range of the active thermal diffusivity is found in leached chernozems; the least range is found in ordinary chernozems. According to the optimal thermal diffusivity corresponding to the soil moisture of 0.75 of the least moisture capacity, the thermophysical bonitet of the mountain leached medium clayey chernozems and ordinary low clayey chernozems makes 64 points, and that of low clayey meadow-chernozem soils makes 55 points only.

**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**

Черноземные почвы распространены в лесостепной и степной зонах России от европейской части до Забайкалья. Большая широтная и особенно меридиональная протяженность территории черноземов определяет значительную неоднородность ее природных условий.

Климат черноземной зоны характеризуется теплым летом и умеренно-холодной

зимой. По мере движения с запада на восток снижается количество осадков, тепла, нарастает континентальность. В Западной Сибири осадки составляют 300-350 мм. Количество их уменьшается с севера на юг. Значительная часть годового количества осадков выпадает летом: в европейской части – 30-40%, азиатской – до 50%. В целом территория распространения черноземов характеризуется недостаточным

увлажнением. Соотношение количества осадков и испаряемости на юге лесостепи составляет 0,77. Еще больший дефицит увлажнения в степной зоне, где это отношение составляет 0,50-0,66. Проявление того или иного типа почвообразования определяется в первую очередь геоморфологическими особенностями и рельефом региона.

#### Объекты и методы

**Объектами** исследований явились черноземы предгорий и низкогорий Алтайского края. **Цель** – экспериментальное определение теплоемкости, тепло- и температуропроводности почв с помощью **импульсного метода** плоского источника тепла [1, 2]. **Задача** – экспериментальное определение теплофизических характеристик черноземов.

#### Результаты исследований

Профиль исследованных нами лессовых черноземов, как правило, распространяется на глубину 1,5-2,0 м и более и расчленяется на ряд генетических горизонтов: Ап + АВ - В (Вк) + ВС(Вск) + Ск. Карбонатные горизонты Вк и Вск в некоторых подтипах могут отсутствовать. Особенно в профиле выщелоченных черноземов и лугово-черноземных почв.

Мощность основного диагностического гумусово-аккумулятивного горизонта черноземов различна. Наименьшая она у черноземов южных, у которых совокупная толщина гор. (Ап + АВ) составила только 41 см, а наибольшая у лугово-черноземных почв предгорий – 110 см. В целом мощность гумусового горизонта увеличивается в районах повышенного атмосферного увлажнения. Варьирует также, только в обратной последовательности, глубина залегания иллювиально-карбонатного горизонта [3].

Содержание органического вещества в верхних слоях черноземов определяется агроклиматическими особенностями региона. Наиболее гумусированными являются глинистые лугово-черноземные почвы предгорий и межгорных равнин, в которых содержание гумуса доходит до 10-13%. В глинистых черноземах предгорий (выщелоченных и обыкновенных) оно колеблется от 7 до 8.

В гранулометрическом составе черноземов Предалтайской равнины, предгорий и низкогорий Алтай преобладает пылеватая составляющая в виде средней и мелкой пыли. Значительно возрастает количество ила (в некоторых разрезах до 40-45%). Выще-

поченные горные черноземы характеризуются повышенным содержанием илистой фракции в средней части их профиля на глубине 70-90 см, что обусловлено промывным водным режимом, имевшим место на ранней стадии почвообразования [5].

В целом лессовые черноземы предгорных равнин, предгорий и низкогорий Алтая тяжелосуглинистые, легко- и даже среднеглинистые.

Лессовые черноземы юга Западной Сибири, имея значительное количество ила и органики, отличаются хорошей способностью к микроагрегированию [4].

Черноземы предгорий также хорошо микроагрегированы, что обусловлено высоким содержанием в них мелкопылеватых частиц и ила.

Плотность сложения генетических горизонтов черноземов предгорий варьирует слабо и оказывается ниже, чем в черноземах Приобья.

Несколько иная картина в профиле горных глинистых черноземов. Так, порозность аэрации в верхних слоях выщелоченного чернозема (Р.4) составляет 10-12%. Воздухообеспеченность в профиле обыкновенных черноземов 15-20% (Р.6), а в лугово-черноземных почвах – лишь 8-10% (Р.8).

В горных глинистых черноземах увлажнение до НВ резко снижает содержание воздуха (до 10-12%), что необходимо учитывать при орошении, т.к. после полива в почвах возможно создание анаэробных условий. Формирование теплофизических профилей лессовых черноземов происходило под воздействием таких определяющих факторов почвообразования как рельеф, растительность, агроклиматических и литологических признаков региона. Неадекватное влияние оказали физико-механические особенности почвообразующих пород.

В целом теплофизические коэффициенты почв являются функцией многих переменных, таких как дисперсность, состав парового пространства, плотность влажность и температура, содержание органического вещества и карбонатов и др.

Объемная теплоемкость верхних слабо уплотненных горизонтов горных черноземов минимальна, а с глубиной следует за изменениями плотности сложения генетических горизонтов.

Уплотнение, а также увеличение доли илистой и снижение доли песчаной фракций вызывают уменьшение коэффициента температуропроводности. В глинистом черно-

земе (Р.4) в наиболее рыхлом слое она составляет  $0,330 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ , а в иллювиальном горизонте только  $0,207 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Наименее динамичны оказались генетические горизонты лугово-черноземных почв предгорных равнин.

Горные черноземы характеризуются пониженными значениями тепло- и теплопроводности и повышенными удельной теплоемкости, которая достигает (1100-1200) Дж/(кг К), особенно в верхних гумусированных горизонтах, в то время как в более легких равнинных черноземах она составляет (900-1000) Дж/(кг К). Это обусловлено прежде всего повышенным содержанием в горных черноземах органического вещества и илистых частиц, имеющих максимальную удельную теплоемкость.

Эти данные показывают, что при влажностях, соответствующих той или иной гидрологической константе, качественный характер изменения теплофизических характеристик по профилю черноземов остается практически одинаковым, хотя степень их изменения при этом разная. То же можно сказать о характере и степени изменения этих коэффициентов в каждом генетическом горизонте в связи с динамикой почвенного увлажнения.

В глинистых горных черноземах, где пахотный слой сильно гумусирован, различия в коэффициентах объемной теплоемкости при одинаковых гидроконстантах сглаживаются. Так, в пахотном слое (Р.4) объемная теплоемкость при НВ больше, чем при ВЗ, лишь на 49%, а в гор. ВС – на 27%.

Вместе с тем скорость возрастания объемной теплоемкости при увлажнении становится с глубиной, за редким исключением, все более выраженной. Поэтому при переходе от пахотного слоя к нижележащим углом наклона графиков, отображающих изменение теплоемкости, все более увеличивается, что обусловлено главным образом ростом плотности и снижением общей порозности и влагоемкости генетических горизонтов.

Теплопроводность лессовых черноземов при увлажнении также закономерно расчет. Причем характер зависимости  $\lambda = F(U)$  во всех горизонтах почвенных профилей одинаков: до определенной стадии водонасыщения почва быстро увеличивает свою теплопроводность почти линейно. При дальнейшем повышении влажности почвы рост ее теплопроводности замедляется, она стремится к «насыщению».

Зависимость теплопроводности генетических горизонтов черноземов от

влажности качественно одинакова. Общим является то, что для того или иного горизонта она довольно интенсивно растет при увлажнении и достигает максимума при влажности, соответствующей точке резкого перегиба кривой теплопроводности данного горизонта.

В зависимости от гранулометрического состава генетических горизонтов максимум теплопроводности может сдвигаться в область пониженной влажности (Р.1,7) или же наблюдаться при одинаковой степени почвенного увлажнения (Р.2, 3, 4 и др.).

В менее дисперсных легкоглинистых черноземах (Р.2п, 6п, 8п) или отдельных генетических горизонтах подъем и спад теплопроводности с ростом влажности происходят резче и в более узком диапазоне увлажнения, чем в средне- и тяжелосуглинистых (Р.2, 3), а тем более в глинистых черноземах (Р.4, 6, 7, 8).

Таким образом, затухающий эффект тепло- и теплопроводности при увлажнении черноземов или отдельных генетических горизонтов разного гранулометрического состава проявляется при различной влажности: в легкосуглинистых – при 15-17%, в среднесуглинистых – при 20-22%, а в глинистых – при 21-24% от веса почвы. Следовательно, в почвах или горизонтах более легкого гранулометрического состава коэффициенты тепло-, теплопроводности начинают расти и достигают наибольшего значения при меньших влажностях, чем в горизонтах тяжелого гранулометрического состава.

В глинистых черноземах поровое пространство в основном представлено системой мелких пор, в то время как крупные практически отсутствуют. Это обуславливает смещение максимума теплопроводности к влажности завядания.

Для характеристики лессовых черноземов показательны также абсолютные значения теплопроводности. Ее максимум отмечается в легких по гранулометрическому составу профилях. Так, в наименее плотных пахотных горизонтах суглинистых черноземов теплопроводность достигает значений  $0,75 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$  (Р.1, 2, 3).

В глинистых черноземах коэффициенты теплопроводности менее динамичны. Максимальные значения их в пахотных, сильно гумусированных горизонтах, несмотря на малую плотность, лежат в пределах  $(0,4-0,5) \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ . Менее заметны изменения и в глубже расположенных слоях почвенных профилей (Р.4-8). Относительное увеличение теплопроводности

сти с ростом влагосодержания также гораздо ниже, чем в суглинистых черноземах. Например, температуропроводность пахотного слоя выщелоченного горного чернозема (Р.4) увеличивается на 41%, а лугово-черноземной почвы с высоким содержанием гумуса (р.8) – лишь на 37%.

В целом профиль глинистых черноземов слабо отзывается на почвенное увлажнение.

Проведенные нами исследования теплофизических характеристик горных лессовых черноземов позволяют классифицировать их в определенной последовательности, т.е., оценить их теплофизическое состояние [7].

Качественная оценка земель (бонитировка) в Западной Сибири, по мнению ряда исследователей [5], необходима, т.к. здесь такие ценные почвы, как лессовые черноземы, все шире используются для несельскохозяйственных нужд. Бонитировка почв предполагает оценку качества конкретного объекта – почвы как самостоятельного природного тела, обладающего плодородием за счет аккумуляции и трансформации солнечной энергии.

В нашем случае речь может идти о бонитировочной классификации почв на основе их теплофизических параметров.

Для классификации почв мы воспользовались рациональной идеей А.В. Чечулина [6], который ввел такой показатель, как ДАТ (диапазон активной температуропроводности, т.е. разность коэффициентов температуропроводности почвы при НВ и ВЗ).

С этой целью мы нашли средние для деятельного слоя лессовых черноземов (до 1 м) теплофизические параметры.

Для лессовых черноземов Алтайского края целесообразно предложить следующую шкалу отзывчивости температуропроводности на водную мелиорацию (табл. 1).

Таблица 1

**Шкала отзывчивости температуропроводности на гидромелиорацию**

Класс	Отзывчивость	ДАТ
1-й	Активная	0,20-0,15
2-й	Посредственная	0,15-0,10
3-й	Пассивная	0,10-0,05

По этой шкале суглинистые черноземы Приобского плато относятся к 1-му классу, обыкновенные входят во 2-ю, а глинистые черноземы предгорий Алтая и темно-серые лесные почвы Бие-Чумышской возвышенности образуют 3-й класс.

Среди глинистых черноземов лучшим ДАТ обладают выщелоченные, а наименьшим – обыкновенные.

Таблица 2

**Диапазон активной температуропроводности (ДАТ), оптимальная (ОТ) и максимальная (МТ) температуропроводность горных черноземов**

Подтип чернозема	ДАТ	ОТ	МТ
Чернозем выщелоченный среднеглинистый	0,092	0,406	0,421
Чернозем выщелоченный легкоглинистый	0,055	0,414	0,419
Чернозем обыкновенный легкоглинистый	0,047	0,403	0,414
Лугово-черноземная легкоглинистая почва	0,059	0,349	0,369

Показательной, по нашему мнению, является также оптимальная температуропроводность (ОТ), т.е. температуропроводность черноземов, соответствующая степени почвенного увлажнения 0,75 НВ, которая наиболее предпочтительна для произрастания и развития сельскохозяйственных культур.

На основе ОТ можно произвести своеобразную бонитировку лессовых черноземов. Принимая за бонитировочный стандарт выщелоченный чернозем Приобского плато (Р. 1) с легкосуглинистым иллювиальным горизонтом и среднесуглинистым пахотным слоем и взяв его за 100%, определим баллы черноземов юга Западной Сибири (по нашим данным такое сочетание гранулометрического состава профиля чернозема обуславливает наилучшие агрофизические свойства). В связи с этим теплофизический бонитет горных выщелоченных среднеглинистых и обыкновенных легкоглинистых черноземов составляет 64 балла, а легкоглинистых лугово-черноземных почв – только 55. Поэтому глинистые горные черноземы неэффективны в отношении водных мелиораций.

**Заключение**

Результаты исследований показали, что объемная теплоемкость верхних слабо уплотненных горизонтов горных черноземов минимальна, но с глубиной увеличивается. Уплотнение, а также увеличение доли илистой и снижение доли песчаной фракций приводит к уменьшению температуропроводности чернозема. Эти почвы характеризуются пониженными значениями тепло- и

температуропроводности и повышенными удельной теплоемкости.

Отзывчивость на гидромелиорацию лесовых горных черноземов пассивная. Среди них лучшим ДАТ обладают выщелоченные, а наименьшим – обыкновенные черноземы.

Согласно оптимальной температуропроводности (ОТ) глинистые горные черноземы имеют балл бонитета от 55 до 64, т.е. гидромелиорации их неэффективны.

#### Библиографический список

1. Макарычев С.В., Мазиров М.А. Теплофизика почв: методы и свойства. – Суздаль, 1996. – Т. 1. – 230 с.
2. Мазиров М.А., Макарычев С.В. Теплофизика почв: антропогенный фактор. – Суздаль, 1997. – Т. 2. – 201 с.
3. Бурлакова Л.М. Плодородие Алтайских черноземов в системе агроценоза. – Новосибирск: Наука; СО, 1984. – 198 с.
4. Бурлакова Л.М., Татаринцев Л.М. и др. Почвы Алтайского края. – Барнаул, 1988. – 69 с.
5. Хмелев В.А., Панфилов В.П., Дюкарев А.Г. Генезис и физические свойства текстурно-дифференцированных почв. – Новосибирск: Наука; СО, 1988. – 127 с.
6. Чичулин А.В. Теплофизические свойства черноземов // Черноземы: свойства

и особенности орошения. – Новосибирск: Наука; СО, 1988. – С. 143-159.

7. Алтай – Гималаи: два устья Евразии: монография / под ред. С.П. Бансал, Панкай Гупта, С.В. Макарычева и др. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2012. – С. 119-133.

#### References

1. Makarychev S.V., Mazirov M.A. Teplofizika pochv: metody i svoistva. – Suzdal', 1996. – T. 1. – 230 s.
2. Mazirov M.A., Makarychev S.V. Teplofizika pochv: antropogennyi faktor. – Suzdal', 1997. – T. 2. – 201 s.
3. Burlakova L.M. Plodorodie Altaiskikh chernozemov v sisteme agrotsenoza. – Novosibirsk: Nauka, SO, 1984. – 198 s.
4. Burlakova L.M., Tatarintsev L.M. i dr. Pochvy Altaiskogo kraja. – Barnaul, 1988. – 69 s.
5. Khmelev V.A., Panfilov V.P., Dyukarev A.G. Genезis i fizicheskie svoistva teksturno-differentsirovannykh pochv. – Novosibirsk: Nauka, SO, 1988. – 127 s.
6. Chichulin A.V. Teplofizicheskie svoistva chernozemov // Chernozemy: svoistva i osobennosti orosheniya. – Novosibirsk: Nauka, SO, 1988. – S. 143-159.
7. Altai – Gimalai: dva ustoya Evrazii: monografiya / pod red. S.P. Bansal, Pankai Gupta, S.V. Makarycheva i dr. – Barnaul: Izd-vo AGAU, 2012. – S. 119-133.



УДК 631.51.021:631.416.1:633.1(571.1) **В.Е. Синещев, В.Н. Слесарев, Н.В. Васильева, Г.И. Ткаченко, А.В. Слесарев, Е.А. Дудкина**  
**V.Ye. Sineshchekov, V.N. Slesarev, N.V. Vasilyeva, G.I. Tkachenko, A.V. Slesarev, Ye.A. Dudkina**

### АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ПРИ МИНИМИЗАЦИИ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ

#### AGROECOLOGICAL EFFICIENCY OF LEACHED CHERNOZEM UNDER MINIMIZED BASIC TILLAGE

**Ключевые слова:** комплексная химизация, минимизация обработки почвы, подвижный фосфор, чернозем, минеральный азот, яровая пшеница, способы подготовки пара, урожайность, севооборот.

Дан анализ экспериментальных данных по агроэкологической эффективности черноземов выщелоченных при длительной (более 30 лет) минимизации основной обработки. В частности, выявлено, что за период парования количество нитратного азота осенью в метровом слое почвы уменьшалось от черного пара со вспашкой к черному пару с минимальной обработкой и раннему минималь-

ному пару в 1,2-1,3 раза. Относительная засоренность посевов в вариантах с безотвальной обработкой по всем полям севооборота выше, чем по вспашке, в 1,3-1,4 раза, по минимальной обработке почвы – в 1,5-1,7 раза. Засоренность в варианте без зяби увеличивается в сравнении со вспашкой в 1,8 раза. Максимальная засоренность агрофитоценоза закономерно наблюдается на заключительной пшенице – до 29,9% в варианте с «нулевой» обработкой. Систематическое применение баковой смеси гербицидов в посевах яровой пшеницы свело к минимуму численность одно- и двудольных сорных растений (0,6-5,5%). Урожай пшеницы в вариантах с ресурсосберегающими способами подго-