

## **Влияние на топлинните свойства на почви с различен механичен състав върху интензивността на топлинния поток**

**Катерина Донева\*, Милена Керчева, Станислав Стойнов**

*Институт по почвознание, агротехнологии и защита на растенията „Н. Пушкиarov” - София*

**Email:**\* caeruleus2001@yahoo.com

### **Резюме**

Влиянието на топлинните свойства на почви с различен механичен състав върху интензивността на топлинния поток в почвата е изследвано с данни за Алувиално-ливадна почва от биоклиматичния полигон в с. Цалапица, Пловдивско и Делувиално-ливадна от полигона в с. Горни Лозен, Софийско. Използвани са ежедневни данни за топлинния поток на повърхността на почвата, измерен с топломер в 12:30 ч. и данни за температурата на почвата под трева през избрана суха година за двата района. Повърхностните хоризонти на Алувиално-ливадната почва са средно пясъчливо глинести (Loam по Soil Taxonomy), а на Делувиално-ливадната почва – леко глинести (Clay по Soil Taxonomy). Глинестата почва набъбва при навлажняване, а при изсъхване се свива и се образуват пукнатини. При сравнително леката по механичен състав Алувиално-ливадна почва, просъхването на повърхностния слой през сухите месеци води до понижаване на коефициента на топлопроводност и намаляване на топлинния поток в почвата. При глинестата Делувиално-ливадна почва, коефициентът на топлопроводност и интензитетът на топлинния поток в почвата през деня са високи и през сухите летни месеци, което може да се обясни със свиването на почвата при изсъхване.

**Ключови думи:** топлинен поток в почвата, топлопроводност на почвата, механичен състав на почвата

## **Influence of Thermal Properties of Soils with Different Texture on Soil Heat Flux**

**Katerina Doneva\*, Milena Kercheva, Stanimir Stoinov**

*Institute of Soil Science, Agrotechnology and Plant Protection “N. Poushkarov” - Sofia*

### **Abstract**

The influence of thermal properties of soils with different texture on surface soil heat flux was studied in case of Alluvial-meadow soil in the bio-climatic station in the village of Tsalapitsa, Plovdiv region and Deluvial-meadow soil in the bio-climatic station in the village of Gorni Lozen, Sofia region. The midday data over a dry year for soil heat flux measured with heat flux plate and soil temperatures were used in this study. The soil texture of surface horizons of the Alluvial-meadow soil is Loam and of the Deluvial-meadow soil is Clay according to Soil Taxonomy. The clayey soil swells at moistening and shrinks at drying which cause formation of large cracks. The drying of the Alluvial-meadow soil during the warm and dry period of the year decreased the surface soil thermal conductivity and soil heat flux at midday time. The thermal conductivity of the Deluvial-meadow soil and soil heat flux at midday increased during the same period most probably because of the soil shrinking.

**Key words:** soil heat flux, soil thermal conductivity, soil texture

Средноденонощната интензивност ( $W.m^{-2}$ ) (или денонощна сума:  $1 J.m^{-2}.day^{-1} = 24.3600.W.m^{-2}$ ) на топлинния поток в почвата е сравнително малка част от радиационния баланс и често

се пренебрегва като компонент на топлинния баланс. За почва, покрита с растителност, топлинният поток ( $G$ ) през деня е 5 - 10% от нетния радиационен поток ( $R_n$  - радиационен баланс според

терминологията, използвана у нас и Русия), а през нощта е около 50% (Stull, 1988). Широко използван подход за оценка на топлинния поток в почвата е чрез оценка на отношението  $G/R_n$  (Santanello & Friedl, 2003). Освен чрез фиксирана стойност, отношението на интензивностите на топлинния поток в почвата към нетния радиационен поток, измерени по пладне, може да се изрази чрез регресионна зависимост от температурата на повърхността на почвата, албедото и характеристики на растителната покривка (вегетационен индекс NDVI, листен индекс LAI). Този подход се използва за сателитни оценки на компоненти на топлинния баланс и картиране на евапотранспирацията на големи територии (Allen et al., 2007). За калибриране на моделите, които се използват за тези топлобалансови оценки на евапотранспирацията, са необходими наземни данни за нетния радиационен поток, турбулентния поток топлина в атмосферата и топлинния поток в почвата.

Топлинният поток ( $G$ ) близо до повърхността на почвата може да се измери с топломери, състоящи се от термодвойки, измерващи разлики в температурата в тесен почвен слой, или да се изчисли на базата на закона на Фурие за стационарен поток, за което са необходими данни за коефициента на топлопроводност ( $\lambda$ ) и градиента на температурата в дълбочина ( $dT/dz$ ):

В нашата страна многогодишни (1984 - 1993 г.) измервания на топлинния поток са извършвани на територията на 8 биоклиматични полигони към Института по почвознание „Н. Пушкиров“ по методика за топлобалансови наблюдения (Rukovodstvo po Teplobalansovym Nablyudeniym, 1980). Обобщени средни месечни данни за средноденонощния топлинен поток ( $G$ )

$$G = -\lambda (dT/dz) \quad (1)$$

в Делувиално-ливадна почва в биоклиматичния полигон с. Горни Лозен и отношението им към средноденонощния нетен радиационен поток са представени в публикацията на Mikova & Alexandrova (2008). Най-висока е средноденонощната интензивност на топлинния поток през юли ( $13 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ), което съставлява около 8% от радиационния баланс. За всеки месец от вегетационния период, авторите са изследвали регресионни зависимости на  $G$  от радиационния баланс, температурната

амплитуда на повърхността на почвата и влажността на почвата.

Целта на настоящото изследване е да се оцени влиянието на топлинните свойства на почви с различен механичен състав върху интензивността на топлинния поток в почвата, на базата на данни за Алувиално-ливадна почва от биоклиматичния полигон в с. Цалапица, Пловдивско и Делувиално-ливадна от полигона в с. Горни Лозен, Софийско.

## Материал и методи

Биоклиматичните полигони в с. Горни Лозен, Софийско и с. Цалапица, Пловдивско, се намират приблизително на една и съща географска ширина, но на различни надморски височини и под влияние на различен режим на атмосферната циркулация, което влияе върху хидротермичния им режим и ги поставя в различни климатични райони според класификацията на Събев и Станев (Stanev et al., 1991) (табл. 1).

Основните климатични показатели, които дават представа за хидротермичните условия в двата района са представени в таблица 2. В топлите месеци температурата на въздуха в района на с. Цалапица, Пловдивско е с около  $3^\circ \text{C}$  по-висока от тази в района на с. Горни Лозен, Софийско. Тази разлика се дължи на по-сухия топъл период в района на Пловдив, където валежите са средно с около 80 mm по-малко от тези в района на София.

Почвените различия в двата полигона - Делувиално-ливадна почва в полигона с. Горни Лозен и Алувиално-ливадна почва в с. Цалапица се различават по физични свойства. В таблица 3 са представени данни за текстуроопределящите фракции на механичния състав по USDA (Soil Survey Division Staff, 1993) и по Качински (Качински, 1958). Повърхностните А хоризонти на Делувиално-ливадната почва в с. Горни Лозен са с леко глинест механичен състав по класификацията на Качински, респективно се класифицират като глина (Clay) по USDA, а АС хоризонтите са тежко пясъчливо глинестите по Качински и попадат в два класа – глина (Clay) и пясъчливо глинест прах (Clay Loam) по USDA (Димитров, 2014). Характерно за тази почва е, че тя набъбва при навлажняване и се свива при изсъхване, като образува пукнатини. Съдържанието на дренажно-аерационни пори е малко, което води до повърхностно преовлажняване през пролетните месеци.

**Таблица 1.** Географски координати и климатични райони на обектите.**Table 1.** Location and climatic regions of the studied sites.

Обект Site	Географска ширина Latitude	Географска дължина Longitude	Надморска височина, m Altitude, m	Климатичен район (Станев и кол., 1991) Climatic region (Stanev et al., 1991)
с. Горни Лозен, Софийско	42,6	23,45	580	Климатичен район на високите полета на Западна Средна България от Европейската умерено-континентална подобласт
с. Цалапица, Пловдивско	42,2	24,54	180	Климатичен район на Източна Средна България на преходно-континенталната климатична подобласт

**Таблица 2.** Средни за многогодишен период (1931-2015 г.) средноденоношна температура на въздуха (T°C) на най-студения и най-топлия месец и сезонни и годишни суми на валежите (P, mm).**Table 2.** Long-term (1931-2015 г.) average of air temperature (T°C) of the coldest and hottest months and seasonal and annual precipitation sums (P, mm).

Обект Site	T°C Януари	T°C Юли	P, mm		
	T°C January	T°C July	Април-Септември April-September	Октомври-Март October-March	Годишно Annual
София	-1,4	20,7	360	237	598
Пловдив	0,3	23,5	282	245	527

До дълбочина 45 cm механичният състав на Алувиално-ливадната почва на полигона в с. Цалапица е средно пясъчливо глинест, респ. глинесто пясъчлив прах (Loam) по USDA, следва хоризонт AC2 с тежко пясъчливо глинест състав, респективно глина (Clay) по USDA, и отново олекотяване в подълбоките слоеве. По-лекият механичен състав на Алувиално-ливадната почва обуславя по-малък капацитет усвояема вода и значително количество дренажно-аерационни пори.

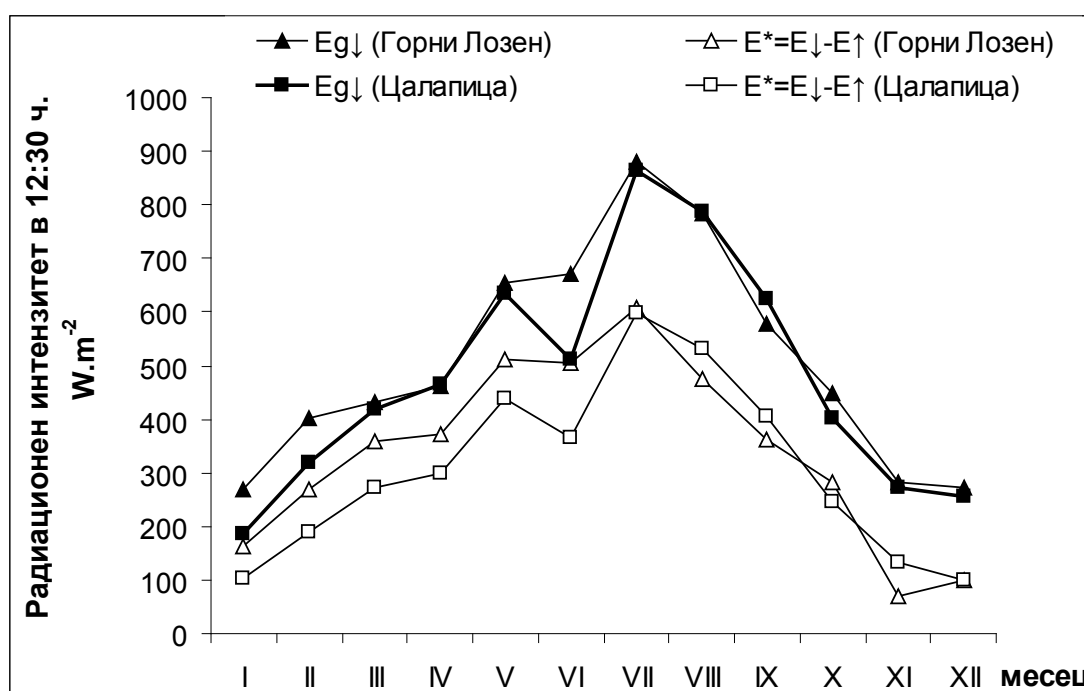
В биоклиматичните полигонали ежедневни целогодишни измервания на интензивността на топлинния поток на дълбочина 2 cm в почвата са извършвани с топломер, разработен от Агрофизичния институт в Петербург, в 6 срока ( 0:30, 6:30, 9:30, 12:30, 15:30 и 18:30 ч.)

съгласно Ръководството за топлобалансови наблюдения (1980). В същите срокове са измервани интензивността на сумарната слънчеварадиация ( $E_g \downarrow$ ) с термоелектрически пиранометър на Янишевски М-80, нетният радиационен поток ( $E^* = E_g \downarrow - E_g \uparrow$  разлика между низходящи и възходящи потоци от късовълнова и дълговълнова радиация) с балансомер на Янишевски М-10, свързани с галванометър, итемпературата на почвата под затревена и незатревена повърхност на дълбочини 0, 2, 5, 10, 20, 50 и 100 cm. В настоящото изследване са използвани данни за интензивността на топлинния поток от наблюденията в 12:30 ч., срок който се използва при дистанционните методи за оценка на компонентите на топлинния баланс (Allen et al., 2007). Избрана е 1988 г., през

**Таблица 3.** Основни фракции на механичния състав по USDA и по Качински и съдържание на органичен въглерод (Org. C) по хоризонти на изследваните почви.

**Table 3.** Main fractions of soil particle size distribution according to USDA and to Kachinski classifications and content of soil organic carbon (C org., %).

Хоризонти Horizonts	Дълбочина, cm	Разпределение на частици < 2 mm, % Particle size distribution of fine earth (< 2 mm), %				Физична глина, % Physical clay, % < 0,010 mm	Органичен C, % Organic C, %
		пясък/sand		прах/silt	глина/clay		
	Depth, cm	2 - 1 mm	1 - 0,05 mm	0,05 - 0,002mm	< 0,002 mm		
Делувиално-ливадна почва, с. Горни Лозен, Софийско (Димитров, 2014) Deluvial-meadow soil, bio-climatic station Gorni Lozen, Sofia region (Dimitrov, 2014)							
A <sub>h</sub>	0 - 3						3,00
A <sub>1</sub>	3 - 11	0	15,2	39,6	45,2	66,0	1,56
	11 - 19	0	14,1	37,8	48,1	67,5	0,93
A <sub>2</sub>	19 - 56	0	14,5	38,4	47,1	66,5	0,78
AC <sub>1</sub>	56 - 98	0	24,0	32,7	43,3	57,9	0,69
AC <sub>2</sub>	98 - 124	0	28,5	32,4	39,1	53,3	0,53
C <sub>1</sub>	124 - 140	0	31,6	32,1	36,3	49,0	0,53
Алувиално-ливадна почва, с. Цалапица, Пловдивско (Kercheva et al., 2016) Alluvial-meadow soil, bio-climatic station Tsalapitsa, Plovdiv region (Kercheva et al., 2016)							
A <sub>h</sub>	0 - 5	3,8	44,3	30,4	21,5	30,0	1,20
A <sub>1</sub>	5 - 17	2,9	41,1	35,8	20,2	30,6	0,51
A <sub>2</sub>	17 - 30	4,7	44,5	28,9	21,9	38,6	0,60
AC <sub>1</sub>	30 - 45	4,0	40,7	29,2	26,1	43,2	0,55
AC <sub>2</sub>	45 - 56	1,5	33,0	23,3	42,2	47,1	0,51
AC <sub>3</sub>	56 - 73	5,2	32,0	21,7	41,1	40,0	0,36
C <sub>1</sub>	73 - 90	2,8	38,6	22,8	35,8	41,1	0,33
C <sub>2</sub>	90 - 120	2,0	32,1	33,9	32,0	59,2	0,26



**Фиг. 1.** Средномесечен интензитет на сумарната слънчева радиация (Eg↓) и радиационния баланс (E\*=E↓-E↑), измерен в 12:30 ч. в Цалапица и Горни Лозен.

**Fig. 1.** Mean monthly flux densities at midday (W.m<sup>-2</sup>) of global solar radiation (Eg↓) and of net radiation (E\*=E↓-E↑) in Tsalapitsa and Gorni Lozen stations.

която радиационните характеристики (фиг. 1) и годишните суми на валежите (448 mm в Горни Лозен и 413 mm в Цалапица) са близки, тъй като това е суха година и за двата района. Обезпечеността на годишните суми на валежите е 90% и 80%, съответно за Горни Лозен и Цалапица. Валежните суми през периода април-септември са 195 mm с обезпеченост 86% за Горни Лозен и 142 mm с обезпеченост 95% за района на Цалапица.

## Резултати и обсъждане

Влиянието на влажността на почвата върху топлинните ѝ свойства определя варирането на тези свойства в зависимост от хидротермичните условия. При въздушно суха влажност, коефициентите на топлопроводност на А хоризонтите на двете почвени различия са сравнително близки –  $0,26 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$  за Алувиално-ливадната почва в полигона Цалапица и  $0,33 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$  за Делувиално-ливадната почва в полигона Горни Лозен (Doneva and Rubio, 2015). При влажност на почвата близка до водонасищане стойностите на коефициента на топлопроводност са по-високи при Алувиално-ливадната почва –  $1,27 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ , отколкото при Делувиално-ливадната почва в с. Горни Лозен  $1,02 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ . Коефициентите на температуропроводност, оценени чрез метода на температурната вълна с многогодишни ежедневни данни за температурата на почвата на дълбочини 0,02 и 0,20 m, са  $7,41.10^{-7} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$  за Алувиално-ливадната почва (Doneva, 2011) и  $6,84.10^{-7} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$  за Делувиално-ливадната почва (Doneva, 2016). Това показва, че Алувиално-ливадната почва се загрява по-бързо в дълбочина отколкото по-тежката Делувиално-ливадна почва поради по-ниското съдържание на вода, през голяма част от годината и съответно по-ниската топлемност.

Топлинният поток в почвата зависи от нетния радиационен поток и топлинните свойства на почвата. Годишният ход на интензивността на топлинния поток в почвата, измерена с топломер в 12:30 ч. в двата полигона е представен на фигура 2. През по-голяма част от изследваната 1988 г. топлинният поток в Алувиално-ливадната почва е по-малък от този в Делувиално-ливадната почва. За да се проследи доколко това се дължи на промяна в топлинните свойства на почвата, е изчислен коефициентът на топлопроводност по уравнение 1 с данни за градиента на измерената

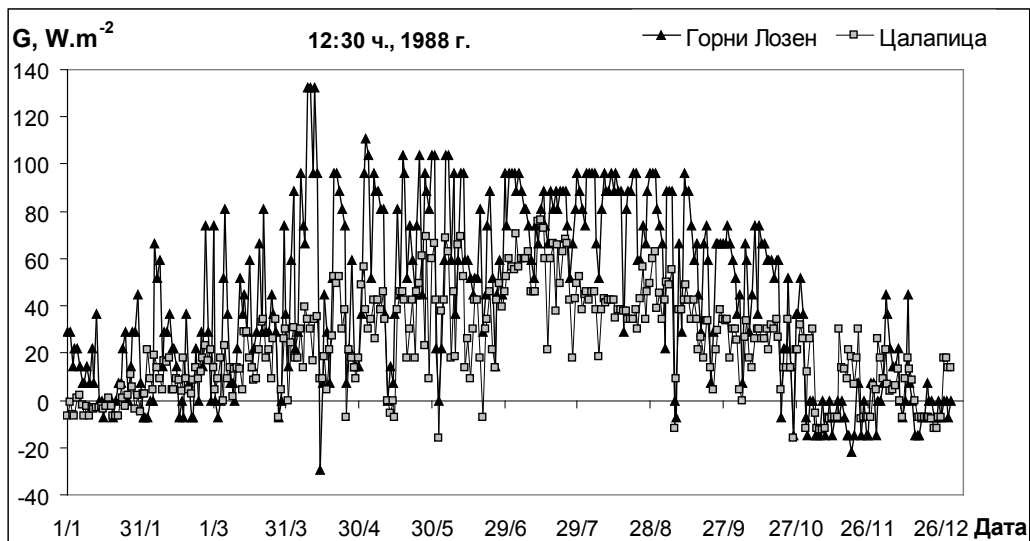
в същия срок температура на дълбочини 0,02 m и 0,05 m. Получените ежедневни стойности на изчисления коефициент на топлопроводност и измерените валежи са представени на фигура 3а и 3б, съответно за Горни Лозен и Цалапица.

Върху изчислените стойности на топлопроводността в повърхностния слой, освен условията на овлажнение и физичните свойства на почвите, влияят и случайни фактори, свързани с измерванията на температурата на почвата, топлинния поток и валежите. Трябва да се има предвид, че валежът се отчита еднократно в станциите от дежурния наблюдател – в 7:00 ч. сутринта, поради което не може със сигурност да е индикация за овлажненост на повърхностния почвен слой по пладне. Това обяснява по-ниските от очакваните стойности на топлопроводността на Алувиално-ливадната почва през май и юни, когато валежите са сравнително чести (фиг. 3б, табл. 4). По-влажните условия и по-високата водозадържаща способност на Делувиално-ливадната почва водят до по-високи стойности на коефициента на топлопроводност през месеците с по-значителни валежи (фиг. 3а). Случайните флуктуации в тези оценки могат да се отстранят, ако се използват средномесечни стойности за температурата на почвата (фиг. 4) и на топлинния поток в почвата. Резултатите за месеците от април до септември са представени в таблица 4. Интензивността на топлинния поток в

Алувиално-ливадната почва в една от най-сухите години в Цалапица в повечето месеци е два пъти по-малка от тази в Делувиално-ливадната почва в Горни Лозен. Изчислените стойности на коефициента на топлопроводност на Алувиално-ливадната почва са най-високи през април ( $0,97 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ), главно поради по-малкото изпарение. През останалите месеци стойностите на коефициента на топлопроводност са много ниски, близки до определените в лабораторни условия при въздушно-суха влажност на почвата.

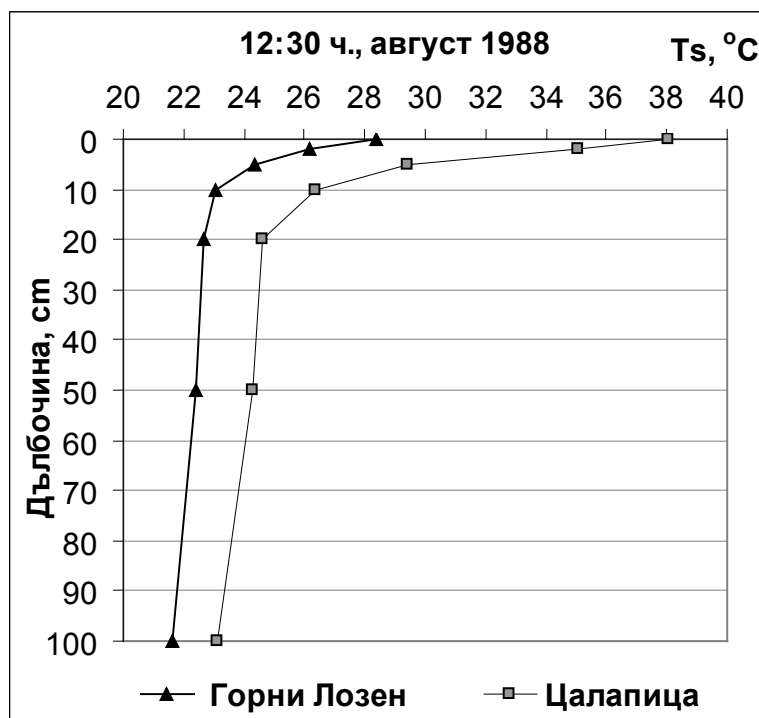
В повърхностния 0,02 - 0,05 m слой на Делувиално-ливадната почва, градиентите на температурата са по-малки (фиг. 4, табл. 4), а стойностите на коефициентите на топлопроводност нарастват до максимални стойности през август ( $1,4 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ). Обяснението на тези високи стойности вероятно е в свойството на тази почва да се свива при изсъхване, при което се увеличава топлопроводността ѝ.





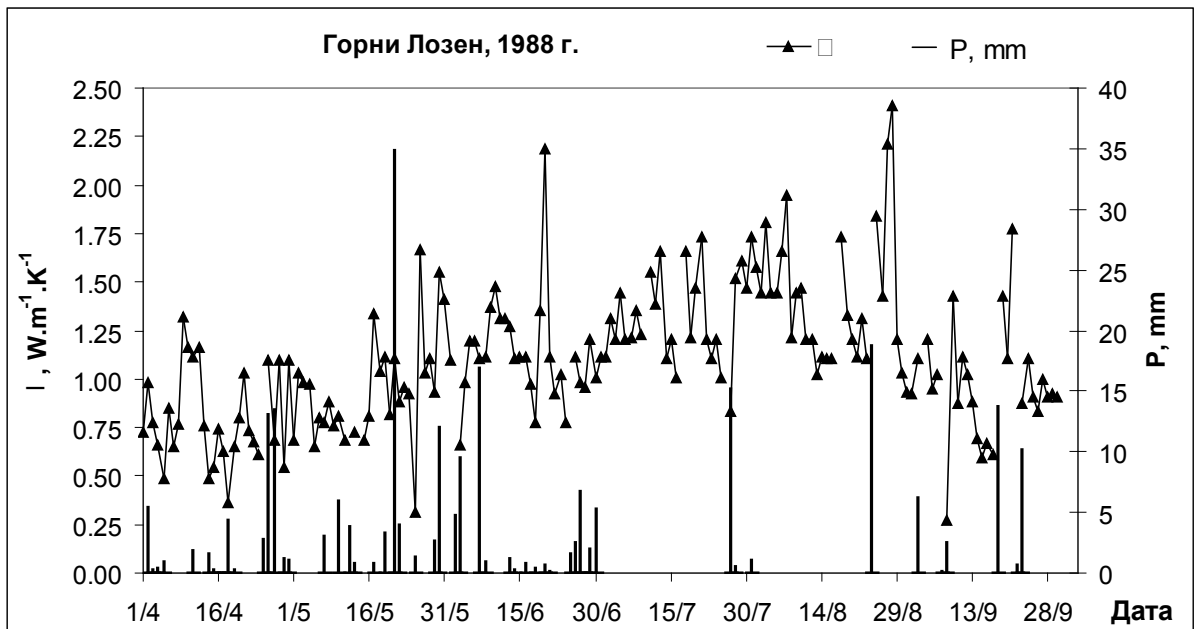
**Фиг. 2.** Интензивност на топлинния поток в почвата (G), измерен с топломер в 12:30 ч. през 1988 г. в Делувиално-ливадна почва (полигон Горни Лозен) и Алувиално-ливадна почва (полигон Цалапица).

**Fig. 2.** Annual course of soil heat flux density (G), measured with heat flux plate at midday (12:30) in 1988 year in Deluvial-meadow soil (bio-climatic station Gorni Lozen) and in Alluvial-meadow soil (bio-climatic station Tsalapitsa).

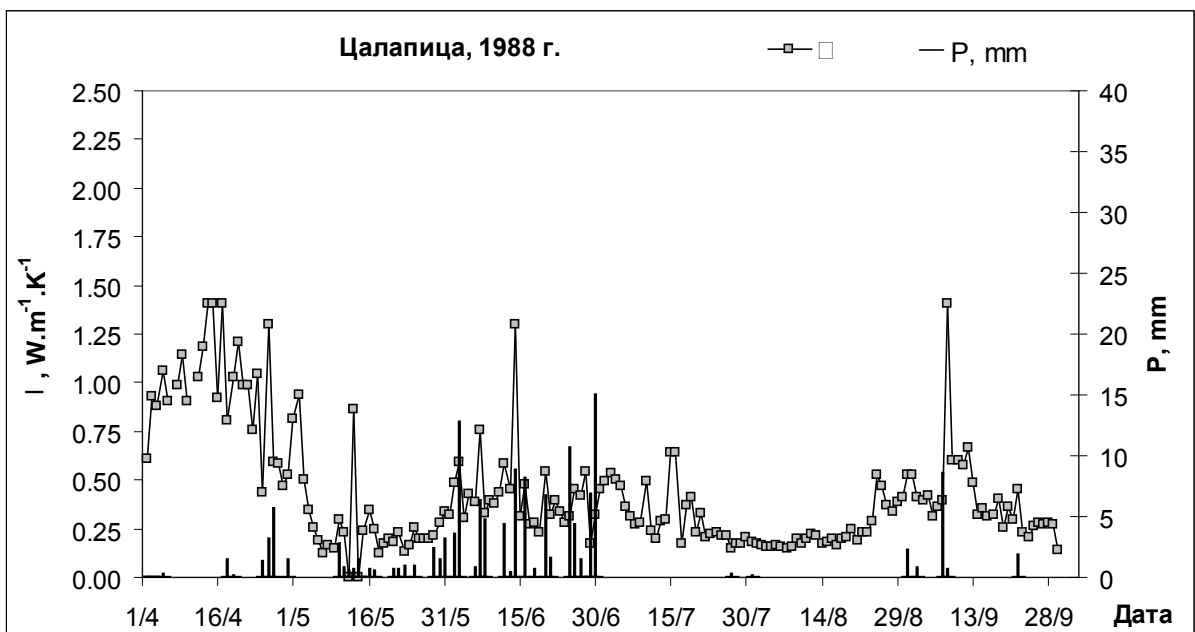


**Фиг. 4.** Профилно разпределение на средномесечната температура на почвата, измерена в 12:30 през август, в Алувиално-ливадна почва в био-климатичния полигон Цалапица и Делувиално-ливадна в био-климатичния полигон Горни Лозен.

**Fig. 4.** Profile distribution of average soil temperature measured at 12:30 in August in Alluvial-meadow soil in bio-climatic station Tsalapitsa and in Deluvial-meadow soil in bio-climatic station Gorni Lozen



a) Делувиално-ливадна почва, Горни Лозен. Deluvial-meadow soil, bio-climatic station Gorni Lozen, Sofia region



b) Алувиално-ливадна почва, Цалапица. Alluvial-meadow soil, bio-climatic station Tsalapitsa, Plovdiv region

**Фиг. 3.** Сезонен ход на коефициента на топлопроводност ( $\lambda$ ) в повърхностния 2-5 см слой на изследваните почви и на денонощните суми на валежите (P) за периода април-септември.

**Fig. 3.** Seasonal course of the daily values of the soil thermal conductivity ( $\lambda$ ) of the surface 2-5 cm soil layer and of precipitation (P, mm) during period April-September.

**Таблица 4.** Средномесечни стойности на интензитета на топлинния поток ( $G(1230)$ ,  $W.m^{-2}$ ) и изменението на температурата на почвата ( $T_{S_2}-T_{S_5}$ ,  $^{\circ}C$ ) в слоя 2-5 cm в 12:30 ч., средномесечна топлопроводност на почвата ( $\lambda$ ,  $W.m^{-1}.K^{-1}$ ), сума на валежите (P) и брой дни с валежи през месеците от април до септември 1988 г.

**Table 4.** Mean monthly values of soil heat flux densities ( $G(1230)$ ,  $W.m^{-2}$ ) and difference between soil temperatures at depths 2 and 5 cm ( $T_{S_2}-T_{S_5}$ ,  $^{\circ}C$ ) at midday,  $\lambda$  soil thermal conductivity ( $\lambda$ ,  $W.m^{-1}.K^{-1}$ ), monthly sums of precipitation (P, mm) and number of days with precipitation from April till September 1988 year.

Показател	Април	Май	Юни	Юли	Август	Септември
Parameter	April	May	June	July	August	September
Делувиално-ливадна почва, Горни Лозен Deluvial-meadow soil, bio-climatic station Gorni Lozen, Sofia region						
$G(1230)$ , $W.m^{-2}$	57	70	59	81	83	59
$T_{S_2}-T_{S_5}$ , $^{\circ}C$	2.0	2.4	1.6	1.8	1.8	1.8
$\lambda$ , $W.m^{-1}.K^{-1}$	0.85	0.87	1.11	1.33	1.40	1.01
P, mm	46.8	72.3	53.6	16.7	18.7	33.3
Брой дни с валеж						
Days with precipitation	14	11	15	3	1	6
Алувиално-ливадна почва, с. Цаланица Alluvial-meadow soil, bio-climatic station Tsalapitsa, Plovdiv region						
$G(1230)$ , $W.m^{-2}$	24	35	35	55	41	32
$T_{S_2}-T_{S_5}$ , $^{\circ}C$	0.7	4.7	2.9	5.7	5.6	2.7
$\lambda$ , $W.m^{-1}.K^{-1}$	0.97	0.22	0.36	0.29	0.22	0.35
P, mm	13.4	17.2	97.3	0.3	2.2	11.8
Брой дни с валеж						
Days with precipitation	7	14	17	2	1	4

## Заклучение

Физичните свойства на почвата влияят по специфичен начин на топлинния поток в почвата при засушаване. При леката по механичен състав Алувиално-ливадна почва, просъхването на повърхностния слой през сухите месеци води до понижаване на коефициента на топлопроводност и намаляване на топлинния поток в почвата. При глинестата Делувиално-ливадната почва, която се свива при изсъхване, коефициентът на топлопроводност нараства и се увеличава интензитетът на топлинния поток в почвата през деня.

## Литература

Allen, R., M. Tasumi & R. Trezza, 2007. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – model. *J. Irrig. Drain.*, 133, p. 380–394

Dimitrov, E., 2014. Spatial-temporal variability of the soil physical properties across the scales. Ph.D. thesis, Institute for Soil Science, Agrotechnology and Plant Protection “N. Poushkarov”, Sofia (BG).

Doneva, K., 2011. Estimation of thermal diffusivity of alluvial-meadow soil by indirect methods. In: *Proceedings of the International conference “100 Years Soil Science in Bulgaria”* (eds. Sv. Rousseva. et al. ), Part I, pp. 302-305 (BG).

Doneva, K. & C. Rubio, 2015. Effects of a wood pine polypropylene compound on the soil thermal conductivity as a function of water content. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology (IJSET)*, 2(10), pp. 401-410

Doneva, K., 2016. Estimation of thermal diffusivity of deluvial meadow soil. (in print).

Kachinski, N.A., 1958. Soil Particles and Micro-aggregates Composition, Methods for Analysis. *USSR Academy of Sciences*. Moscow (RU).

Kercheva, M., Z. Sokolowska, M. Hajnos, K. Skic & T. Shishkov, 2016. Physical parameters of Alluvial-Meadow soils on flooded and non-flooded terraces. *International Agrophysics* (in print)

Mikova, A. & P. Alexandrova, 2008. Investigation on soil heat flux in Vertic Luvisol. In: *Proceedings of the 3rd International Scientific Conference BALWOIS 2008*, Ohrid, 27, 31 May 2008, CD.



Rukovodstvo po Teplobalasovym Nablyudeniya. 1980.  
*Leningrad* (RU).

**Santanello, J.A. & M.A. Friedl, 2003.** Diurnal Covariation in Soil Heat Flux and Net Radiation. *J. Appl. Meteor.*, 42, pp. 851–862

**Soil Survey Division Staff, 1993.** Soil Survey Manual. Soil Conservation Service. *U.S. Department of Agriculture*, Handbook 18.

**Stanev, Sv., M. Kyuchukova & St. Lingova (eds.), 1991.** The Climate of Bulgaria. *Publ. house of BAS*, Sofia (BG).

**Stull, R.B., 1988.** An Introduction to Boundary Layer Meteorology. *Kluwer Academic Publishers*, Dordrecht.