

**O. Furmanets, Cand. Sci. (Agric.), Assistant Professor**

**O. Oleinik**

**O. Beznosova**

*National University of Water management and Nature Resources use,  
e-mail: o.a.furmanets@nuwm.edu.ua, o.o.oleinik@nuwm.edu.ua,  
olha.beznosova@gmail.com*

## **SIMULATION OF HEAT RESOURCES DISTRIBUTION ON SLOPING LANDS IN THE CONDITIONS OF THE FOREST-STEPPE OF UKRAINE**

*The nature of the heat distribution along the surface of the soil is an important application characteristic that determines the activity of the soil biota, the rate of flow of biochemical processes in the plant, from seed germination and to full ripeness. Most of the Western Forest-steppe of Ukraine is characterized by pronounced meso- and microrelief, which makes serious adjustments in the distribution of heat and moisture, while the patterns of such distribution remain poorly understood. The main purpose of the work is to study the effect of slope steepness and slope exposure on the dynamics of warming and cooling of soil. For the study, a model of the slope area with variants of northern, southern, western and eastern exposition and steep slopes of 3, 6 and 9 degrees was constructed. The experiment was conducted in the period April-June, which corresponds to the period of active soil warming.*

*As a result, it was found that the course of soil temperature is significantly different on the experimental variants, and also in different micro periods the patterns of temperature variation are different. On the basis of the collected data, were constructed the thermal distribution planes, that graphically reflect the influence of the investigated factors on the thermal regime of the soil. As a result, were developed the mathematical models that allow you to count the temperature of the soil on any element of the relief based on the known temperature of the soil on the plain section.*

*As a result of the experiment, knowledge on the influence of relief on the distribution of heat in the soil was deepened; for the first time were proposed the mathematical models for determining the temperature of the ground of the slope area, depending on the temperature on the plain. The obtained data can be used in practice in the design of technological processes on sloping lands, in particular - in determining the timing of sowing crops, selecting groups of maturity varieties, determining the timing of basic agricultural operations.*

**Keywords:** *sloping lands, soil temperature, heat distribution, mathematical models, slope exposure, soil warming.*

УДК 631.47

**О. А. Фурманець, канд. с.-х. наук, доцент****О. О. Олейник,****О. О. Безносова**

*Національний університет водного господарства та природопольовання,  
e-mail: o.a.furmanets@nuwm.edu.ua, o.o.oleinik@nuwm.edu.ua,  
olha.beznosova@gmail.com*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ РЕСУРСОВ НА СКЛОНОВЫХ ЗЕМЛЯХ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПИ УКРАИНЫ**

*Большая часть Западной Лесостепи Украины характеризуется выраженным мезо- и микрорельефом, что вносит серьезные коррективы в распределение тепла и влаги, в то же время закономерности такого распределения остаются малоизученными. Основной целью работы является изучение влияния крутизны и экспозиции склона на динамику прогрева и охлаждения почвы. В результате было установлено, что ход температуры почвы существенно отличается по вариантам опыта, при этом в разные микро периоды закономерности хода температуры разные. На основе собранных данных были построены плоскости теплового распределения, которые графически отражают влияние исследуемых факторов на тепловой режим почвы. По результатам были построены математические модели, позволяющие рассчитать температуру почвы на любом элементе рельефа на основе известной температуры почвы на равнинном участке.*

**Ключевые слова:** *склоновые земли, температура почвы, распределение тепла, математические модели, экспозиция склона, прогревание почвы.*

УДК 631.47

**О. А. Фурманець, канд. с.-г. наук, доцент****О. О. Олійник****О. О. Безносова**

*Національний університет водного господарства та природокористування,  
e-mail: o.a.furmanets@nuwm.edu.ua, o.o.oleinik@nuwm.edu.ua,  
olha.beznosova@gmail.com*

## **МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ТЕПЛОВИХ РЕСУРСІВ НА СХИЛОВИХ ЗЕМЛЯХ В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ**

*Переважаюча частина Західного Лісостепу України*

характеризується вираженням мезо- та мікрорельєфом, що вносить серйозні корективи у розподіл тепла та вологи, тоді як закономірності такого розподілу залишаються маловивченими. Основною метою праці є вивчення впливу крутизни та експозиції схилу на динаміку прогрівання й охолодження ґрунту. У результаті було встановлено, що хід температури ґрунту суттєво відрізняється за варіантами досліджу, при цьому в різні мікроперіоди закономірності ходу температури різні. На основі зібраних даних були побудовані площини теплового розподілу, що графічно відображають вплив досліджуваних чинників на тепловий режим ґрунту. За результатами було побудовано математичні моделі, що дозволяють обрахувати температуру ґрунту на будь-якому елементі рельєфу на основі відомої температури ґрунту на рівнинній ділянці.

**Ключові слова:** схилі землі, температура ґрунту, розподіл тепла, математичні моделі, експозиція схилу, прогрівання ґрунту.

**Вступ.** Знання ґрунтового клімату завжди було необхідним для вивчення умов становлення, функціонування та мінливості ґрунтів, особливо в умовах посиленого антропогенного навантаження (Бабіченко, 2007; Ефремов, 2008). Багато авторів розглядає ґрунтовий клімат як один із основних параметрів природного середовища, оскільки він є проміжною ланкою між кліматом атмосфери та процесами, що відбуваються в ґрунті (Бабіченко, 2007).

Температура ґрунту та її добовий хід є важливими показниками, що впливають на ґрунтові процеси та формування ґрунтового клімату (Іванова, 2008; Тараріко, 2013).

Характер розподілу температури ґрунту в орному шарі важливий для життя рослин та ґрунтової фауни, при цьому найбільші коливання температури та вологості спостерігаються саме в кореневмісному шарі (Руда, 2009; Селянинов, 1937).

Слід зазначити, що винятково важливою є швидкість весняного прогрівання ґрунтів, оскільки вона прямо впливає на врожайність більшості культур (Кудеяров, 2009).

**Об'єкт та методи досліджень.** Дослідження було виконано на дослідному полі Національного університету водного господарства та природокористування, на території Рівненської області (Західний Лісостеп України), досліджуваний тип ґрунту – темно-сірий опідзолений легкосуглинковий (відповідно до ГОСТ 25100-95).

Температуру ґрунту вимірювали за допомогою ртутних термометрів, що встановлювали на глибині 5, 10, 20, 30, 40, 50 см. Точність вимірювань 0,1°C. Статистичну обробку даних виконували з використанням програмного комплексу Statgraphics Centurion.

**Мета** полягала у вивченні й математичному моделюванні динаміки ходу температури досліджуваного ґрунту в умовах різного рельєфу.

**Результати та їх обговорення.** Для детального аналізу ходу температури ґрунту на схилах різної експозиції та крутизни було проведено модельний дослід, який містив 12 варіантів (схили крутизною 3, 6 та 9 градусів для північної,

південної, східної та західної експозиції). Паралельно досліджували температуру рівнинної ділянки, яка виступала контролем.

Результати спостережень представлено в табл. 1.

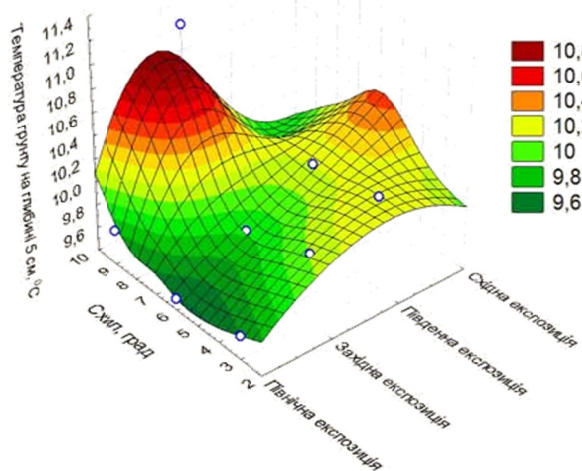
З метою подальших досліджень було обрано дні, що окремо характеризують періоди: початок прогрівання (10 квітня), прогрівання (25 квітня), короткочасного охолодження (10 травня), сильного прогрівання (21 травня), стабільно високої температури (1 червня), охолодження (12 червня). Для всіх вибраних періодів проведено графічне моделювання теплового розподілу (рис. 1).

**1. Хід температури ґрунту на схилах різної крутизни та експозиції (модельний польовий дослід)**

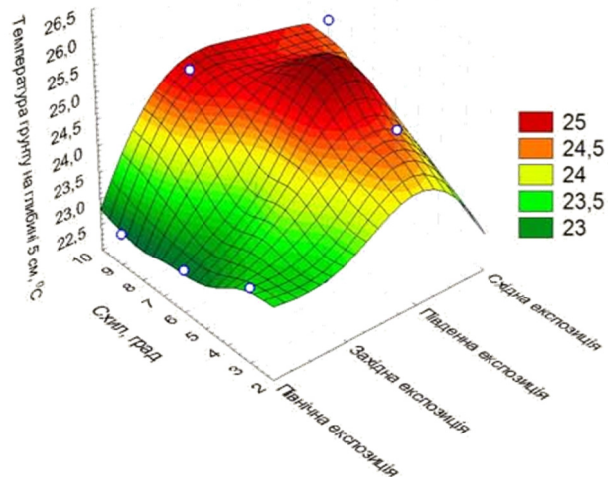
Дата	Рівнина	Північна експозиція			Південна експозиція			Західна експозиція			Східна експозиція		
		3°	6°	9°	3°	6°	9°	3°	6°	9°	3°	6°	9°
10 квітня	9	9,6	9,5	9,7	10,2	10,1	9,6	10	10,5	10	10	9,8	11,2
12 квітня	9,9	10,4	10,3	10,6	10,8	10,8	10,6	10,6	11	10,5	10,8	10,8	12
16 квітня	15,4	16,2	15,7	15,9	18	19,4	17,6	16,4	17,2	17,5	16,5	17	19,7
23 квітня	14,6	18,2	19,2	17,7	16,4	16	16,6	17,2	17,6	17,9	17	17,6	21
24 квітня	21,6	21,9	21,7	21,9	23,5	24,6	23	21,7	22,2	22,8	22	22,4	24
25 квітня	22,9	23,4	22,8	22,6	25	26,2	24,4	22,9	23,5	24,6	22,9	23	25,1
26 квітня	23	23,5	23	23,1	25,7	27	25,5	23,3	23,9	25	23,5	24	27
3 травня	14,9	16,8	17,2	16,9	14,8	15	15,5	16	16,2	16,5	15,5	16,5	19,1
5 травня	14,8	16,9	17,2	17,3	14,8	15,1	15,4	16	16,4	16,4	16	16	16,8
7 травня	14,7	15,1	16,1	16,6	17	16,6	16,3	16,1	17	16,2	16,1	16,5	17,6
10 травня	15,4	15,7	15,6	15,7	16,9	16,9	16,2	14,9	14,9	14,2	15	16,4	18,5
14 травня	27,1	26,3	27,2	27,4	29	28	27	25,5	27	26,5	25,1	27,1	29,9
15 травня	29,5	30	30,3	30,9	31	31,6	29,6	29,8	30,5	30	30,3	30,9	32,6
17 травня	26	26,5	26,7	26,9	27,8	28,4	28,5	27,1	27,3	27,5	27,6	27,5	27,9
19 травня	31,3	27	27,7	27,5	32,5	33	33,5	27,3	27,5	27,7	28,1	28,3	28,4
21 травня	32,4	33	33,3	32,8	36,2	35,8	35,2	33,4	35,6	35,6	33,2	32,9	34,5
23 травня	32,5	33,4	33,7	33,9	34,1	34,7	34,7	32,1	32,5	32,4	33,1	33,4	33,3
25 травня	30,2	31,1	31	31,4	33,9	33	31,5	31	32,5	31,4	31	31,5	34,6
27 травня	30,4	32,2	32,4	32,8	34,7	34,8	34,9	31,5	31,7	31,8	32	32,3	32,4
29 травня	30,7	31,5	31,9	32	33,8	33,9	34,2	31	31,3	31	31,5	31,9	31,9
1 червня	30,4	31	31,3	31,5	33,5	33,1	33	30,9	30,9	31	31,2	31,4	31,5
3 червня	30,5	31,4	31,4	31,5	33,4	33,3	33,5	30,9	30,9	31	28	29	29,9
5 червня	30,6	27	27,6	29,2	27	24,6	24,5	27,9	28	28,5	28	29	29,9
7 червня	31	27	27,6	29,2	27	24,6	24,5	27,9	28	28,5	28	29	29,9
9 червня	31,7	27	27,6	29,2	27	24,6	24,5	27,9	28	28,5	28	29	29,9
12 червня	25	27	27,6	29,2	27	24,6	24,5	27,9	28	28,5	28	29	29,9
14 червня	25,3	27,5	27,9	28,2	27,9	28,4	29,5	26,9	27,4	28	28	28,3	28,5
17 червня	25,5	27,6	27,9	28	28	28,5	29,4	26,5	27,5	27,9	27,9	28,1	28,2
19 червня	25,7	25,6	25,9	26,2	27,1	27,7	28	26,1	26	26,3	27	26,9	26,9
23 червня	26,4	26	26,5	26,6	28,1	28,4	28,9	26,4	26,9	27	27,4	27,7	28

Наведені дані свідчать про те, що кожен з аналізованих варіантів вирізняється власною динамікою температури орного шару, що впливає на умови ведення рослинництва, агрофізичний стан ґрунту та його гідротермічний режим. Так, на початку прогрівання найвищими температурами характеризуються західний та східний схили, крутизною 9 та 6 градусів відповідно.

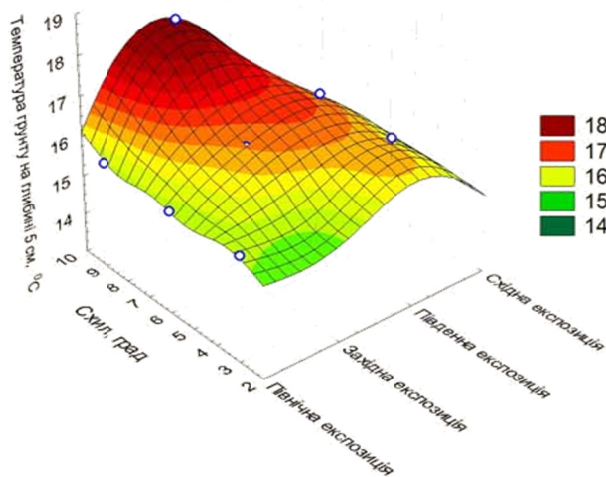
10 квітня



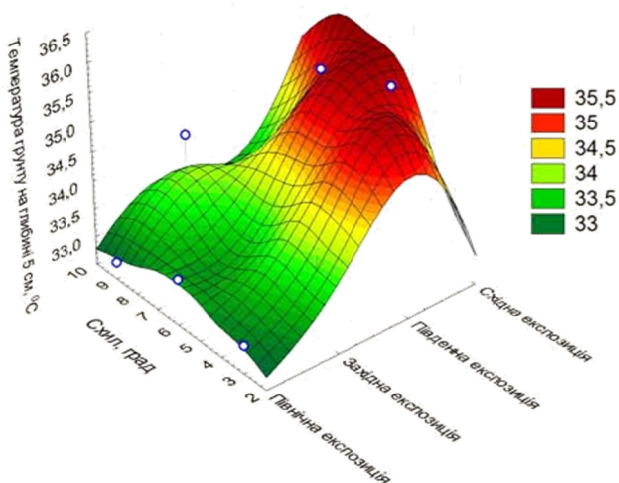
25 квітня



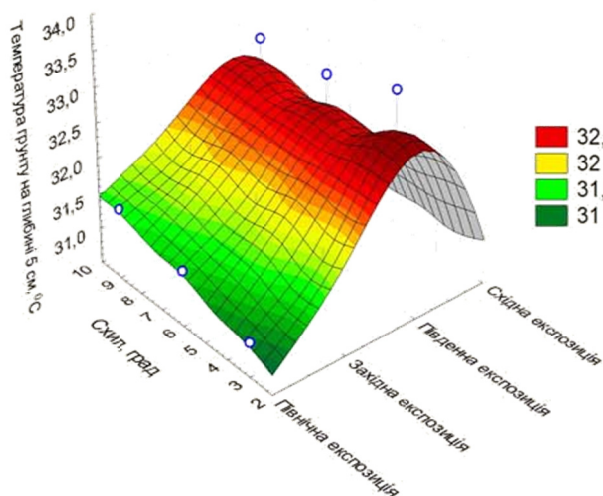
10 травня



21 травня



1 червня



12 червня

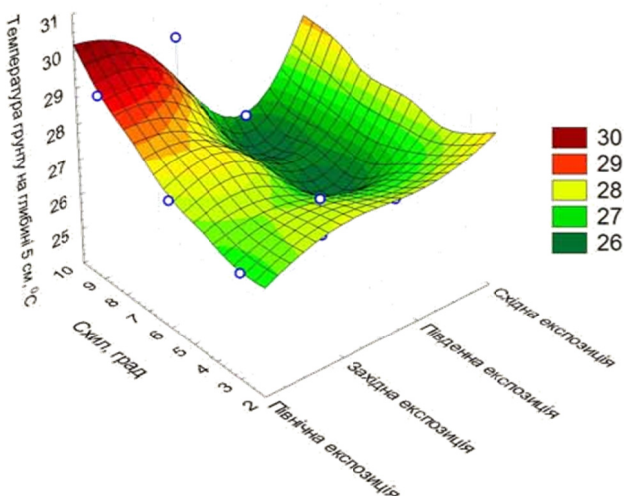


Рис. 1. Графічне відображення процесів прогрівання та охолодження на силових ділянках

Із наростанням процесів прогрівання підвищуються температури південних схилів, причому зі збільшенням крутизни прогрівання відбувається швидше. У ході короткочасного охолодження вищі температури довше тримаються на південних та східних схилах. Цікаво те, що схили більшої крутизни охолоджуються також повільніше. У період екстремально сильного прогрівання максимально накопичують тепло ділянки південної та східної експозиції невеликої крутизни.

У період стабілізації високих температур найяскравіше проявляється температурний розподіл, найвищі температури на південному схилі, дещо нижчі – на східному, далі західному та північному. Північний схил при цьому суттєво холодніший від усіх інших. Характерно, що крутизна схилу на цьому етапі практично не має значення. У період охолодження схили 9 градусів тримають тепло довше, охолоджуючись дещо повільніше (рис. 1).

Таким чином, у рослинництві на рельєфних землях для забезпечення максимальної реалізації агрокліматичного потенціалу території, очевидно, є сенс урахувати неоднакову динаміку прогрівання схилів різної експозиції, на основі чого планувати більш пізні строки посіву холодних північних схилів, а південні та східні використовувати для більш пізньостиглих та посухостійких сортів культур.

Наступним завданням була побудова математичних моделей, що дозволили б визначити температуру ґрунту на будь-якому елементі рельєфу залежно від температури ґрунту на рівнинній ділянці.

Результати математичного моделювання зведено в табл. 2.

## 2. Результати математичного моделювання

Варіант	Вигляд функції	Коефіцієнт кореляції	Коефіцієнт детермінації	Стандартна похибка	Абсолютна похибка
Північ 3°	$y = 1/(0,00243832+0,909417/x)$	0,992562	98,5179	0,0026249	0,00171437
Північ 6°	$y = 1/(0,00140105 + 0,92835/x)$	0,987618	97,5388	0,0034702	0,00220124
Північ 9°	$y = 1/(0,0021938 + 0,906708/x)$	0,990077	98,0253	0,003028	0,00202713
Південь 3°	$y = (0,184923 + 1,00496*\sqrt{x})^2$	0,993373	98,679	0,100765	0,0808014
Південь 6°	$y = \sqrt{33,4869 + 1,14606*x^2}$	0,989522	97,9153	0,01935	0,01697,915
Південь 9°	$y = 1/(0,000440522 + 0,905185/x)$	0,993063	98,6175	0,0025221	0,00181074
Схід 3°	$y = 1/(0,00336114 + 0,887935/x)$	0,99472	98,9468	0,0021679	0,00160276
Схід 6°	$y = 1/(0,00299281 + 0,873017/x)$	0,99608	99,2176	0,0018346	0,00121416
Схід 9°	$y = 1/(0,0063669 + 0,741816/x)$	0,983261	96,6802	0,0032530	0,00205696
Захід 3°	$y = 1/(0,00367149 + 0,886794/x)$	0,994389	98,8809	0,0022201	0,00146739
Захід 6°	$y = 1/(0,00443977 + 0,843957/x)$	0,990641	98,137	0,0027364	0,00187498
Захід 9°	$y = 1/(0,00253541 + 0,885832/x)$	0,988132	97,6405	0,0032405	0,00216024

Отримані результати дозволяють з високою статистичною ймовірністю прогнозувати температуру ґрунту орного горизонту на схилах різної експозиції та крутизни залежно від температури ґрунту рівнинної ділянки, яку також можна статистично зв'язати з температурою приземного шару повітря.

**Висновки.** Аналіз добового ходу температури ґрунту засвідчив, що рельєф значно впливає на процеси прогрівання та охолодження орного шару ґрунту. Результати модельного дослідження свідчать, що схили різної експозиції та крутизни накопичують і віддають тепло з різною інтенсивністю, при цьому конкретний характер закономірності залежить від періоду (прогрівання, охолодження тощо). Для опису механізму поведінки схилів різної експозиції та крутизни можна

застосувати математичний метод, який з високою достовірністю дозволяє спрогнозувати температуру орного шару ґрунту залежно від температури рівнинної ділянки.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

**Бабіченко В. М.** Зміни температури повітря на території України наприкінці ХХ та на початку ХХІ століття / В. М. Бабіченко, Н. В. Ніколаєва, Л. М. Гущина // Укр. геогр. журнал. – 2007. – № 4. – С. 3-12.

*Babichenko V. M., Nikolaeva N. V., Gushchina L. M., 2007, "Changes in the temperature of air in the territory of Ukraine at the end of the 20th and the beginning of the 21st century", Ukrainian Geographical Journal, No. 4, pp. 3-12.*

**Ефремов И. В.** Моделирование почвенно-растительных систем / И. В. Ефремов. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – 152 с.

*Efremov I. V., 2008, "Modeling of soil-plant systems", Moscow, Publishing LCI, 152 p.*

**Иванова А. Н.** Особенности формирования агрофизических и гидрологических свойств дерново-подзолистых почв при длительном применении различных приемов обработки в условиях центрального района Нечерноземной зоны России : автореф. дис. на соискание учен. степени канд. с.-х. наук : спец. 03.00.27 «Почвоведение» / А. Н. Иванова. – Санкт-Петербург-Пушкин, 2008. – 21 с.

*Ivanova A. N., 2008, "Peculiarities of the formation of agrophysical and hydrological properties of sod-podzolic soils under long-term use of various processing techniques in the conditions of the central region of the Non-chernozem zone of Russia", the author's abstract. dis. for academic competition. degree of Cand. s.-h. Sciences: spec. 03.00.27 "Soil Science", St. Petersburg-Pushkin, 21 p.*

**Руда О. М.** Зміни температури повітря у місті Львові наприкінці ХХ та на початку ХХІ століття / О. М. Руда // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. пр. – 2009. – Вип. 19.15. – С. 157-161.

*Ruda O. M., 2009, "Changes in air temperature in the city of Lviv at the end of the twentieth and the beginning of the XXI century", Scientific herald of NLTU of Ukraine: collection of scientific and technical works, Vol. 19.15, pp. 157-161.*

**Селянинов Г. Т.** Мировой агроклиматический справочник / Г. Т. Селянинов. – Л.-М., 1937. – С. 5-28.

*Selyaninov G. T., 1937, "World Agro-climatic reference book", Leningrad-Moscow, pp. 5-28.*

**Кудеяров В. Н.** Глобальные изменения климата и почвенный покров / В. Н. Кудеяров, В. А. Демкин, Д. А. Гиличинский, С. В. Горячкин, В. А. Рожков // Почвоведение. – 2009. – № 9. – С. 1027-1042.

*Kudeyarov V. N., Demkin V. A., Gilichinsky D. A., Goryachkin S. V., Rozhkov V. A., 2009, "Global climate changes and soil cover", Soil Science, No. 9, pp. 1027-1042.*

**Тараріко О. Г.** Прогнозна оцінка впливу змін клімату на урожайність зернових культур та їх валові збори в Україні з використанням космічної інформації / О. Г. Тараріко, О. В. Сиротенко, Т. В. Ильенко, Т. Л. Кучма // Екологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу: зб. наук. пр. – Севастополь, 2013. – Вип. 27. – С. 106-116.

*Tarariko O. G., Syrotenko O. V., Ilyenko T. V., Kuchma T. L., 2013, "Forecasted estimation of the impact of climate change on grain crop productivity and gross collection in Ukraine using space information", Ecological safety of coastal and offshore zones and complex use of shelf resources: zb. sciences, Sevastopol, Is. 27, pp. 106-116.*

**Дюкарев Е. А.** Амплитуда суточного хода температуры торфяной почвы / Е. А. Дюкарев // Вестник Томск. гос. ун-та. – 2012. – № 365. – С. 201-205.

*Dyukarev E. A., 2012, "Amplitude of the diurnal variation of the temperature of peat soil", Bulletin of Tomsk State University, No. 365, pp 201-205.*