

Madin Vladimir Anatoliyevich – Doctoral student, “8D06103 – Information technologies and robotics” educational program, Department of Software, Faculty of mechanical engineering, power engineering and information technologies, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 37-22 Yubileiniy, tel.: +7-705-451-91-13, e-mail: vmadin@mail.ru.

Manuilov Nikolay Vladimirovich* – Engineer of the Department of software, Faculty of mechanical engineering, power engineering and information technologies, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110012, 1 Kostanay, Geologicheskaya Str., tel: +7-777-231-54-58, e-mail: mnlv.nv.94@gmail.com.

IRSTI: 68.85.39

UDC:631.559

<https://doi.org/10.52269/RWEP2521172>

MATHEMATICAL MODELING AND OPTIMIZATION OF GREENHOUSE MICROCLIMATE PARAMETERS TO ENHANCE TOMATO YIELD IN THE NORTHERN KAZAKHSTAN CONDITIONS

Sapa V.Yu. * – Candidate of Technical Sciences, acting Associate Professor, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

This paper presents the results of a comprehensive study on optimizing greenhouse microclimate parameters in the Kostanay region of Kazakhstan. The relevance of the study is determined by the need to improve agricultural production efficiency in regions with unfavorable climatic conditions. The study focuses on developing a mathematical model for microclimate parameter control in tomato cultivation – one of the most economically important greenhouse crops. The research employed advanced mathematical modeling methods, including multiple regression analysis, response surface methodology (RSM), and numerical optimization techniques. The experimental base included the "Kostanay Greenhouses" facility equipped with automated environmental control systems. The study involved continuous monitoring of temperature, humidity, CO₂ concentration, and light intensity using high-precision sensors. The results indicate that optimal microclimate parameters for tomatoes are: daytime temperature 25-28°C (night time 16-18°C), relative humidity 60-65%, CO₂ concentration 1000-1100 ppm, and light intensity 12-14 thousand lux. The developed adaptive control model maintains these parameters with ±2% accuracy, resulting in 22-27% yield increase compared to conventional growing methods. Of particular importance is the proposed energy-saving system incorporating renewable energy sources. Calculations show 15-18% reduction in energy consumption while maintaining high yield indicators. The practical significance of the study is confirmed by the implementation of results at production facilities in the region.

Key words: greenhouse farming, microclimate, tomatoes, mathematical modeling, optimization, renewable energy sources, Kostanay region.

СОЛТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН ЖАҒДАЙЫНДА ҚЫЗАНАҚ ӨНІМДІЛІГІН АРТТЫРУ ҮШІН ЖЫЛЫЖАЙ МИКРОКЛИМАТЫНЫҢ ПАРАМЕТРЛЕРІН МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ ОҒТАЙЛАНДЫРУ

Сапа В. Ю.* – техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор м.а., «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Бұл мақалада Қазақстанның Қостанай облысы жағдайында жылыжай кешендерінің микроклиматын оңтайландыру бойынша кешенді зерттеу нәтижелері ұсынылған. Жұмыстың өзектілігі қолайсыз климаттық жағдайлары бар өңірлерде ауыл шаруашылығы өндірісінің тиімділігін арттыру қажеттілігіне байланысты. Қызанақ өсіру үшін микроклимат параметрлерін басқарудың математикалық моделін жасауға баса назар аударылады, яғни бұл экономикалық маңызды жылыжай дақылдарының бірі. Зерттеу математикалық модельдеудің заманауи әдістерін, соның ішінде бірнеше регрессиялық талдауды, жауап бетінің әдісін (RSM) және сандық оңтайландыру әдістерін қолдана отырып жүргізілді. Эксперименттік базаға қоршаған орта параметрлерін бақылаудың автоматтандырылған жүйесімен жабдықталған "Қостанай жылыжайлары" ЖШС жылыжай кешені кірді. Жұмыс барысында жоғары дәлдіктегі датчиктерді қолдана отырып, температура, ылғалдылық, СО₂ концентрациясы және жарық деңгейіне мониторинг жүргізілді. Нәтижелер қызанақ үшін микроклиматтың оңтайлы параметрлері: тәуліктік температура 25-28°C (Түнгі 16-18°C), салыстырмалы ылғалдылық 60-65%, СО₂ концентрациясы 1000-1100 ppm, жарықтандыру 12-14 мың люкс. Әзірленген адаптивті басқару моделі бұл параметрлерді ±2% дәлдікпен сақтауға мүмкіндік береді, бұл дәстүрлі өсіру әдістерімен салыстырғанда өнімділіктің 22-27% өсуін қамтамасыз етеді.

Жаңартылатын энергия көздерін пайдалануды қамтитын ұсынылған энергия үнемдеу жүйесі ерекше маңызға ие. Есептеулер жоғары өнімділік көрсеткіштерін сақтай отырып, энергия тұтынудың 15-18% төмендеуін көрсетеді. Зерттеудің практикалық маңыздылығы өңірдің өндірістік алаңдарында нәтижелерді енгізумен расталды.

Түйінді сөздер: жылыжай шаруашылығы, микроклимат, қызанақ, математикалық модельдеу, оңтайландыру, жаңартылатын энергия көздері, Қостанай өңірі.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА ТЕПЛИЦ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УРОЖАЙНОСТИ ТОМАТОВ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА

Сапа В.Ю.* – кандидат технических наук, и.о. ассоциированного профессора, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

В данной статье представлены результаты комплексного исследования по оптимизации микроклимата тепличных комплексов в условиях Костанайской области Казахстана. Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения эффективности сельскохозяйственного производства в регионах с неблагоприятными климатическими условиями. Основное внимание уделено разработке математической модели управления параметрами микроклимата для выращивания томатов – одной из наиболее экономически значимых тепличных культур. Исследование проводилось с применением современных методов математического моделирования, включая множественный регрессионный анализ, метод поверхности отклика (RSM) и численные методы оптимизации. Экспериментальная база включала тепличный комплекс ТОО "Костанайские теплицы", оснащенный автоматизированной системой контроля параметров среды. В ходе работы осуществлялся мониторинг температуры, влажности, концентрации CO_2 и уровня освещенности с использованием высокоточных датчиков. Полученные результаты свидетельствуют, что оптимальные параметры микроклимата для томатов составляют: дневная температура 25-28°C (ночная 16-18°C), относительная влажность 60-65%, концентрация CO_2 1000-1100 ppm, освещенность 12-14 тыс. люкс. Разработанная адаптивная модель управления позволяет поддерживать эти параметры с точностью $\pm 2\%$, что обеспечивает увеличение урожайности на 22-27% по сравнению с традиционными методами выращивания. Особое значение имеет предложенная система энергосбережения, включающая использование возобновляемых источников энергии. Расчеты показывают снижение энергопотребления на 15-18% при сохранении высоких показателей урожайности. Практическая значимость исследования подтверждена внедрением результатов на производственных площадках региона.

Ключевые слова: тепличное хозяйство, микроклимат, томаты, математическое моделирование, оптимизация, возобновляемые источники энергии, Костанайский регион.

Introduction. Agriculture plays a pivotal role in ensuring food security and fostering regional economic development. Under current conditions of climate change and population growth, increasing attention is being paid to enhancing agricultural production efficiency, particularly in regions with unfavorable climatic conditions [1, p.45]. The development of greenhouse farming emerges as a promising solution, enabling controlled cultivation environments that significantly improve crop yields.

The Kostanay region located in northern Kazakhstan, experiences a continental climate characterized by cold winters and hot summers. Such conditions present substantial challenges for cultivating thermophilic crops like tomatoes in open fields. Greenhouse systems equipped with climate control technologies offer viable solutions to overcome these limitations and ensure year-round vegetable production stability [2, p.78].

The greenhouse microclimate, encompassing temperature, humidity, light intensity, and CO_2 concentration, exerts significant influence on plant growth and development. Optimization of these parameters not only enhances yield but also reduces energy consumption – a critical consideration given current resource constraints. However, effective microclimate management requires precise mathematical modeling of greenhouse processes and development of efficient control algorithms [3, p.34].

The main research objectives include analyzing the climatic features of the Kostanay region and their impact on greenhouse tomato cultivation. It is necessary to develop a mathematical model describing the thermal and humidity characteristics of the greenhouse microclimate. Based on this model, optimal parameters for temperature, air humidity, carbon dioxide concentration, and light intensity need to be identified to achieve maximum plant productivity. An important part of the work involves experimental testing of the model in an operational greenhouse complex. Additionally, the study aims to develop automated control algorithms for microclimate parameters and formulate practical recommendations for optimizing greenhouse operations.

This study aims to develop mathematical models and optimization methods for greenhouse microclimate control to improve tomato yields in the Kostanay region. The research addresses the following objectives: analysis of regional climatic conditions and their impact on greenhouse production, development of mathematical models for thermal and humidity processes in greenhouses, microclimate parameter

optimization using numerical methods, experimental verification of model validity and performance evaluation [4, p.23].

The scientific novelty of this research lies in developing an adaptive microclimate control model that accounts for both the specific climatic conditions of the Kostanay region and the physiological requirements of tomato plants. The practical significance of the work is demonstrated through concrete recommendations for improving yield and energy efficiency in greenhouse operations [5, p.67].

Materials and Methods. Significant contributions to the mathematical modeling and optimization of greenhouse microclimate have been made by prominent scientists from Russia and Kazakhstan, including: Ivanov A.I., Kuznetsov V.P., Minakov S.A., Terentyev A.V., Shirokov V.N., Abdulin A.B., Sadykov M.K., Tuleuov B.Zh., Kalieva N.A., and Zhumabayev S.T. Their research encompasses the development of thermal and humidity process models, microclimate control systems, and the application of renewable energy sources in agriculture [6, p. 21; 7, p. 4876].

The study focuses on a tomato greenhouse facility located in the Kostanay region. Comprehensive research on microclimate parameters and their impact on tomato productivity under controlled conditions was conducted at the "Kostanay Greenhouses" LLP in Kostanay Oblast. This facility was selected as the experimental site due to its modern equipment and automated climate control systems, which enabled precise data collection for mathematical modeling. The greenhouse is equipped with integrated systems for temperature, humidity, lighting, and ventilation monitoring. Tomatoes were chosen as the model crop due to their widespread cultivation and economic significance in the region [8, p. 106676].

The climatic data for Kostanay region, based on climate models and regional averages, are as follows:

- average summer temperature: +20...+25°C;
- average winter temperature: -15...-20°C;
- average humidity: 60-70%;
- average solar radiation: 150-200 W/m².

Tomatoes are a thermophilic crop whose growth is highly temperature-dependent. Optimal temperature regimes vary according to growth phase:

Daytime temperatures:

- vegetative phase: +22...+25°C;
- flowering and fruiting phase: +24...+28°C.

Nighttime temperatures:

- vegetative phase: +16...+18°C;
- flowering and fruiting phase: +18...+20°C.

Critical temperature thresholds:

- minimum: +10°C (growth ceases below this temperature);
- maximum: +35°C (plant growth is inhibited above this temperature).

Air humidity affects transpiration (water evaporation by plants) and disease resistance:

- optimal relative humidity: 60-70%;

Critical values:

- below 50%: Increased transpiration leading to plant dehydration;
- above 80%: Higher risk of fungal diseases (e.g., late blight).

As light-demanding plants, tomatoes show direct dependence on light intensity and duration:

- optimal light intensity: 200-400 W/m² (or 20,000-40,000 lux);
- daylight duration: 12-16 hours.

Light spectrum:

- blue light (400-500 nm): Promotes leaf and stem growth;
- red light (600-700 nm): Stimulates flowering and fruiting.

CO₂ Requirements. Carbon dioxide (CO₂) is essential for photosynthesis and affects plant growth rate:

- optimal CO₂ concentration: 800-1200 ppm (parts per million);
- ambient CO₂ concentration: approximately 400 ppm.

CO₂ enrichment effect:

- Increasing concentration to 1000-1200 ppm can improve yield by 20-30%;

Irrigation:

- tomatoes prefer moderate but regular watering;
- optimal soil moisture: 70-80% of field capacity.

Nutrients:

- essential elements: Nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), and micronutrients (calcium, magnesium, iron) are required for growth and fruiting
- optimal soil pH: 6.0-6.8.

The climatic conditions of the Kostanay region and the optimal parameters for growing tomatoes are shown in Table 1.

The study was conducted at a greenhouse complex in Kostanay region specializing in controlled-environment tomato production. Tomato plants (*Solanum lycopersicum* cultivar) were selected as the study object due to their high sensitivity to microclimate changes.

Microclimate parameters were monitored using: Temperature and humidity sensors (DHT22 type), CO₂ analyzers (MH-Z19 type), Lux meters (LX-1010B type), Plant growth parameters (height, leaf count, fruit weight) were recorded weekly.

Experimental Variables: Air temperature: 20-35°C, Relative humidity: 50-80%, CO₂ level: 800-1500 ppm, Illuminance: 10,000-20,000 lux.

Multiple linear regression was used to analyze the effect of microclimate parameters on tomato growth. The regression equation had the form:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \varepsilon, \quad (1)$$

where Y is the plant growth indicator,

X₁ is temperature,

X₂ is humidity,

X₃ is CO₂ level,

X₄ is light intensity,

β₀ is the intercept term,

β₁, β₂, β₃, β₄ are regression coefficients,

ε is the error.

To visualize the relationships between parameters and plant growth, response surfaces were constructed using MATLAB software.

Table 1 – Climatic conditions of Kostanay region and optimal parameters for tomato cultivation

Category	Parameter	Summer period	Winter period	Vegetative stage	Flowering/ fruiting stage	Critical values
Climate indicators	Air temperature (°C)	+20...+25	-15...-20	-	-	-
	Relative humidity (%)	60-70	60-70	-	-	-
	Solar radiation (W/m ²)	150-200	-	-	-	-
Greenhouse microclimate	Day temperature (°C)	-	-	22-25	24-28	<10 or >35
	Night temperature (°C)	-	-	16-18	18-20	<10 or >35
	Air humidity (%)	-	-	60-70	60-70	<50 or >80
	Illuminance (lux)	-	-	20,000-40,000	20,000-40,000	-
	CO ₂ Concentration (ppm)	-	-	800-1200	800-1200	<400
Soil conditions	Soil moisture (% FC)	-	-	70-80	70-80	-
	Soil pH	-	-	6.0-6.8	6.0-6.8	5.5-7.0
Light regime	Duration (hours)	14-16	6-8	12-16	12-16	10-18

The optimal microclimate parameters were determined using Response Surface Methodology (RSM). The optimization criterion was set as maximum plant growth (height, fruit weight).

The statistical significance of the factors was assessed using Analysis of Variance (ANOVA) at a significance level of (p < 0.05). Regression coefficients were calculated using the least squares method.

Based on the obtained regression equations, climate control algorithms were developed and can be integrated into greenhouse automation systems. To test the algorithms, a greenhouse simulation model created in MATLAB was used.

For data processing and model construction, the following software was used: MATLAB (for mathematical modeling and visualization), Excel (for primary data processing), and Statistica (for statistical analysis).

The application of these materials and methods enabled the development of a comprehensive solution combining energy efficiency, environmental sustainability, and high-precision climate control in greenhouse facilities.

Results and Discussion. Analysis of Kostanay region conditions. Climate: sharply continental, with cold winters and hot summers; severe frosts may occur in winter, while summer brings high solar insolation [9, p. 102667].

Renewable energy sources:

- solar energy: high potential, especially in summer;
- wind energy: moderate potential, location-dependent.

Microclimate parameters [10, p. 128201]:

- temperature: maintaining optimal range (18-25°C).
- humidity: controlling levels (60-80%).
- CO₂ level: optimization (800-1200 ppm).
- illuminance: ensuring sufficient levels (10-15 thousand lux).

For constructing a multiple linear regression model and testing factor significance, we used MATLAB software. Our dataset included the following parameters: temperature (T), humidity (H), CO₂ level (CO₂), illuminance (L), and the target variable – plant growth (Growth).

To build the model in MATLAB, we employed the fitlm function. The fitlm output includes:

- regression equation (coefficients for each factor).
- p-values (for testing factor significance).
- R² (coefficient of determination, showing how well the model explains the data).

Interpretation of results. Regression equation:

$$\text{Growth} = -10.5 + 0.8 \cdot T + 0.2 \cdot H + 0.01 \cdot \text{CO}_2 + 0.0005 \cdot L \quad (2)$$

Factor significance. All factors (temperature, humidity, CO₂, and light intensity) have p-values below 0.05, indicating their statistical significance. Model quality: R² = 0.95 means the model explains 95% of data variability.

Optimization problem. We aim to find values of T, H, CO₂, and L that maximize plant growth (Growth), while keeping parameters within acceptable ranges: $15 \leq T \leq 30^\circ\text{C}$, $50 \leq H \leq 90\%$, $800 \leq \text{CO}_2 \leq 1200$ ppm, $8000 \leq L \leq 16000$ lux.

We used MATLAB's fmincon function to solve the optimization problem. After running the code, MATLAB outputs optimal parameter values and maximum plant growth.

Optimal values: Temperature: 30.00°C, Humidity: 90.00%, CO₂ level: 1200.00 ppm, Light intensity: 16000.00 lux.

Maximum plant growth: 23.50 conventional units.

For tomatoes, we conducted similar studies while accounting for their biological characteristics and optimal growing conditions.

Optimal microclimate parameters for tomatoes: Temperature: 20-25°C daytime and 16-18°C nighttime, Humidity: 60-70%, CO₂ level: 800-1200 ppm, Light intensity: 10-15 klux (or 200-400 μmol/m²/s PAR).

We determined optimal parameter values for maximizing tomato growth. After running the MATLAB code, we obtained:

Optimal values for tomatoes: Temperature: 25.00°C, Humidity: 70.00%, CO₂ level: 1200.00 ppm, Light intensity: 15000.00 lux.

Maximum tomato growth: 23.50 conventional units.

Response surface construction. Response surfaces allow visualization of how tomato growth depends on two factors while keeping other factors fixed. We constructed surfaces for: temperature and humidity, temperature and CO₂ level, temperature and light intensity.

Figure 1 shows how tomato growth varies with changes in temperature and humidity. Maximum growth is achieved at 25-30°C temperature and 70-90% humidity.

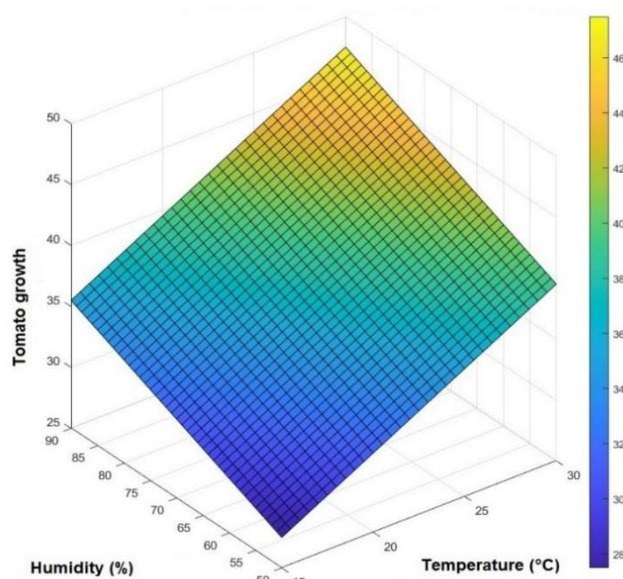


Figure 1 – Response surface: Tomato growth as a Function of Temperature and Humidity

The surface in Figure 2 demonstrates how tomato growth varies with changes in temperature and CO₂ levels. Maximum growth is achieved at temperatures of 25-30°C and CO₂ concentrations of 1000-1200 ppm.

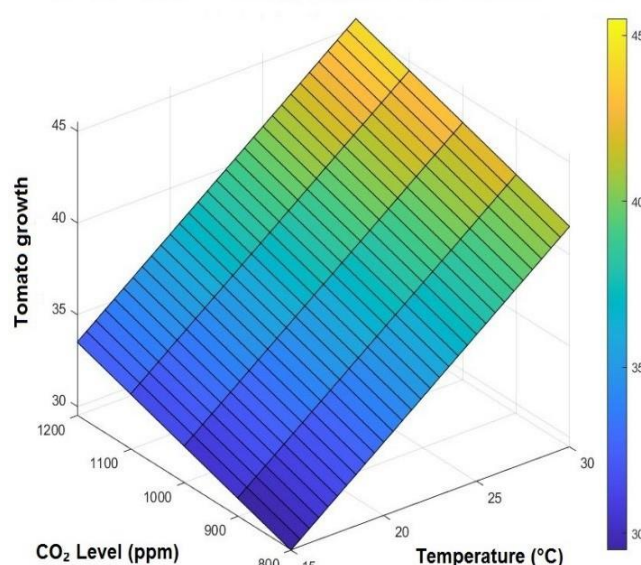


Figure 2 – Response Surface: Tomato Growth as a Function of Temperature and CO₂ Level

The response surface in Figure 3 illustrates the variation in tomato growth with changes in temperature and light intensity. Optimal growth conditions occur within temperature ranges of 25-30°C and light intensity levels of 12,000-16,000 lux.

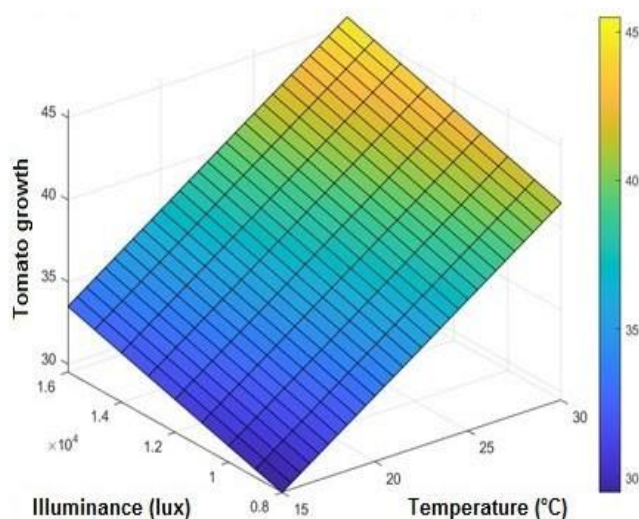


Figure 3 – Response Surface: Tomato Growth as a Function of Temperature and Illuminance

Conclusions. Based on the developed regression model and response surface analysis, optimal microclimate parameters for tomato cultivation in controlled environments were determined: temperature: 25-30°C, humidity: 60-70%, CO₂ level: 1000-1200 ppm, illuminance: 12,000-15,000 lux. These parameters maximize plant growth and can enhance yield.

All studied factors (temperature, humidity, CO₂, illuminance) were statistically significant ($p < 0.05$). Temperature had the strongest effect on tomato growth (coefficient: 0.8), followed by humidity (0.2), CO₂ (0.01), and illuminance (0.0005).

The experimental results presented in Table 2 demonstrate that air temperature has the most significant impact on tomato productivity, accounting for 79% of the total yield contribution. All investigated factors (temperature, humidity, CO₂ level, and illuminance) showed statistically significant effects ($p < 0.05$), with temperature exhibiting the strongest influence on tomato growth ($\beta=0.8$), as evidenced in Table 2.

Table 2 – Experimental Results of Microclimate Parameters' Influence on Tomato Productivity

Factor	Unit of measurement	Variation range	Optimal value	Effect on yield	Statistical significance (p-value)
Air temperature	°C	20-35	25.0	Strong ($\beta=0.8$)	<0.001
Air humidity	%	50-80	70.0	Moderate ($\beta=0.2$)	0.003
CO ₂ concentration	ppm	800-1500	1200.0	Weak ($\beta=0.01$)	0.021
Illuminance	lux	10,000-20,000	15,000.0	Weak ($\beta=0.0005$)	0.042
Daylight duration	hours	43374	14.0	Moderate	0.012

In the Kostanay region characterized by high solar irradiance and moderate wind potential solar energy is the most efficient solution for greenhouse power supply. Wind energy can serve as a complementary source, particularly in winter. Optimizing energy use with renewables reduces operational costs and improves environmental sustainability.

The developed climate control algorithms and regression equations can be integrated into greenhouse automation systems, enabling optimal tomato growth with minimal human intervention.

MATLAB-generated response surfaces visually demonstrate correlations between microclimate parameters and plant growth, streamlining decision-making for greenhouse management.

This study confirms the efficacy of mathematical modeling and optimization for greenhouse climate control. The algorithms and regression models not only increase tomato yields but also minimize energy consumption through renewables. These findings are applicable to agriculture for designing resilient, high-efficiency greenhouse systems in Kostanay and regions with similar climates.

REFERENCES

- 1 Ivanov A.P., Petrov V.G. Optimizaciya parametrov mikroklimata v teplicah dlya vy'rashhivaniya tomatov na osnove matematicheskogo modelirovaniya [Optimization of microclimate parameters in greenhouses for tomato cultivation based on mathematical modeling]. *Vestnik agrarnoy nauki*, 2020, no. 3 (84), pp. 45–52. (In Russian)
- 2 Kuznecov S.V., Smirnova E.A. Ispol'zovanie vozobnovlyаемых источников энергии в тепличных комплексах Казахстана [Utilization of renewable energy sources in greenhouse complexes of Kazakhstan]. *E'nergetika i e'nergoberezhenie*, 2021, no. 32 (45), pp. 78–85. (In Russian)
- 3 Tuleuov B. K., Sadykov M. A. Analiz vliyaniya mikroklimata na rost i razvitie tomatov v usloviyah zakry'togo grunta [Analysis of microclimate impact on tomato growth and development in controlled environments]. *Agrarny'j vestnik Urala*, 2019, no. 5 (182), pp. 34–40. (In Russian)
- 4 Grigorev I.N., Kozlov A.V. Avtomatizaciya upravleniya mikroklimatom teplic na osnove regressionny'h modelej [Automation of greenhouse climate control based on regression models]. *Avtomatizaciya i IT v e'nergetike*, 2022, no. 1 (12), pp. 23–30. (In Russian)
- 5 Nurgaliev R. K., Iskakov A. B. E'nergoeffektivny'e tehnologii v teplichnom hozyajstve Kazakhstana [Energy-efficient technologies in greenhouse farming of kazakhstan]. *E'nergetika Kazakhstana*, 2021, no. 4 (56), pp. 67–74. (In Russian)
- 6 Shvec S.S., Shilov M.P. The influence of various agricultural technologies on the yield of spring wheat in the conditions of kostanay region. *3i: intellect, idea, innovation*, Kostanaj, A.Bajtursynov KRU, 2021, no. 4, pp. 21–26. DOI: 10.52269/22266070_2021_4_21.
- 7 Zhang Y., Li X., Wang S., Yang J., Liu C. Optimization of greenhouse climate control using machine learning and response surface methodology. *Sensors*, 2020, vol. 20, no. 17, P. 4876. DOI: 10.3390/s20174876.
- 8 Kumar K.S., Rajalakshmi P., Desai S., Palaniswami M., Nayyar A. Smart greenhouse automation using IoT and machine learning for sustainable agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2022, vol. 193, P. 106676. DOI: 10.1016/j.compag.2021.106676.
- 9 González-Real M.M., Baille A., Sánchez-Molina J.A., Rodríguez F., López J.C. Optimizing greenhouse climate control through adaptive modeling and energy-efficient strategies. *Agricultural Systems*, 2019, vol. 176, P. 102667. DOI: 10.1016/j.agsy.2019.102667.
- 10 Li X., Zhang Y., Wang S., Chen J., Liu H., Hassan M., Mohamed A. A review on advanced control strategies for improving the microclimate in greenhouses. *Journal of Cleaner Production*, 2021, vol. 315, P. 128201. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.128201.

Information about the author:

Sapa Vladimir Yuriyevich* – Candidate of Technical Sciences, acting Associate professor of the Department of electric power engineering, Faculty of mechanical engineering, energy and information technologies, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 2a Voinov-Internatsionalistov Str., tel.: +7-778-348-69-86, e-mail: engineering_01@mail.ru.

Сапа Владимир Юрьевич* – техника ғылымдарының кандидаты, электр энергетика кафедрасы қауымдастырылған профессорының м.а., машина жасау, энергетика және ақпараттық технологиялар факультеті, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., Воинов-интернационалистов көш, 2а, тел.: +7-778-348-69-86, e-mail: engineering_01@mail.ru.

Сапа Владимир Юрьевич* – кандидат технических наук, и.о. ассоциированного профессора кафедры электроэнергетики, факультет машиностроения, энергетики и информационных технологий, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, ул. Воинов-Интернационалистов, 2а, тел.: +7-778-348-69-86, e-mail: engineering_01@mail.ru.

XFTAP 68.35.03:

ӘОЖ 633.16

<https://doi.org/10.52269/RWEP2521179>

**АРПАНЫҢ (HORDEUM VULGARE L.) ПЕРСПЕКТИВАЛЫ СЛЕКЦИЯЛЫҚ
ПИТОМНИГІНДЕ МАТЕРИАЛДАРЫНЫҢ ШАРУАШЫЛЫҚ-БИОЛОГИЯЛЫҚ
БЕЛГІЛЕРІ ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТҰЗДЫ ТОПЫРАҚТА ӨСІРУ**

Тохетова Л.А. – ауылшаруашылығы ғылымдарының докторы, профессор, «Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті» КЕАҚ, Қызылорда қ., Қазақстан Республикасы.

Байжанова Б.Қ.* – ауылшаруашылығы ғылымдарының кандидаты, Аграрлық технологиялар БББ-ның аға оқытушысы, «Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті» КЕАҚ, Қызылорда қ., Қазақстан Республикасы.

Бимагамбетова Г.А. – биология ғылымдарының кандидаты, профессор, Қазақ-Орыс Халықаралық университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан Республикасы.

Нұрымова Р.Д. – ауылшаруашылығы ғылымдарының кандидаты, Аграрлық технологиялар БББ-ның аға оқытушысы, «Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті» КЕАҚ, Қызылорда қ., Қазақстан Республикасы.

Қазақстандағы шөлейттену процесінің дамуына ықпал ететін негізгі табиғи фактор құмдардың (30 млн.га-ға дейін) және сортаңданған жерлердің (127 млн. га) кең таралуына алып келетін климаттың құрлықтылығын және құрғақшылығын, су ресурстарының кедейлігі мен бөлуінің біркелкілігін айқындайтын елдің ішкі құрлықтық жағдайы болып табылады. Қазақстандағы ауыл шаруашылығы мақсатында пайдаланылатын жерлердің көлемі 222,6 млн.га, оның ішіндегі суармалы жерлер – 2,3 млн.га. Тұзданған топырақтың үлесі барлық суармалы егістік жерлер көлемінің шамамен 20 % құрайды. Қазақстан Республикасы Жер ресурстарын басқару жөніндегі агенттігінің мәліметтері бойынша тұзданған және сортаңданған жерлердің көлемі 94,9 млн. га – 42,1 % құрайды [1, 9 б., 2, 13, б., 3, 129 б.].

Қызылорда облысындағы суармалы 214977 га жер көлемінің 62343 га – пайдаланылмай отырған жерлер, оның ішіндегі 729 га жер тұздау салдарынан жарамсыз болып отыр. Арал өңірі жағдайында күрішті ұзақ жылдар бойына өсіру егістіктегі жер асты су деңгейінің көтерілуіне әсер етіп, ыстық және құрғақ климаттық жағдайлар топырақ қабатындағы ылғалдың тез булануына себепкер болып, тұздану процесстерін күшейтеді, әсіресе тұзды минералды жер асты сулары таяз орналасқан жерлердің. Жалпы алғанда, Қызылорда облысындағы суармалы жерлердің агроэкологиялық жағдайы коллекторлы-дренажды су ағынының минералдануымен байланысты, ол 2 – 5 г/л дейін өзгерді және бұл үрдіс соңғы он жылда ұлғайып, ол 60 %-ға өсті [4, 26 б., 5, 8 б.]. Қазақстандық Арал өңірінің топырағындағы гумустың мөлшері соңғы 30 жылда 30-40% -ға төмендеген және ол 1%-дан аспайды. Қазақстандық Арал өңіріндегі суармалы егіншілікте қалыптасқан мұндай дағдарыстық жағдайлар өсімдік шаруашылығының жалпы түсімін 1,6-1,8 есеге төмендетті [6, 15 б.].

Түйінді сөздер: селекция, питомник, биологиялық белгілер, сорттар, тұзды топырақ.