
НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК: 551.58: 517

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ И ИХ ПРОГНОЗ НА ТЕРРИТОРИИ КРЫМА

REGULARITIES OF CLIMATE CHANGE FORMATION AND ITS PREDICTION FOR THE TERRITORY OF CRIMEA

В.П. Нестеренко

V.P. Nesterenko

Херсонский государственный аграрный университет, Украина, 73006, г. Херсон, ул. Розы Люксембург, 23

Kherson State Agricultural University, 23 Rosa Luxemburg St, Kherson, 73006, Ukraine

E-mail: vitaliynesterenko88@gmail.com

Аннотация. Представлены результаты ретроспективного анализа и статистического прогноза изменения климатических условий на территории Крыма. Установлены внутривековые циклы и кросскорреляционные изменения динамики климатических показателей через основные гармоники (среднегодовой температуры воздуха и суммы годовых осадков) по трем климатическим субрегионам за последние 110 лет. Определено, что с 1994 года наблюдается положительная тренд-циклическая тенденция изменения климата, это привело к тому, что за последние 20 лет среднегодовая температура воздуха увеличилась на $1.24 \pm 0.06^\circ\text{C}$, осадки в среднем увеличились на 62 ± 15 мм. Использование цепей Маркова позволило определить вероятности годовой инерции климата. Инерционная вероятность повторения жарких и влажных лет составила 0,51, жарких лет после холодных – 0,41, а влажных лет после сухих – 0,39. Это указывает на вероятность преобладания сухих лет на территории Крымского полуострова в современных условиях. Созданы нейронные модели архитектуры трехслойный перцептрон для прогнозирования климатических изменений, достоверность которых составила 82% и 88%. До 2030 года прогнозируется увеличение среднегодовой температуры на $0.63 \pm 0.12^\circ\text{C}$ и суммы годовых осадков на 66 ± 14 мм. Полученные результаты имеют практическую ценность для разработки мероприятий по адаптивному пространственно-временному природопользованию на территории Крыма.

Résumé. The paper presents the results of a retrospective analysis and statistical forecast of changes in climatic conditions on the territory of Crimea. It identifies intrasecular cycles and cross-correlation changes in the dynamics of climate change indicators through the main harmonics (average annual air temperature and the amount of annual precipitation) for three climate subregions over the past 110 years. The findings show that since 1994 there has been a positive trend-cyclical tendency of climate change. This has led to the fact that over the past 20 years the average annual temperature has increased by $1.24 \pm 0.06^\circ\text{C}$, and average precipitation has increased by 62 ± 15 mm. The application of Markov chains made it possible to determine the probability of annual climate inertia. Inertial probability of recurrence of hot and humid years was 0.51, that of hot years after cold ones was 0.41, and a chance of wet years after dry ones was 0.39. This suggests possible predominance of dry years on the territory of the Crimean peninsula under modern conditions. The study presents neural models of the three-layer perceptron architecture for predicting climate change, their accuracy amounting to 82% and 88%. It forecasts an increase in average annual temperature by $0.63 \pm 0.12^\circ\text{C}$ and in annual precipitation by 66 ± 14 mm until 2030. The results obtained are of practical value in the development of measures for adaptive spatio-temporal nature management in Crimea.

Ключевые слова: климат, методы статистики, моделирование, прогнозирование, нейронные сети.

Key words: climate, statistical methods, modeling, forecasting, neural networks.

Введение

Климат и его влияние на изменение геосистем на сегодняшний день является наиболее актуальным вопросом во всех сферах научных исследованиях. За последние 20–30 лет значительно увеличилась частота и интенсивность опасных погодных явлений, которые приводят к значительному экономическому ущербу, угрожают стабильному существованию экосистем, а также здоровью и жизни людей. Выводы многих ученых

говорят о том, что продолжающиеся климатические изменения могут в будущем привести к еще более опасным последствиям, если человечество не предпримет соответствующих предупредительных мер. Учеными [Лисецкий, Пичура, 2016] отмечено, что в последние 70 лет в степной зоне Восточно-Европейской равнины наблюдается внутригодовые изменения, которые вызваны проявлениями потепления в первые 10 месяцев (январь-октябрь) в среднем на 2°C (с 10.4 до 12.4°C) и увеличение суммы осадков на 90 мм (с 314 до 404 мм). Неравномерное распределение осадков в 75% случаях приводит к отрицательным аномальным явлениям одноразового выпадения месячной, а в некоторых случаях и полугодовой нормы осадков, что приводит к катастрофическим подтоплениям и затоплениям территорий на локальном и региональном уровнях.

Проблемы климатических изменений и его последствий представлены в работах многих ученых мира [Воронина, 2005; Luers, 2007; Hasselmann, Terry, 2008; Chen, 2008; Monastersky, 2009; Морозов, Пичура, 2009; Матвеев и др., 2011; Бикбулатова, 2013; Пичура и др., 2014; Лисецкий и др., 2003, 2013, 2014, 2016]. Ранее [Иванов, Лисецкий, 1994; Лисецкий, Чепелев, 2003; Лисецкий, Пичура, 2016] разработана методика моделирования и получены результаты прогнозирования климатической обусловленности почвообразования в различных земледельческих регионах, для условий Восточно-Европейской равнины изучены многовековые (за XVIII–XX вв.) закономерности влияния климатических факторов на гидрологические процессы [Кузьменко и др., 2012; Лисецкий и др., 2013; Реки ..., 2015]. На основе информации «Кадастра по климату Украины» обобщены результаты метеорологических наблюдений 185 станций метеорологической сети за 30-летний период (1961–1990 гг.), в котором разработаны на XXI в. сценарии и прогноз возможных изменений климата Украины, в т. ч. Крыма, под влиянием глобального антропогенного потепления [Клімат України..., 2003].

Анализ имеющихся источников показал, что вопрос изучения и моделирования возможных изменений климата и оценки его влияния на региональные геосистемы с целью разработки и ведения новых адаптационных мероприятий на различных уровнях хозяйствования является актуальным и недостаточно изученным.

Объект и методы исследования

Объект исследования – климат на территории Крыма. Предмет исследований – временные закономерности формирования климатических показателей (температура воздуха, сумма осадков). В исследованиях использованы фактические данные [Парубец, 2009] о годовых значениях приземной температуры воздуха (T , $^{\circ}\text{C}$) и суммы осадков (P , мм) по метеостанциям (МТС) трех климатических субрегионов Крыма за 110 лет (1899–2008 гг.) – западно-степной причерноморский (МТС Евпатория), восточный предгорный (МТС Симферополь), юго-восточный (МТС Судак и Карадаг).

Для анализа, оценки разнородности рядов, определения циклических составляющих и временных закономерностей синхронности формирования климатических условий по МТС Крыма в работе применены методы одномерного анализа Фурье и преобразования переменных – T4253H-smoothen и разностных интегральных кривых модульных коэффициентов. Для оценки вероятности инерции климата использован метод цепей Маркова [Самнер, 1981]. Для прогнозирования вероятностных характеристик формирования климата во времени использован нелинейный метод многослойных искусственных нейронных сетей [Кузьменко и др., 2012; Пичура и др., 2012, 2013]. Корректировку весовых коэффициентов искусственных нейронных сетей проводили на основе алгоритма обучения (BFGS):

$$w_{ni}(t+1) = \eta \delta_i x_n(t) + \alpha(w_{ni}(t) - w_{ni}(t-1))$$

где $w_{ni}(t)$ – вес от нейрона n или от элемента входного сигнала n к нейрону i в момент времени t ; x_n – выход нейрона n или n -й элемент входного сигнала; η – коэффициент скорости обучения; α – коэффициент инерции; δ_i – значение ошибки для нейрона i .

Функция ошибки представляет собой разность между текущим выходом (аппроксимированные значения) и идеальным выходом (эмпирические значения) сети. Согласно методу наименьших квадратов, функция ошибки нейронной сети имеет вид:



$$E(w) = \frac{1}{2} \sum_{j,p} (y_{jpn} - d_{jp})^2,$$

где y_{jpn} – выходное состояние j -го нейрона слоя n нейронной сети при подаче на ее входы p -го обучающего образа; d_{jp} – желаемое выходное состояние этого нейрона.

Для анализа, моделирования и прогнозирования динамики климатических показателей использованы рабочие модули Time series and forecasting (TSF) и Neural Networks лицензированного программного продукта STATISTICA 10.0.

Результаты и их обсуждение

Климатические зоны Крыма характеризуются довольно высоким уровнем разнообразия. На площади около 27 000 км² современные учёные выделяют три макрорегиона и до 20 климатических субрегионов. Подобное разнообразие объясняется сочетанием более южного географического положения полуострова, различными формами рельефа, высотной поясностью Крымских гор, а также влиянием нескольких морей и их заливов. Среднее значение годовых сумм осадков по метеостанциям (рис. 1, 2) за указанный период составило – МТС Евпатория ($\bar{T} = 11.5 \text{ }^\circ\text{C}$; $\bar{P} = 500 \text{ mm}$), МТС Симферополь ($\bar{T} = 10.4 \text{ }^\circ\text{C}$; $\bar{P} = 348 \text{ mm}$), МТС Судак и Карадаг ($\bar{T} = 12.2 \text{ }^\circ\text{C}$; $\bar{P} = 982 \text{ mm}$).

В результате преобразования исходных данных по трем метеостанциям с использованием «T4253H-smoother», статистического нормирования и одномерного Фурье-анализа выделены внутривековые синхронные амплитуды циклических изменений годовых осадков (P_c) (рис. 1б) – 7, 14, 22 и 36 лет и среднегодовой температуры (T_c) (рис. 2б) – 7, 12 и 36 лет. Нелинейные трехмерные закономерности формирования климатических условий (рис. 1г и 2г) в различных субрегионах Крымского полуострова обусловлены локальными формами рельефа, в большей степени это отражается на временной асинхронности и пространственной неоднородности распределения осадков. Высокая степень корреляции основных гармоник динамики осадков определена между данными МТС Симферополь и МТС Евпатории (рис. 1д) – 0.83, незначительная корреляция наблюдается с данными МТС Судак – 0.36 и 0.41. В изменениях температуры воздуха по трем климатическим субрегионам Крыма отмечена достаточно высокая степень сходства циклических гармоник (рис. 2д), корреляция между которыми составляет 0.88 – 0.97, это дает возможность предполагать наличие единых временных закономерностей формирования климата на территории полуострова. Полученные результаты анализа значительно упрощают задачу изучения, моделирования, реконструкции недостающих данных и прогнозирования климатических изменений. Таким образом, изучив временные закономерности формирования по одной из метеостанций Крыма, можно предположить, что подобные изменения могут происходить по всей территории полуострова.

В результате преобразования ретроспективных данных с помощью разностных интегральных кривых модульных коэффициентов определены временные срезы качественного изменения климата (рис. 1в и 2в). Наиболее отчетливо это прослеживается по данным изменений температуры воздуха, с 1994 года намечена стремительная тренд-циклическая тенденция ее повышения на $0.062 \pm 0.003 \text{ }^\circ\text{C}$ ежегодно, т. е. за последние 20 лет среднегодовая температура воздуха увеличилась на $1.24 \pm 0.06 \text{ }^\circ\text{C}$, а осадки в этот период в среднем увеличились на $62 \pm 15 \text{ mm}$.

Использование цепей Маркова позволило определить вероятности годовой инерции климата. Для этого были использованы усредненные данные по метеостанциям с высокой корреляционной зависимостью – МТС Симферополя и Евпатории. Так, вероятность повторения температуры воздуха больше циклической нормы составила $P_T = 0.53$, суммы годовых осадков $P_P = 0.45$. Инерционная вероятность повторения жарких (H) лет равна $P_{H1} = 0.51$, жарких лет после холодных $P_{H2} = 0.41$. Следовательно, вероятность того, что следом за жарким годом наступит холодный (C) $P_{C1} = 0.49$ и аналогично вероятность того, что за одним холодным годом последует холодный год $P_{C2} = 0.59$. Инерционная вероятность повторения влажных (W) лет составила $P_{W1} = 0.51$, влажных лет после сухих $P_{W2} = 0.39$. Следовательно, вероятность того, что следом за влажным годом наступит сухой (D) $P_{D1} = 0.49$ и аналогично

вероятность того, что за одним сухим годом последует сухой год $P_{D2}=0.61$. Это указывает на значительную вероятность преобладания сухих лет на территории Крымского полуострова.

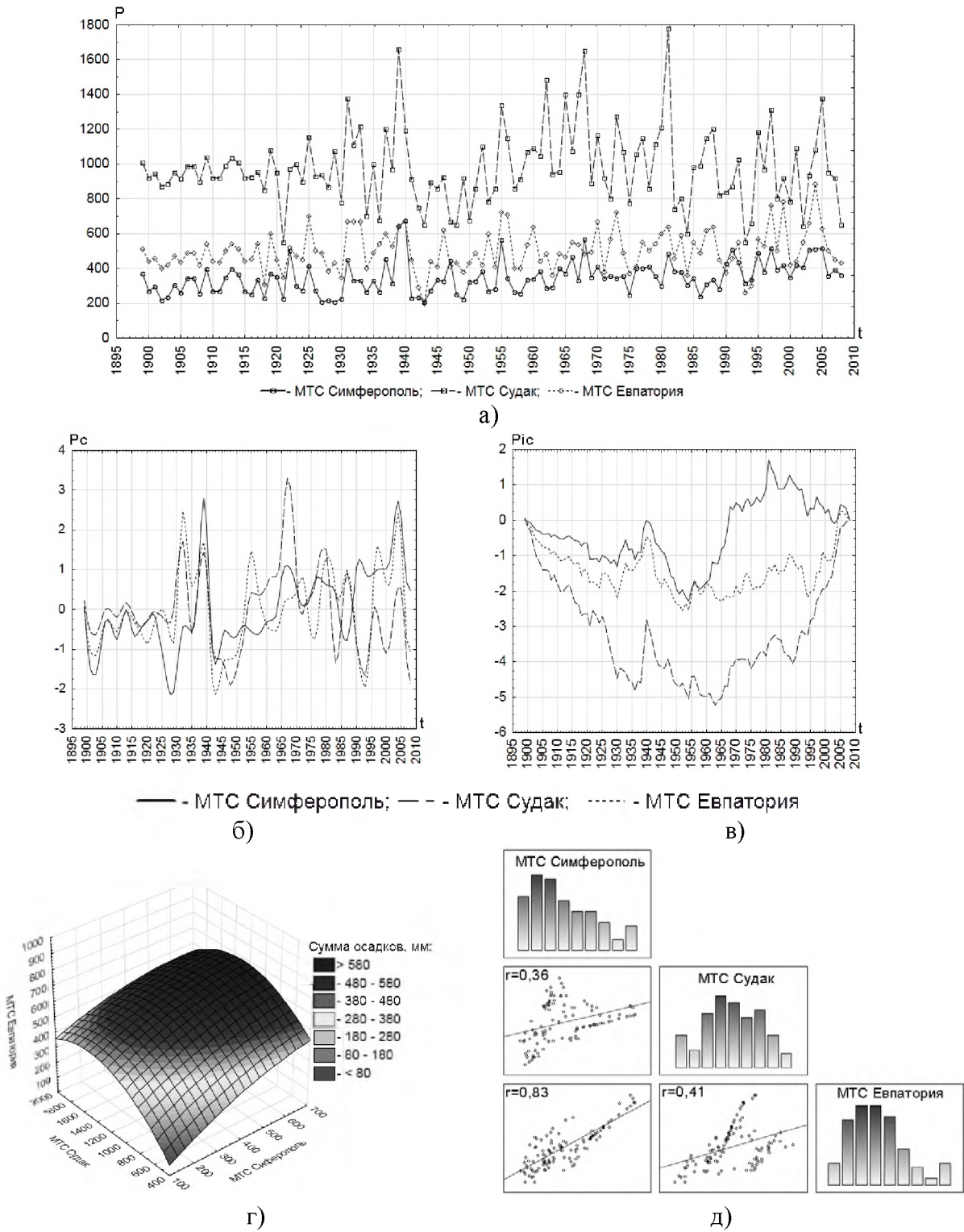


Рис. 1. Динамика и синхронность амплитуды изменения суммы годовых осадков (P , мм) по трем метеостанциям Крымского полуострова за период 1899–2008 гг.: а) исходные значения; б) основные циклические амплитуды; в) интегральные кривые; г) 3-D диаграмма синхронности высокочастотных колебаний; д) кросс-корреляция интегральных кривых
 Fig. 1. Dynamics and synchronism of the amplitude of changes in the amount of annual precipitation (P , mm) for three meteorological stations of the Crimean peninsula over the period of 1899–2008: а) initial values; б) basic cyclic amplitudes; в) integral curves; д) 3-D diagram of synchronism of high frequency oscillations; е) cross-correlation of integral curves

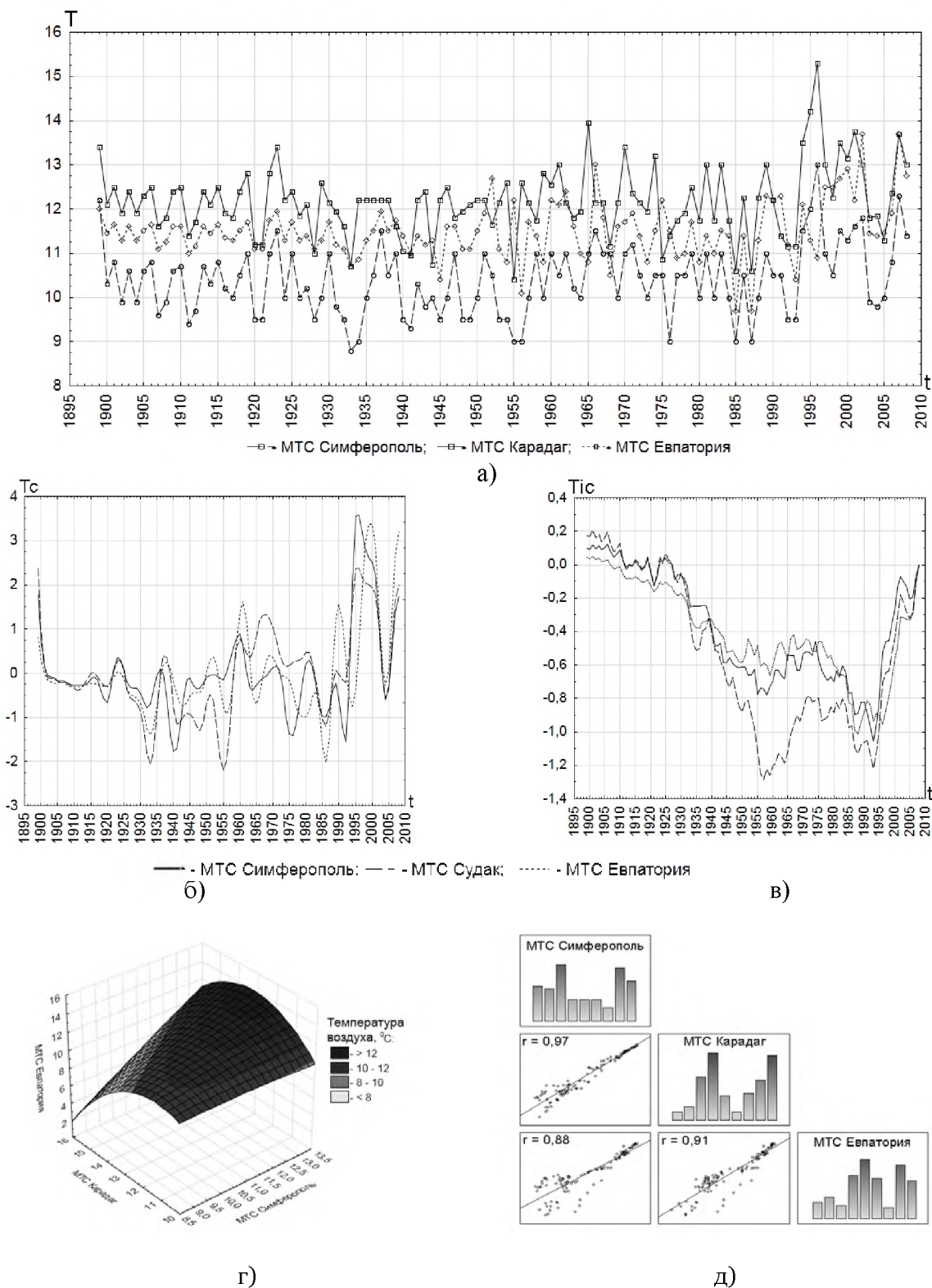


Рис. 2. Динамика и синхронность амплитуды изменения среднегодовой температуры (T , °C) воздуха по трем метеостанциям Крымского полуострова за период 1899–2008 гг.:

а) исходные значения; б) основные циклические амплитуды; в) интегральные кривые; г) 3-D диаграмма синхронности высокочастотных колебаний; д) кросс-корреляция интегральных кривых
 Fig. 2. Dynamics and synchronism of the amplitude of changes in average annual temperature (T , °C) for three meteorological stations of the Crimean peninsula over the period of 1899–2008:
 a) initial values; b) basic cyclic amplitudes; c) integral curves; d) 3D diagram of synchronism of high frequency oscillations; e) cross-correlation of integral curves

Для прогнозирования изменения климата по отдельным метеостанциям Крыма созданы нелинейные нейросетевые модели архитектуры трехслойный перцептрон (MLP) (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Характеристика нейронных сетей для прогнозирования климатических изменений на территории Крыма
A characteristic of neural networks for predicting climate change on the territory of Crimea

Метеостанция	Параметры модели	Корреляция с исходными данными	
		на обучающей выборке	на тестовой выборке
Сумма годовых осадков			
Симферополь	MLP 1-7-1 Алгоритм обучения – <i>BFGS</i> (5 эпох) Функция активации скрытых и выходных нейронов – <i>Exponential</i> (range: 0; +∞)	0.93	0.86
Судак	MLP 1-3-1 Алгоритм обучения – <i>BFGS</i> (31 эпох) Функция активации скрытых и выходных нейронов – <i>Logistic sigmoid</i> (range: 0; 1), <i>Exponential</i> (range: 0; +∞)	0.88	0.89
Евпатория	MLP 1-2-1 Алгоритм обучения – <i>BFGS</i> (10 эпох) Функция активации скрытых и выходных нейронов – <i>Hyperbolic tangent</i> (range: -1; +1)	0.88	0.87
Температура воздуха			
Симферополь	MLP 1-7-1 Алгоритм обучения – <i>BFGS</i> (7 эпох) Функция активации скрытых и выходных нейронов – <i>Logistic sigmoid</i> (range: 0; 1), <i>Hyperbolic tangent</i> (range: -1; +1)	0.91	0.88
Карадаг	MLP 1-8-1 Алгоритм обучения – <i>BFGS</i> (7 эпох) Функция активации скрытых и выходных нейронов – <i>Identity</i> (range: -∞; +∞), <i>Hyperbolic tangent</i> (range: -1; +1)	0.89	0.83
Евпатория	MLP 1-8-1 Алгоритм обучения – <i>BFGS</i> (25 эпох) Функция активации скрытых и выходных нейронов – <i>Logistic sigmoid</i> (range: 0; 1), <i>Identity</i> (range: -∞; +∞)	0.85	0.93

Достоверность нейронных сетей для прогнозирования климатических показателей на независимой (тестируемой) выборке составила: по среднегодовой температуре воздуха – 88%, по сумме атмосферных осадков – 82%.

Заключение

В результате моделирования временных процессов изменения климатических показателей по данным метеостанций трех климатических субрегионов Крыма установлены внутривековые синхронные циклы и определена тенденция их изменений. Отмечено, что за последние 20 лет среднегодовая температура воздуха увеличилась на $1.24 \pm 0.06^\circ\text{C}$, осадки в этот период в среднем увеличились на 62 ± 15 мм. С помощью цепей Маркова определено, что на территории Крымского полуострова значительную вероятность (0.6) имеют проявления сухих периодов. Использование нейромоделей показало, что до 2030 года прогнозируется достаточно устойчивая тенденция формирования климатических условий с увеличением среднегодовой температуры на $0.63 \pm 0.12^\circ\text{C}$ и суммы годовых осадков на 66 ± 14 мм. Представленные в работе результаты и подходы к многомерной обработке метеорологических данных можно использовать для изучения и высокоточного прогнозирования основных климатических показателей климата в других регионах, для определения многолетних циклических закономерностей



изменения состояния окружающей среды в условиях глобального изменения климата, а также для разработки мероприятий по адаптивному пространственно-временному природопользованию.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №16-35-50018_мол_нр.

Список литературы References

1. Бикбулатова Г.Г. 2013. О влиянии антропогенного фактора на климат. Омский научный вестник, (1): 249–252.
Bikbulatova G.G. 2013. O vliyanii antropogennoho faktora na klimat. Omskij nauchnyj vestnik [Omsk Scientific Bulletin], (1): 249–252. (in Russian)
2. Воронина Л.В. 2005. Климат и ландшафтно–экологические аспекты административных районов Новосибирского правобережья. Интерэкспо Гео–Сибирь, 5: 119–123.
Voronina L.V. 2005. The climate and landscape–environmental aspects of the administrative districts of the right bank of Novosibirsk. Interexspo Geo–Siberia, 5: 119–123. (in Russian)
3. Иванов И.В., Лисецкий Ф.Н. 1994. Связь ритмов почвообразования с периодичностью солнечной активности за последние 5 тысяч лет. Доклады Академии наук, 334 (2): 230–233.
Ivanov I.V., Liseckij F.N. 1994. Contact with soil rhythms periodicity in solar activity over the past 5000 years. Doklady Akademii nauk, 334 (2): 230–233. (in Russian)
4. Клімат України. 2003. К., Вид-во Раєвського, 343.
Klimat Ukrainy [Climate of Ukraine]. 2003. Kiev, Vyd-vo Rajevs'kogo, 343.
5. Кузьменко Я.В., Лисецкий Ф.Н., Пичура В.И. 2012. Оценка и прогнозирование стока малых рек в условиях антропогенных воздействий и изменений климата. Современные проблемы науки и образования, (6): 619. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=7640> (дата обращения: 25.05.2016).
Kuz'menko YA.V., Liseckij F.N., Pichura V.I. 2012. Evaluation and prediction of small rivers flow in anthropogenic impacts and climate change. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya [Modern problems of science and education], (6): 619. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=7640> (data obrashcheniya: 25.05.2016). (in Russian)
6. Лисецкий Ф.Н., Чепелев О.А. 2003. Климатическая обусловленность почвообразования в Центральном Черноземье. Вестник Воронежского государственного университета. География. Геоэкология, (2): 15–23.
Liseckij F.N., Shepelev O.A. 2003. Climatic conditionality of soil formation in the Central Black Earth. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Geografiya. Geoekologiya [Proceedings of Voronezh State University. Geography. Geocology], (2): 15–23. (in Russian)
7. Лисецкий Ф.Н., Столба В.Ф., Пичура В.И. 2013. Периодичность климатических, гидрологических процессов и озерного осадконакопления на юге Восточно–Европейской равнины. Проблемы региональной экологии, (4): 19–25.
Liseckij F.N., Stolba V.F., Pichura V.I. 2013. The frequency of climatic, hydrological processes and lake sedimentation in the south of the East European Plain. Problemy regional'noj ehkologii [Regional Environmental Issues], (4): 19–25. (in Russian)
8. Лисецкий Ф.Н., Пичура В.И. 2016. Оценка и прогноз направленности почвообразовательного процесса при оросительных мелиорациях земель в степной зоне Украины. Российская сельскохозяйственная наука, (1): 26–30. (in Russian)
Liseckij F.N., Pichura V.I. 2016. Evaluation and forecast the direction of soil-forming process in the irrigation land reclamation in the steppe zone of Ukraine. Rossijskaya sel'skohozyajstvennaya nauka, (1): 26–30.
9. Матвеев Л.Т., Вершель Е.А., Матвеев Ю.Л. 2011. Влияние антропогенных факторов на климат городов. Ученые записки российского государственного гидрометеорологического университета, (17): 41–50.
Matveev L.T., Vershel' E.A., Matveev Yu.L. 2011. Human impact on the urban environment. Uchenye zapiski rossijskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta, (17): 41–50. (in Russian)
10. Морозов В.В. Пичура В.И. 2009. Вплив зміни кліматичних чинників на формування меліоративного режиму зрошуваних ландшафтів сухого степу України. В кн.: Науковий вісник національного лісотехнічного університету України: глобальні зміни клімату – загрози людству та механізми відведення. Вип. 19.5. Львів, РВВ НЛТУ України: 80–88.

Morozov V.V., Pichura V.I. 2009. Vplyv zmini klimatichnikh chinnikov na formuvannya meliorativnogo rezhimu zroshuvanih landshaftiv suhogo stepu Ukraïni. *In: Naukovij visnik nacional'nogo lisotekhnichnogo universitetu Ukraïni: global'ni zmini klimatu – zagrozi lyudstvu ta mekhanizmi vidvedennya*. Vip. 19.5 [Scientific Bulletin of National Forestry University of Ukraine: global climate change – a threat to mankind and allocation mechanisms. Vol. 19.5]. Lviv, RVV NLTU Ukraïni: 80–88. (in Ukrainian)

11. Парубец О.В. 2009. Анализ климатических рядов Крымского полуострова. Экосистемы, их оптимизация и охрана, 20: 154–164.

Parubec O.V. 2009. Analiz klimaticheskih ryadov Krymskogo poluoostrova. Ekosistemy, ih optimizaciya i ohrana, 20: 154–164. (in Ukrainian)

12. Пичура В.И. 2012. Пространственно-временное прогнозирование изменений параметров агрохимических показателей мелиорируемых почв с использованием ГИС и нейротехнологий. *Агрохімія і ґрунтознавство*, (78): 87–95.

Pichura V.I. 2012. The space-time forecasting of changes in the parameters of agrochemical indicators of reclaimed soils using GIS and Neurotechnology. *Аgroхімія і ґрунтознавство*, (78): 87–95. (in Russian)

13. Pichura V.I., Larchenko O.V., Domaratsky E.A., Breus D.S. 2013. Spatial assessment of the suitability of agricultural lands for growing and design of grain harvest using GIS technologies. *Ученые записки Орловского государственного университета. Естественные, технические и медицинские науки*, (3): 357–362.

Pichura V.I., Larchenko O.V., Domaratsky E.A., Breus D.S. 2013. Spatial assessment of the suitability of agricultural lands for growing and design of grain harvest using GIS technologies. *Uchenye zapiski Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye, tekhnicheskie i medicinskie nauki*, (3): 357–362. (in Russian)

14. Пичура В.И., Лисецкий Ф.Н., Павлюк Я.В. 2014. Вековое изменение устойчивости агроландшафтов в зоне оросительных мелиораций сухостепной зоны (на примере юга Херсонской области). *Научные ведомости БелГУ. Естественные науки*, 28 (17): 140–147.

Pichura V.I., Liseckij F.N., Pavlyuk YA.V. 2014. Secular changes in agricultural landscapes of stability in the area of irrigation reclamation dry steppe zone (for example, the south of Kherson region). *Nauchnye vedomosti BelGU. Estestvennye nauki [Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences]*, 28 (17): 140–147. (in Russian)

15. Реки и водные объекты Белогорья. 2015. Белгород, Константа, 362.

Reki i vodnye ob'ekty Belogor'ya [Rivers and water bodies of Belogorie]. 2015. Belgorod, Konstanta, 362. (in Russian)

16. Самнер Г. 1981. Математика для географов. М., Прогресс, 297.

Samner G. 1981. Matematika dlya geografov [Mathematics for Geographers]. Moscow, Progress, 297. (in Russian)

17. Chen A.A. 2008. The Climate Studies Group Mona. *Caribbean Quarterly*, 54 (3): 85–91.

18. Hasselmann K., Terry B. 2008. The Stern Review and the IPCC Fourth Assessment Report: Implications for Interaction Between Policymakers and Climate Experts. *Climatic Change*, 89 (3–4): 219–229.

19. Lisetskii F.N., Pichura V.I. 2016. Assessment and forecast of soil formation under irrigation in the steppe zone of Ukraine. *Russian Agricultural Sciences*, (2): 154–158.

20. Luers A.L. 2007. How to Avoid Dangerous Climate Change. *Catalyst*, 6 (2): 1–5.

21. Monastersky R. 2009. Climate Crunch: A Burden beyond Bearing. *Nature*, 458 (7242): 1091–1094.