

*География*

УДК 911.52

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ТРЕНДЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
КЛИМАТА И ПОВЕРХНОСТНОГО ПОКРОВА НА КЕРЧЕНСКОМ  
ПОЛУОСТРОВЕ В 1990–2020 ГГ.

Д. О. КРИВОГУЗ \*, А. Р. ИОШПА \*\*

*Кафедра океанологии, Южный федеральный университет (ЮФУ),  
Ростов-на-Дону, Россия*

Данное исследование было направлено на выявление пространственно-временных взаимосвязей между изменением климатических параметров, таких как температура и осадки, и динамикой землепользования и растительного покрова на Керченском полуострове за период 1990–2020 гг. На основе классификации мультиспектральных снимков Landsat (TM, ETM+, OLI) с использованием сверточной нейронной сети были выделены 8 классов поверхностного покрова. Климатические данные ERA5 были скорректированы с применением нейросетевой модели U-Net, обученной на данных 4 метеостанций в районе исследования, что увеличило итоговую точность. Пописельный корреляционный анализ Спирмена выявил, что отрицательные корреляции температуры с поверхностного покрова наблюдаются в районах искусственного озеленения (лесные массивы, сельхозугодья), где растительность снижает локальное потепление за счет эвапотранспирации; а положительные корреляции – на юго-западе, где аридизация и рост температуры сопровождаются переходом к малопродуктивным классам (оголенные почвы, бесплодные земли). А также, поддержка травяного покрова – на северо-западе и усиление деградации в урбанизированных и приозерных зонах – на юго-востоке.

<https://doi.org/10.46991/PYSUC.2025.59.2.329>

**Keywords:** climate change, spatiotemporal analysis, correlation analysis, aridization, ecosystem adaptation.

**Введение.** В глобальном масштабе изменения в землепользовании и почвенно-растительном покрове (LULC) оказывают существенное влияние на климатические системы через изменение различных процессов, таких как альbedo, испарение и связывание углерода [1]. Например, исследования показывают, что вырубка лесов уменьшает поглощение углерода, а урбанизация приводит к образованию тепловых островов, усиливая локальное повышение температуры [2–4]. И наоборот, климатические факторы, такие как изменение

\* E-mail: [krivoguz@sfedu.ru](mailto:krivoguz@sfedu.ru)

\*\* E-mail: [aioshpa@sfedu.ru](mailto:aioshpa@sfedu.ru)

уровня атмосферных осадков и температуры, стимулируют трансформацию LULC, включая деградацию пахотных земель во время длительных периодов засух и расширения пастбищ при наступлении более влажных условий [1]. Эти взаимодействия имеют решающее значение для понимания устойчивости экосистем и стратегий адаптации человека.

Керченский полуостров, являющийся переходной зоной между умеренным и полузасушливым климатом, представляет собой уникальный регион для изучения динамики взаимодействия климата и динамики поверхностного покрова. Недавние исследования выявили выраженные трансформации в структуре LULC за последние три десятилетия (1990–2020 гг.), включая изменения в площади, занимаемой пахотными земелями в связи с политическими и экономическими преобразованиями, а также изменением климата, в частности аридизацией [5, 6]. Тенденции роста темпов урбанизации, обусловленные экономической деятельностью, привели к дальнейшему изменению местных экосистем, а проведенный анализ выявил пространственную неоднородность воздействия на окружающую среду [6]. Экологическая чувствительность региона, характеризующаяся наличием прибрежных водно-болотных угодий и степных экосистем, делает его критически важной территорией для оценки уровня взаимодействия экосистем полуострова и климата [7, 8].

Несмотря на растущий интерес к исследованиям в этой области, существует определенная нехватка работ, направленных на изучение долгосрочных исследований, включающих в себя исследования динамики климата и LULC, особенно в аридных регионах. Существующие исследования часто фокусируются на отдельных факторах (например урбанизации [9, 10] или климатических факторах [11, 12]), не уделяя должного внимания их совокупному или синергетическому воздействию. Например, несмотря на то, что спутниковые данные и нейронные сети позволили усовершенствовать пространственный анализ, существует мало исследований, которые количественно оценивают, как длительная изменчивость климата (например многолетние засухи) взаимодействует с изменениями в LULC, приводя к изменениям в экосистемах [5].

Таким образом целью данного исследования было выявление пространственно-временных взаимосвязей между LULC и климатическими параметрами (температурой и осадками) на Керченском полуострове за период 1990–2020 гг. Для достижения данной цели была проведена количественная оценка корреляций между изменениями LULC и климатическими градиентами методом ранговой корреляции Спирмена для углубленного понимания механизмов климатически обусловленных трансформаций экосистем, что может служить основой для разработки адаптивных стратегий управления природными ресурсами в условиях меняющегося климата.

#### **Материалы и методы.**

##### ***Физико-географическая характеристика района исследований.***

Керченский полуостров расположен на восточной оконечности Крымского полуострова (рис. 1). От основной части Крымского п-ва он отделен Акмонайским перешейком, с запада он омывается Черным морем, с востока –

Азовским, а самой южной его точкой является мыс Казантип [13]. Рельеф п-ва характеризуется невысокими холмами, богатыми залежами железа, и охватывает переходную зону между умеренным и полузасушливым климатом. Климат п-ва характеризуется жарким, сухим летом и мягкой зимой. Рельеф местности включает прибрежные водно-болотные угодья, степные экосистемы и изрезанные прибрежные скалы, что обуславливает высокий уровень экологического разнообразия на нем [14, 15].

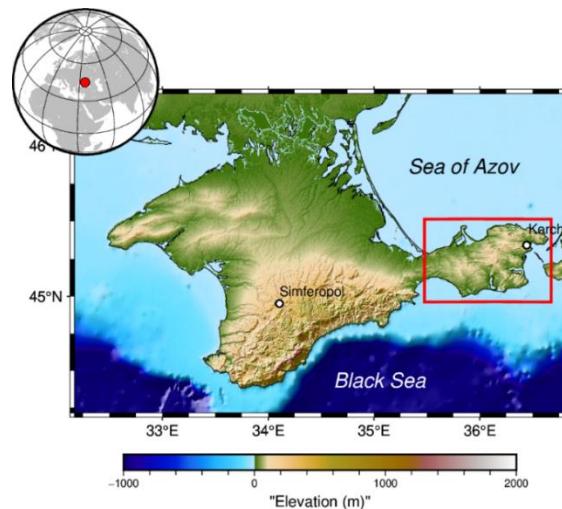


Рис. 1. Расположение района исследований.

Сухой континентальный климат и полузасушливые условия региона делают его весьма уязвимым к аридизации, засухам и перепадам температур [16, 17]. Было показано, что эти факторы усугубляют нестабильность экосистем и усиливают скорость изменений в LULC, таких как деградация почв и нехватка водных ресурсов [12].

Для полуострова характерна интенсивная сельскохозяйственная и промышленная деятельность, которая привела к усугублению антропогенного воздействия на экосистемы региона [6]. Его прибрежные зоны и водно-болотные угодья, имеющие важное значение для биоразнообразия, находятся под угрозой из-за урбанизации и повышения уровня моря под влиянием климата [7, 13].

**Источники данных и их предобработка.** Данные о LULC были получены на основе серии мультиспектральных снимков Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ и Landsat 8 OLI/TIRS за период 1990–2019 гг., прошедших предварительную радиометрическую коррекцию и гармонизацию спектральных характеристик по методике Роя и др. [18], направленной на минимизацию межсенсорных различий через преобразование:

$$R_{adj} = aR_{raw} + b,$$

где  $R_{raw}$  и  $R_{adj}$  – исходная и скорректированная отражательная способность,  $a$  и  $b$  – коэффициенты калибровки, рассчитанные для сопоставимости данных

между спутниками. Классификация была выполнена с использованием сверточной нейронной сети (CNN) архитектуры U-Net с оптимизатором Adam и функцией потерь categorical cross-entropy [6]. В результате выделены 8 классов: сельхозугодья (Croplands), травяной покров (Grass Lands), древесная растительность (High Vegetation), нарушенные земли (Barten Lands), кустарники (Shrublands), оголенные почвы (Bare Soils), урбанизированные зоны (Urban Areas) и водные объекты (Water Bodies) представленные на рис. 2 [5, 6].

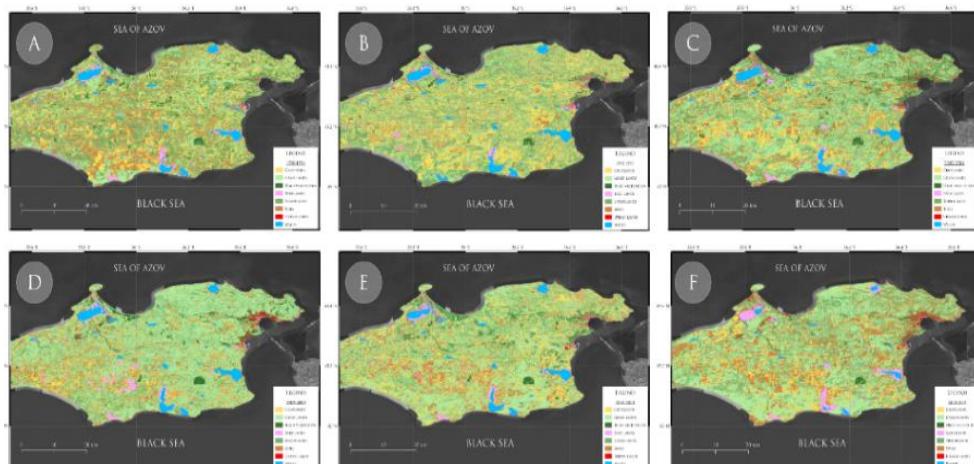


Рис. 2. Классифицированные данные LULC для 6 временных периодов.

Динамика LULC анализировалась в шести пятилетних интервалах (1990–1994, 1995–1999, ..., 2015–2019), а переходы между классами были выражены через матрицу  $P_t$ , где элемент  $p_{ij}^t$  отражает долю площади, перешедшей из класса  $i$  в класс  $j$  за интервал  $t$ :

$$P_t = \begin{bmatrix} p_{11}^t & \cdots & p_{1n}^t \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1}^t & \cdots & p_{nn}^t \end{bmatrix}, \quad \sum_{j=1}^n p_{ij}^t = 1.$$

Климатические данные (температура воздуха и суммарные осадки) были взяты из реанализа ERA5-Land с пространственным разрешением  $0,1^\circ \times 0,1^\circ$  и временным – 1 месяц. Для коррекции систематических погрешностей ERA5 была применена нейросетевая модель U-Net, обученная на разнице между исходными данными и измерениями 4 метеостанций в районе Керченского полуострова за 1980–2020 гг. Скорректированные значения температуры  $T_{corr}$  и осадков  $P_{corr}$  для каждой ячейки сетки рассчитывались как

$$T_{corr} = T_{ERA5} + \Delta T_{U-Net}, \quad P_{corr} = P_{ERA5} + \Delta P_{U-Net},$$

где  $\Delta T_{U-Net}$  и  $\Delta P_{U-Net}$  – поправки, предсказанные моделью. Для согласования с LULC климатические параметры агрегировались до пятилетних, после чего рассчитывались их градиенты.

### **Пространственная корреляция данных с помощью корреляции Спирмена.**

Для анализа взаимосвязи между динамикой землепользования и климатическими параметрами был применен метод попиксельной ранговой корреляции Спирмена, позволяющий оценить силу и направление монотонной зависимости между временными рядами изменений. Коэффициент корреляции Спирмена – это непараметрическая мера статистической зависимости между двумя переменными, основанная на рангах наблюдений [19]. Она оценивает монотонную связь (линейную или нелинейную) и вычисляется по формуле:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)},$$

где  $d_i$  – разность рангов между парными наблюдениями, а  $n$  – количество наблюдений. Данный метод был выбран ввиду его устойчивости к нелинейным зависимостям и наличию выбросов, характерных для гетерогенных пространственно-временных данных. Особенности распределения категориальных изменений LULC (дискретные градиенты переходов между классами) и потенциально нестационарных климатических переменных делают параметрические методы, такие как корреляция Пирсона, менее применимыми.

Процедура анализа включала несколько этапов: на первом этапе для каждого пространственного пикселя ( $x, y$ ) формировалась временные ряды из пяти последовательных наблюдений, содержащих значения градиентов землепользования  $\Delta LULC$ , температуры  $\Delta T$  и осадков  $\Delta P$  между смежными временными периодами. Для устранения влияния пропущенных данных применялась попарная фильтрация: в анализ включались только периоды с полным набором значений по всем трем переменным. Коэффициент корреляции Спирмена рассчитывался отдельно для пар  $(\Delta LULC, \Delta T)$  и  $(\Delta LULC, \Delta P)$  в каждом пикселе, что позволило количественно оценить локальную связь между изменениями землепользования и климатическими параметрами. Статистическая значимость полученных коэффициентов проверялась с использованием двустороннего теста при уровне  $\alpha = 0,05$  с последующей фильтрацией полученных данных по этому порогу. Итоговые карты корреляций интерпретировались следующим образом: положительные значения  $\rho$  указывали на усиление изменений землепользования при росте климатического параметра, отрицательные – на обратную зависимость.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Результаты, представленные на рис. 3 и 4, демонстрируют, что на большей части территории Керченского полуострова корреляция между изменениями в классах использования земель и температурой воздуха, а также между LULC и атмосферными осадками была статистически значимой, но не достигала порога значимости  $p=0,05$ . Это свидетельствует о том, что взаимосвязь между климатическими параметрами и изменениями в LULC является достаточно устойчивой.

Пространственное распределение как положительных, так и отрицательных значений корреляции между температурой и LULC на территории п-ва не выделяет каких-либо крупных зон с однородными значениями, а строго приурочено к переходам между классами LULC. Это указывает на то, что изменения в ландшафте оказывают локальное влияние на климатические

параметры и наоборот. Отрицательные корреляции между температурой и изменениями LULC ( $\rho < 0$ ) оказались наиболее выраженными в зонах активного лесовосстановления на севере полуострова и в окрестностях г. Керчь. Это согласуется с представлениями о буферной роли древесной растительности, которая, снижая локальную температуру за счет теневого эффекта и испарения, частично компенсирует региональные климатические тренды. На севере полуострова, где зафиксировано планомерное увеличение площади лесных массивов за счет искусственных посадок, наблюдаемое снижение температурной корреляции может быть связано с усилением эвапотранспирации, которая локально снижает приземную температуру. Аналогичный эффект прослеживается вблизи г. Керчь, где урбанизированные территории окружены искусственными древесными насаждениями, создающими микроклиматические буферы. На западе п-ва, в районах интенсивной сельскохозяйственной деятельности, сочетание кустарниковых форм и мелиоративных систем (таких как ветрозащитные полосы) способствовало модификации температурных трендов, ограничивая прогревание поверхности. Это в первую очередь обусловлено буферностью древесной растительности, которая, снижая локальную температуру за счет теневого эффекта и испарения, частично компенсирует региональные климатические тренды.

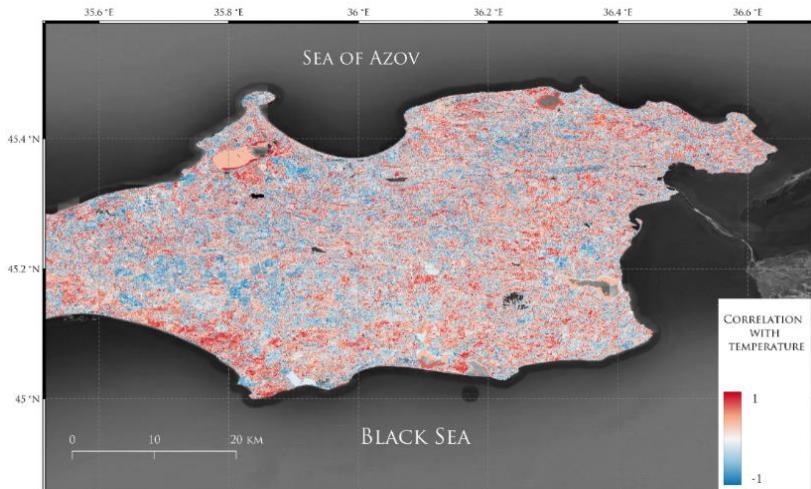


Рис. 3. Пространственное распределение коэффициента корреляции Спирмена между переходами классов LULC и температурой воздуха на Керченском п-ве, для которых  $p < 0,05$ .

Положительные корреляции, напротив, доминируют в юго-западных районах, где преобладают малопродуктивные экосистемы (сухие степи, открытые почвы). Здесь повышение температуры, вероятно, усиливает аридизацию, снижая устойчивость травянистой растительности и способствуя деградации почв. Критическим проявлением этого процесса стало высыхание прибрежных озер, где сокращение площади водных поверхностей коррелирует с ростом температур, что подчеркивает ключевую роль климата в трансформации гидрологических систем.

Пространственное распределение корреляции между переходами классов LULC и осадками более генерализировано, с условным делением на северо-запад, где преобладают положительные корреляции, и юго-восток, где в большинстве случаев наблюдаются отрицательные значения. На северо-западе, где годовая сумма осадков выше, увеличение влажности способствует расширению травяного покрова и стабилизации сельхозугодий. Это выражается в наблюдаемых переходах от открытой почвы к травянистому покрову, который положительно реагирует на рост осадков. Отрицательные корреляции между осадками и переходами классов LULC наиболее заметны в районе г. Керчь, а также в районах озер и сельскохозяйственных угодий.

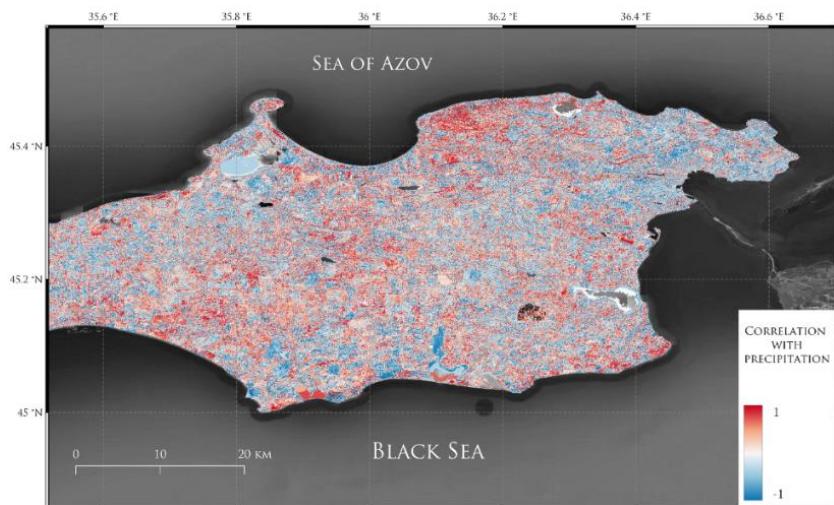


Рис. 4. Пространственное распределение коэффициента корреляции Спирмена между переходами классов LULC и осадками на Керченском п-ве, для которых  $p < 0,05$ .

Выявленные паттерны нельзя рассматривать изолированно от социально-экономических факторов. Планомерное лесовосстановление на севере и урбанизация в районе Керчи создают “точки управления” климат-экосистемными взаимодействиями, модулируя локальные условия. Однако эти усилия сталкиваются с глобальными климатическими трендами – даже в зонах с отрицательной корреляцией (где растительность смягчает нагрев) долгосрочное повышение температур может превысить адаптационные возможности экосистем.

Выявленные корреляции между климатическими параметрами и динамикой LULC на Керченском п-ве отражают комплексное взаимодействие естественных и антропогенных факторов. Отрицательные корреляции температуры с переходами LULC в зонах озеленения (север, запад, окрестности Керчи) согласуются с исследованиями, демонстрирующими роль растительности в регуляции микроклимата через механизмы эвапотранспирации и альbedo [20, 21]. Например, исследование [22] подтверждает, что увеличение площади лесов снижает приземную температуру на 0,5–2,0°C, что схоже наблюдаемыми трендами на Керченском п-ве и подчеркивает эффективность

искусственных насаждений как инструмента адаптации к изменению климата. С другой стороны, положительные корреляции на юго-западе п-ва, где условия более аридны, аналогичны процессам, описанным для Сахеля [23], где деградация растительности при увеличении температур формирует положительную обратную связь, усиливая аридизацию. Сокращение площади озер и переход к бесплодным землям также коррелирует с тенденциями, наблюдаемыми в других исследованиях, такими как высыхание Аральского моря, где потеря водных ресурсов привела к росту засоленных почв и изменению локального климата.

Распределение корреляций с осадками отражает пространственную неоднородность гидрологического режима. Положительная связь на северо-западе соответствует классическим моделям, где увеличение осадков поддерживает травяные экосистемы [24]. Однако отрицательные корреляции в урбанизированных и сельскохозяйственных зонах демонстрируют антропогенное нарушение естественного влагооборота. Например, рост искусственных поверхностей в городах, как показано в работе [25], снижает инфильтрацию на 20–40%, что усиливает поверхностный сток и сокращает доступность влаги для растительности.

**Заключение.** Проведенное исследование выявило пространственно-временные закономерности взаимодействия климата и землепользования на Керченском полуострове за период 1990–2020 гг. Установлено, что изменения температуры воздуха и осадков оказывают неоднородное влияние на динамику классов LULC, формируемое как естественными биогеофизическими процессами, так и антропогенной деятельностью. Ключевым результатом стало выявление зон с отрицательными корреляциями температуры и LULC в районах искусственного озеленения (север, запад, окрестности Керчи), где растительность выступает буфером, снижающим локальное потепление, формируя устойчивые к трансформациям территории. Напротив, положительные корреляции на юго-западе полуострова отражают уязвимость аридных экосистем к аридизации, что подтверждает глобальные тренды деградации земель в условиях изменения климата. Анализ осадков выявил, что рост влажности на северо-западе способствует стабилизации травяного покрова, тогда как урбанизация и сельскохозяйственная деятельность на юго-востоке усиливают негативное воздействие дефицита осадков.

Поступила 04.04.2025

Получена с рецензии 30.05.2025

Утверждена 15.08.2025

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Gaur S., Singh R. A Comprehensive Review on Land Use/Land Cover (LULC) Change Modeling for Urban Development: Current Status and Future Prospects. *Sustainability* **15** (2023). <https://doi.org/10.3390/su15020903>

2. Abdullah S.A., Hezri A.A. From Forest Landscape to Agricultural Landscape in the Developing Tropical Country of Malaysia: Pattern, Process, and Their Significance on Policy. *Environmental Management* **5** (2008), 907–917.  
<https://doi.org/10.1007/s00267-008-9178-3>
3. Derdouri A., Wanget R., et al. Understanding the Links between LULC Changes and SUHI in Cities: Insights from Two-Decadal Studies (2001–2020). *Remote Sensing* **13** (2021), 3654.  
<https://doi.org/10.3390/rs13183654>
4. Karakuş C.B. The Impact of Land Use/Land Cover (LULC) Changes on Land Surface Temperature in Sivas City Center and Its Surroundings and Assessment of Urban Heat Island. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences* **55** (2019), 669–684.  
<https://doi.org/10.1007/s13143-019-00109-w>
5. Krivoguz D. The Kerch Peninsula in Transition: A Comprehensive Analysis and Prediction of Land Use and Land Cover Changes over Thirty Years. *Sustainability* **16** (2024), 5380.  
<https://doi.org/10.3390/su16135380>
6. Krivoguz D. Geo-spatial Analysis of Urbanization and Environmental Changes with Deep Neural Networks: Insights from a Three-Decade Study in Kerch Peninsula. *Ecological Informatics* **80** (2024), 102513.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102513>
7. Pozachen'yuk E., Lisetskii F., et al. Modern Landscapes of the Kerch Peninsula. Albena. *Bioscience Biotechnology Research Communications* **12** (2019), 477–484.  
<https://doi.org/10.21786/bbrc/12.2/1>
8. Ergina E., Smirnov V., et al. The Bioclimatic Potential of the Crimea. *E3S Web of Conferences* **548** (2024), 07004.  
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202454807004>
9. Alphan H. Land-use Change and Urbanization of Adana, Turkey. *Land Degradation & Development* **6** (2003), 575–586.  
<https://doi.org/10.1002/ldr.581>
10. Cui L., Shi J. Urbanization and its Environmental Effects in Shanghai, China. *Urban Climat* **2** (2012), 1–15.  
<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2012.10.008>
11. Kumsa A., Suryabhagavan K.V. Climate Change Impacts on LULC in the Jarmet Wetland and its Surrounding Areas in Western Ethiopia. *Hydrospatial Analysis* **1** (2023), 1–18.  
<https://doi.org/10.21523/gcj3.2023070101>
12. Krivoguz D., Bespalova E., et al. Unveiling Climate–Land Use and Land Cover Interactions on the Kerch Peninsula Using Structural Equation Modeling. *Climate* **12** (2024), 120.  
<https://doi.org/10.3390/cli12080120>
13. Ергина Е.И., Шадрина А.Ю. Преобразованность ландшафтов Керченского полуострова как ограничивающий фактор выделения почв эталонов. *Ученые записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. География, Геология* **3** (2016), 204–212.
14. Ivanovych R.M., Shevchuk S.A. About Some Environmental Consequences of Kerch Strait Bridge Construction. *Hydrology* **6** (2018).  
<https://doi.org/10.11648/j.hyd.20180601.11>
15. Krivoguz D., Bespalova L. Spatial Analysis of Topography of the Kerch Peninsula Using GIS and its Impact on Landslides. *International Journal of Professional Science* **6** (2017), 19–32.
16. Borovskaya R.V., Smirnov S.S. Technology of Water Surface Area Calculation Using Data Received from Artificial Satellites of Sentinel-2 series, and its Implementation for Determination of the Surface Areas of the Crimean Saline Lakes. *Monitoring Systems of Environment* **2** (2020), 36–43.  
<https://doi.org/10.33075/2220-5861-2020-2-36-43>
17. Gorbunov R., Gorbunova T., et al. Spatiotemporal Aspects of Interannual Changes Precipitation in the Crimea. *Journal of Arid Environments* **183** (2020), 104280.  
<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104280>
18. Roy D.P., et al. Characterization of Landsat-7 to Landsat-8 Reflective Wavelength and Normalized Difference Vegetation Index Continuity. *Remote Sensing of Environment* **185** (2016), 57–70.  
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.12.024>

19. Winter J.C.F., de Gosling S.D., Potter J. Comparing the Pearson and Spearman Correlation Coefficients Across Distributions and Sample Sizes: A Tutorial Using Simulations and Empirical Data. *Psychological Methods* **3** (2016), 273–290.  
<https://doi.org/10.1037/met0000079>
20. Bhimala K.R., Rakesh V., et al. Identification of Vegetation Responses to Soil Moisture, Rainfall, and LULC over Different Meteorological Subdivisions in India Using Remote Sensing Data. *Theoretical and Applied Climatology* **3–4** (2020), 987–1001.  
<https://doi.org/10.1007/s00704-020-03360-8>
21. Wang H., Li Zhi, et al. Response of NDVI of Natural Vegetation to Climate Changes and Drought in China. *Land* **9** (2021), 966.  
<https://doi.org/10.3390/land10090966>
22. Alkama R., Cescatti A. Biophysical Climate Impacts of Recent Changes in Global Forest Cover. *Science* **3** (2016).  
<https://doi.org/10.1126/science.aac8083>
23. Brandt M., Penuelas J., et al. Human Population Growth Offsets Climate-Driven Increase in Woody Vegetation in Sub-Saharan Africa. *Nature Ecology & Evolution* **4** (2017), 1–6.  
<https://doi.org/10.1038/s41559-017-0081>
24. Paruelo J.M., Lauenroth W., et al. Grassland Precipitation-Use Efficiency Varies Across a Resource Gradient. *Ecosystems* **2** (1999), 64–68.  
<https://doi.org/10.1007/s100219900058>
25. Zhao L., Zhang T., et al. Numerical Simulation Study of Urban Hydrological Effects under Low Impact Development with a Physical Experimental Basis. *Journal of Hydrology* **618** (2023), 129191.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129191>

Դ. Օ. ԿՐԻՎՈԳՈՒԶ, Ա. Ռ. ԻՈԾՊԱ

ԿԼԻՄԱՅԻ ԵՎ ՀՈՂԱԾԱԾԿՈՒԹՅԱՆ ՏԱՐԱԾԱԿԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿՅԻՆ  
 ՓՈԽԱԶԳԱՅԻՆ ՄԻՏՈՒՄՆԵՐԸ ԿԵՐՉԻ ԹԵՐԱՎԿՂՋՈՒՄ  
 1990–2020 ԹՎԱԿԱՆՆԵՐԻՆ

Ա մ փ ո փ ո ւ մ

Այս ուսումնասիրության նպատակն է բացահայտել Կերչի թերակղզում կլիմայական պարամետրերի, ինչպիսիք են ջերմաստիճանը և տեղումները, փոփոխությունների, ինչպես նաև հողօքտագործման և հողածածկույթի դիմամիկայի միջև տարածաժամանակային կապերը 1990–2020 թվականների ընթացքում: Համակցված նեյրոնային ցանցի օգտագործմամբ Landsat բազմասպեկտրային պատկերների (TM, ETM+, OLI) դասակարգման հիման վրա բացահայտվել են 8 LULC դասեր: ERA5 կլիմայական տվյալները ճշգրտվել են ուսումնասիրության տարածքում գտնվող չորս օդերևութաբանական կայաններից ստացված տվյալների վրա մշակված U-Net նեյրոնային ցանցի մոդելի միջոցով, ինչը մեծացրել է վերջնական ճշգրտությունը: Պիհսել-այիրսել Սփիրմանի կոռելյացիոն վերլուծությունը ցույց տվեց, որ ջերմաստիճանի բացասական կոռելյացիաները LULC-ի հետ դիտվում են արհեստական կանաչապատ տարածքներում (անտառներ, գյուղատնտեսական հողեր), որտեղ բուսականությունը նվազեցնում է տեղական տարածումը գոլորշացման պատճառով, իսկ դրական կոռելյացիաները՝ հարավ-արևմուտքում,

որտեղ չորացումը և ջերմաստիճանի բարձրացումը ուղեկցվում են ցածր արտադրողականության դասերի (մերկ հողեր, անպտուղ հողեր) անցնամբ: Եվ նաև, հյուսիս-արևմուտքում խոտածածկույթի աջակցություն և հարավ-արևելքում քաղաքային և լճակինա տարածքներում դեգրադացիայի աճ:

D. O. KRIVOGUZ, A. R. IOSHPA

SPATIOTEMPORAL TRENDS IN THE INTERACTION BETWEEN  
CLIMATE AND LAND USE AND LAND COVER  
ON THE KERCH PENINSULA IN 1990–2020

Summary

The objective of this study was to identify spatial and temporal relationships between changes in climatic parameters, such as temperature and precipitation, and land use and land cover dynamics on the Kerch Peninsula for the period 1990–2020. The classification of Landsat multispectral images (TM, ETM+, OLI) utilizing a convolutional neural network resulted in the identification of eight LULC classes. ERA5 climate data were corrected using U-Net neural trained on data from four weather stations in the study area, thereby increasing the final accuracy. Spearman's pixel-wise correlation analysis revealed negative correlations of temperature with LULC in areas of artificial landscaping (forested areas, farmland), where vegetation reduces localized warming through evapotranspiration; positive correlations in the Southwest, where aridization and temperature increase are accompanied by a transition to low-productive classes (bare soils, barren lands); support of grass cover in the Northwest and increased degradation in urbanized and lakeside zones in the Southeast.