

УДК 551.583, 504.062.2

DOI: [10.46698/VNC.2023.54.85.010](https://doi.org/10.46698/VNC.2023.54.85.010)

Оригинальная статья

Геоэкологические опасности в условиях климатических изменений территорий субтропической зоны Кавказа

Н.А. Яицкая¹, Л.М. Дзагания², В.С. Бригида^{1, 2}

¹Субтропический научный центр Российской академии наук, Россия, 354002, Краснодарский край, г. Сочи, ул. Яна Фабрициуса, д. 2/28, e-mail: yaitskayan@mail.ru;

²Российский университет дружбы народов, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6, e-mail: 1z011@inbox.ru

Статья поступила: 19.04.2023, доработана: 17.05.2023, принята к публикации: 24.05.2023

Резюме: Актуальность работы. Несовершенство правового и организационного характера, а также мер по предупреждению и предотвращению опасных воздействий приводит к ежегодным проявлениям оползневых и селевых процессов в субтропической зоне Кавказа (Черноморском побережье Краснодарского края). Повышение качества прогнозирования региональных климатических изменений позволит разработать пути снижения опасностей для общества и экономики России. Необходимость выявления баланса интересов общества и бизнеса является одним из путей обеспечения экологической устойчивости государства. При этом одним из передовых научных направлений в данной области является встраивание элементов экономики замкнутого цикла («circular economy») в стратегию развития регионов рекреационно-туристской специализации. В связи с этим данная работа направлена на решение проблемы смягчения последствий глобальных климатических изменений в Субтропической зоне Кавказа. **Цель исследований** – выявление возможностей развития геоэкологических опасностей в условиях климатических изменений при обеспечении устойчивого развития территорий Субтропической зоны Кавказа. **Методика исследований** заключалась в обобщении данных из открытых источников о климатических параметрах субтропической зоны Кавказа, анализе пространственных закономерностей, сухого и влажного климата с использованием детерминированных методов пространственной интерполяции рассеянных данных, а также использовании ПО «gnuplot» для графического отображения трехмерных моделей. **Результатами исследования** стало установление температурного режима атмосферного воздуха и количества осадков за 11-тилетний и 3-хлетние периоды (2011–2022 гг.), который показывают, что в субтропической зоне происходило повышение среднегодовой температуры в среднем на +0,6°C/год, повышение суммы годового количества осадков в среднем на +24 мм/год. Выявлены особенности характеров взаимосвязей 11-тилетних и 3-хлетних временных рядов («стабильный», «циклический», «аномально циклический»). Наиболее интенсивный рост суммы осадков происходил на побережье Черного моря (до +39 мм/год в Сочи) в областях и влажного, и сухого климата.

Ключевые слова: изменения климата, пространственная интерполяция, трехмерные задачи геоэкологии, математическое моделирование, временные ряды данных.

Благодарности: Статья подготовлена в рамках реализации государственного задания ФИЦ СЦ РАН FGRW-2021-0015, № госрегистрации 122032300363-3 (Яицкая Н.А., методология трехмерного моделирования климатических данных и общее руководство ходом исследований; Бригида В.С., подготовка и валидация рассеянных данных, графическая визуализация полученных результатов).

Для цитирования: Яицкая Н.А., Дзагания Л.М., Бригида В.С. Геоэкологические опасности в условиях климатических изменений территорий субтропической зоны Кавказа. *Геология и геофизика Юга России*. 2023. 13(2): 118-132. DOI: 10.46698/VNC.2023.54.85.010.

DOI: [10.46698/VNC.2023.54.85.010](https://doi.org/10.46698/VNC.2023.54.85.010)

Original paper

Geoecological hazards in context of climate change of territories of Caucasus subtropical zone

N.A. Yaitskaya¹, L.M. Dzaganii², V.S. Brigida^{1, 2}

¹Subtropical Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, 2/28 Yana Fabriciusa, Sochi
354002, Russian Federation, e-mail: yaitskayan@mail.ru

²RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St., Moscow, 117198, Russian Federation,
e-mail: 1z011@inbox.ru

Received: 19.04.2023, revised: 17.05.2023, accepted: 24.05.2023

Abstract: Relevance. The imperfection of legal and organizational regulation, as well as actions to predict and prevent hazardous impacts, leads to annual manifestations of landslide and mudflow processes in Caucasus subtropical zone (the Black Sea coast of Krasnodar Territory). Improving the quality of forecasting regional climate change will make it possible to reduce develop ways the dangers for society and the Russian economy. The need to identify a balance between the interests of society and business is one of ways to ensure the state environmental sustainability. At the same time, one of advanced scientific directions in this area is integration of circular economy elements into the regions development strategy of recreation and tourism specialization. In this regard, this work aims at problem solving of mitigating the consequences of global climate change in the Caucasus subtropical zone. **The Aim** of the study is identification of opportunities for geoecological hazards development in the context of climate change while ensuring the sustainable development of subtropical zone territories of Caucasus. **The methods** consisted in a consisted in summarizing data from open sources on the climatic parameters of Caucasus subtropical zone, analyzing spatial patterns, dry and humid climate using deterministic methods of scattered data spatial interpolation (R. Renka), as well as using the “gnuplot” software for graphical display of three-dimensional models. **Results** was the establishment of atmospheric air temperature regime and the amount of precipitation for 11-year and 3-year periods (2011-2022) show that in subtropical zone there was an increase in average annual temperature by an average of 0.6°C/year, an increase the sum of annual precipitation on average by 24 mm/year. Features of relationships nature between 11-year and 3-year time series (“stable”, “cyclical”, “abnormally cyclical”) are revealed. The most intensive increase in amount of precipitation occurred on Black Sea coast (up to 39 mm/year in Sochi) in areas of both humid and dry climates.

Keywords: climate change, spatial interpolation, three-dimensional problems of geoecology, mathematical modeling, data time series.

Acknowledgments: *the study was funded by the state assignment research of FRC SSC RAS FGRW-2021-0015, project no. 122032300363-3 (Yaitskaya N.A., methodology of three-dimensional modeling by climate data and research general management; Brigida V., preparation and scattered data validation, graphical visualization of results).*

For citation: Yaitskaya N.A., Dzaganii L.M., Brigida V.S. Geoecological hazards in context of climate change of territories of Caucasus subtropical zone. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South.* (in Russ.). 2023. 13(2): 118-132. DOI: 10.46698/VNC.2023.54.85.010.

Введение

Глобальные климатические изменения на планете Земля приводят к росту интенсивности проявлений опасных геоэкологических процессов [Shutaleva et al.,

2022]. Меняются режимы температуры атмосферного воздуха, почв, водных объектов, абсолютные значения интенсивности осадков, циркуляция турбулентных слоев атмосферы и другие климатические параметры. Степень трансформации исследуемых процессов воздействует на перенос крупномасштабных атмосферных вихрей, обуславливая увеличение частоты и мощности опасных гидрометеорологических явлений. Это, наряду с деградацией почв и растительного покрова активизирует экзогенные опасные процессы (оползни, обвалы, осыпи, русловую эрозию, сели, лавины [Чотчаев и др., 2021; Kalantari et al., 2023; Акопян и др., 2023]). Совокупные проявления опасных геоэкологических процессов обуславливают так называемые «мультиопасные ситуации», которые усиливают вероятность наступления техногенных аварий и катастроф [Сурков 2013]. Сложно выявить взаимосвязи климатических факторов с некоторыми опасными эндогенными процессами (землетрясения [Pkhovelishvili et al., 2023], последствия добычи природных ресурсов [Хулелидзе и др., 2016; Yu et al., 2023]), но в то же время их совместное воздействие на окружающую среду приводит к более тяжелым последствиям [Батхиев, 2008]. Отдельные сложности создает фактор антропогенного влияния при добыче георесурсов, их обогащения и переработки [Kongar-Syuryun et al., 2023; Al-Shawabkeh et al., 2022; Li et al., 2022]. Отвальные массы способствуют появлению в почвах кислотных флюидов, что ускоряет эрозионные процессы и создает угрозу биоценозам [Baker et al., 2022; Vergnano et al., 2022]. По данным исследования [Арефьева, Крапухин 2022], за период 2014-2020 гг., Краснодарский край был лидером регионов России по количеству крупномасштабных чрезвычайных ситуаций. В то же время субтропическая зона Кавказа является перспективной курортной, рекреационной и туристской территорией с мягким климатом и богатым биоразнообразием. Наводнения, обвально-оползневые, и прорывные сели с гибелью людей и материальным ущербом в субтропической зоне Кавказа происходят ежегодно. Это свидетельствует о недостаточности мер по предупреждению и предотвращению опасных воздействий, а также мероприятий инженерной защиты при осуществлении хозяйственной и рекреационной деятельности [Стогний и др. 2021]. Прогнозирование региональных изменений климата, анализ природных и техногенных катастроф и аварий прошлых лет позволят разработать пути снижения опасностей для общества экономики и России.

Важность поиска баланса интересов общества, бизнеса, а также сохранения ресурсообеспеченности в глобальном масштабе порождает необходимость обеспечения экологической устойчивости государства [Zhanbayev et al., 2022]. Обеспечение устойчивого развития одна из самых важных проблем, которая предполагает существенные преобразования в обществе, потреблении ресурсов, энергетике (энергетический переход), а также переход к экономике замкнутого цикла (когда ресурсы циркулируют без «конца жизненного цикла») [Xu, Yan, 2021; Wang et al., 2021]. Использование элементов «circular economy» для достижения устойчивости социально-экономических систем является перспективным и быстроразвивающимся направлением исследований [Marinina et al., 2022; Singh et al., 2022; Khan et al., 2022]. Данные факты подтверждают актуальность проблемы смягчения последствий глобальных климатических изменений при обеспечении устойчивого развития территорий Субтропической зоны Кавказа.

Моделирование рассеянных данных для выявления общих закономерностей исследуемых процессов применяется в различных областях знаний [Chiampo et al.,

2023; Rakishev et al., 2022; Magkoev et al., 2022]. При геостатистических методах обработки данных чаще всего используется ГИС технологии, в которых реализован и чаще других применяется метод крикинга [Скрипчинский и др., 2022; Липилин, Евтушенко, 2022; Xu et al., 2022]. Довольно перспективными являются реализация в ГИС алгоритмов машинного обучения (например, обучение без учителя «scikit-learn» с использования нейросетей или «глубокого обучения») [Yang et al., 2023; Horry et al., 2023; Naveen et al., 2022]. Для большинства областей знаний характерен переход от детерминированных методов трехмерной интерполяции к методам машинного обучения с представлением топографии поверхности отклика в трехмерном виде [Trzepieciński, Najm, 2022; Sirjani et al., 2022]. Основным недостатком данного подхода является то, что данные алгоритмы при малом периоде временного ряда генерируют большую величину абсолютных ошибок. Поэтому часть исследователей продолжают использовать двумерные регрессионные модели [Mottahedi et al., 2021; Zhang et al., 2023]. Для некоторых случаев, довольно представительно сочетать аналитические расчеты с численными методами (конечных элементов) [Zhao et al., 2023; Shahbazi et al., 2022] или совершенствовать отдельные аналитические приемы (например, при повышении надежности прогнозирования краткосрочных временных рядов) [Залишвили и др., 2022]. Относительно мало используется пока метод «системной динамики» (для имитации динамических изменений различных классов переменных факторов) [Zhong et al., 2022], а также вариации Аллана для анализа стохастических процессов [Кубрин и др., 2022]. К основным их недостаткам стоит отметить их малую апробированность.

Для «подгонки» функции, заданной в неявном виде, эффективно применяют фильтр Савицкого-Голея (который применим только при наличии большого количества точек данных и избыточен при их недостатке) [Massaoudi et al., 2020]. При графическом отображении моделей используют, как цветную трехмерную визуализацию [Zaalishvili et al., 2023; Bosikov et al., 2023] или ее проекции на двумерные плоскости [Khosravifardshirazi et al., 2022], так и ни в чем ей не уступающие черно белые 3D модели [Golik et al., 2020; Джиеова, 2022]. Из приведённого анализа следует, что вопросы совершенствования пространственно-временного моделирования природных процессов нуждаются в совершенствовании. *Целью данной работы* является выявление возможностей развития геоэкологических опасностей в условиях климатических изменений при обеспечении устойчивого развития территорий Субтропической зоны Кавказа. Для ее достижения решались следующие задачи: выявление пространственных особенностей климатических изменений в субтропической зоне Кавказа; совершенствование методологии пространственно-временного моделирования микроклиматических особенностей в различном масштабе временных рядов.

Методы исследования

Объектом исследования являются климат и природные комплексы субтропической зоны Кавказа, занимающей южные предгорья Большого Кавказа, а также, низменности и низкогорья Закавказья. Границы объекта исследования соответствует границам субтропической зоны в пределах Кавказа. В горной местности они зависят от высотной поясности, орографии и экспозиции склонов. Следует понимать, что в условиях глобальных климатических изменений границы субтропической зоны, а также высотное положение субтропического пояса также могут изменяться.

Горная система Кавказ занимает перешеек между Черным и Каспийским морями. Она расположена от $38^{\circ}25' - 47^{\circ}15'$ с. ш. до $36^{\circ}37' - 50^{\circ}22'$ в. д. В Закавказье выделяют влажно-субтропическую зону (Черноморское побережье, Колхидская низменность, Ленкоранская низменность, и зону сухих субтропиков (от Анапы до Туапсе, Куринская низменность, Западное побережье Каспийского моря, река Аракс и Ереванская котловина) [Gura et al., 2023]. Для решения поставленных задач применялся комплексный метод исследования, заключающийся в обобщении данных из открытых источников о климатических параметрах субтропической зоны Кавказа, анализе пространственных закономерностей, сухого и влажного климата; использования детерминированных методов пространственной интерполяции рассеянных данных для графического отображения моделей поверхности отклика исследуемых процессов. Критерием достоверности трехмерных моделей был выбран коэффициент детерминации (R^2).

Результаты работы и их обсуждение

Пространственные особенности климатических изменений в субтропической зоне Кавказа. Горная система Кавказа является естественной границей поясов умеренного и субтропического климата. Количественные значения климатических параметров за период 2011–2022 гг. представлены в таблице 1 и рисунке 1. Как следует из таблицы 1 и рисунка 1, в исследуемой зоне температуры воздуха в пунктах наблюдений за последние 11 лет (2011–2022 гг.) составляли по поясу от $+13,7$ до $+16,0^{\circ}\text{C}$. Максимальная температура ($+16,0^{\circ}\text{C}$) наблюдалась в условиях влажного климата в Кутаиси (Колхидская область).

Таблица 1 / Table 1

**Параметры температуры воздуха и количества осадков^{1,2} /
Parameters of atmospheric air temperature and precipitation**

S	Станция / Station	Показатели среднегодовой температуры воздуха / Indicators average annual air temperature, °C			Показатели количества осадков за год, мм / Rainfall indicators for the year, mm			Среднегодовые значения температуры воздуха (°C) за период (t) / Average annual air temperature (°C) for the period (t)				
		Средняя за год / Average per year	Тренд за период, °C / trend during the period, °C	Тренд за 1 год, °C / 1 year trend, °C	Средняя за год / Average per year	Тренд за период, °C / trend during the period, °C	Тренд за 1 год, °C / 1 year trend, °C	2011 – 2022	2020 – 2022	2017 – 2019	2014 – 2016	2011 – 2013
		t						1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Зона влажного субтропического климата / Humid subtropical climate zone												
1	Туапсе / Tuapse	15,2	0,6	0,1	1312	656	60	15,2	15,3	15,7	15,3	14,7
2	Сочи / Sochi	14,9	1,1	0,1	1285	719	72	15,2	15,2	15,6	14,7	14,5
3	Кутаиси / Kutaisi	16,0	0,0	0,0	1299	111	10	15,9	15,8	16,4	16,0	15,3
4	Ленкорань / Lankaran	15,7	0,4	0,0	1602	264	24	15,4	15,5	15,7	15,2	15,2

¹ Интернет-ресурс <https://rp5.ru/> Copyright © ООО «Расписание Погоды», 2004-2023/

² Разуваев В.Н., Булыгина О.Н., Коршунова Н.Н., Клещенко Л.К., Кузнецова В.Н., Трофименко Л.Т., Шерстюков А.Б., Швець Н.В., Давлетшин С.Г., Зверева Г.Н. Научно-прикладной справочник «Климат России». Свидетельство о государственной регистрации № 2020621470 от 18 августа 2020 г. Объем: 4,3 Мб

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Зона сухого субтропического климата / Dry subtropical climate zone												
1	Анапа / Anapa	13,7	0,3	0,0	613	396	36	13,8	14,0	14,1	13,7	13,2
2	Новороссийск / Novorossiysk	14,2	0,6	0,1	663	485	44	14,4	14,9	14,0	15,3	13,2
3	Геленджик / Gelendzhik	14,5	1,8	0,2	570	318	29	14,6	15,0	15,4	14,3	13,6
4	Тбилиси / Tbilisi	14,4	1,0	0,1	392	218	20	14,4	14,6	14,9	14,3	13,6
5	Ыгдыр / Ygdyr	15,7	0,4	0,0	232	-65	-8	16,4	15,5	16,7	16,9	15,6
6	Махачкала / Makhachkala	13,7	-0,3	0,0	408	89	8	13,7	13,8	13,3	14,1	13,9
7	Дербент / Derbent	14,5	0,5	0,1	397	145	13	14,5	14,8	14,8	14,3	14,0
8	Баку / Baku	15,6	0,9	0,1	487	-281	-26	15,7	16,1	15,9	15,3	15,4

Максимальная температура (+16,0°C) наблюдалась в условиях влажного климата в Кутаиси (Колхидская область). Минимальные температуры наблюдались на северной границе субтропического пояса Кавказа в условиях сухого климата в Анапе (+13,7°C) на Черноморском побережье (44° 54' с. ш.) и в Махачкале (+13,7°C) на Каспийском побережье, 42° 58' с. ш.). В субтропической зоне наблюдался преимущественно рост среднегодовой температуры в среднем на +0,1°C/год. Максимальный рост среднегодовой температуры ежегодно на 0,2°C наблюдался в Геленджике.

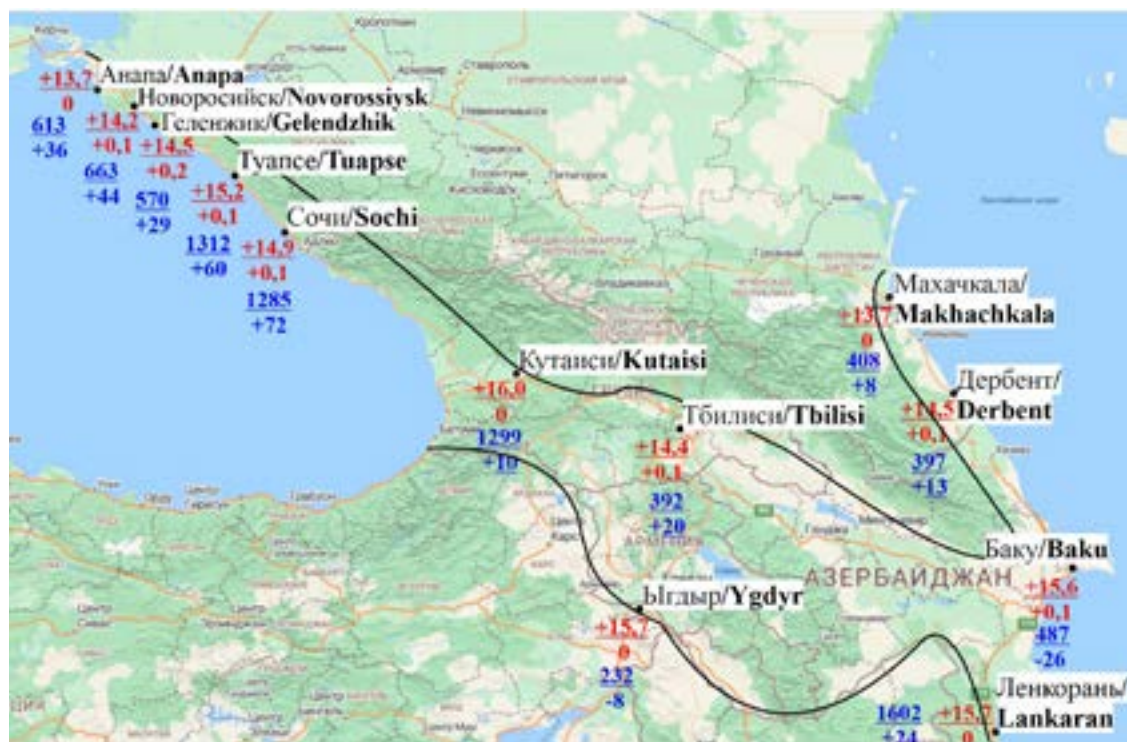


Рис. 1. Распределение среднегодовых температур (красным в числителе) и ее изменение за 1 год (в знаменателе), (°C), а также суммы осадков за год (синим в числителе) их изменений (в знаменателе), в мм /

Fig. 1. Average annual temperature (in the numerator) and its change for 1 year (in the denominator), degrees Celsius (°C) for the period 2011-2022

Незначительное понижение ($-0,3^{\circ}\text{C}$ за 12 лет) отмечено в Махачкале. Из табл. 1 следует, что в субтропической зоне Кавказа количество осадков в теплый период года (апрель–октябрь) незначительно превышает количество осадков в холодный период года (ноябрь–март), их соотношение примерно 55% к 45%, за исключением Баку и Сочи, где их количество примерно одинаковое. Абсолютные значения суммы осадков за теплый период года меняются от 155 мм (Ыгдыр, область сухих субтропиков долины реки Аракс) до 974 мм в Ленкорани (область влажных субтропиков Ленкоранской низменности). Среднее значение количества осадков за теплый период за исследуемый период для влажных субтропиков – 750 мм, для зоны сухих субтропиков – 258 мм. Как следует из таблицы 2 и рисунка 1 (смотри значения, окрашенные синим цветом), в субтропической зоне Кавказа наблюдается весьма неоднородное увлажнение. Величина годовой суммы осадков за последние 12 лет наблюдений (2011–2022 гг.) составляла по поясу от 232 мм (Ыгдыр) до +1602 мм (Ленкорань). В областях влажного субтропического климата средняя сумма осадков составила 1375 мм (от 1285 мм до 1602 мм), в областях сухого субтропического климата – 470 мм (от 232 мм до 663 мм). При этом повсеместно, за исключением юго-восточной части пояса (в Баку – минус 26 мм/год, в Игдыре – минус 8 мм/год) наблюдается прирост среднегодовой суммы осадков в среднем на 24 мм/год (от 8 мм в Махачкале до 72 мм – в Сочи). Средний прирост сумм осадков за год для влажной зоны составил +41 мм/год, для сухой зоны – +14,5 мм/год.

Пространственно-временное моделирование микроклиматических особенностей в различном масштабе временных рядов. Согласно методике исследования по оси абсцисс откладывали ось времени (t), с трёхлетними периодами и общий-средний за 11 лет для сопоставления общих закономерностей в различных временных рядах данных по аналогии с работами [Бригада и др., 2019; Hosseini, Najafi, 2022] и образцу [Golik et al., 2023]), но без фильтра LOESS (из-за малого объема выборки). Полученные результаты для влажного и сухого климата приведены на рисунке 2.

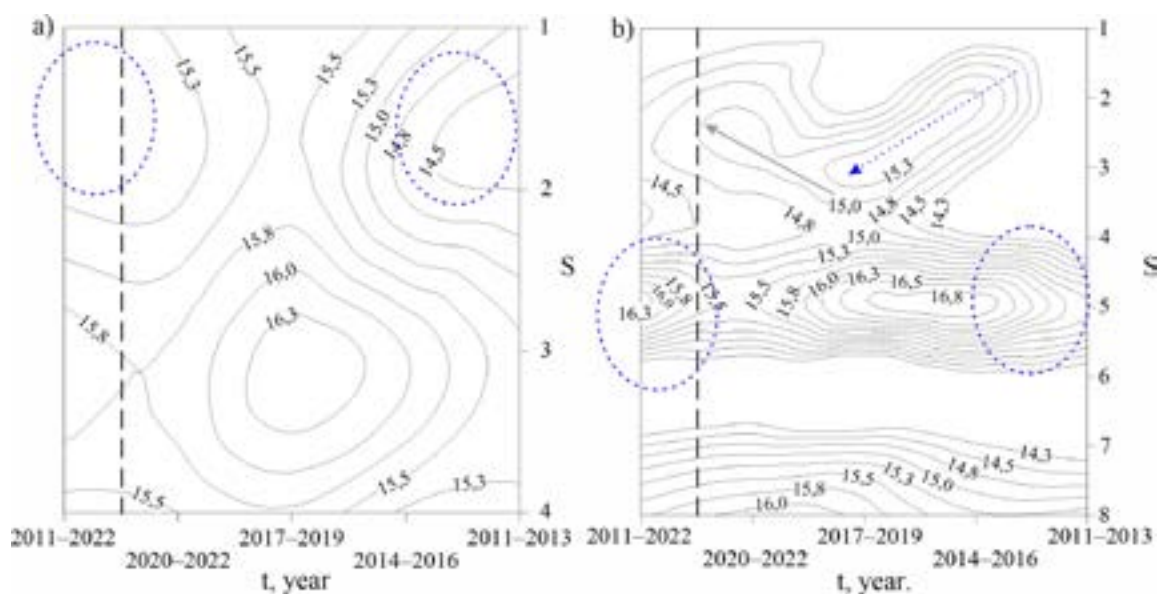


Рис. 2. Пространственно-временная изменчивость температуры воздуха в субтропической зоне Кавказа: а) зона влажного климата; б) зона сухого климата /

Fig. 2. Spatial and temporal variability of air temperature change in Caucasus subtropical zone: а) humid climate zone; б) dry climate zone

Из анализа рисунка 2а) следует, что прослеживается явно выраженный локальный максимум ($16,3^{\circ}\text{C}$) характерный для Кутаиси, который локализован в трехлетнем периоде 2017–2019 гг. Первый и второй минимумы с температурами $14,5^{\circ}\text{C}$ и $15,3^{\circ}\text{C}$ – г. Сочи, причем прослеживается схожесть динамики обоих минимумов. Первый с более сильным спадом характерен для середины между периодами 2011–2013 г и 2014–2016 гг., а второй – расположен вблизи границы сравнения трехлетних и 11-тилетних периодов (2020–2022 гг. и 11-тилетний – 2011–2022 гг.). Это указывает на наличие общих закономерностей в среднегодовых температурах воздуха для 11-летних и 3-хлетних (для начала 11-тилетнего периода) временных рядов данных в зоне влажного климата (пространство между Туапсе и г. Сочи). Из анализа рисунка 4б) следует, что прослеживается явно выраженные три области с различным характером взаимосвязей 11-тилетних и 3-хлетних временных рядов данных. Первый – «стабильный» в районе точек Дербент-Баку указывает на равномерное увеличение средней температуры для всех 3-летних периодов и с похожим на начало периода (2011–2013 гг.) общего характера 11-тилетнего цикла. Вторая область («циклический») локальных максимумов сопряжена с точками Тбилиси-Ыгдыр-Махачкала, характеризуется общими закономерностями с поведением повторяющихся локальных минимумов (рис. 4а). Третий тип связи – «аномально циклический» характерной чертой которого является диаметрально противоположная смена направления общего тренда (смотри направления синей и серой стрелочек на рисунке 4б). Для пространства Анапа-Новороссийск-Геленджик общий тренд роста средней температуры до уровня $15,3^{\circ}\text{C}$ характерен для 3-хлетних интервалов от 2011–2013 гг и 2017–2019 гг., после этой точки перегиба (2017–2019 гг.) тренд резко меняет направление (под прямым углом) со снижением своего значения до $15,0^{\circ}\text{C}$.

Выводы

Достижение устойчивого развития в субтропической зоне Кавказа должно обеспечиваться формированием соответствующих долгосрочных мероприятий и стратегий (в том числе с применением элементов «circular economy») с учетом региональных типов циклическости климатических изменений различной протяженности временных рядов данных. Выполненное авторами исследование изменения режима температуры атмосферного воздуха и количества осадков за период предшествующих 12 лет (2011–2022 гг.) показывает, что в субтропической зоне Кавказа происходило повышение среднегодовой температуры в среднем на $+0,6^{\circ}\text{C}/\text{год}$, повышение суммы годового количества осадков в среднем на $+24$ мм/год. Наибольший рост среднегодовых температур зафиксирован на Черноморском побережье, средних температур января в областях сухого климата. Наиболее интенсивный рост суммы осадков происходил на побережье Черного моря (до $+39$ мм/год в Сочи) в областях и влажного, и сухого климата. Одновременное активное хозяйственное освоение этих территорий, деградация и гибель широколиственных лесов, в условиях горного рельефа, приводят к нарушению почвенного покрова, активизации оползней, селепроявлений, росту склоновых оврагов и увеличению площади и количества эродированных участков.

Литература

1. Акопян В.Ф., Языев Б.М., Чепурненко А.С. Расчет устойчивости грунтовых откосов при помощи методов нелинейной оптимизации. // Геология и геофизика Юга России. – 2023. – Т. 13. №1). – С. 150–161. DOI: 10.46698/VNC.2023.69.79.011

2. Арефьева Е.В., Крапухин В.В. Оценка климатических рисков для разработки отраслевого плана адаптации к изменениям климата. // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Железногорск, 22 апреля 2022 года. – Железногорск: ФГБОУ ВО «Сибирская пожарно-спасательная академия» Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации стихийных бедствий». – 2022. – С. 88–91. EDN: OAGKRS.
3. Батхиев А.М. Своеобразие физико-географических условий Кавказа как основа дифференциации природных экосистем. // Рефлексия. – 2008. – №2. – С. 3–13. – EDN: WFRZQJ.
4. Бригада В.С., Дмитрак Ю.В., Габараев О.З., Голик В.И. Использование разгрузочного бурения для обеспечения безопасности отработки газоносных угольных пластов Донбасса. // Безопасность Труда в Промышленности. – 2019. – №3(747). – С. 7–11. DOI 10.24000/0409-2961-2019-3-7-11.
5. Джигоева А.К. Перспективы экологизации горного производства для снижения вредных выбросов в атмосферу. // Уголь. – 2022. – №10. – С. 29–32. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-10-29-32
6. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Никонова Н.В., Смирнова Л.Н., Уздин А.М. Характеристики пространственной неоднородности поля ускорений дневной поверхности. // Геология и геофизика Юга России. – 2022. – Т. 12. №1. – С. 75–88. DOI: 10.46698/VNC.2022.74.27.006.
7. Кубрин С.С., Тайлаков О.В., Соболев В.В. и др. Использование вариации Аллана при обработке измеренных параметров метановоздушной смеси при дегазации выемочных участков. // Уголь. – 2022. – №12. – С. 60–66. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-12-60-66.
8. Липилин Д.А., Евтушенко Д.Д. Оценка качества городской среды с применением геоинформационных систем на примере микрорайонов города Краснодара. // Геология и геофизика Юга России. – 2022. – Т. 12. №3. – С. 195–210. DOI: 10.46698/VNC.2022.72.93.013.
9. Скрипчинский А.В., Бадов А.Д., Бадов О.А., Борисов Д.Д. Анализ состояния водоохранной зоны городского округа Дербент на основе ГИС-технологий. // Геология и геофизика Юга России. – 2022. – Т. 12. №4. – С. 180–182. DOI: 10.46698/VNC.2022.39.75.014.
10. Стогний В.В., Стогний Г.А., Любимова Т.В. Геоэкологические риски территории Краснодарского края: проблема интегральной оценки степени геологических опасностей. // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – Т. 11. №1. – С. 121–133. DOI: 10.46698/VNC.2021.40.95.010.
11. Сурков В.В., Виноградова Н.Н., Крыленко И.В., Тарбеева А.М. Формирование и развитие пойм горных рек в условиях активной селевой деятельности (на примере долины реки Баксан). // ГеоРиск. – 2013. – №4. – С. 48–55. EDN: SSZMHT.
12. Хулелидзе К.К., Кондратьев Ю.И., Заалишвили В.Б., Бетров З.С. Оценка коренных и техногенных месторождений РСО-Алания как возможных объектов применения технологии подземного и кучного выщелачивания. // Устойчивое развитие горных территорий. – 2016. – Т. 8. №1. – С. 46–51. – DOI 10.21177/1998-4502-2016-8-1-46-51
13. Чотчаев Х.О., Бурдзиева О.Г., Заалишвили В.Б. Зонирование высокогорных территорий по геоэкологическим нагрузкам, обусловленным геодинамическими и климатическими воздействиями. // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – Т. 11. №1. 81–94. DOI: 10.46698/VNC.2021.15.66.007
14. Al-Shawabkeh A.F., Thalji M.O., Al-Rousan T.M. Using recycled plastic waste to improve the performance of hot-mix asphalt. // Proceedings of Institution of Civil Engineers: Waste and Resource Management. – 2022. DOI:10.1680/jwarm.21.00013.
15. Baker C.B., Cosh M., Bolten J., Brusberg M., Caldwell T., Connolly S., Dobrev I., Edwards N., Goble P.E., Ochsner T.E., Quiring S.M., Robotham M., Skumanich M., White M.S., Woloszyn W.A. Working toward a National Coordinated Soil Moisture Monitoring Network Vi-

sion, Progress, and Future Directions. // *Bulletin of the American Meteorological Society*. – 2022. – Vol. 103(12). – pp. E2719–E2732. DOI: 10.1175/BAMS-D-21-0178.1.

16. Bosikov I.I., Martyushev N.V., Klyuev R.V., Savchenko I.A., Kukartsev V.V., Kukartsev V.A., Tynchenko Y.A. Modeling and Complex Analysis of the Topology Parameters of Ventilation Networks When Ensuring Fire Safety While Developing Coal and Gas Deposits. // *Fire*. – 2023. – Vol. 6(95). DOI: 10.3390/fire6030095.

17. Chiampo F., Shanthakumar S., Ricky R., Pattukandan Ganapathy G. Tannery: Environmental impacts and sustainable technologies. // *Materials Today: Proceedings*. – 2023. DOI: 10.1016/j.matpr.2023.02.025.

18. Golik V.I., Dmitrak Yu.V., Brigida V.S. Impact of duration of mechanochemical activation on enhancement of zinc leaching from polymetallic ore tailings. // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. – 2020. – Vol. 5. – pp. 47–54. DOI: 10.33271/NVNGU/2020-5/047.

19. Golik V.I., Klyuev R.V., Martyushev N.V., Brigida V.S., Efremkov E.A., Sorokova S.N., Mengxu Q. Tailings Utilization and Zinc Extraction Based on Mechanochemical Activation. // *Materials*. – 2023. – Vol. 16. – Article No 726. DOI: 10.3390/ma16020726.

20. Gura D.A., Volkova T.A., Lipilin D.A. Paleogeography of the Black and Azov Seas and Their Coasts in Pleistocene and Holocene (Within the Krasnodar Region of Russia). // S.G. Maximova et al. (eds.) *Advances in Natural Human-Made and Coupled Human-Natural Systems Research Lecture Notes in Networks and Systems*. – 2023. – Vol. 252. – pp. 19–38. DOI: 10.1007/978-3-030-78105-7_3.

21. Horry M.J., Chakraborty S., Pradhan B. et al. Two-Speed Deep-Learning Ensemble for Classification of Incremental Land-Cover Satellite Image Patches. // *Earth Systems and Environment*. – 2023. DOI: 10.1007/s41748-023-00343-3.

22. Hosseini A., Najafi M., Hossein Morshedy A. Determination of suitable distance between methane drainage stations in Tabas mechanized coal mine (Iran) based on theoretical calculations and field investigation. // *Journal of Mining Institute*. – 2022. – Vol. 258. – pp. 1050–1060. DOI: 10.31897/PMI.2022.106.

23. Kalantari A.R., Johari A., Zandpour M., Kalantari M. Effect of spatial variability of soil properties and geostatistical conditional simulation on reliability characteristics and critical slip surfaces of soil slopes. // *Transportation Geotechnics*. – 2023. – Vol. 39. – Article No.100933. DOI: 10.1016/j.trgeo.2023.100933.

24. Khan S., Ali S.S., Singh R. Determinants of Remanufacturing Adoption for Circular Economy: A Causal Relationship Evaluation Framework. // *Applied System Innovation*. – 2022. – Vol. 5. – Article No.62. DOI: 10.3390/asi5040062.

25. Khosravifardshirazi A., Johari A., Javadi A.A., Khanjanpour M.H., Khosravifardshirazi B., Akrami M. Role of Subgrade Reaction Modulus in Soil-Foundation-Structure Interaction in Concrete Buildings. // *Buildings*. – 2022. – Vol. 12. – Article No 540. DOI: 10.3390/buildings12050540.

26. Kongar-Syuryun C.B., Aleksakhin A.V., Eliseeva E.N., Zhaglovskaya A.V., Klyuev R.V., Petrushevich D.A. Modern Technologies Providing a Full Cycle of Geo-Resources Development. // *Resources*. – 2023. – Vol. 12. – Article No.50. DOI: 10.3390/resources12040050.

27. Li S., Yu Z., Yu H., Wang X. The Recent Progress China Has Made in High-Concentration Backfill. // *Sustainability*. – 2022. – Vol. 14. – Article No.2758. DOI: 10.3390/su14052758.

28. Magkoev T.T., Mustafaeva D.G., Zaalishvili V.B., Ashkhotov O.G., Sozaev Z.T. Preparation of Aluminum–Molybdenum Alloy Thin Film Oxide and Study of Molecular CO + NO Conversion on Its Surface. // *Materials*. – 2022. – Vol. 15. – Article No 2245. DOI: 10.3390/ma15062245.

29. Marinina O., Kirsanova N., Nevskaya M. Circular Economy Models in Industry: Developing a Conceptual Framework. // *Energies*. – 2022. – Vol. 15. – Article No.9376. DOI: 10.3390/en15249376.

30. Massaoudi M.S., Refaat S., Abu-Rub H., Chihi I., Oueslati F.S. PLS-CNN-BiLSTM: An

End-to-End Algorithm-Based Savitzky–Golay Smoothing and Evolution Strategy for Load Forecasting. // *Energies*. – 2020. – Vol. 13. – Article No.5464. DOI: 10.3390/en13205464.

31. Mottahedi A., Sereshki F., Ataei M., Barabadi A., Qarahasanlou A.N. Resilience estimation of the mining fleet (Case study: Sungun copper mine). // *International Journal of Mining and Geo-Engineering*. – 2021. – Vol. 55(2). – pp. 151–156. DOI: 10.22059/ijmge.2021.290468.594828.

32. Naveen N.S., Kishore P.S., Pujari S., Silas Kumar M.D., Jogi K. Optimization through Taguchi and Artificial Neural Networks on Thermal Performance of a Radiator using Graphene based Coolant. // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part A Journal of Power and Energy*. – 2022. – Vol. 236(8). – pp. 1680–1693. DOI: 10.1177/09576509221097476.

33. Pkhovelishvili M.G., Archvadze N.N., Nikoleishvili M.M. Analysis of earthquake prediction models to obtain the best model. // *Geology and Geophysics of Russian South*. 2023. – Vol. 13. No. 1. – pp. 162–172. DOI: 10.46698/VNC.2023.61.18.012.

34. Rakishev B., Kenzhetaev Z., Mataev M., Togizov K. Improving the Efficiency of Downhole Uranium Production Using Oxygen as an Oxidizer. // *Minerals*. – 2022. – Vol. 12. – Article No.1005. DOI: 10.3390/min12081005.

35. Shahbazi M., Najafi M., Marji M.F., Abdollahipour A. Cavity Growth in Underground Coal Gasification Method by Considering Cleat Length and Inclination of Coal with Elasto-Brittle Behavior. // *Journal of Mining and Environment*. – 2022. – Vol. 13(2). – pp. 607–625. DOI: 10.22044/jme.2022.11906.2183.

36. Shutaleva A., Martyushev N., Nikonova Z., Savchenko I., Abramova S., Lubimova V., Novgorodtseva A. Environmental Behavior of Youth and Sustainable Development. // *Sustainability*. – 2022. – Vol. 14. – Article No.250. DOI: 10.3390/su14010250.

37. Singh R., Khan S., Centobelli P. Investigating the Interplay between Social Performance and Organisational Factors Supporting Circular Economy Practices. // *Sustainability*. – 2022. – Vol. 14. – Article No.16781. DOI: 10.3390/su142416781.

38. Sirjani A.K., Sereshki F., Ataei M., Hosseini M.A. Prediction of Backbreak in the Blasting Operations using Artificial Neural Network (ANN) Model and Statistical Models (Case study: Gole-Gohar Iron Ore Mine No.1). // *Archives of Mining Sciences*. – 2022. – Vol. 67(1). – pp. 107–121. DOI:10.24425/ams.2022.140705.

39. Trzepieciński T., Najm S.M. Application of Artificial Neural Networks to the Analysis of Friction Behaviour in a Drawbead Profile in Sheet Metal Forming. // *Materials*. – 2022. – Vol. 15. – Article No.9022. DOI: 10.3390/ma15249022.

40. Vergnano A., Raffa C.M., Godio A., Chiampo F. Electromagnetic Properties Monitoring to Detect Different Biodegradation Kinetics in Hydrocarbon-Contaminated Soil. // *Soil Systems*. – 2022. – Vol. 6(2). – Article No.48. DOI: 10.3390/soilsystems6020048.

41. Wang J.N., Yu F., Ma G.X., Peng F., Zhou X.F., Wu C.S., Yang W.S., Wang C.Y., Cao D., Jiang H.Q., Jing H., Qu S., Xu M. Gross economic-ecological product as an integrated measure for ecological service and economic products. // *Resources Conservation and Recycling*. – 2021. – Vol. 174. – Article No.105566. DOI: 10.1016/j.resconrec.2021.105566.

42. Xu M., Yan J. Energy and circular economy in sustainability transitions. // *Resources Conservation and Recycling*. – 2021. – Vol. 169. – Article No.105471. DOI: 10.1016/j.resconrec.2021.105471.

43. Xu P., Jiang T., Zhang C., Shi K., Li W. Recovering Regional Groundwater Storage Anomalies by Combining GNSS and Surface Mass Load Data: A Case Study in Western Yunnan. // *Remote Sensing*. – 2022. – Vol. 14. – Article No.4032. DOI: 10.3390/rs14164032.

44. Yang P., Esmaceli K., Goodfellow S., Ordóñez Calderón J.C. Mine Pit Wall Geological Mapping Using UAV-Based RGB Imaging and Unsupervised Learning. // *Remote Sensing*. – 2023. – Vol. 15. – Article No.1641. DOI: 10.3390/rs15061641.

45. Yu H. Mining waste: curb risks to people and the environment. // *Nature*. – 2023. – Vol. 615. – Article No.586. DOI: 10.1038/d41586-023-00844-1.

46. Zaalishvili V.B., Hasanov A.B., Abbasov E.Y., Mammadova D.N. Detailing the Pore

Structure of Productive Intervals of Oil Wells Using the Color 3D Imaging. // *Energies*. – 2023. – Vol. 16. – Article No.217. DOI: 10.3390/en16010217.

47. Zhanbayev R.A., Yerkin A.Y., Shutaleva A.V., Irfan M., Gabelashvili K., Temirbaeva G.R., Chazova I.Y., Abdykadyrkyzy R. State asset management paradigm in the quasi-public sector and environmental sustainability: Insights from the Republic of Kazakhstan. // *Frontiers in Environmental Science*. – 2022. – Vol. 10. – Article No.1037023. DOI: 10.3389/fenvs.2022.1037023.

48. Zhang F., Wang G., Wang B. Study and Application of High-Level Directional Extraction Borehole Based on Mining Fracture Evolution Law of Overburden Strata. // *Sustainability*. – 2023. – Vol. 15. – Article No.2806. DOI: 10.3390/su15032806.

49. Zhao P., An X., Li S., Kang X., Huang Y., Yang J., Jin S. Study on the Pseudo-Slope Length Effect of Buried Pipe Extraction in Fully Mechanized Caving Area on Gas Migration Law in Goaf. // *Sustainability*. – 2023. – Vol. 15. – Article No.6628. DOI: 10.3390/su15086628.

50. Zhong S., Lin D. Evaluation of the Coordination Degree of Coal and Gas Co-Mining System Based on System Dynamics. // *Sustainability*. – 2022. – Vol. 14. – Article No.16434. DOI: 10.3390/su142416434.

References

1. Akopyan V.F., Yazyev B.M., Chepurnenko A.S. Calculation of soil slope stability using nonlinear optimization methods. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2023. Vol. 13. No.1. pp. 150–161. (In Russ.) DOI: 10.46698/VNC.2023.69.79.011

2. Arefieva E.V., Krapukhin V.V. Assessment of climate risks for the development of a sectoral plan for adaptation to climate change Actual problems of ensuring fire safety and protection from emergencies: Collection of materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Zheleznogorsk, April 22, 2022. Zheleznogorsk. Siberian Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Disaster Management, 2022. pp. 88-91. (In Russ.) EDN: OAGKRS.

3. Batkhiev A.M. The peculiarity of the physical and geographical conditions of the Caucasus as the basis for the differentiation of natural ecosystems. *Refleksija*. 2008. No.2. pp. 3–13. (In Russ.) EDN: WFRZQJ

4. Brigida V.S., Dmitrak Yu.V., Gabaraev O.Z., Golik V.I. Use of destressing drilling to ensure safety of Donbass gas-bearing coal seams extraction. *Occupational Safety in Industry*. 2019. Vol. 3. pp. 7–11. (In Russ.) DOI: 10.24000/0409-2961-2019-3-7-11

5. Dzhioeva A.K. Prospects for mining ecologization to reduce harmful emissions into the atmosphere. *Ugol'*. 2022. No10. pp. 29–32. (In Russ.) DOI: 10.18796/0041-5790-2022-10-29-32

6. Zaalishvili V.B., Melkov D.A., Nikonova N.V., Smirnova L.N., Uzdin A.M. Characteristics of spatial inhomogeneity of the acceleration field on the day surface. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2022. Vol. 12. No.1. pp. 75–88. (In Russ.) DOI: 10.46698/VNC.2022.74.27.006

7. Kubrin S.S., Tailakov O.V., Sobolev V.V., Zakharov V.N. The use of the Allan variation in the processing of the measured parameters of the methane-air mixture during the degassing of excavation sites. *Ugol'*. 2022. No.12. pp. 60–66. (In Russ.) DOI: 10.18796/0041-5790-2022-12-60-66

8. Lipilin D.A., Evtushenko D.D. Assessment of the urban environment quality using geoinformation systems by the example of microdistricts of the city of Krasnodar. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2022. Vol. 12. No.3. pp. 195–210. (In Russian) DOI: 10.46698/VNC.2022.72.93.013

9. Skripchinsky A. V., Badov A. D., Badov O. A., Borisov D. D. Water protection zone state analysis of the Derbent city district on the basis of GIS technologies. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2022. Vol. 12. No.4. pp. 180–182. (In Russ.) DOI: 10.46698/VNC.2022.39.75.014

10. Stogniy V.V., Stogniy G.A., Lyubimova T.V. Geoecological risks of the territory of the Krasnodar Territory: the problem of integral assessment of the degree of geological hazards.

Geology and Geophysics of Russian South. 2021. Vol. 11. No.1. pp. 121–133. (In Russ.) DOI: 10.46698/VNC.2021.40.95.010

11. Surkov V.V., Vinogradova N.N., Krylenko I.V., Tarbeeva A.M. Formation and development of floodplains of mountain rivers in conditions of active mudflow activity (on the example of the Baksan river valley). *GeoRisk*. 2013. No.4. pp. 48–55. (In Russ.). EDN: SSZMHT

12. Hulelidze K.K., Kondratyev Yu.I., Berozov Z.S., Zaalishvili V.B. Evaluation of original and technogenic deposits of the republic of north Ossetia-Alania as possible objects of application of underground and heap leaching technology. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2016. Vol. 8(1). pp. 46–51. (In Russ.)

13. Chotchaev Kh.O., Burdzieva, O.G., Zaalishvili, V.B. Zoning of high mountainous areas by geoecological loads caused by geodynamic and climatic influences. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2021. Vol. 11. No.1. pp. 81–94. (In Russ.) DOI: 10.46698/VNC.2021.15.66.007

14. Al-Shawabkeh A.F., Thalji M.O., Al-Rousan T.M. Using recycled plastic waste to improve the performance of hot-mix asphalt. *Proceedings of Institution of Civil Engineers: Waste and Resource Management*. 2022. DOI: 10.1680/jwarm.21.00013

15. Baker C.B., Cosh M., Bolten J., Brusberg M., Caldwell T., Connolly S., Dobreva I., Edwards N., Goble P.E., Ochsner T.E., Quiring S.M., Robotham M., Skumanich M., White M.S., Woloszyn W.A. Working toward a National Coordinated Soil Moisture Monitoring Network Vision, Progress, and Future Directions. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2022. Vol. 103(12). pp. E2719–E2732. DOI: 10.1175/BAMS-D-21-0178.1

16. Bosikov I.I., Martyushev N.V., Klyuev R.V., Savchenko I.A., Kukartsev V.V., Kukartsev V.A., Tynchenko Y.A. Modeling and Complex Analysis of the Topology Parameters of Ventilation Networks When Ensuring Fire Safety While Developing Coal and Gas Deposits. *Fire*. 2023. Vol. 6(95). DOI: 10.3390/fire6030095

17. Chiampo F., Shanthakumar S., Ricky R., Pattukandan Ganapathy G. Tannery: Environmental impacts and sustainable technologies. *Materials Today: Proceedings*. 2023. DOI: 10.1016/j.matpr.2023.02.025.

18. Golik V.I., Dmitrak Yu.V., Brigida V.S. Impact of duration of mechanochemical activation on enhancement of zinc leaching from polymetallic ore tailings. *Scientific Bulletin of the National Gorniche University*. 2020. Vol. 5. pp. 47–54. DOI: 10.33271/NVNGU/2020-5/047

19. Golik V.I., Klyuev R.V., Martyushev N.V., Brigida V., Efremenkov E.A., Sorokova S.N., Mengxu Q. Tailings Utilization and Zinc Extraction Based on Mechanochemical Activation. *Materials*. 2023. Vol. 16. Article No 726. DOI: 10.3390/ma16020726

20. Gura D.A., Volkova T.A., Lipilin D.A., Paleogeography of the Black and Azov Seas and Their Coasts in Pleistocene and Holocene (Within the Krasnodar Region of Russia). *Advances in Natural Human-Made and Coupled Human-Natural Systems Research Lecture Notes in Networks and Systems*. 2023. Vol. 252. pp. 19–38. DOI: 10.1007/978-3-030-78105-7_3.

21. Horry M.J., Chakraborty S., Pradhan B. et al. Two-Speed Deep-Learning Ensemble for Classification of Incremental Land-Cover Satellite Image Patches. *Earth Systems and Environment*. 2023. DOI: 10.1007/s41748-023-00343-3

22. Hosseini A., Najafi M., Hossein Morshedy A. Determination of suitable distance between methane drainage stations in Tabas mechanized coal mine (Iran) based on theoretical calculations and field investigation. *Journal of Mining Institute*. 2022. Vol. 258. pp. 1050–1060. DOI: 10.31897/PMI.2022.106

23. Kalantari A.R., Johari A., Zandpour M., Kalantari M. Effect of spatial variability of soil properties and geostatistical conditional simulation on reliability characteristics and critical slip surfaces of soil slopes. *Transportation Geotechnics*. 2023. Vol. 39. Article No 100933. DOI: 10.1016/j.trgeo.2023.100933

24. Khan S., Ali S.S., Singh R. Determinants of Remanufacturing Adoption for Circular Economy: A Causal Relationship Evaluation Framework. *Applied System Innovation*. 2022. Vol. 5. Article No 62. DOI: 10.3390/asi5040062.

25. Khosravifardshirazi A., Johari A., Javadi A.A., Khanjanpour M.H., Khosravifardshirazi

B., Akrami M. Role of Subgrade Reaction Modulus in Soil-Foundation-Structure Interaction in Concrete Buildings. *Buildings*. 2022. Vol. 12. Article No 540. DOI: 10.3390/buildings12050540.

26. Kongar-Syuryun C.B., Aleksakhin A.V., Eliseeva E.N., Zhaglovskaya A.V., Klyuev R.V., Petrusevich D.A. Modern Technologies Providing a Full Cycle of Geo-Resources Development. *Resources*. 2023. Vol. 12. Article No 50. DOI: 10.3390/resources12040050.

27. Li S., Yu Z., Yu H., Wang X. The Recent Progress China Has Made in High-Concentration Backfill. *Sustainability*. 2022. Vol. 14. Article No 2758. DOI: 10.3390/su14052758.

28. Magkoev T.T., Mustafaeva D.G., Zaalishvili V.B., Ashkhotov O.G., Sozaev Z.T. Preparation of Aluminum Molybdenum Alloy Thin Film Oxide and Study of Molecular CO + NO Conversion on Its Surface. *Materials*. 2022. Vol. 15. Article No 2245. DOI: 10.3390/ma15062245.

29. Marinina O., Kirsanova N., Nevskaya M. Circular Economy Models in Industry: Developing a Conceptual Framework. *Energies*. 2022. Vol. 15. Article No 9376. DOI: 10.3390/en15249376.

30. Massaoudi M.S., Refaat S., Abu-Rub H., Chihi I., Oueslati F.S. PLS-CNN-BiLSTM: An End-to-End Algorithm-Based SavitzkyGolay Smoothing and Evolution Strategy for Load Forecasting. *Energies*. 2020. Vol. 13. Article No 5464. DOI: 10.3390/en13205464.

31. Mottahedi A., Sereshki F., Ataei M., Barabadi A., Qarahasanlou A.N. Resilience estimation of the mining fleet (Case study: Sungun copper mine). *International Journal of Mining and Geo-Engineering*. 2021. Vol. 55(2). pp. 151–156. DOI: 10.22059/ijmge.2021.290468.594828.

32. Naveen N.S., Kishore P.S., Pujari S., Silas Kumar M.D., Jogi K. Optimization through Taguchi and Artificial Neural Networks on Thermal Performance of a Radiator using Graphene based Coolant. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part A Journal of Power and Energy*. 2022. Vol. 236(8). pp. 1680–1693. DOI: 10.1177/09576509221097476.

33. Pkhovelishvili M.G., Archvadze N.N., Nikoleishvili M.M. Analysis of earthquake prediction models to obtain the best model. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2023. Vol. 13. No.1. pp. 162–172. DOI: 10.46698/VNC.2023.61.18.012

34. Rakishev B., Kenzhetaev Z., Mataev M., Togizov K. Improving the Efficiency of Downhole Uranium Production Using Oxygen as an Oxidizer. *Minerals*. 2022. Vol. 12. Article No 1005. DOI: 10.3390/min12081005

35. Shahbazi M., Najafi M., Marji M.F., Abdollahipour A. Cavity Growth in Underground Coal Gasification Method by Considering Cleat Length and Inclination of Coal with Elasto-Brittle Behavior. *Journal of Mining and Environment*. 2022. Vol. 13(2). pp. 607–625. DOI: 10.22044/jme.2022.11906.2183.

36. Shutaleva A., Martyushev N., Nikonova Z., Savchenko I., Abramova S., Lubimova V., Novgorodtseva A. Environmental Behavior of Youth and Sustainable Development. *Sustainability*. 2022. Vol. 14. Article No 250. DOI: 10.3390/su14010250

37. Singh R., Khan S., Centobelli P. Investigating the Interplay between Social Performance and Organisational Factors Supporting Circular Economy Practices. *Sustainability*. 2022. Vol. 14. Article No 16781. DOI: 10.3390/su142416781

38. Sirjani A.K., Sereshki F., Ataei M., Hosseini M.A., Prediction of Backbreak in the Blasting Operations using Artificial Neural Network (ANN) Model and Statistical Models (Case study: Gole-Gohar Iron Ore Mine No. 1). *Archives of Mining Sciences*. 2022. Vol. 67(1). pp. 107–121. DOI: 10.24425/ams.2022.140705

39. Trzepieciński T., Najm S.M. Application of Artificial Neural Networks to the Analysis of Friction Behaviour in a Drawbead Profile in Sheet Metal Forming. *Materials*. 2022. Vol. 15. Article No 9022. DOI: 10.3390/ma15249022

40. Vergnano A., Raffa C.M., Godio A., Chiampo F. Electromagnetic Properties Monitoring to Detect Different Biodegradation Kinetics in Hydrocarbon-Contaminated Soil. *Soil Systems*. 2022. Vol. 6(2). Article No 48. DOI: 10.3390/soilsystems6020048

41. Wang J.N., Yu F., Ma G.X., Peng F., Zhou X.F., Wu C.S., Yang W.S., Wang C.Y., Cao D., Jiang H.Q., Jing H., Qu S., Xu M. Gross economic-ecological product as an integrated measure

for ecological service and economic products. *Resources Conservation and Recycling*. 2021. Vol. 174. Article No 105566. DOI: 10.1016/j.resconrec.2021.105566

42. Xu M., Yan J. Energy and circular economy in sustainability transitions. *Resources Conservation and Recycling*. 2021. Vol. 169. Article No 105471. DOI: 10.1016/j.resconrec.2021.105471

43. Xu P., Jiang T., Zhang C., Shi K., Li W. Recovering Regional Groundwater Storage Anomalies by Combining GNSS and Surface Mass Load Data: A Case Study in Western Yunnan. *Remote Sensing*. 2022. Vol. 14. Article No 4032. DOI: 10.3390/rs14164032

44. Yang P., Esmaceli K., Goodfellow S., OrdóñezCalderón J.C. Mine Pit Wall Geological Mapping Using UAV-Based RGB Imaging and Unsupervised Learning. *Remote Sensing*. 2023. Vol. 15. Article No 1641. DOI: 10.3390/rs15061641

45. Yu H. Mining waste: curb risks to people and the environment. *Nature*. 2023. Vol. 615. Article No 586. DOI: 10.1038/d41586-023-00844-1

46. Zaalishvili V.B., Hasanov A.B., Abbasov E.Y., Mammadova D.N. Detailing the Pore Structure of Productive Intervals of Oil Wells Using the Color 3D Imaging. *Energies*. 2023. Vol. 16. Article No 217. DOI: 10.3390/en16010217

47. Zhanbayev R.A., Yerkin A.Y., Shutaleva A.V., Irfan M., Gabelashvili K., Temirbaeva G.R., Chazova I.Y., Abdykadyrkyzy R. State asset management paradigm in the quasi-public sector and environmental sustainability: Insights from the Republic of Kazakhstan. *Frontiers in Environmental Science*. 2022. Vol. 10. Article No 1037023. DOI: 10.3389/fenvs.2022.1037023

48. Zhang F., Wang G., Wang B. Study and Application of High-Level Directional Extraction Borehole Based on Mining Fracture Evolution Law of Overburden Strata. *Sustainability*. 2023. Vol. 15. Article No 2806. DOI: 10.3390/su15032806

49. Zhao P., An X., Li S., Kang X., Huang Y., Yang J., Jin S. Study on the Pseudo-Slope Length Effect of Buried Pipe Extraction in Fully Mechanized Caving Area on Gas Migration Law in Goaf. *Sustainability*. 2023. Vol. 15. Article No 6628. DOI: 10.3390/su15086628

50. Zhong S., Lin D. Evaluation of the Coordination Degree of Coal and Gas Co-Mining System Based on System Dynamics. *Sustainability*. 2022. Vol. 14. Article No 16434. DOI: 10.3390/su142416434