

Разработка интеллектуальной информационной технологии оценки временного горизонта критических изменений состояния объекта при изменении климата

К. В. Мартиросян, А. О. Ковалева, А. Б. Чернышев, В. В. Цаплева

Северо-Кавказский федеральный университет

kv1961kv@mail.ru, belyka@mail.ru, chalbor@rambler.ru, val-ryazanova@mail.ru

Аннотация. В работе изучены вопросы разработки интеллектуальной технологии, позволяющей оценить время наступления критических изменений объекта под воздействием климатических девиаций. Изучены результаты прогнозирования на основе климатических моделей, выполнена постановка задачи оценки временного горизонта изменения состояния объекта при росте среднесезонных температур. Предложена разработка метамодели результатов изменения климатических режимов. Показано, каким образом происходит изменение параметров объекта под воздействием роста температур. Так как изменение состояния объекта может в значительной степени изменить его базовые характеристики, важным представляется построение сервиса, позволяющего оценить временные рамки наступления таких изменений.

Ключевые слова: интеллектуальные сервисы; интеллектуальные информационные технологии; моделирование систем; системный анализ; информационные системы; климатические режимы

I. ВВЕДЕНИЕ

Проблемы воздействия изменяющегося климата на различные объекты изучены недостаточно. В данном исследовании мы попытались обобщить известные на настоящее время данные по изменению климата. Также сделана попытка постановки задачи при проектировании интеллектуальных технологий оценки воздействия влияния изменения климата на объект.

В самом начале изучения данной проблемы мы занимались оценкой воздействия климатических изменений на месторождения минеральных вод. Были получены результаты, доказывающие определенную корреляцию между состоянием месторождений и отклонением температур от среднесезонных значений.

Необходимо заметить, что наиболее важным вопросом здесь является «когда», а не «как». Можно перечислять возможные последствия экстремального разогрева почвы и изменения количества осадков, но наиболее важным представляется установление границ девиации климатического режима, за пределами которых объект изменится необратимо. При таком необратимом изменении состояния объекта его параметры значительно изменяются, можно говорить о точке бифуркации. Соответственно даже приблизительная

оценка временного горизонта наступления такого события позволит избежать нежелательных последствий.

После того, как была определена цель изучения данной проблемы, стало понятно, что можно упростить подход к оценке исходных параметров объекта. На этом этапе исследований возникло предположение о переходе к унифицированной постановке задачи, которая будет работать для различных объектов.

Подобный подход позволит разработать унифицированный механизм оценки временного горизонта критического воздействия климатических девиаций на объект.

II. МЕТОДЫ И ИНСТРУМЕНТЫ

Изучим данный подход более детально. Непосредственное исследование климатических девиаций позволяет определить, что имеются два класса воздействий. Первый класс связан с непрерывным повышением среднесезонных температур. Это повышение наблюдается не первый год и носит достаточно регулярный характер.

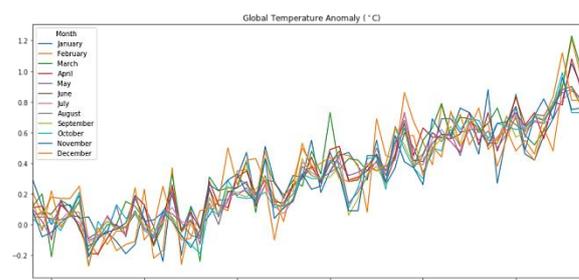


Рис. 1. Повышение температур за последние десятилетия

Второй класс климатических девиаций связан с неожиданными и резкими колебаниями температур и других показателей климатических режимов. Эти колебания могут быть краткосрочными и их последствия более разрушительны для объектов, так как диапазон колебаний может быть весьма значительным.

Приведем пример климатической девиации второго класса. Пятигорский институт Северо-Кавказского федерального университета находится в г. Пятигорске. Вторая неделя марта месяца 2025 года в регионе

Кавказские Минеральные Воды продемонстрировала переход от отрицательных температур воздуха к очень высоким температурам. После того, как почти две недели дневная температура была ниже 10 градусов Цельсия, а ночные температуры опускались ниже 20 градусов, вдруг установилась жара. В течение трех дней столбик термометра поднимался выше 30 градусов. Сейчас погода стабилизировалась, температуры воздуха приближаются к нулю. Такие колебания, абсолютно нетипичные для начала весеннего сезона и региона Кавказские Минеральные Воды, являются весьма разрушительными для состояния структуры почвы и могут оказывать критическое воздействие на неглубоко залегающие запасы минеральных вод.

Месторождения минеральных вод региона Кавказские Минеральные Воды составляют основной ресурс, определяющий ценность его как курорта. Мы можем наблюдать в оперативном режиме характер изменения состояния месторождений минеральных вод. Если раньше эти изменения были связаны в основном с техногенной нагрузкой, то теперь разрушительная роль климатических девиаций является преобладающей.

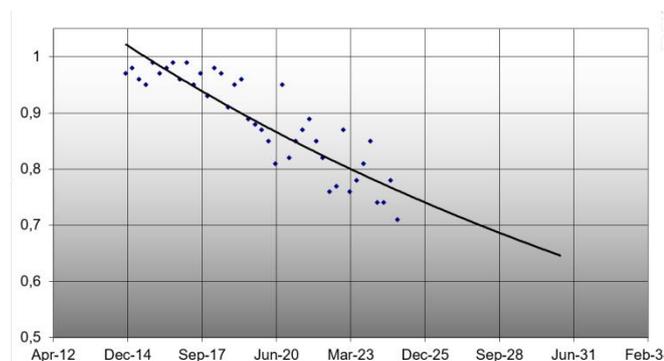


Рис. 2. Месторождения минеральных вод. Наблюдение и прогноз

Можно предположить, что девиация климата может привести к критическим изменениям состояния различных объектов. Летом 2024 года в Индии наблюдались массовые отключения электроснабжения на фоне экстремальных температур. После резкой климатической девиации в Ставропольском крае, которую мы наблюдали с 15 по 17 марта 2025 года, на федеральных каналах можно было увидеть сообщение о нарушениях электроснабжения 3,5 тысяч пользователей нашего региона.

Таким образом, можно условно представить различные объекты исследования: людей, которые испытывают значительную нагрузку на организм при резких колебаниях температур, электростанции, строительные объекты, месторождения минеральных вод. Перечисленные объекты имеют очень разные характеристики, методы моделирования параметров состояния указанных объектов также различаются. Общим является только разрушительный характер климатических девиаций и важность определения временного горизонта наступления необратимых изменений.

Возможно, удастся разработать общий механизм или метамодель оценки временного горизонта наступления

критических изменений объекта. Для этого необходимо максимально упростить (унифицировать) представление о характеристиках климатического режима и представление о параметрах объекта.

В рассматриваемой задаче также важны показатели климатических режимов. Существует ряд источников, позволяющих получить подробные климатические данные. Также существуют механизмы обработки данных по климатическим режимам с целью их преобразования в значения, которые может обрабатывать система интеллектуальных сервисов. Рассмотрим этот вопрос подробнее. Данные по климатическим режимам предоставляются в формате NetCDF. Это особый формат данных. Описание этого формата представлено в работе [1]. Возможности по преобразованию такого формата для обработки существуют в языке программирования Python.

Массивы данных по климатическим режимам обычно бывают представлены в формате NetCDF (Network Common Data Format). Одно из хранилищ таких данных называется ERA5. Это не только хранилище данных, но и инструмент реанализа, предназначенный для разработки технологий исследования климатических девиаций. ERA5 содержит наборы данных по климатическим режимам за последние 6 десятилетий.

Представление данных по климатическим режимам в формате реанализа ERA5 означает, что это не только хранилище данных, но и инструмент моделирования. Данные содержат ряд параметров климатических режимов: температура, атмосферное давление, параметры осадков, влажность воздуха, и так далее. На рисунке представлен вид информации о климатических режимах и климатических моделях инструмента реанализа ERA5.

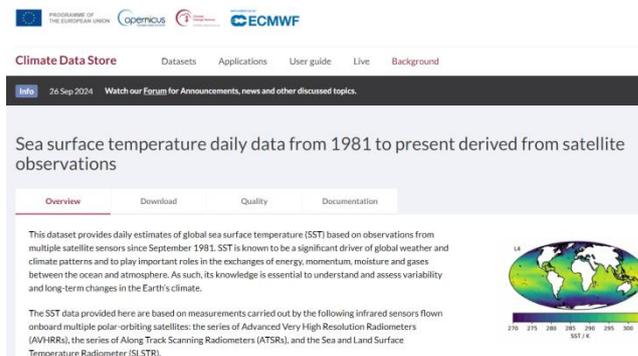


Рис. 3. Представление данных по климатическим режимам в формате реанализа ERA5

Таким образом, мы можем получить массив данных, отображающий достаточно полную информацию по климатическим режимам. Чтобы иметь возможность проведения моделирования, необходимо преобразовать формат NetCDF (Network Common Data Format) в формат, удобный для обработки с помощью инструментария языка программирования Python. Такие возможности существуют у инструмента `hugau`. Далее массив данных может быть обработан с применением возможностей библиотеки `numpy`. Разработка интеллектуальных сервисов возможна с применением моделей машинного обучения Python.

```

#This is some python code required to make everything work properly.
# We are not interested in this right now!
%matplotlib inline
# Import the tools we are going to need today:
import matplotlib.pyplot as plt # plotting library
import numpy as np # numerical library
import xarray as xr # netCDF library
import cartopy # Map projections library
import cartopy.crs as ccrs # Projections list
# Some defaults:
plt.rcParams['figure.figsize'] = (12, 6) # Default plot size
np.set_printoptions(threshold=20) # avoid to print very large arrays on screen
# The commands below are to ignore certain warnings.
import warnings
warnings.filterwarnings('ignore')
ds = xr.open_dataset('./data/ERA5-LowRes-MonthlyAvg-t2m_tp.nc')
#we read the netCDF file (ERA5_2mt_prccp.nc)
print(ds) #let's see what we have read here
    
```

Рис. 4. Фрагмент кода Python для чтения массива данных

После чтения массива климатических данных с помощью инструментария Python можно визуализировать результаты анализа климатических режимов.

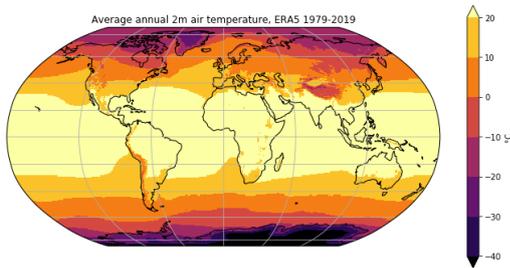


Рис. 5. Визуализация температурного режима в модели ERA5

III. РЕЗУЛЬТАТЫ

Подойдем к постановке задаче с точки зрения абстрактного представления об объекте (системе) и климатическом режиме. Для упрощения представим себе, что мы можем охарактеризовать климатический режим двумя параметрами. Такой же подход применим к рассматриваемому объекту.

Так, например, для месторождений минеральных вод такими параметрами могут быть дебит и глубина залегания. Для такой сложной системы, как человеческий организм, можно в качестве характеристик использовать частоту сердечных сокращений и показатели артериального давления. Изучаемые объекты (системы) кардинальным образом различаются, методы моделирования таких систем также отличаются, но именно подобный анализ, возможно, приведет к получению метамоделей оценки последствий климатических девиаций.

Добавим для полноты картины такие системы, как электростанции и строительные объекты. Электростанции являются объектами критической инфраструктуры, нарушение стабильной работы таких объектов недопустимо. Для строительных объектов важным представляется оценка необходимости перехода к более устойчивым материалам и технологиям.

Итак, для постановки задачи оценки последствий девиации климата предлагается разработать мета модель интеллектуальной технологии. На первом этапе решения данной задачи можно максимально упростить интеллектуальный алгоритм, но при этом провести его обучение на разных моделях девиации климата и разных моделях объектов, которые будут подвергаться воздействию. Это позволит определить эффективность выбранного алгоритма решения задачи.

После предварительной оценки результатов работы алгоритма можно заниматься усложнением задачи и выяснением особенностей каждой исследуемой системы, сначала необходимо наметить общую структуру вычислений. Изучение работы интеллектуального алгоритма с апробацией на системах разного качества и свойств может быть полезным с точки зрения определения общей структуры решения задачи.

ТАБЛИЦА I. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ДАННЫХ МЕТАМОДЕЛИ

Объекты	Параметр 1	Параметр 2
человек	пульс	давление
строение	температура поверхности стен (максимум и минимум)	температура крыши (максимум и минимум)
электростанция	наружные провода, температура (максимум и минимум)	наружные конструкции, температура (максимум и минимум)
месторождение минеральных вод	дебит	глубина залегания

С точки зрения моделирования систем человеческий организм является одной из самых сложных систем. В условиях рассматриваемой задачи утилитарное значение моделирования воздействия климатической девиации на человека является понятным и обоснованным.

Можно заранее разработать рекомендации для людей с различными заболеваниями, если представлять весь спектр возможных девиаций климатических режимов и иметь результаты оперативного контроля показателей человеческого организма.

Это отдельная важная задача, ценность решения которой является дополнительным эффектом работы метамоделей, предлагаемой в данном исследовании. Приведенный в начале работы пример с описанием резкой климатической девиации в начале марта 2025 года в Ставропольском крае, доказывает, что человеческий организм испытывает в случае резких нестандартных колебаний значительное воздействие. Последствия такого воздействия могут быть длительными и разрушительными, особенно для людей, уже имеющих нарушения здоровья.

Другая сложная система – месторождения минеральных вод. Последствия воздействия климатических изменений различны для разных групп месторождений. Для наглядной визуализации все объекты были разделены на кластер А (месторождения неглубокого залегания) и более глубоко расположенные месторождения (кластер В).

Проведенный анализ с элементами прогнозирования показал, что девиация температур вызывает значительное снижение дебита у неглубоко залегающих месторождений. Снижение дебита у месторождений глубокого залегания не является таким значительным. В определенной степени можно наблюдать восстановление дебита. Возможно, у глубоко расположенных запасов воды происходит восстановление за счет подпитки из более глубоких горизонтов, которые наполняются тающими ледниками. Рассматриваемые процессы являются более сложными, чем результаты упрощенного

анализа. Здесь мы хотим показать сам алгоритм анализа, позволяющий понять, как может быть построена мета-модель процесса.

Данные, представленные на диаграмме, являются результатом обработки исходных показателей с целью получения усредненных и нормированных показателей дебита скважин. Для получения приемлемого результата моделирования необходимо было исключить ряд нерелевантных значений, а также перевести все значения в условную шкалу, где за единицу для каждой скважины было принято максимальное наблюдаемое значение дебита. Таким образом, появилась возможность привести все данные к общей картине, позволяющей сопоставить наблюдения по разным месторождениям минеральных вод.

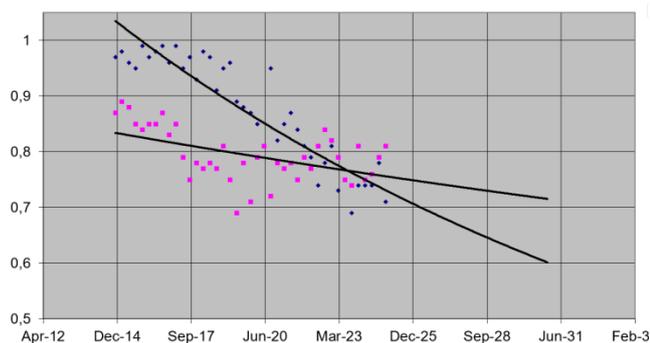


Рис. 6. Прогнозирование последствий изменения климата для разных кластеров

Даже поверхностный анализ показывает, что последствия климатических изменений и прогноз различны для рассматриваемых кластеров месторождений минеральных вод.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработано множество моделей, позволяющих оценить климатические изменения. Существуют наборы данных по климатическим режимам, специально предназначенные для обработки с помощью интеллектуальных сервисов. Здесь необходимо понять, каким образом сформированы данные по климатическим режимам в информационных системах. Важным является возможность обработки таких данных инструментами Python.

Построение мета-модели объекта с унифицированным представлением характеристик объекта позволит изучить поведение реальных объектов под воздействием климатических изменений. Унификация подхода к построению модели позволит получить более точные сведения о временном горизонте наступления критических изменений в состоянии объекта.

Изучены данные месторождений минеральных вод. Показано, как на различных кластерах месторождений отражается изменение климата. Полученные результаты позволяют предположить, что неглубоко залегающие месторождения более чувствительны к девиациям температур. В то же время более глубокие запасы воды подпитываются тающими ледниками. Таким образом, повышение температур не всегда приводит к снижению запасов воды в глубоко залегающих горизонтах.

Рассматриваемые модели показывают прогнозируемое снижение запасов воды в месторождениях минеральных вод по мере увеличения среднесезонных температур окружающей среды. Возможно, увеличение лесопосадок в геолокации, соответствующей расположению месторождения минеральных вод, позволит в определенной степени компенсировать эффект изменения климатического режима в регионе.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Выражаем благодарность проф. Першину И.М. за огромную работу в области моделирования месторождений минеральных вод региона. Работы проф. Першина И.М., посвященные системному анализу и моделированию распределенных систем, являются базовым этапом проведенных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Hersbach H., Bell B., Berrisford P., Biavati G., Horányi A., Muñoz Sabater J., Nicolas J., Peubey C., Radu R., Rozum I., Schepers D., Simmons A., Soti C., Dee D., Thépaut, J.-N. (2023): ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), DOI: 10.24381/cds.adbb2d47
- [2] Ereemeeva A.M., Ilyushin Y.V. Automation of the control system for drying grain crops of the technological process for obtaining biodiesel fuels. Scientific Reports, 13, 14956 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-41962-0>
- [3] Ilyushin Y.V., Kapostey E.I. Developing a Comprehensive Mathematical Model for Aluminium Production in a Soderberg Electrolyser. Energies 2023, 16, 6313. <https://doi.org/10.3390/en16176313>
- [4] Ignatenko A., Afanaseva O. Application of system analysis methods for the research of mining enterprise activity. 2023 Sixth International Conference of Women in Data Science at Prince Sultan University (WiDS PSU), Riyadh, Saudi Arabia, 2023, pp. 180-184, <https://doi.org/10.1109/WiDS-PSU57071.2023.00045>
- [5] Afanaseva O., Bezyukov O., Pervukhin D., Tukeev D. Experimental Study Results Processing Method for the Marine Diesel Engines Vibration Activity Caused by the Cylinder-Piston Group Operations (2023) Inventions, 8 (3), 71. <https://doi.org/10.3390/inventions8030071>
- [6] Plotnikov A.V., Trushnikov V.E., Pervukhin D.A., Shestopalov M.Y. Mathematical Simulation of the Formation Pressure Monitoring System in the Water-Drive Gas Reservoir (2023) Proceedings of 2023 26th International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2023, pp. 77-81. <https://doi.org/10.1109/SCM58628.2023.10159117>
- [7] Pershin I.M., Papush E.G., Kukharova T.V., Utkin V.A. Modeling of Distributed Control System for Network of Mineral Water Wells. Water 2023, 15, 2289. <https://doi.org/10.3390/w15122289>
- [8] Afanasev P.M., Bezyukov O.K., Ilyushina A.N., Pastukhova E.V. Development of a system for controlling the temperature field of the columns and pipelines of raw gas transportation. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 2023, 18(4), pp. 421-434
- [9] Andreichyk A., & Tsvetkov P. (2023). Study of the Relationship between Economic Growth and Greenhouse Gas Emissions of the Shanghai Cooperation Organization Countries on the Basis of the Environmental Kuznets Curve. Resources, 12(7), 80. DOI: 10.3390/resources12070080
- [10] Kazanin O.I., Sidorenko A.A., Sidorenko S.A., Ivanov V.V., Mischo H. High productive longwall mining of multiple gassy seams: best practice and recommendations Acta Montanistica Slovaca. 2022. №27. pp. 152-162. <https://doi.org/10.46544/AMS.v27i1.11>
- [11] Mishin V.V., Tcapleva V.V., Myasnikova E.V., Makarova A.A. Development of an Intelligent Information System "Smart Deposit" for Mineral Water Resource, 2023 XXVI International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), Saint Petersburg, Russian Federation, 2023, pp. 244-247, doi: 10.1109/SCM58628.2023.10159067.