

УДК 551.508(075.8)

ОЦЕНКА ИНДИКАТОРОВ КЛИМАТИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ПО СЕВЕРНЫМ РЕГИОНАМ РФ

Восканян К.Л., Иванова Т.И., Кузнецов А.Д., Никитина В.С.

ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ)»,

Санкт-Петербург, e-mail: kvosia@mail.ru, ivanowat04@gmail.com,

kuznetsov1946@inbox.ru, victoriaflint01@gmail.com

В работе приводится анализ использования среднегодовой температуры воздуха и среднегодовых сумм осадков в качестве индикаторов климатических изменений по северной части Российской Федерации. Регионом для проведения исследования была выбрана северная область Европейской территории Российской Федерации, преимущественно Заполярье, что связано с большим потенциалом данного региона как в экономической, так и в других сферах развития Российской Федерации. С использованием алгоритма, ранее апробированного авторами в других публикациях, определяются моменты времени смены параметров временных трендов (положение точки бифуркации) температуры и осадков на восемнадцать метеорологических станциях. Найденные точки бифуркации указывают на время наступления климатических изменений. Выполнен кластерный анализ выбранных станций по дате наступления точек бифуркации, указывающей на переломный момент в характере поведения климатических процессов. Выделены две группы станций с синхронными изменениями характера поведения климатических процессов. Исследованы закономерности между временным ходом среднегодовых температур воздуха и географическим положением пункта наблюдения за климатической величиной, а также даны рекомендации по использованию выявленных закономерностей при прогнозировании климатических изменений в северных регионах РФ.

Ключевые слова: изменение климата, индикаторы климатических изменений, точка бифуркации, тренд, среднегодовая температура воздуха, среднегодовые суммы осадков

ASSESSMENT OF CLIMATE STABILITY INDICATORS FOR THE NORTHERN REGIONS OF THE RUSSIAN FEDERATION

Voskanyan K.L., Ivanova T.I., Kuznetsov A.D., Nikitina V.S.

Russian State Hydrometeorological University (RSHU), Saint-Petersburg, e-mail: kvosia@mail.ru,

ivanowat04@gmail.com, kuznetsov1946@inbox.ru, victoriaflint01@gmail.com

The paper provides an analysis of using of the average annual air temperature and average annual precipitation as indicators of climate change in the northern part of the Russian Federation. The northern region of the European territory of the Russian Federation, mainly the Arctic, was chosen as the region for the study, which is associated with the great potential of this region both in the economic and other areas of development of the Russian Federation. Using an algorithm previously tested by the authors in other publications, the moments of change in the parameters of time trends (position of the bifurcation point) of temperature and precipitation at eighteen meteorological stations are determined. The found bifurcation points indicate the time of onset of climate change. A cluster analysis of the selected stations was performed according to the date of occurrence of bifurcation points, indicating a turning point in the behavior of climatic processes. Two groups of stations with synchronous changes in the nature of the behavior of climatic processes are distinguished. Regularities between the temporal course of average annual air temperatures and the geographical location of the observation point for the climatic value are studied, and recommendations are given on the use of the identified regularities in predicting climate change in the northern regions of the Russian Federation.

Keywords: climate change, indicators of climate change, bifurcation point, trend, average annual air temperature, average annual precipitation

Исследование временной изменчивости климатических параметров в настоящее время имеет большое значение, поскольку играет важную роль в планировании хозяйственной деятельности и в обеспечении безопасности жизнедеятельности населения. После детального анализа поведения климатических характеристик в каждом из конкретных пунктов могут быть сделаны значимые выводы относительно современной изменчивости климата, вследствие чего популярная в настоящее время теория о глобальном потеплении, вероятно, может быть поставлена под сомнение.

Момент наступления изменения характера протекания климатического процесса в том или ином районе можно выявить с помощью рассматриваемого в работе авторов [1, 2] алгоритма определения положения ступенчатых переходов от одного стационарного состояния к другому. В этом случае появляется возможность детального рассмотрения дат климатических изменений в различных пунктах территории РФ (в данной работе эти даты интерпретируются как точки бифуркации), которые могут не совпадать как между собой даже в весьма близких регионах, так и с глобальными тенденциями.

Цель данной работы состоит в исследовании региональной изменчивости среднегодовых сумм осадков в северных регионах Российской Федерации, оценке значимости данного параметра в качестве индикатора климатических изменений, а также в оценке целесообразности совместного использования среднегодовых сумм осадков и среднегодовой температуры воздуха в качестве индикаторов изменения климата.

Задачи данной работы:

1. Создать архив данных среднегодовых сумм осадков на выбранных станциях;

2. С использованием методики, разработанной в публикациях [1, 2], провести статистическую обработку многолетних рядов сумм осадков, позволяющую оценить тенденции изменения данного климатического параметра;

3. Проанализировать полученные результаты на предмет интерпретации их как индикаторов климатических изменений в исследуемой области;

4. Провести сравнительный анализ использования двух климатических параметров – среднегодовых сумм осадков и среднегодовой температуры воздуха в качестве индикаторов климатических изменений.

Оценка поведения особенностей временных трендов может быть произведена с помощью различных подходов. (см., например, [3-6]). В основе использованного в данной работе алгоритма для определения положения точки бифуркации лежит сравнение между собой различных отрезков временного ряда. Эта задача решается с помощью замены отрезков временного ряда одной из их математических моделей. В качестве таких моделей могут использоваться полиномы разных степеней (начиная с нулевой степени и т. д.). При таком способе каждая степень полинома определяет геометрическую форму отрезков временного ряда от одной точки бифуркации до другой. В данной работе используется полином 1-й степени, поскольку в исследованиях, проводившихся ранее [4, 5], для определения положения точки бифуркации во временных рядах было рекомендовано использование полиномов от 1-й до 3-й степеней. Алгоритм нахождения точек бифуркации временного ряда представлен в других работах авторов [1, 2].

В работе [1] с помощью интернет-хранилища метеорологических данных [7] был создан архив и проведён анализ наступления точек бифуркации временных рядов среднегодовых температур воздуха по станциям северных, в том числе

заполярных регионов Российской Федерации (всего в работе использовалось 17 станций). По результатам кластерного анализа было выявлено существование 6 пунктов (метеорологических станций), расположенных в непосредственной близости друг от друга, в одном и том же климатическом регионе, где точка бифуркации наблюдалась практически в один и тот же временной промежуток, а именно в 1941-1942 гг.

Даты наступления точек бифуркации на выбранных станциях

Название станции	Дата наступления точки бифуркации
Кандалакша	1941
Кемь	1942
Онега	1942
Верёбье	1941
Архангельск	1942



Рис. 1. Географическое расположение исследуемых станций. Иллюстрируется близость расположения пунктов с одинаковыми датами наступления точек бифуркации

В качестве вспомогательного инструмента для определения даты наступления точки бифуркации и характера поведения временных рядов использовалась графическая визуализация временного хода исследуемой величины (температуры) и метрики (параметра) SS, позволяющей с определённой точностью устанавливать даты наступления точек бифуркации. Значимость использования данной метрики более подробно описана в работе [1].

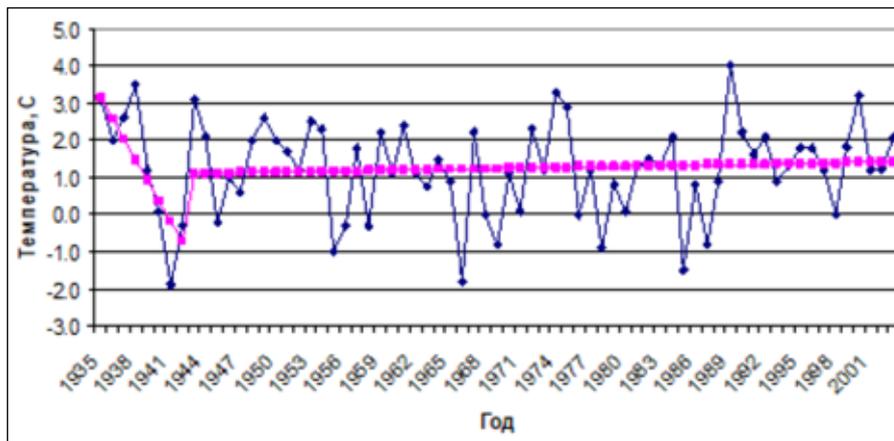


Рис. 2. Пример визуализации временного ход среднегодовых значений температуры на станции Кемь (синяя кривая) и кривая его аппроксимации полиномом первой степени (розовая кривая). Момент наступления точки бифуркации определяется характерным ступенчатым изломом кривой аппроксимации

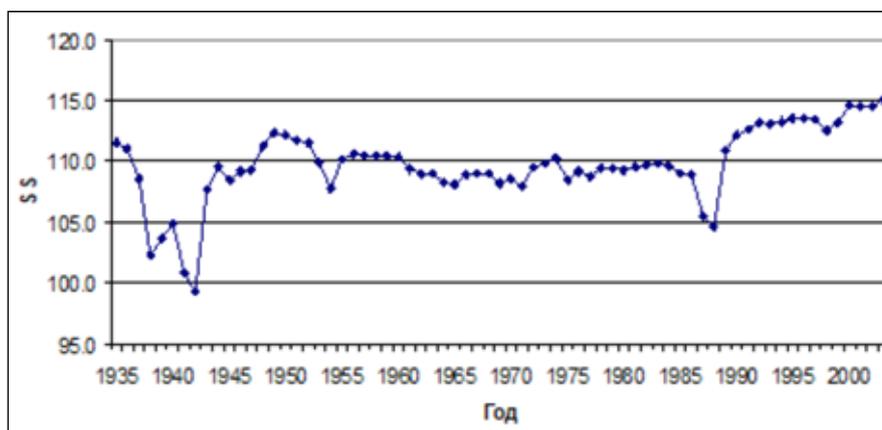


Рис. 3. Пример визуализации распределения метрики SS для станции Кемь (использован полином первой степени). Дату наступления точки бифуркации определяет минимум кривой параметра SS

После графического представления аналогичных данных по всем шести станциям, был сделан вывод о том, что несмотря на одинаковые даты наступления точки бифуркации, местные климатические особенности на каждой станции всё же накладывают определённый отпечаток на поведение климатически характеристик на этих станциях. Исходя из этого, можно отметить важность исследования как глобальных, так и региональных климатических процессов на данной территории. Поскольку дата наступления точки бифуркации приходится практически на одни и те же даты по всем шести станциям, это говорит о том, что глобальная циркуляция в данной местности, в общем и целом, одна и та же – изменение характера климатических процессов

по всем станциям наступает в определённое время. Однако, ввиду различных региональных условий, поведение кривых временного хода среднегодовой температуры принципиально различается на каждой отдельно взятой станции. Так, рост температуры после наступления точек бифуркации наблюдался только на двух станциях – Кандалакша и Усть-Цильма, тогда как на всех остальных станциях наблюдалось падение. Это можно объяснить особенностями местной орографии, местных ветровых систем, а также различной численностью населения в каждом регионе.

Представляет интерес провести аналогичные исследования для выбранных шести станций с использованием другой климатической характеристики – среднегодовых

сумм осадков и оценить целесообразность использования данной характеристики в качестве индикатора изменения климата, а также выяснить, является ли данный индикатор подтверждающим для аналогичного синхронного изменения характера климата для конкретной области.

Для формирования архива данных использовалось интернет-хранилище [7], а обработка данных аналогично производилась по методике, представленной в работах ав-

торов [1, 2]. Была проведена графическая визуализация временных рядов среднегодовых сумм осадков по каждой из станций, а также параметра SS, указывающего на положение точки бифуркации.

Поскольку в определении наступления точки бифуркации главенствующую роль играет метрика SS (а именно, минимальное значение, которая она принимает), то целесообразно рассмотреть её временной ход для каждой из исследуемых шести станций.

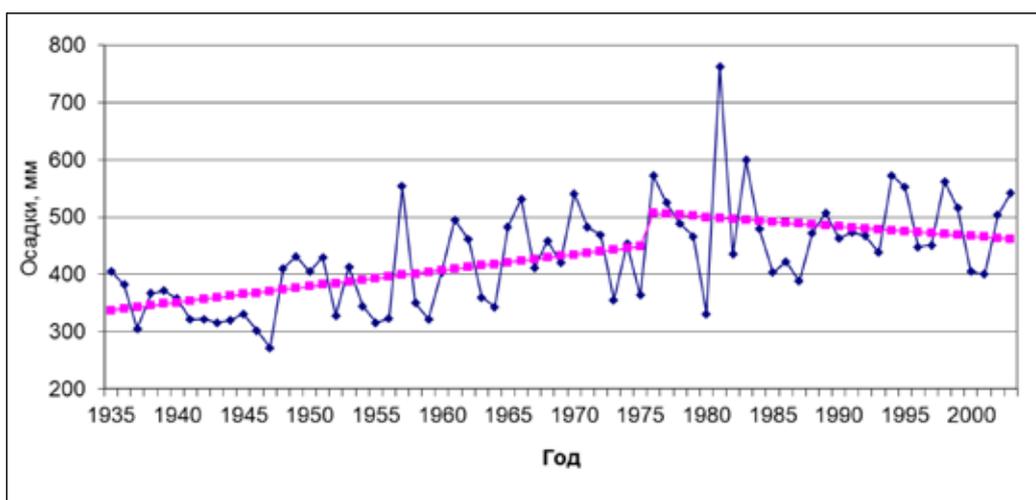


Рис. 4. Пример визуализации временного ход среднегодовых значений сумм осадков на станции Кемь (синяя кривая) и кривая его аппроксимации полиномом первой степени (розовая кривая). Момент наступления точки бифуркации определяется характерным ступенчатым изломом кривой аппроксимации

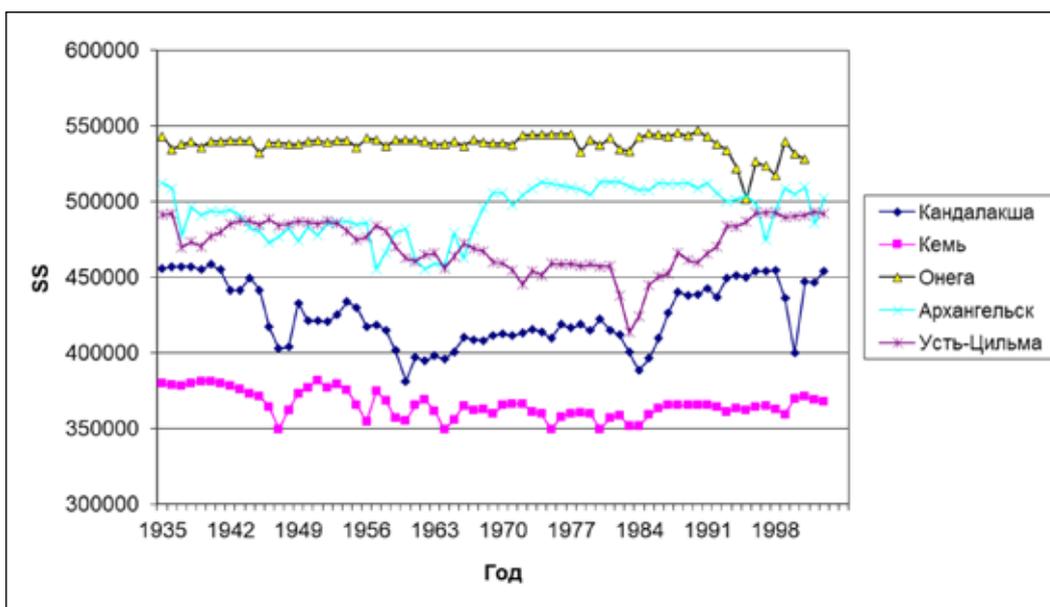


Рис. 5. Графическая визуализация временного хода параметра SS для среднегодовых сумм осадков на исследуемых станциях

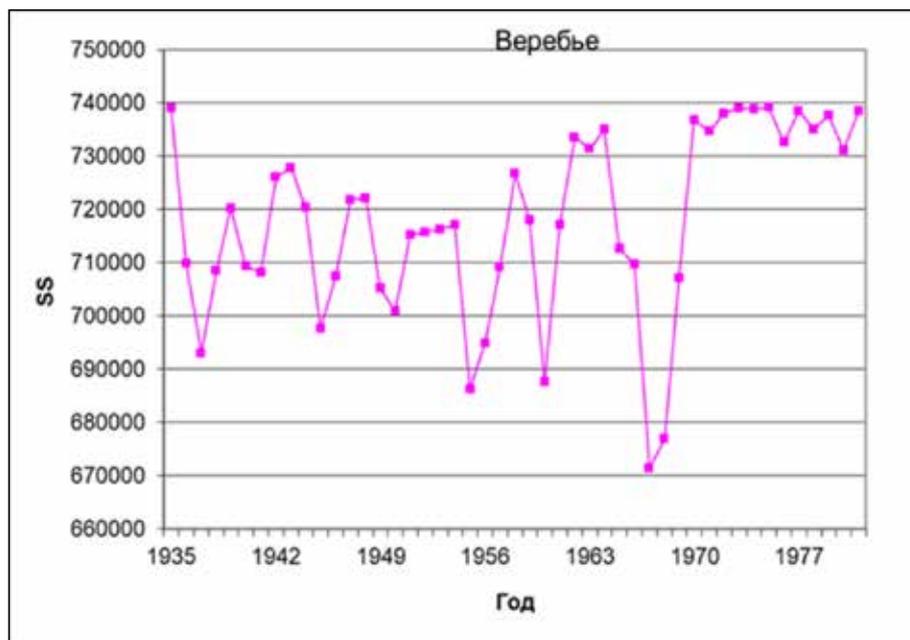


Рис. 6. Графическая визуализация временного хода параметра SS для среднегодовых сумм осадков на исследуемой станции Веребье

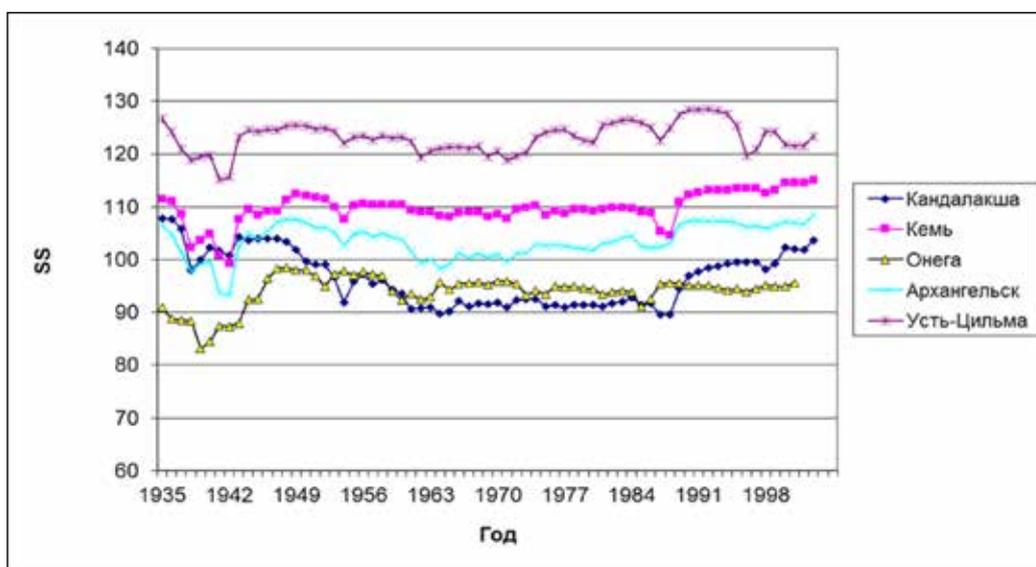


Рис. 7. Графическая визуализация временного хода параметра SS для среднегодовой температуры воздуха на исследуемых станциях

Анализируя кривые параметра SS (рис. 5), можно отметить присутствие глобальных минимумов в каждом из пунктов, что соответствует смене господствующих климатических процессов по конкретной области. Интересно отметить также факт присутствия локальных минимумов, которые при ещё более детальном исследовании могут оказаться точками бифуркации. Однако, представляет

интерес сравнить показатели метрики SS для временного хода среднегодовой температуры воздуха и для среднегодовых сумм осадков. Такое сравнение может оказаться полезным для выявления связи между двумя выбранными климатическими параметрами и для решения о целесообразности рассмотрения данных величин в совокупности при разработке прогноза погоды и климата.

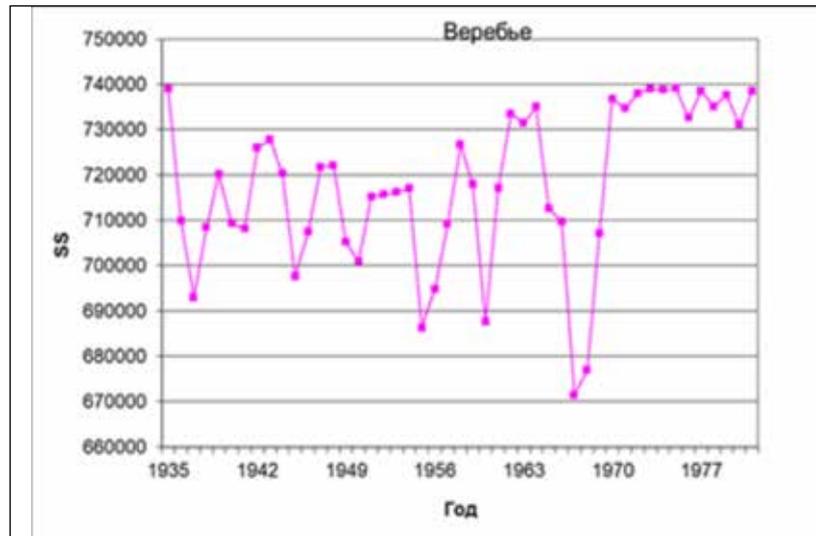


Рис. 8. Графическая визуализация временного хода параметра SS для среднегодовых сумм осадков на исследуемой станции Веребье

По результатам исследования, можно сделать вывод, что даты наступления переломного момента в климатической циркуляции для выбранных пунктов совершенно различны для среднегодовой температуры воздуха и для среднегодовых сумм осадков. Отсюда следует, что делать вывод о однозначной связи между этими двумя климатическими параметрами нельзя, однако стоит обратить внимание на поведение параметра SS на станции Кандалакша (рис. 5, 7) – в данном случае глобальный минимум метрики SS приходится на один и тот же год, следовательно, точка бифуркации в таком случае совпадает. Такое синхронное поведение двух климатических характеристик может быть связано с уникальным географическим положением станции Кандалакша, отличающим её от всех остальных пунктов – практически полуостровное расположение за Полярным кругом, вблизи водных объектов.

Такие неоднозначные выводы о связи между среднегодовыми суммами осадков и среднегодовой температурой воздуха в одном и том же регионе могут следовать из гораздо большей чувствительности осадков к малейшим изменениям в климатической циркуляции.

Результаты данной работы могут быть использованы в самых различных отраслях человеческой деятельности – в сельском и коммунальном хозяйстве, при водоснабжении труднодоступных регионов заполярья, а также для оценки экономических

рисков освоении новых территорий. Кроме того, полученные количественные характеристики имеющихся в настоящее время тенденций могут быть использованы при прогнозе состояния вечной мерзлоты, опасных метеорологических и гидрологических явлений на территории севера Российской Федерации.

Список литературы

1. Восканян К.Л., Иванова Т.И., Кузнецов А.Д., Никитина В.С., Сероухова О.С., Симакина Т.Е. Оценка климатической стабильности в северной части европейской территории РФ // Дни Арктики в Санкт-Петербурге-2021: Международное сотрудничество в эпоху изменения климата: сборник трудов международной научно-практической конференции. СПб., 2021. С. 42-43.
2. Кузнецов А.Д., Саенко А.Г., Сероухова О.С., Симакина Т.Е. Алгоритмы поиска момента смены тренда во временных рядах метеорологических величин // Вестник Тверского государственного университета. Серия «Прикладная математика». 2019. № 3. С. 74-89.
3. Сажин Ю.В., Иванова И.А. Эконометрика: учебник. Саранск: изд-во Мордов. гос. ун-та, 2014. 316 с.
4. Yvonne M., Outa G., Olago D., Opondo M. Trends in climate variables (temperature and rainfall) and local perceptions of climate change in Lamu, Kenya // Geography, Environment, Sustainability. 2020. Vol. 13. No. 3. P. 496-504.
5. Khomsi K., Mahe G., Trambly Y., Sinan M., Snoussi M. Trends in rainfall and temperature extremes in Morocco. Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions. 2015. Vol. 3. No. 2. P. 1175–1201.
6. Asfaw A., Simane B., Hassen A., Bantider A. Variability and series trend analysis of rainfall and temperature in north-central Ethiopia: A case study in Woleka sub-basin // Weather and Climate Extremes. 2018. Vol. 19. P. 29-41.
7. Термограф. Интернет-хранилище временных рядов метеорологических величин. [Электронный ресурс]. URL: <http://thermograph.ru/> (дата обращения: 15.10.2021).