Информация об авторах

Корженевский Борис Игоревич, старший научный сотрудник ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова», (127434, Россия, Москва, ул. Большая Академическая, 44, корп. 2), кандидат геолого-минералогических наук. Тел.: +7(965)302-14-99, E-mail: 542609@list.ru. ORCID 0000-0001-7663-9677. ScopusID 57195526993

Толкачев Глеб Юрьевич, старший научный сотрудник ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова», (127434, Россия, Москва, ул. Большая Академическая, 44, корп. 2), кандидат географических наук. Тел.: +7(916)972-94-12, E-mail: k-26@yandex.ru. ORCID 0000-0001-6983-7106

Коломийцев Николай Владимирович, ученый секретарь ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова», (127434, Россия, Москва, ул. Большая Академическая, 44, корп. 2), кандидат геолого-минералогических наук. Тел.: +7(977)174-97-17, E-mail: kolomiytsev@vniigim.ru. ORCID 0000-0001-8169-7644. ScopusID 6505900441

Ильина Тамара Андреевна, ведущий научный сотрудник ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова», (127434, Россия, Москва, ул. Большая Академическая, 44, корп. 2), кандидат биологических наук. E-mail: ristolanin@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2021-03-44

SEASONAL AND LONG-TERM FEATURES OF SURFACE TEMPERATURE IN THE CITIES OF THE DRY ZONE

(on the example of cities in the south-east
of the European part of Russia and Western Kazakhstan)

O.Yu. Kosheleva¹, S.S. Shinkarenko^{1,2}, O.A. Gordienko¹,
R.S. Omarov⁴, A.A. Dubacheva³

¹*Federal Research Centre of Agroecology, Amelioration and Protective Afforestation
of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russia*

²*Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

³*Volgograd State University, Volgograd, Russia*

⁴*Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia*

Received 03.06.2021

Submitted 05.08.2021

The work was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research and the Administration of the Volgograd region in the framework of the scientific project No. 19-45-343001 using the infrastructure of the Collective Use Center "ICI-Monitoring" [9] and the capabilities of the Vega information service [2].

Summary

The article presents the results of comparing seasonal and long-term (20-year period) features of the earth's surface temperature in the cities of the arid zone of Russia and Kazakhstan to obtain information about the influence of natural meteorological factors and anthropogenic conditions, such as the degree of sealing and greening on the formation of the "urban heat island" effect on a regional scale.

Abstract

Introduction. The artificial anthropogenic environment of modern cities greatly changes the surface temperature in comparison with natural landscapes. The presence of a large amount of spatial information allows you to compare different cities with each other, to investigate how strongly anthropogenic factors, in particular, the degree of sealing of the surface, affect the long-term course of temperature. **Object.** The research area is a region at the junction of the south-east of the European part of Russia and north-west Kazakhstan, located between 43° and 51° north latitude, 44° and 51° east longitude. In this area, 8 cities are selected – Saratov, Volgograd, Elista, Astrakhan, Makhachkala, Uralsk, Atyrau, Aktau. **Materials and methods.** The study is based on arrays of statistically processed data on the day and night temperatures of the earth's surface, obtained by the MODIS radiometer for the period from 2000 to 2020. Data on the degree of sealing and greening of urban areas were obtained during

the decoding of Sentinel-2 satellite images. **Results and conclusion.** The classification of land use types based on Sentinel-2 satellite images revealed similarities and differences in the studied cities in terms of such indicators as the proportion of green and sealed surfaces, water bodies and agricultural land. The analysis showed a high proportion of sealed surfaces (six cities out of eight have this indicator over 30%). The group of the studied cities is carried out according to the features of the seasonal and long-term course of the daily maximum temperature. The latitudinal dependence of the nighttime temperature maxima, which increase when moving from north to south, is established. A comparison of the nighttime maxima of surface temperature with the degree of sealing of cities allowed us to conclude that the level of sealing in 40% and above is critical and contributes to the strengthening of the "heat island" over the city at night. It is revealed that as we move deeper into the continent, the uncertainty in predicting the date of the maximum daily surface temperature of cities increases.

Key words: *earth surface temperature, MODIS, Terra, Aqua, urban heat island, underlying surface, soil sealing, landscaping, Astrakhan, Aktau, Atyrau, Volgograd, Makhachkala, Saratov, Uralsk, Elista.*

Citation. Kosheleva O.Yu., Shinkarenko S.S., Gordienko O.A., Omarov R.S., Dubacheva A.A. Seasonal and long-term features of surface temperature in the cities of the dry zone (on the example of cities in the south-east of the European part of Russia and Western Kazakhstan). *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2021. 3(63). 426-439. (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2021-03-44.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 551.588.7(528.873.041.3)

СЕЗОННЫЕ И МНОГОЛЕТНИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ В ГОРОДАХ ЗАСУШЛИВОЙ ЗОНЫ (на примере городов юго-востока европейской части России и Западного Казахстана)

О. Ю. Кошелева¹, кандидат сельскохозяйственных наук
С. С. Шинкаренко^{1,2}, кандидат сельскохозяйственных наук
О. А. Гордиенко¹, младший научный сотрудник
Р. С. Омаров⁴, аспирант
А. А. Дубачева³

¹Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного
лесоразведения РАН, г. Волгоград

²Институт космических исследований РАН, г. Москва

³Волгоградский государственный университет, г. Волгоград

⁴Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

Дата поступления в редакцию 03.06.2021

Дата принятия к печати 05.08.2021

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Волгоградской области в рамках проекта № 19-45-343001 (для территории Волгограда), а также в рамках государственного задания ФНЦ агроэкологии РАН (остальные города) с использованием инфраструктуры Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» [9] и возможностей информационного сервиса Вега [2]

Актуальность. В статье представлены результаты сравнения сезонных и многолетних (20-летний период) особенностей температуры земной поверхности в городах засушливой зоны России и Казахстана для получения информации о влиянии естественных метеорологических факторов и антропогенных условий, таких как степень запечатанности и озеленение, на формирование эффекта «городского острова тепла» в региональном масштабе. **Объекты.** Территория исследования – регион на стыке юго-востока европейской части России и северо-западного Казахстана, расположенный между 43° и 51° с.ш., 44° и 51° в.д. На данной территории выбраны 8

городов: Саратов, Волгоград, Элиста, Астрахань, Махачкала, Уральск, Атырау, Актау. **Материалы и методы.** Исследование основано на массивах статистически обработанных данных о дневных и ночных температурах земной поверхности, полученных радиометром MODIS за период с 2000 по 2020 год. Данные о степени запечатанности и озеленения городских территорий получены в ходе дешифрирования космических снимков Sentinel-2. **Результаты и выводы.** В ходе классификации типов использования земель по космическим снимкам Sentinel-2 выявлены сходство и различие изучаемых городов по таким показателям, как доля озелененных и запечатанных поверхностей, водных объектов и сельскохозяйственных угодий. Анализ показал высокую долю запечатанных поверхностей (шесть городов из восьми имеют данный показатель свыше 30 %). Проведена группировка изучаемых городов по особенностям сезонного и многолетнего хода дневного максимума температур. Установлена широтная зависимость ночных максимумов температуры, которые увеличиваются при движении с севера на юг. Сопоставление ночных максимумов температуры поверхности со степенью запечатанности городов позволило сделать вывод о том, что уровень запечатанности в 40 % и выше является критическим и способствует усилению «теплового острова» над городом в ночное время. Выявлен факт того, что по мере продвижения в глубь континента увеличивается неопределенность в прогнозировании даты наступления максимальной дневной температуры поверхности городов.

Ключевые слова: температура поверхности, MODIS, Terra, Aqua, городской остров тепла, подстилающая поверхность, запечатанность почв, озеленение городских территорий.

Цитирование. Кошелева О. Ю., Шинкаренко С. С., Гордиенко О. А., Омаров Р. С., Дубачева А. А. Сезонные и многолетние особенности температуры поверхности в городах засушливой зоны (на примере городов юго-востока европейской части России и Западного Казахстана). *Известия НВ АУК*. 2021. 3(63). 426-439. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-03-44.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Искусственная антропогенная среда современных городов сильно изменяет температуру поверхности в сравнении с естественными природными ландшафтами. За счет значительного снижения альбедо покрытий из асфальта и бетона происходит накопление тепла на территории города, которое может увеличивать температуру на 3-5 °С по сравнению с пригородными территориями. Это явление получило название «городской остров тепла» и оно, как уже установлено многочисленными исследованиями [3, 7, 10, 12-14], несет в себе потенциально неблагоприятные последствия для жизни и деятельности горожан. Именно поэтому изучение региональных изменений температуры земной поверхности и их статистических характеристик представляет большой научно-практический интерес.

Сегодня процесс исследования температуры земной поверхности в региональном масштабе облегчен за счет наличия банков данных теплового инфракрасного дистанционного зондирования. Использование тепловых снимков таких систем, как, например, MODIS, дает значительные преимущества: высокую повторяемость съёмки и значительный охват территории. Наличие большого количества такой пространственной информации позволяет сравнивать различные города между собой, исследовать, насколько сильно влияют антропогенные факторы, в частности степень запечатанности поверхности, на многолетний ход температуры, а также установить, всегда ли температура земной поверхности увеличивается с широтой местности и где проходит гипотетическая граница между засушливой и незасушливой зонами. Для ответов на эти вопросы была поставлена цель – сравнить температурный режим городской поверхности в 8 крупных городах России и Казахстана за последние 20 лет.

Объект исследования. В качестве ареала исследования выбран юг Восточно-Европейской равнины – регион, охватывающий территорию юго-востока европейской части России и Западного Казахстана. 5 российских (Саратов, Волгоград, Элиста, Астрахань, Махачкала) и 3 казахских города (Уральск, Атырау, Актау), расположенные в пространстве между 43° и 51° с.ш., 44° и 51° в.д., лежат на стыке природных зон степей и пустынь. 4 из них – Астрахань и Махачкала, Атырау и Актау – приурочены к берегам крупнейшего внутреннего водоема Евразии – Каспийского моря, влияние которого достаточно ограничено, заметно лишь в узкой полосе побережья и выражается в небольшом смягчении климата, особенно в зимние месяцы, понижении температуры в летние месяцы, а также в уменьшении годовых и суточных амплитуд температуры воздуха [1].

Все города расположены в южной части умеренного континентального климата. Средняя температура воздуха колеблется от +7,1 °С в Саратове до +15,2 °С в Актау. Согласно климатическому районированию Саратов, Уральск и Волгоград, расположены в пределах степной зоны, в Атлантико-континентальной европейской климатической области, для которой характерна сумма температур воздуха выше 10 °С, равная 2600-3200 °С. Элиста, Астрахань и Атырау принадлежат континентальной восточно-европейской климатической области с суммой температур 2800-3400°С и относятся к зоне полупустынь и пустынь. Город Актау находится в пределах континентальной северо-туранской климатической области (сумма температур выше 10 °С – 2400-3000), в зоне пустынь. Махачкала расположена в горной климатической области Большого Кавказа, где изменение климатических условий происходит с высотой и в зависимости от ориентации склонов.

В рассматриваемых нами городах в годовом ходе температуры поверхности самым теплым месяцем является июль. И если зимой в таких городах, как Астрахань, Актау, Атырау и Махачкала, больше проявляются особенности морского климата, то летом для этих городов, наоборот, более характерны черты континентального климата, в котором годовой максимум температуры наблюдается в июле. Годовые максимумы температур воздуха, по данным местных метеостанций, в рассматриваемых городах приходятся в основном на конец июля – начало августа.

Материалы и методы. Для определения температуры земной поверхности в городах использовались 8-дневные продукты MOD11A2 и MYD11A2 радиометра MODIS (спутники Terra и Aqua соответственно) с Интернет-ресурса <https://search.earthdata.nasa.gov> за период 2000-2020 гг. Данные спутники отличаются временем пролета: Terra снимает примерно в 9-11 утра и вечера, Aqua – в 12-14 часов днем и 12-2 часа ночи. Территория исследований охватывается четырьмя гранулами MODIS: h20v04, h21v04, h20v03 и h21v03. Спутниковые изображения указанных космических аппаратов получаются ежедневно, но из-за облачности временное разрешение использованных продуктов ниже – 8 дней. Это связано с усреднением и заполнением пропусков в данных, вызванных облачностью и артефактами.

Средневзвешенные значения температуры поверхности в административных границах городов определялись арифметическим взвешиванием с использованием площади в качестве веса (т.к. при пересечении пикселей MODIS слоев-маской административных границ площади граничных пикселей изменились, соответственно нельзя использовать количество или частоту пикселей с тем или иным значением):

$$\overline{LST} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i LST_i}{\sum_{i=1}^n S_i},$$

где: $\overline{LST}$ – средневзвешенное значение температуры поверхности, S_i – площадь i -й ячейки, LST_i – значение температуры поверхности в i -й ячейке.

Территории городов были разделены по типам подстилающей поверхности: водные объекты, пустыри и открытая почва, озеленение (газоны, орошение, древесно-кустарниковая растительность и т.п.), запечатанные поверхности. Определение типа земного покрова основывалось на автоматической обучаемой классификации спутникового изображения Sentinel 2 на август 2018 г. Подобный методический подход уже применялся для территории Волгоградской агломерации [6, 8, 11]. По всем городам были определены сезонный ход температуры поверхности (дневной и ночной), а также среднемноголетний максимум температур и дата его наблюдения. Слой административных границ создан по данным Open Street Map (data.nextgis.com). Геоинформационная обработка осуществлялась в программе QGIS, статистический анализ выполнен в Microsoft Office Excel.

Результаты и обсуждение. Эффект урбанизации, помимо естественных климатических факторов, оказывает влияние на характерный для данного района ход метеорологических величин, поэтому сравнительную характеристику городов целесообразно начать с классификации типов использования земель в результате дешифрирования космических снимков Sentinel-2 (рисунок 1).

Рисунок 1 – Распределение категорий земель в городах-объектах исследования (в % от площади города)

Figure 1 – Distribution of land categories in the cities-objects of the study (in % of the city area)

Распределение по четырем категориям земель – озелененные и запечатанные поверхности, водные объекты и сельскохозяйственные угодья (включая пустыри) – показывает высокую долю запечатанных поверхностей, свыше 30% таких земель имеют 6 городов из 8, что, в целом, и должно соответствовать тенденциям развития крупных промышленных центров. Доля водных объектов – понятие достаточно относительное: в данную категорию попали объекты, вошедшие в официальные границы города (реки, пруды, водохранилища), однако для Махачкалы и Актау, расположенных на побережье Каспийского моря, этот показатель не имеет большого смысла. Единственный город, для которого проблема благотворного влияния водоемов актуальна – это Элиста, в границах которой не расположено ни одного крупного водоема.

Доля озелененных пространств колеблется от 28 % в степном Саратове до 3-5 % в пустынных Атырау и Актау. Как позволили установить исследования, в летний период существует высокая отрицательная связь доли растительности с температурой поверхности: чем больше зеленой растительности, тем ниже температура. То есть растительность за счет теневого эффекта и транспирации оказывает охлаждающее действие на окружающее пространство [11]. Учитывая данное влияние, возможность снижения негативных явлений «городского острова тепла» есть, пожалуй, только у Саратова. При этом, однако, необходимо учитывать пространственное размещение зеленых насаждений по территории города.

Ощутимые различия в распределении категорий земель в изучаемых городах иногда обусловлены рельефом местности. Относительно низкая доля богарной пашни и пустырей в границах Астрахани объясняется расположением города на островах дельты Волги. Возможно, в силу динамичности пойменно-дельтового рельефа, город имеет самую высокую долю запечатанных поверхностей (49 %).

Сезонный ход дневного максимума температур по данным спутников Terra и Aqua из-за 2-3 часового различия во времени съемки имеет одинаковую форму кривой, но отличается на 2-3°C (рисунки 2, 3).

Рисунок 2 – Сезонный ход дневной температуры поверхности в городах по данным Terra MODIS

Figure 2 – Seasonal course of the daily surface temperature in cities according to Terra MODIS

Однако в обоих случаях начиная с апреля города делятся на 3 группы:

- 1) Саратов;
- 2) Уральск, Волгоград, Астрахань, Махачкала;
- 3) Элиста, Атырау, Актау.

Для Саратова характерна самая нижняя кривая хода дневного максимума температур. Разница в температурах с ближайшими к нему городами Уральском и Волгоградом в период с апреля по октябрь составляет 3,8-5,4 °С. В июле дневной максимум температуры поверхности в Саратове достигает 30,3 °С по данным Terra и 31,6 °С – по данным Aqua. Только ранней весной и поздней осенью показатели Саратова и Уральска выравниваются.

Вторая группа, состоящая из Уральска, Волгограда, Астрахани и Махачкалы отражена на графике группой «средних» кривых. Особенно это хорошо заметно в период с мая по август. Диапазон июльских максимумов для этой группы составляет 34,3-37,8 °С по данным Terra и 35,8-39,9 °С – по данным Aqua.

Элиста, Атырау и Актау демонстрируют самые высокие значения максимумов температуры городской поверхности с апреля по октябрь. В конце июля – начале августа значения данного показателя достигают 41,2-42,1 °С по данным Terra и 43,8-45,2 °С – по данным Aqua.

Рисунок 3 – Сезонный ход дневной температуры поверхности в городах по данным Aqua MODIS

Figure 3 – Seasonal course of the daily surface temperature in cities according to Aqua MODIS

Среди всех городов выделяется Махачкала, которая всё лето демонстрирует показатели дневного максимума температуры поверхности, сопоставимые с более северными городами – Волгоградом и Астраханью, а с сентября по май приближается к значениям города Актау, с которым расположена практически на одной широте. Это явление, на наш взгляд, можно связать с эффектом потепления Каспийского моря, смягчающего температуры в зимний период и увеличивающего их в летний период. По данным NASA Giovanni online data system, использующей измерения радиометра MODIS спутника Aqua, установ-

лено, что в 2003–2017 гг. положительные тренды температуры поверхности моря в Северном (Астрахань, Атырау) и Среднем Каспии (Махачкала, Актау) оказались равными 0,050 и 0,067 °C/год соответственно. При таких трендах температура поверхности моря этих районов за 15 лет увеличилась, соответственно на 0,75 и 1,01 °C [4, 5].

Сезонный ход ночного максимума температуры поверхности, аналогично с дневным, отличается на 0,5–2,5 °C, поэтому на рисунке 4 отражен только ход температуры поверхности по данным Тегга. Этот график интересен тем, что, как правило, наибольшая интенсивность острова тепла в суточном ходе наблюдается в первой половине ночи, а наименьшая — в середине дня. В случае если условия способствуют развитию городского острова тепла, то максимальное различие температуры, как правило, отмечается через 2–3 часа после захода Солнца и сохраняется вплоть до его восхода, что увеличивает минимальную температуру в самые утренние часы [7, 8]. Как и сезонный ход дневных максимумов температур, ход ночных температур для всех городов имеет форму перевернутой параболы с пиком в летние месяцы. Однако распределение городов по температурному диапазону практически соответствует широтному расположению городов – ночные максимумы температуры поверхности увеличиваются при движении с севера на юг: самыми теплыми в ночные часы являются поверхности Актау и Махачкалы, самыми прохладными – Уральска и Саратова. При этом в период с мая по июль, в период установления жаркой погоды на большей части юго-востока европейской части, между городами наблюдается совсем небольшой разбег ночных максимумов на одну и ту же дату – 3,5–4,1 °C. Ранней весной и осенью этот диапазон начинает увеличиваться. Например, на дату 14 марта разница между Махачкалой и Уральском составляет 10,9 °C, на дату 8 октября – 14,4 °C, что более соответствует территориальной разобщенности городов.

Рисунок 4 – Сезонный ход ночной температуры поверхности в городах по данным Terra MODIS

Figure 4 – Seasonal course of the night-time surface temperature in cities according to Terra MODIS

Для Астрахани и Актау заметна связь между ночными максимумами поверхности и степенью запечатанности. В обоих городах степень запечатанности городской поверхности превышает 40 % от общей площади города и здесь наблюдаются самые высокие показатели ночных температур. Для остальных городов подобную связь выявить не удалось, что позволяет предположить, что уровень запечатанности в 40 % и выше является критическим и способствует образованию выраженного «теплового острова» над городом в ночное время.

Анализ многолетней динамики максимальной дневной температуры поверхности за 20-летний период (рисунок 5) демонстрирует такое же распределение городов по трем группам, как и в случае с сезонным ходом дневных максимумов температуры поверхности.

Самый нижний график отражает температурные колебания по годам в городе Саратове, диапазон температур здесь изменялся от 29,7 °C в 2003 году до 38,3 °C в 2010 году.

Группа «середнячков» – Уральск, Волгоград, Астрахань и Махачкала – расположена в диапазоне температур от 33,7 °C (Уральск, 2003 год) до 43,3 °C (Астрахань, 2015 год). В этой группе более высокие показатели температурных максимумов на протяжении всего периода наблюдаются у Астрахани и Махачкалы; Волгоград и Уральск показывают более низкие показатели, хотя для всех городов этой группы 2010 год также оказался экстремальным.

Три города-лидера по температурным максимумам земной поверхности – Элиста, Атырау и Актау, причем безусловным лидером по температурным колебаниям является Элиста (от 39,8 °C в 2004 году до 50,8 °C в 2020). Средний диапазон температур для этой группы городов составляет 42,7-46,8 °C.

Рисунок 5 – Максимальная дневная температура поверхности в городах за 20-летний период по данным Terra MODIS

Figure 5 – Maximum daily surface temperature in cities over a 20-year period according to Terra MODIS

Динамика ночных температур по годам показала более хаотичную картину, в которой, однако можно также проследить тенденцию к увеличению ночной температуры поверхности по мере увеличения широты местности. Во всех городах на протяжении 20 лет происходят колебания ночных максимумов в пределах 4-5 °С (от 19 до 26 °С). Самые большие значения температуры наблюдаются в Актау, самые низкие – в Уральске и Саратове.

Определенный интерес представляет анализ дат максимальной температуры поверхности в городах за 20-летний период (таблица 1).

Таблица 1 – Даты максимальной температуры поверхности в городах за 20-летний период по данным Terra MODIS и отклонение от средней даты

Table 1 – Dates of maximum surface temperature in cities over a 20-year period according to Terra MODIS data and deviation from the average date

Город / City	Максимальная температура поверхности / Maximum surface temperature					
	дневная / day		ночная / night		средняя / average	
	N	σ	N	σ	N	σ
Саратов / Saratov	196	13	200	12	199	13
Уральск / Uralsk	196	17	200	13	197	18
Волгоград / Volgograd	198	14	200	14	200	15
Элиста / Elista	202	15	202	16	201	16
Астрахань / Astrakhan	192	15	197	13	195	15
Атырау / Atyrau	194	16	194	10	196	15
Махачкала / Makhachkala	200	14	208	14	205	13
Актау / Aktau	195	17	202	10	197	13

Примечание: N – номер дня в году; σ - стандартное отклонение от средней даты.

Note: N – the number of the day in the year; σ – the standard deviation from the average date.

Средняя дата достижения максимальной температуры поверхности для большинства городов расположена в диапазоне 13-23 июля. Наибольшее стандартное отклонение от средней даты максимальной дневной температуры наблюдается у Уральска, Атырау и Актау. Таким образом, разбег дат наступления максимумов дневных температур по годам увеличивается с запада на восток по мере увеличения континентальности и может быть обусловлен расположением данных городов на стыке атлантических и западносибирских воздушных масс, обуславливающих нестабильность наступления сроков максимально высоких температур.

Сравнительный анализ городов логично завершить нахождением связей между температурами поверхности в различных городах для определения степени схождения и различия между ними. Для этого выбраны среднегодовые данные Aqua MODIS за 19-летний период, по ним рассчитаны коэффициенты корреляции между городами по многолетней динамике максимальной средней температуры. В таблице 2 показаны коэффициенты корреляции. Значимыми являются величины не менее 0,6 (критерий Стьюдента при $p > 0,99$).

Выделяются два города – Волгоград и Астрахань, – выступающие в качестве некоего среднего «ядра», с которыми имеют определенную степень схождения близлежащие города. Так, Волгоград имеет сильную степень схождения по температурным параметрам поверхности городов с Саратовым и Уральском на севере и Астраханью на юге, а Астрахань – с Волгоградом, Уральском, Элистой, Атырау и Махачкалой, Актау имеет схождение только с Атырау. Эти два казахских города, расположенные на побережье

Каспийского моря, находятся в зоне пустынь, однако сильная связь Атырау – Астрахань позволяет предположить, что Атырау тяготеет к полупустынной зоне. Сильная связь Волгоград – Саратов, Волгоград – Уральск и Волгоград – Астрахань наводит на мысль о том, что Волгоград расположен на границе засушливой зоны.

Таблица 2 – Корреляция между средними температурами поверхности городов по данным Aqua MODIS

Table 2 – Correlation between average surface temperatures of cities according to Aqua MODIS data

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-	0,82	0,75	0,81	0,69	0,75	0,75	0,68
2	0,82	-	0,78	0,77	0,53	0,51	0,66	0,84
3	0,75	0,78	-	0,63	0,36	0,37	0,56	0,63
4	0,81	0,77	0,63	-	0,57	0,44	0,67	0,68
5	0,69	0,53	0,36	0,57	-	0,82	0,86	0,46
6	0,75	0,51	0,37	0,44	0,82	-	0,75	0,46
7	0,75	0,66	0,56	0,67	0,86	0,75	-	0,64
8	0,68	0,84	0,63	0,68	0,46	0,46	0,64	-

Примечание: 1 – Саратов; 2 – Уральск; 3 – Волгоград; 4 – Астрахань; 5 – Элиста; 6 – Атырау; 7 – Махачкала; 8 – Актау. Курсив – значимые значения при $p > 0,99$.

Note: 1 – Saratov; 2 – Uralsk; 3 – Volgograd; 4 – Astrakhan; 5 – Elista; 6 – Atyrau; 7 – Makhachkala; 8 – Aktau. Cursive - significant values for $p > 0,99$.

Выводы. В результате дешифрирования космических снимков установлено, что изучаемые города различаются по распределению таких категорий земель, как озелененные и запечатанные поверхности, водные объекты и сельскохозяйственные угодья (включая пустыри). Во всех городах отмечена высокая доля запечатанных поверхностей. В шести городах этот показатель превышает 30 %. Доля озелененных пространств колеблется от 28 % в Саратове до 3-5 % в Атырау и Актау.

Анализ сезонного и многолетнего хода дневного максимума температур по данным спутников Тегга и Aqua позволил разделить изучаемые города на 3 группы: 1) Саратов; 2) Уральск, Волгоград, Астрахань, Махачкала; 3) Элиста, Атырау, Актау. Данные группы никак не соответствуют ни широтному, ни меридиональному расположению городов, поэтому нельзя делать выводы о какой-либо четкой климатической границе, проходящей по конкретным городам.

Анализ ночных максимумов температуры поверхности, наоборот, показал достаточно четкую широтную зависимость: ночные максимумы температуры поверхности увеличиваются при движении с севера на юг.

Сопоставление ночных максимумов температуры поверхности со степенью запечатанности городов позволяет сделать вывод о том, что уровень запечатанности в 40 % и выше является критическим и способствует усилению «теплового острова» над городом в ночное время.

По мере продвижения в глубь континента увеличивается неопределенность в прогнозировании даты наступления максимальной дневной температуры поверхности городов.

Библиографический список

1. Андреев С. С., Попова Е. С. Колебания среднегодовой температуры воздуха по данным г. Махачкала/Уйташ в 1882-2015 гг. // Успехи современного естествознания. 2017. № 5. С. 72-77.

2. Барталев С. А. Возможности использования спутникового сервиса ВЕГА для решения различных задач мониторинга наземных экосистем // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 1. С. 49-56.
3. Брусова Н. Е., Кузнецова И. Н., Нахаев М. И. Тепловое возмущение мегаполиса на фоне региональной неоднородности поля приземной температуры // Труды Гидрометцентра России. 2017. Вып. 365. С. 22-34.
4. Гинзбург А. И., Костяной А. Г. Межгодовая изменчивость температуры поверхности Каспийского моря в современный период (2003–2017) // Вестник ТвГУ. Серия «География и Геоэкология». 2018. № 3. С. 57-65.
5. Гинзбург А. И., Костяной А. Г. Тенденции изменений гидрометеорологических параметров Каспийского моря в современный период (1990-е – 2017 гг.) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 7. С. 195-207.
6. Гордиенко О. А., Манаенков И. В. Картографирование и оценка степени запечатанности почв города Волгограда // Почвоведение. 2019. № 11. С. 1383-1392.
7. Демин В. И. Особенности распределения температуры воздуха в городе Апатиты и его пригородах // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2019. № 16. С. 141-145.
8. Кошелева О. Ю., Шинкаренко С. С. Суточная и сезонная динамика температуры поверхности города Волгограда // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2021. № 1. С. 14-24.
9. Лупян Е. А. Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 263-284.
10. Мягков М. С. Город, архитектура, человек и климат. М.: «Архитектура-С», 2007. 344 с.
11. Шинкаренко С. С., Кошелева О.Ю. Анализ влияния запечатанности почвенного покрова и озеленения на поле температур Волгоградской агломерации по данным MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 5. С. 125-141.
12. Grimm N. B. Global change and the ecology of cities // Science. 2008. No. 319. P. 756-760.
13. Patz J. A., Campbell-Lendrum D., Holloway T. Impact of regional climate change on human health // Nature. 2005. No. 438. P. 310-317.
14. Zhao L. Strong contributions of local background climate to urban heat islands // Nature. 2014. No. 511. P. 216–219.

Conclusions. As a result of the interpretation of satellite images, it was found that the studied cities differ in the distribution of such land categories as green and sealed surfaces, water bodies and agricultural land (including vacant lots). All cities have a high proportion of sealed surfaces. In six cities, this figure exceeds 30%. The share of green spaces ranges from 28% in Saratov to 3-5% in Atyrau and Aktau.

The analysis of the seasonal and long-term course of the daily maximum temperatures according to the data of the Terra and Aqua satellites allowed us to divide the studied cities into 3 groups: 1) Saratov; 2) Uralsk, Volgograd, Astrakhan, Makhachkala; 3) Elista, Atyrau, Aktau. These groups do not correspond in any way to the latitudinal or meridional location of cities, so it is impossible to draw conclusions about any clear climatic boundary that passes through specific cities.

The analysis of the nighttime maxima of surface temperature, on the contrary, showed a fairly clear latitudinal relationship: the nighttime maxima of surface temperature increase when moving from north to south.

A comparison of the nighttime maxima of surface temperature with the degree of sealing of cities allows us to conclude that the level of sealing in 40% and above is critical and contributes to the strengthening of the "heat island" over the city at night.

As we move deeper into the continent, the uncertainty in predicting the date of the maximum daily surface temperature of cities increases.

References

1. Andreev S. S., Popova E. S. Kolebaniya srednegodovoy temperatury vozduha po dannym g. Mahachkala/Ujtash v 1882-2015 gg. // Uspehi sovremennogo estestvoznaniya. 2017. № 5. P. 72-77.
2. Bartalev S. A. Vozmozhnosti ispol'zovaniya sputnikovogo servisa VEGA dlya resheniya razlichnyh zadach monitoringa nazemnyh jekosistem // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2012. T. 9. № 1. P. 49-56.
3. Brusova N. E., Kuznecova I. N., Nahaev M. I. Teplovoe vozmuschenie megapolisa na fone regional'noj neodnorodnosti polya prizemnoj temperatury // Trudy Gidrometcentra Rossii. 2017. Vol. 365. P. 22-34.
4. Ginzburg A. I., Kostyanov A. G. Mezhsredgodovaya izmenchivost' temperatury poverhnosti Kaspijskogo morya v sovremennyy period (2003-2017) // Vestnik TvGU. Seriya "Geografiya i Geojekologiya". 2018. № 3. P. 57-65.
5. Ginzburg A. I., Kostyanov A. G. Tendencii izmenenij gidrometeorologicheskikh parametrov Kaspijskogo morya v sovremennyy period (1990-e - 2017 gg.) // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2018. T. 15. № 7. P. 195-207.
6. Gordienko O. A., Manaenkov I. V. Kartografirovaniye i ocenka stepeni zapechatannosti pochv goroda Volgograda // Pochvovedenie. 2019. № 11. P. 1383-1392.
7. Demin V. I. Osobennosti raspredeleniya temperatury vozduha v gorode Apatity i ego prigorodah // Trudy Fersmanovskoy nauchnoy sessii GI KNC RAN. 2019. № 16. P. 141-145.
8. Kosheleva O. Yu., Shinkarenko S. S. Sutochnaya i sezonnaya dinamika temperatury poverhnosti goroda Volgograda // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geojekologiya. 2021. № 1. P. 14-24.
9. Lupyan E. A. Centr kollektivnogo pol'zovaniya sistemami arhivacii, obrabotki i analiza sputnikovyyh dannyyh IKI RAN dlya resheniya zadach izucheniya i monitoringa okruzhayushej sredy // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2015. T. 12. № 5. P. 263-284.
10. Myagkov M. S. Gorod, arhitektura, chelovek i klimat. M.: "Arhitektura-S", 2007. 344 p.
11. Shinkarenko S. S., Kosheleva O.Yu. Analiz vliyaniya zapechatannosti pochvennogo pokrova i ozeleneniya na pole temperatur Volgogradskoy aglomeracii po dannym MODIS // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2020. T. 17. № 5. P. 125-141.
12. Grimm N. B. Global change and the ecology of cities // Science. 2008. No. 319. P. 756-760.
13. Patz J. A., Campbell-Lendrum D., Holloway T. Impact of regional climate change on human health // Nature. 2005. No. 438. P. 310-317.
14. Zhao L. Strong contributions of local background climate to urban heat islands // Nature. 2014. No. 511. P. 216-219.

Authors Information

Kosheleva Olga Yurievna, senior researcher of the laboratory of geoinformation modeling and mapping of agroforestlandscapes of Federal Research Centre of agroecology, amelioration and protective afforestation of Russian Academy of Sciences (Russia, 400062, Volgograd, Universitetsky av., 97), candidate of agricultural sciences, tel. 8(917)640-50-31, e-mail: olya_ber@mail.ru.

Shinkarenko Stanislav Sergeevich, researcher of the laboratory of geoinformation modeling and mapping of agroforestlandscapes of Federal Research Centre of agroecology, amelioration and protective afforestation of Russian Academy of Sciences (Russia, 400062, Volgograd, Universitetsky av., 97), Researcher of Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences (117997 Russia, Moscow, Profsoyuznaya street, 84/32), candidate of agricultural sciences tel. 8 (8442) 46-25-68, e-mail: shinkarenkos@vfanc.ru.

Gordienko Oleg Andreevich, junior researcher of laboratory of soil protection from erosion of Federal Research Centre of agroecology, amelioration and protective afforestation of Russian Academy of Sciences (Russia, 400062, Volgograd, Universitetsky av., 97); tel. (8442) 46-25-67, e-mail: gordienko-o@vfanc.ru.

Omarov Roman Sergeevich, postgraduate student of Saint Petersburg State University (Russia, 199034, Saint Petersburg, Universitetskaya nab., 7/9), tel. 8(917)845-72-00, e-mail: st098989@student.spbu.ru.

Dubacheva Anastasiya Alekseevna, lead engineer of the Department of state water register maintenance and automated information system of the state water register Federal State Budgetary Institution «Russian Information and Analytical and Water Research Center» (Russia, 400001, Volgograd, Kanunnikova st., 6/1); master's student of the Department of Geography and Cartography of Volgograd State University (Russia, 400062, Volgograd, Universitetsky av., 100), e-mail: dubacheva.a@gmail.com

Информация об авторах

Кошелева Ольга Юрьевна, старший научный сотрудник лаборатории геоинформационного моделирования и картографирования агролесоландшафтов ФНЦ агроэкологии РАН (РФ, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), кандидат сельскохозяйственных наук, тел. 8 (917)640-50-31, e-mail: olya_ber@mail.ru. ORCID: 0000-0002-9616-2383

Шинкаренко Станислав Сергеевич, научный сотрудник лаборатории геоинформационного моделирования и картографирования агролесоландшафтов ФНЦ агроэкологии РАН (РФ, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), научный сотрудник отдела технологий спутникового мониторинга Института космических исследований РАН (РФ, 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, 84/32), кандидат сельскохозяйственных наук, 46-25-68, e-mail: shinkarenkos@vfanc.ru. ORCID: 0000-0002-9269-4489

Гордиенко Олег Андреевич, младший научный сотрудник лаборатории защиты почв от эрозии ФНЦ агроэкологии РАН (РФ, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97); тел. 8 (8442) 46-25-67, e-mail: gordienko-o@vfanc.ru. ORCID: 0000-0001-5381-9114.

Омаров Роман Сергеевич, аспирант Санкт-Петербургского государственного университета (РФ, 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9), тел. 8 (917) 845-72-00, e-mail: st098989@student.spbu.ru. ORCID: 0000-0003-2762-3673.

Дубачева Анастасия Алексеевна, ведущий инженер отдела обеспечения ведения государственного водного реестра (ГВР) и АИС ГВР ФГБУ «Российский информационно-аналитический и научно-исследовательский водохозяйственный центр» (РФ, 400001, г. Волгоград, ул. Канунникова, 6/1); магистрант кафедры «География и картография» Волгоградского государственного университета (РФ, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 100), e-mail: dubatcheva.a@gmail.com ORCID: 0000-0003-3279-1460.

DOI: 10.32786/2071-9485-2021-03-45

CREATING A NEURAL NETWORK SERVICE FOR IDENTIFYING PROBLEM AREAS OF AGRICULTURAL FIELDS

I. S. Belousov, A. F Rogachev

Volgograd State Agrarian University, Volgograd

Received 25.06.2021

Submitted 27.08.2021

The publication has been prepared with the financial support of the RFBR under project No. 20-37-90142.

Summary

The creation of a neural network service for identifying problem areas of reclaimed agricultural fields is considered. The architectures of modern artificial neural networks are analyzed and the construction of a neural network for the subject area under study is justified. Recommendations on the construction of the client and server parts of the developed service are given.

Abstract

Introduction. Agricultural production requires the processing of significant amounts of information to solve various management problems. The development of neural network and cloud technologies makes it possible to process information in the cloud with the provision of access to computing power by the user. **Materials and methods.** The article describes the construction of artificial neural networks of various architectures - the ResNext, AlexNet, R-CNN models and their combinations, as well as modifications of the YOLO algorithms. As well as tools for creating a cloud computing runtime. **Results and conclusion.** The choice of service parameters for recognizing problem areas of reclaimed agricultural fields has been substantiated. Recommendations are given for performing preprocessing of the initial graphic data, methods of training the constructed ANNs. Recommendations are given for the development of the client and server parts of the system using the technologies and tools of CNN, PyTorch, CUDA. The strengths and weaknesses of their use for solving the problem of image recognition are identified using the example of problem areas of agricultural fields. The service can be used as an independent solution, as well as part of other systems. The studies carried out made it possible to formulate the following conclusions. The use of the developed classification ANN has shown that neu-