

ДИСТАНЦИОННАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА НА NDVI РАСТИТЕЛЬНОСТИ БАШКИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА

Е.А. Богдан^{1,2}, Л.Н. Белан^{1,2}, А.Ю. Витценко¹, И.О. Туктарова¹, Р.Д. Шагалиев¹*

¹Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Россия

²Уфимский университет науки и технологии, г. Уфа, Россия

*eavolkova@bk.ru

Аннотация. Изменение климата влияет на особенности продуктивности растительности. Для севера России и запада Сибири отмечено увеличение продуктивности и показателя NDVI в связи с увеличением значения средней аобратный эффект: увеличение температуры воздуха приводит к снижению значений NDVI. Башкирский государственный природный заповедник (БГПЗ) находится в переходной зоне и представляет собой фоновую территорию, лишённую антропогенного воздействия. Для получения цельной картины по всей территории заповедника использованы методы анализа данных дистанционного зондирования Земли. Используя данные сенсора MODIS, скорректированные по данным метеостанции Уфа-Дёма построены карты распределения ночных и дневных температур воздуха. Также определены средние значения NDVI. Выявлено значимое влияние дневных температур на показатель NDVI: $r = 0,87$, $R^2 = 0,75$.

Для оценки территориального распределения взаимосвязей температуры воздуха и NDVI в программе SAGA GIS с использованием инструмента Regression: Multiply Regression Analysis (Grid and Predictor Grids) построена карта пространственного распределения коэффициента детерминации (R^2) для территории БГПЗ.

Анализ территориального распределения влияния температуры воздуха на NDVI за период 2019-2023 гг. показал, что наибольшие корреляционные связи демонстрируют древостои хребта Урмантау ($R^2 = 0,82$), в то время как остепенённые участки хребта Южный Крак показывают более слабые связи с температурой воздуха ($R^2 = 0,62$). Таким образом, наблюдается большая устойчивость степных сообществ БГПЗ к повышению температур воздуха, нежели сосново-берёзовых древостоев. Растительность БГПЗ демонстрирует переходное состояние между условиями Казахстана и более северными территориями России, при котором растительность лесов заповедника находится в большем угнетении от повышения температур, чем растительность степей.

Ключевые слова: изменение климата, геоинформационная система, дистанционное зондирование Земли, природный заповедник, среднегодовые температуры, дневные температуры, ночные температуры, среднесуточные температуры, NDVI.

REMOTE ASSESSMENT OF THE TEMPERATURE REGIME IMPACT ON THE VEGETATION NDVI AT THE BASHKIR STATE NATURE RESERVE

E.A. Bogdan^{1,2}, L.N. Belan^{1,2}, A.Y. Vitsenko¹, I.O. Tuktarov¹, R.D. Shagaliyev¹*

¹Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

²Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

*eavolkova@bk.ru

Abstract. Climate change affects the characteristics of vegetation productivity. For the north of Russia and west Siberia, an increase in productivity and NDVI index was noted due to an increase in temperature. For Kazakhstan and southeast Russia, the opposite effect is observed: an increase in temperature leads to a decrease in the NDVI value. The Bashkir State Nature Reserve (BSNR) is located in the transition zone and is a background area devoid of anthropogenic impact. To obtain a complete picture of the entire for territory of the reserve, methods of analyzing Earth remote sensing data were used. Using data from the MODIS sensor, adjusted according to data from the Ufa weather

station, maps of the distribution of night and daytime temperatures were built. The average NDVI values were also determined. A significant influence of daytime temperatures on the NDVI index was revealed: $r = 0.87$, $R^2 = 0.75$.

To assess the territorial distribution of temperature and NDVI relationships in the SAGA GIS program using the Regression: Multiply Regression Analysis (Grid and Predictor Grids) tool, a map of the spatial distribution of the coefficient of determination (R^2) for the territory of the BPPZ was built.

An analysis of the territorial distribution of the temperature effect on NDVI showed that the stands of the Urmantau ridge demonstrate the greatest correlations ($R^2 = 0.82$), while the settled sections of the Southern Kraka ridge show weaker links with temperature ($R^2 = 0.62$). Thus, there is a greater resistance of the steppe communities of the BSNR to temperature increases than pine-birch stands. Thus, the vegetation of the BSNR demonstrates a transitional state between the conditions of Kazakhstan and the more northern territories of Russia, in which the vegetation of forests of the reserve is more oppressed by rising temperatures than the vegetation of the steppes.

Keywords: climate change, geoinformation system, remote sensing of the Earth, nature reserve, daytime temperatures, night temperatures, average daily temperatures, NDVI.

Введение

Многочисленные исследования показывают связь температуры воздуха и продуктивности растительности. За последние 30 лет изменения температуры воздуха и атмосферных осадков способствуют увеличению продуктивности растительности примерно на 88 % территории России [1]. Отмечается интенсивная экспансия лесной растительности в XX веке, которая обусловлена повышением температуры воздуха в летний и зимний периоды, и как следствие, увеличение сроков вегетации. В частности, для зоны тундры отмечен рост средних температур воздуха мая в 1883-1920 гг. – на 2,4 °C, в 1920-2004 гг. – на 1,1 °C [2]. С 60-х годов прошлого столетия граница прямостоячих кустарничков на Ямале продвинулась на север на 19,5 % [3]. Сказывается изменение температур и на показателях вегетационной активности растительности, оцениваемой в значениях вегетационных индексов. Для Западной Сибири значение нормализованного дифференцированного вегетационного индекса (Normalized difference vegetation index – NDVI) в мае в зоне тайги формируется под воздействием температур апреля–мая, а в июне в зоне тундры – под воздействием температур июня, однако, в последние годы в связи с потеплением вклад температур воздуха мая в формирование растительного покрова тундры увеличивается. Значимые коэффициенты корреляции NDVI с осредненной температурой воздуха апреля–мая и мая–июня характерны практически для всей территории региона [4, 5]. Для Южного Урала отмечено, что температура и осадки оказывают значимое влияние на лесные растительные сообщества [6].

Так же обратная связь растительности и температурного режима подтверждается многими исследованиями, результаты которых бывают весьма тревожны. Так для Западных областей Северной Кореи сохранение нынешних темпов обезлесения приведет к повышению летней температуры воздуха на 0,5 °C к концу этого столетия [7].

Вместе с тем, уровень антропогенного воздействия растет во всем мире, и это приводит к дополнительному тепловому загрязнению. В этой связи актуально исследование на фоновой территории, не подвергающейся длительному антропогенному воздействию. В Республике Башкортостан такой территорией является Башкирский государственный природный заповедник.

Башкирский заповедник образован 3 сентября 1929 г. Это второй по времени организации заповедник на Южном Урале. Западная часть заповедника относится к массиву Южного Крака (рис. 1). Меридиональным участком р. Южный Узян Южный Крака отделяется от хребта Уралтау, составляющего восточную половину территории заповедника. В заповедник входит западный склон Уралтау, восточный – частично [8].

В низкорослые Южного Крака преобладают широколиственно-злаковые сосняки с примесью лиственницы, а также вторичные березовые леса. Леса Южного Крака соседствуют со степным редколесьем и горными степями. Редко встречаются осинники. На Уралтау сосняков меньше, здесь преобладают березовые и осиновые леса [9, 10].

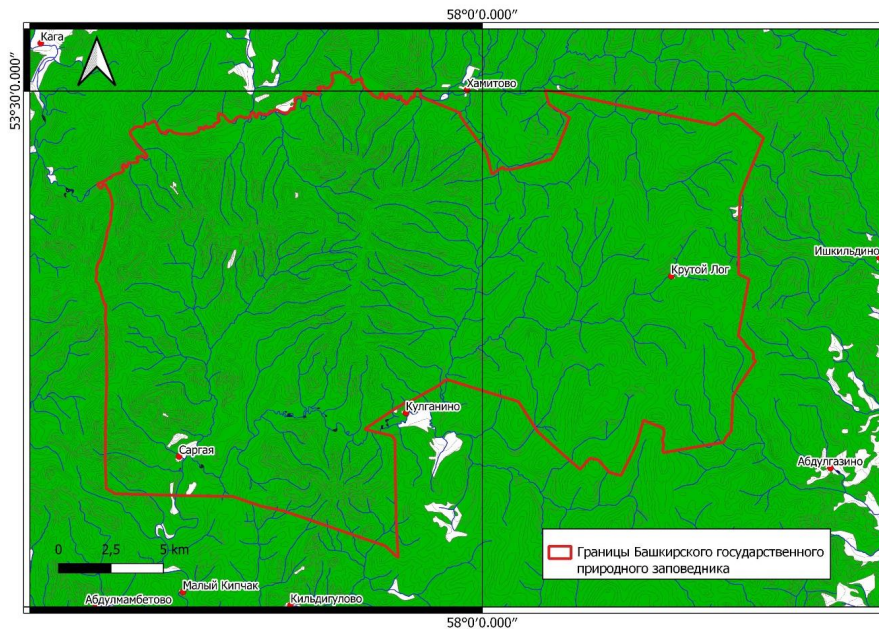


Рис. 1. Местоположение Башкирского государственного природного заповедника

Fig. 1. Location of the Bashkir State Nature Reserve

Материалы и методы исследования

Анализ современных опубликованных статей по дистанционной оценке температуры поверхности показал, что самыми популярными продуктами для определения распределения и динамики температур поверхности являются Landsat и MODIS [11, 12]. Главное отличие их заключается в особенностях пространственного и временного разрешения. Регулярность съемки MODIS позволяет получать снимки каждые 2 дня, в то время как Landsat проводит съемку только 1 раз в 16 дней [13]. Однако пространственное разрешение для температурных каналов MODIS составляет 1000 м на пиксель, в то время как для Landsat – 100 м на пиксель.

Вторым важным вопросом является коррекция данных, полученных со снимка. Во-первых, необходимо перевести данные об отражательной способности в температурном диапазоне в градусы °C. Обычно для этого применяются метаданные к соответствующим изображениям, и используется коэффициент излучения земной поверхности [14]. Во-вторых, необходимо перевести полученные значения яркостной температуры в значение термодинамической температуры. В ряде исследований для такой корректировки применяется NDVI [15], в других работах, как и в нашем случае, проводится подтверждение наземными данными, чаще всего данными метеостанций, а следовательно, значениями температур воздуха [16, 17]. При этом наблюдается достаточно высокая корреляция. Так, в работе Li и др. (2021) для территории провинции Гансу (Китай) коэффициент детерминации (R^2) для данных Landsat и данных метеорологических станций составил 0,95 [17].

В связи с высоким временным разрешением нами были использованы данные сенсора MODIS. На сайте геологической службы США (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) уже выложены обработанные данные съемки с исключением облаков, проведенной атмосферной коррекцией и пересчитанными температурами в К. Далее мы отобрали безоблачные изображения для периода 2019-2023 гг. и соотнесли их с данными метеостанции. Съемка производится днем в период с 10 до 12 часов, вечером с 20 до 23 часов местного времени. Для этих промежутков были отобраны данные метеостанции Уфа-Дёма, поскольку для данной метеостанции есть открытые данные. Всего для анализа было отобрано более 100 изображений дневной и ночной съемки.

Как видно на рис. 2 и 3, данные метеостанции и сенсора демонстрируют значимую связь, коэффициент корреляции Пирсона для дневных температур равен 0,91, для ночных – 0,95. Большая корреляция ночных температур, по-видимому, объясняется наличием меньшего шума, вызванного другими видами электромагнитного излучения.

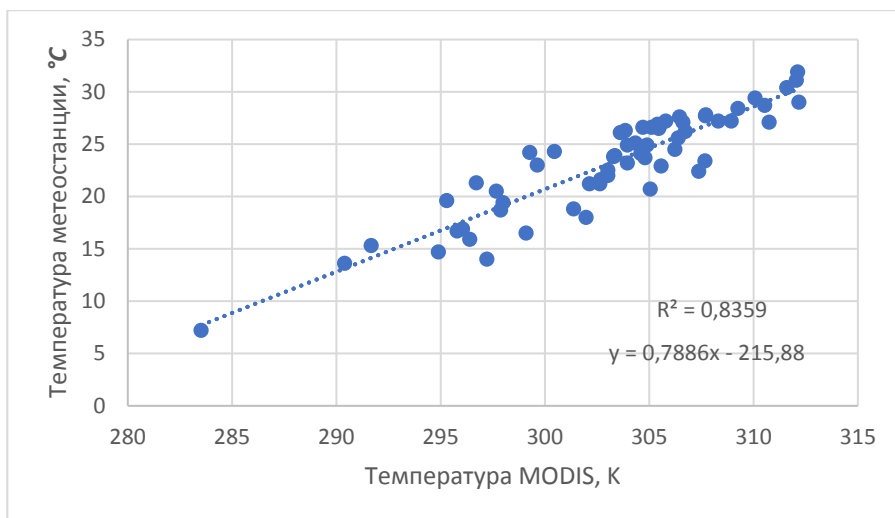


Рис. 2. Корреляционные связи между дневной температурой воздуха по данным метеостанции Уфа-Дёма и данным сенсора MODIS

Fig. 2. Correlations between daytime air temperature according to data from the Ufa-Dem weather station and data from the MODIS sensor

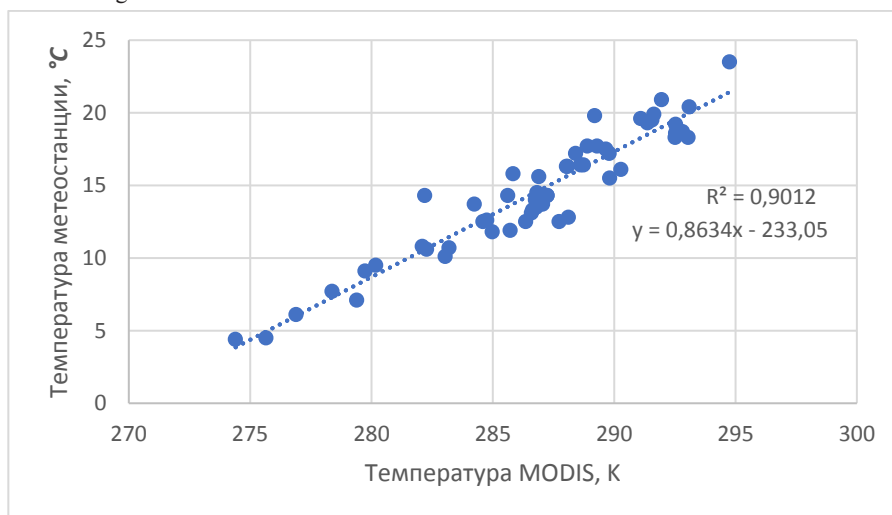


Рис. 3. Корреляционные связи между ночной температурой воздуха по данным метеостанции Уфа-Дёма и данным сенсора MODIS

Fig. 3. Correlations between night air temperature according to data from the Ufa-Dem weather station and data from the MODIS sensor

Далее, имея полученные регрессионные модели, с помощью калькулятора растров в программе QGIS-3.34 были построены изображения градиентов распределения дневных (рис. 4), ночных (рис. 5) и среднесуточных температур (рис. 6) на территории БГПЗ.

Для построения распределения среднесезонного значения температуры поверхности были использованы обработанные изображения MODIS MYD13A3 с пространственным разрешени-

ем в 1000 м. Были отобраны 27 изображений с 2019 по 2023 год (с мая по сентябрь). Далее была проведена корректировка изображений по данным метеостанции Уфа-Дёма.

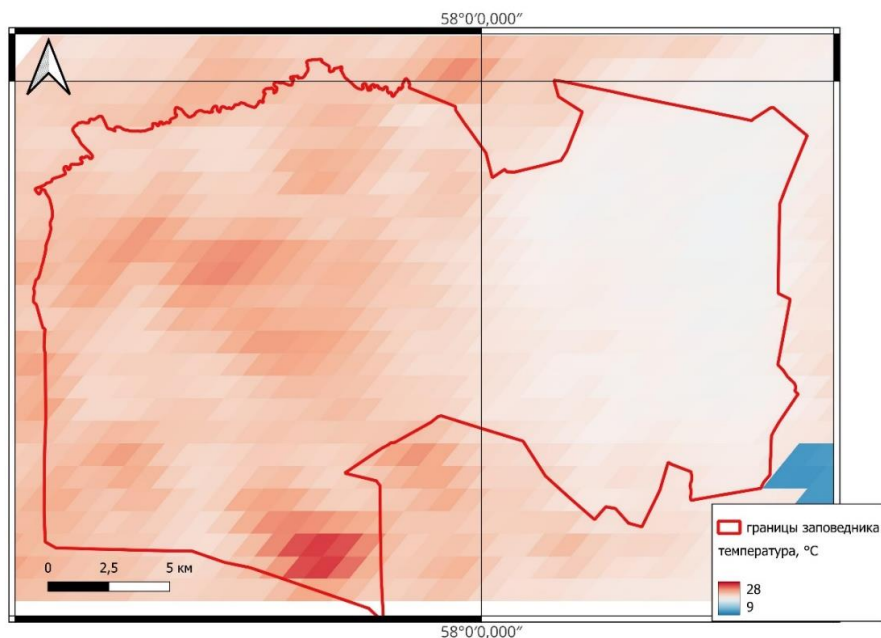


Рис. 4. Средняя дневная температура теплого периода на территории Башкирского государственного природного заповедника

Fig. 4. Average daytime temperature of the warm period on the territory of the Bashkir State Nature Reserve

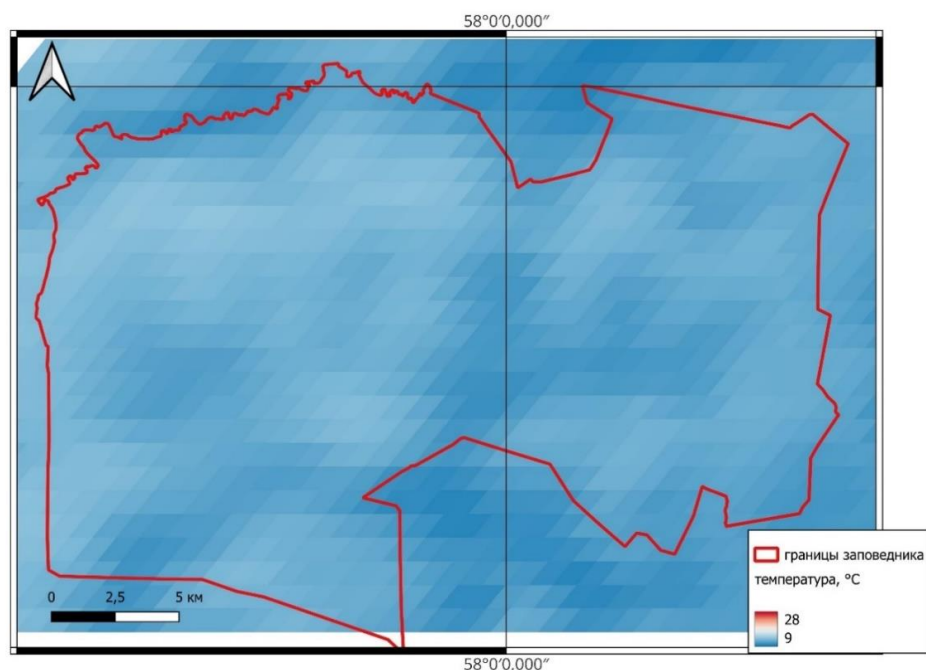


Рис. 5. Средняя ночная температура теплого периода на территории Башкирского государственного природного заповедника

Fig. 5. The average night temperature of the warm period on the territory of the Bashkir State Nature Reserve

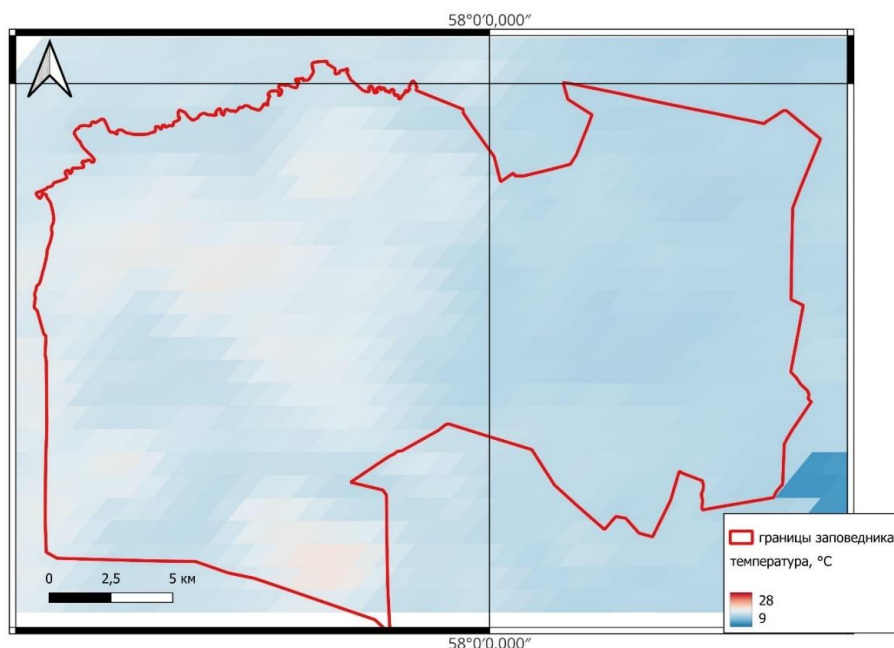


Рис. 6. Средняя суточная температура теплого периода на территории Башкирского государственного природного заповедника

Fig. 6. Average daily temperature of the warm period on the territory of the Bashkir State Nature Reserve

Вместе с тем, температурный режим по-разному влияет на разные типы растительности. NDVI зависит как от температуры, так и от условий увлажнения и рельефа. Для выявления наиболее зависимых от температуры воздуха участков древостоя были проанализированы изображения со значениями NDVI и температурой воздуха. В программе SAGA GIS с помощью инструмента Scatterplot построенные графики линейной зависимости (рис. 7-9).

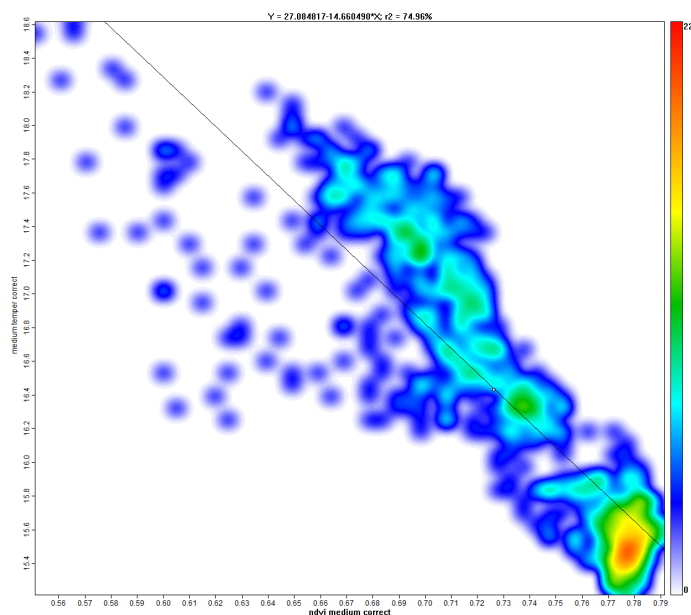


Рис. 7. Связь средней суточной температуры воздуха и NDVI

Fig. 7. The relationship between the average daily air temperature and NDVI

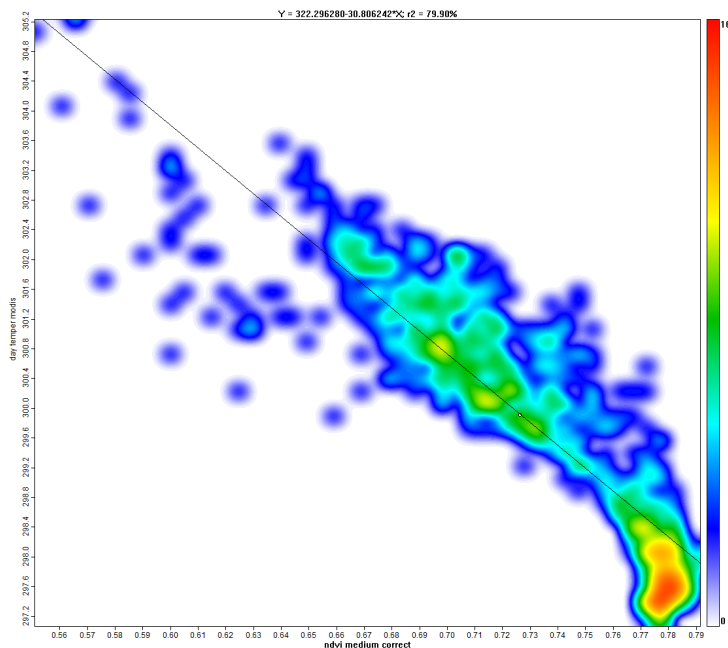


Рис. 8. Связь средней дневной температуры воздуха и NDVI
Fig. 8. The relationship between the average daytime air temperature and NDVI

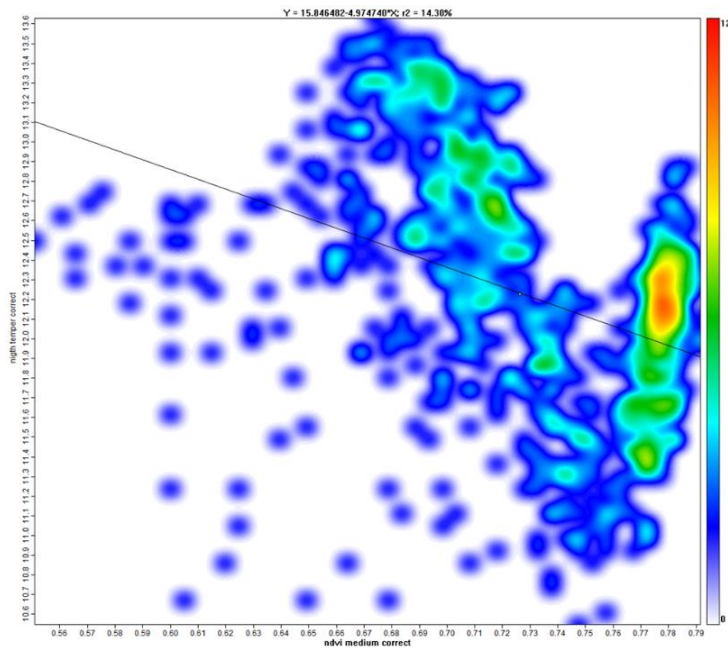


Рис. 9. Связь средней ночной температуры воздуха и NDVI
Fig. 9. The relationship between the average night air temperature and NDVI

Далее была построена карта пространственного распределения коэффициента детерминации (R^2), отображающего связь температуры воздуха и NDVI на территории БГПЗ (рис. 10). Для этого использовался инструмент Regression: Multiply Regression Analysis (Grid and Predictor Grids) программы SAGA GIS.

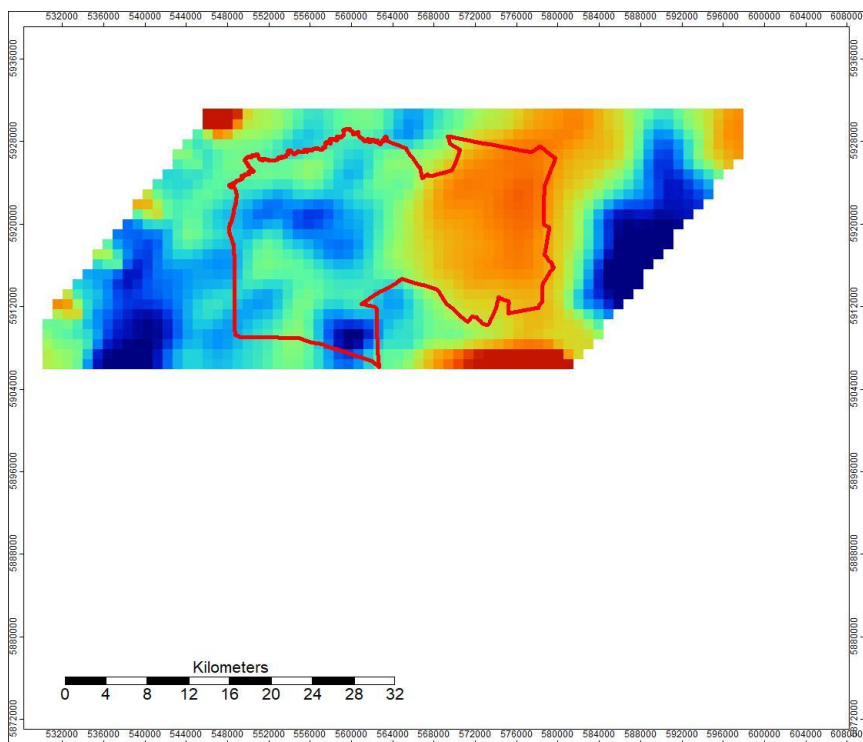


Рис. 10. Географическое распределение связи (R^2) средней дневной температуры воздуха и NDVI на территории Башкирского государственного природного заповедника

Fig. 10. Geographical distribution of the relationship (R^2) of the average daily air temperature and NDVI on the territory of the Bashkir State Nature Reserve

Результаты исследования

Пространственное распределение среднесуточных и дневных температур показывает большую прогреваемость хребта Южный Крак, особенно различия отмечаются в дневной период. Вместе с тем, ночная съемка значительных различий между хребтами не продемонстрировала. В целом в период с мая по сентябрь среднесуточные температуры воздуха распределяются в диапазоне от 9 до 28 °С.

На рис. 7-9 и в табл. отмечается обратная связь температуры и NDVI. При этом наибольшая связь характерна для дневной температуры, в то время как для влияние ночной температуры недостаточно достоверно.

Также интересно территориальное распределение влияния температуры на NDVI (рис. 9). Как видно из рис. 9, наибольшие корреляционные связи демонстрируют древостои хребта Урмантау, в то время как остепенённые участки хребта Южный Крак показывают более слабые связи с температурой воздуха. Таким образом, можно говорить о большей устойчивости степных сообществ БГПЗ к повышению температур, нежели сосново-березовых древостоев.

Таблица – Корреляционный анализ связи NDVI и температуры воздуха за период 2019-2023 гг.

Table – Correlation analysis of the relationship between NDVI and air temperature for the period 2019-2023

Температура	r	R^2	Стандартная ошибка
Среднесуточная	-0,868029	0,753424	0,001130
Дневная	-0,896751	0,804162	0,000495
Ночная	-0,390166	0,152230	0,002277

Обсуждение результатов

Как показали исследования для северной части России и Западной Сибири, увеличение температуры воздуха приводит к повышению продуктивности растительности, а следовательно, и NDVI [1, 3, 5].

Исследования Адамовича и др. [18, 19] выявили для заповедника «Нургуш» низкие значения NDVI для растительных объектов при анализе снимков за 18 июля 1994 года и 7 августа 2010 года по сравнению со значениями индекса за другие годы съёмки. Это связано с низкой среднемесячной температурой воздуха (14,2 °C) и небольшим количеством осадков в 1994 году и относительно засушливым и жарким летом 2010 года (средняя температура в летний период составила 24,7 °C).

Таким образом, для заповедника «Нургуш» отмечена как прямая, так и обратная связь температуры и NDVI, при этом обратная связь проявилась в 2010 году.

При оценке взаимосвязи NDVI ленточных боров и температурно-влажностного режима Алтайского края корреляционный анализ показал значимость температуры июня и осадков июля. Как и для БГПЗ отмечены отрицательные связи температуры воздуха июня и NDVI (коэффициент корреляции (r) от -0,61 до -0,67) [20].

Наше исследование продемонстрировало отрицательную связь температуры и NDVI. Мы можем предположить, что данная ситуация связана с разной степенью континентальности. Также важную роль играет режим увлажнения. По данным Третьего оценочного доклада Росгидромета [21], территория Республики Башкортостан попадает в вододефицитную зону. Также анализ агроклиматических индексов и климатических моделей для Республики Башкортостан показал тенденцию к увеличению температур воздуха в сочетании с засухами [22]. Сочетание высоких температур с длительным отсутствием осадков приводит к снижению продуктивности древостоев.

Так, анализ снимков MODIS выявил негативное воздействие высоких температур воздуха для территории пастбищ юго-востока Европейской России и Западного Казахстана: для 44,5 % пастбищ – наиболее сильная отрицательная корреляция с температурами воздуха [23]. Обратная корреляция также выявлена для степей Казахстана в летний и вегетационный периоды ($r = -0,51$ и $-0,65$ соответственно) [24].

Таким образом, в отличие от севера России и Сибири, где с повышением температуры растёт продуктивность растительности, для БГПЗ и южных регионов России и Казахстана отмечена обратная ситуация.

Заключение

Результаты исследования показали, что растительность БГПЗ демонстрирует отрицательную связь с температурой воздуха в вегетационный период. Наибольшая связь с NDVI характерна для дневной температуры воздуха, в то время как влияние ночной температуры воздуха на значение NDVI недостаточно достоверно. Большие корреляционные связи демонстрируют древостои хребта Урмантау, в то время как остепенённые участки хребта Южный Крак показывают более слабые связи с температурой воздуха.

Анализ аналогичных исследований показал прямые корреляционные связи NDVI и температуры воздуха для северной части России и Западной Сибири. Для Казахстана и юго-востока Европейской части России отмечены отрицательные связи.

Оценка влияния температуры на NDVI на всей территории заповедника показала большую зависимость берёзовых древостоев от температуры воздуха, в то время как степные сообщества демонстрируют большую устойчивость к изменению температуры воздуха. Исходя из этих фактов мы можем предположить, что растительность БГПЗ демонстрирует переходное состояние между условиями Казахстана и более северными территориями России.

Литература

1. Sirotenko, O.D. Current Climate Change In Biosphere Productivity In Russia And Adjacent Countries / O.D. Sirotenko, E.V. Abashina. – Text : unmediated // Russ. Meteorol. Hydrol. – 2008. – Vol. 4. – P. 101-107.
2. Шиятов, С.Г. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации / С.Г. Шиятов, Е.А. Ваганов. – Красноярск: КрасГУ, 2000. – 80 с.
3. Frost, G.V. Regional and landscape-scale variability of Landsat- observed vegetation dynamics in northern Siberian tundra / G.V. Frost, H.E. Epstein, D.A. Walker. – Text : unmediated // Environ. Res. Lett. – 2014. – Vol. 9.
4. Зуев, В.В. Комплексные исследования отклика фотосинтетического аппарата ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) на воздействие УФ-В-радиации / В.В. Зуев, Н.Е. Зуева, А.П. Зотикова, О.Г. Бендер, В.Л. Правдин // Журнал Сибирского федерального университета. – 2010. – № 3(4). – С. 391-406.
5. Зуев, В.В. Климатически обусловленные изменения растительного покрова тайги и тундры Западной Сибири в 1982-2015 гг. по данным спутниковых наблюдений / В.В. Зуев, Е.М. Короткова, А.В. Павлинский // Исследование Земли из космоса. – 2019. – № 6. – С. 66-76.
6. Широких, П.С. Закономерности лесовосстановительных сукцессий на заброшенных сельскохозяйственных землях Башкирского Предуралья / П.С. Широких, Н.И. Федоров, И.Р. Туктамышев, И.Г. Бикбаев, В.Б. Мартыненко // Экобиотех. – 2023. – № 3. – С. 179-187.
7. Oh, J. Competing effects of vegetation on summer temperature in North Korea / J. Oh, E. Lee. – Text : unmediated // Theor. Appl. Climatol. Springer Vienna. – 2023. – Vol. 152(3-4). – P. 913-931.
8. Реестр особо охраняемых природных территорий Республики Башкортостан / А.М. Волков, Л.А. Едренкина, А.А. Мулдашев и др. – Уфа: Издательство «Гилем», 2006. – 414 с.
9. Мартыненко, В.Б. Леса Башкирского государственного природного заповедника: синтаксономия и природоохранная значимость / В.Б. Мартыненко, А.И. Соломещ, Т.В. Жирнова // Институт биологии Уфимского научного центра РАН, Отделение биологических наук Академии наук Республики Башкортостан. – Уфа: Издательство «Гилем», 2003. – 203 с.
10. Мартыненко, В.Б. Синтаксономический анализ лесов Башкирского государственного природного заповедника: специальность 03.00.05: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Мартыненко Василий Борисович. – Уфа, 1999. – 16 с.
11. Zhang, P. Using enhanced vegetation index and land surface temperature to reconstruct the solar-induced chlorophyll fluorescence of forests and grasslands across latitude and phenology / P. Zhang [et al.]. – Text : unmediated // Front. For. Glob. Chang. – 2023. – Vol. 6. – P. 1257287.
12. Abubakar, I.M. MODIS data assessment of the relationship between vegetation and land surface temperature for central vegetation zone of Adamawa State, Nigeria / I.M. Abubakar, B.Y. Idi. – Text : unmediated // Dutse J. Pure Appl. Sci. – 2023. – Vol. 9(2a). – P. 332-343.
13. Ajay, K. Literature Survey for Land Surface Temperature Using Parameters that Include the Normalised Differential Vegetation Index and the Impervious Surface Area / K. Ajay, N. Bikaram, K.R. Rupesh. – Text : unmediated // Am. J. Sci. Learn. Dev. – 2023. – Vol. 2(8). – P. 221-223.
14. Wang, B. Dryness limits vegetation pace to cope with temperature change in warm regions / B. Wang [et al.]. – Text : unmediated // Glob. Chang. Biol. – 2023. – Vol. 29(17). – P. 4750-4757.
15. Zhou, S. Identifying the Effects of Vegetation on Urban Surface Temperatures Based on Urban-Rural Local Climate Zones in a Subtropical Metropolis / S. Zhou [et al.]. – Text : unmediated // Remote Sens. – 2023. – Vol. 15(19).
16. Arabi Aliabad F. Improving the Accuracy of Landsat 8 Land Surface Temperature in Arid Regions by MODIS Water Vapor Imagery / F. Arabi Aliabad [et al.]. – Text : unmediated // Atmosphere (Basel). – 2023. – Vol. 14(10).
17. Li, S. Evaluation of Landsat 8-like land surface temperature by fusing Landsat 8 and Modis land surface temperature product / Li, S. et al. – Text : unmediated // Processes. – 2021. – Vol. 9(12). – P. 1-19.
18. Адамович, Т.А. Использование различных комбинаций спектральных каналов космических снимков спутника Landsat 8 для оценки природных сред и объектов (обзор) / Т.А. Адамович, Т.Я. Ашихмина, Г.Я. Кантор. – Текст : непосредственный // Теоретическая и прикладная экология. – 2017. – № 2. – С. 9-18.

19. Адамович, Т.А. Анализ сезонной и многолетней динамики вегетационного индекса NDVI на территории государственного природного заповедника «Нургуш» / Т.А. Адамович, Г.Я. Кантор, Т.Я. Ашихмина, В.П. Савиных. – Текст : непосредственный // Теоретическая и прикладная экология. – 2018. – № 1. – С. 18-24.
20. Рыгалова, Н.В. Связь вегетационного индекса степных сообществ и радиального прироста сосны ленточных боров Юга Западной Сибири / Н.В. Рыгалова, Т.Г. Плуталова, Я.В. Мартынова. – Текст : непосредственный // Степи Северной Евразии: материалы девятого международного симпозиума, Оренбург, 07-11 июня 2021 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет. – 2021. – С. 685-690.
21. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации: общее резюме / Е.М. Аментьева, О.А. Анисимов, М.Ю. Бардин и др. – Санкт-Петербург: Издательство «Наукоемкие технологии». – 2022. – 124 с. – Текст : непосредственный.
22. Kamalova, R. Assessment of Changes in Agroclimatic Resources of the Republic of Bashkortostan (Russia) under the Context of Global Warming / R. Kamalova, E. Bogdan, L. Belan [et al.]. – Text : unmediated // Climate. – 2024. – vol. 12(1). – P. 11.
23. Шинкаренко, С.С. Многолетняя динамика NDVI аридных пастбищных ландшафтов Европейской России и сопредельных территорий / С.С. Шинкаренко, С.А. Баргалева. – Текст : непосредственный // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2022. – Т. 19. – № 6. – С. 108-123.
24. Пропастин, П.А. Анализ многолетних рядов NOAA/AVHRR/NDVI и гидрометрических условий южной части Казахского мелкосопочника / П.А. Пропастин, Н.Р. Муратова. – Текст : непосредственный // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2006. – Т. 3. – № 2. – С. 366-374.

References

- Sirotenko, O.D. Current Climate Change In Biosphere Productivity In Russia And Adjacent Countries / O.D. Sirotenko, E.V. Abashina. – Text : unmediated // Russ. Meteorol. Hydrol. – 2008. – Vol. 4. – P. 101-107.
2. Shijatov, S.G. Osnovy dendrokhronologii. Sbor i poluchenie drevesno-kol'cevoj informacii / S.G. Shijatov, E.A. Vaganov. – Krasnojarsk: KrasGU, 2000. – 80 s.
3. Frost, G.V. Regional and landscape-scale variability of Landsat- observed vegetation dynamics in northern Siberian tundra / G.V. Frost, H.E. Epstein, D.A. Walker. – Text : unmediated // Environ. Res. Lett. – 2014. – Vol. 9.
4. Zuev, V.V. Kompleksnye issledovaniya otklika fotosinteticheskogo apparata eli sibirskoj (Picea obovata Ledeb.) na vozdejstvie UF-V-radiacii / V.V. Zuev, N.E. Zueva, A.P. Zotikova, O.G. Bender, V.L. Pravdin // Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. – 2010. – № 3(4). – S. 391-406.
5. Zuev, V.V. Klimaticheski obuslovlennnye izmeneniya rastitel'nogo pokrova tajgi i tundry Zapadnoj Sibiri v 1982-2015 gg. po dannym sputnikovyh nabljudenij / V.V. Zuev, E.M. Korotkova, A.V. Pavlinskij // Issledovanie Zemli iz kosmosa. – 2019. – № 6. – S. 66-76.
6. Shirokih, P.S. Zakonomernosti lesovosstanovitel'nyh sukcesij na zabroshennyh sel'skhozajstvennyh zemljah Bashkirskogo Predural'ja / P.S. Shirokih, N.I. Fedorov, I.R. Tuktamyshev, I.G. Bikbaev, V.B. Martynenko // Jekobioteh. – 2023. – № 3. – S. 179-187.
7. Oh, J. Competing effects of vegetation on summer temperature in North Korea / J. Oh, E. Lee. – Text : unmediated // Theor. Appl. Climatol. Springer Vienna. – 2023. – Vol. 152(3-4). – P. 913-931.
8. Reestr osobo ohranjaemyh prirodnyh territorij Respubliki Bashkortostan / A.M. Volkov, L.A. Edrenkina, A.A. Muldashev i dr. – Ufa: Izdatel'stvo «Gilem», 2006. – 414 s.
9. Martynenko, V.B. Lesa Bashkirskogo gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika: sintaksonomija i prirodohrannaja znachimost' / V.B. Martynenko, A.I. Solomesheh, T.V. Zhirmova // Institut biologii Ufimskogo nauchnogo centra RAN, Otdelenie biologicheskikh nauk Akademii nauk Respubliki Bashkortostan. – Ufa: Izdatel'stvo «Gilem», 2003. – 203 s.
10. Martynenko, V.B. Sintaksonomicheskij analiz lesov Bashkirskogo gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika: special'nost' 03.00.05: avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata biologicheskikh nauk / Martynenko Vasilij Borisovich. – Ufa, 1999. – 16 s.

11. Zhang, P. Using enhanced vegetation index and land surface temperature to reconstruct the solar-induced chlorophyll fluorescence of forests and grasslands across latitude and phenology / P. Zhang [et al.]. – Text : unmediated // Front. For. Glob. Chang. – 2023. – Vol. 6. – P. 1257287.
12. Abubakar, I.M. MODIS data assessment of the relationship between vegetation and land surface temperature for central vegetation zone of Adamawa State, Nigeria / I.M. Abubakar, B.Y. Idi. – Text : unmediated // Dutse J. Pure Appl. Sci. – 2023. – Vol. 9(2a). – P. 332-343.
13. Ajay, K. Literature Survey for Land Surface Temperature Using Parameters that Include the Normalised Differential Vegetation Index and the Impervious Surface Area / K. Ajay, N. Bikaram, K.R. Rupesh. – Text : unmediated // Am. J. Sci. Learn. Dev. – 2023. – Vol. 2(8). – P. 221-223.
14. Wang, B. Dryness limits vegetation pace to cope with temperature change in warm regions / B. Wang [et al.]. – Text : unmediated // Glob. Chang. Biol. – 2023. – Vol. 29(17). – P. 4750-4757.
15. Zhou, S. Identifying the Effects of Vegetation on Urban Surface Temperatures Based on Urban-Rural Local Climate Zones in a Subtropical Metropolis / S. Zhou [et al.]. – Text : unmediated // Remote Sens. – 2023. – Vol. 15(19).
16. Arabi Aliabad F. Improving the Accuracy of Landsat 8 Land Surface Temperature in Arid Regions by MODIS Water Vapor Imagery / F. Arabi Aliabad [et al.]. – Text : unmediated // Atmosphere (Basel). – 2023. – Vol. 14(10).
17. Li, S. Evaluation of Landsat 8-like land surface temperature by fusing Landsat 8 and Modis land surface temperature product / Li, S. et al. – Text : unmediated // Processes. – 2021. – Vol. 9(12). – P. 1-19.
18. Adamovich, T.A. Ispol'zovanie razlichnyh kombinacij spektral'nyh kanalov kosmicheskikh snimkov sputnika Landsat 8 dlja ocenki prirodnyh sred i ob'ektov (obzor) / T.A. Adamovich, T.Ja. Ashihmina, G.Ja. Kantor. – Tekst : neposredstvennyj // Teoreticheskaja i prikladnaja jekologija. – 2017. – № 2. – S. 9-18.
19. Adamovich, T.A. Analiz sezonnoj i mnogoletnej dinamiki vegetacionnogo indeksa NDVI na territorii gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika «Nurgush» / T.A. Adamovich, G.Ja. Kantor, T.Ja. Ashihmina, V.P. Savinyh. – Tekst : neposredstvennyj // Teoreticheskaja i prikladnaja jekologija. – 2018. – № 1. – S. 18-24.
20. Rygalova, N.V. Svjaz' vegetacionnogo indeksa stepnyh soobshhestv i radial'nogo prirosta sosny lentochnyh borov Juga Zapadnoj Sibiri / N.V. Rygalova, T.G. Plutalova, Ja.V. Martynova. – Tekst : neposredstvennyj // Stepi Severnoj Evrazii: materialy devjatogo mezhdunarodnogo simpoziuma, Orenburg, 07-11 ijunya 2021 goda. – Orenburg: Orenburgskij gosudarstvennyj universitet. – 2021. – S. 685-690.
21. Tretij ocenочnyj doklad ob izmenenijah klimata i ih posledstvijah na territorii Rossijskoj Federacii: obshhee rezjume / E.M. Akent'eva, O.A. Anisimov, M.Ju. Bardin i dr. – Sankt-Peterburg: Izdatel'stvo «Naukoemkie tehnologii». – 2022. – 124 s. – Tekst : neposredstvennyj.
22. Kamalova, R. Assessment of Changes in Agroclimatic Resources of the Republic of Bashkortostan (Russia) under the Context of Global Warming / R. Kamalova, E. Bogdan, L. Belan [et al.]. – Text : unmediated // Climate. – 2024. – vol. 12(1). – P. 11.
23. Shinkarenko, S.S. mnogoletnjaja dinamika NDVI aridnyh pastbishhnyh landshaftov Evropejskoj Rossii i sopredel'nyh territorij / S.S. Shinkarenko, S.A. Bartalev. – Tekst : neposredstvennyj // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa. – 2022. – T. 19. – № 6. – S. 108-123.
24. Propastin, P.A. Analiz mnogoletnih rjadov NOAA/AVHRR/NDVI i gidrometricheskikh uslovij juzhnoj chasti Kazahskogo melkosopochnika / P.A. Propastin, N.P. Muratova. – Tekst : neposredstvennyj // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa. – 2006. – T. 3. – № 2. – S. 366-374.

Сведения об авторах

БОГДАН Екатерина Александровна – к.э.н., в.н.с., Уфимский государственный нефтяной технический университет; доцент Уфимского университета науки и технологии, e-mail: eavolkova@bk.ru

BOGDAN Ekaterina A. – Candidate of Economic Sciences, leading researcher, Ufa State Petroleum Technological University; Associate Professor, Ufa University of Science and Technology, e-mail: eavolkova@bk.ru

БЕЛАН Лариса Николаевна – д.г.-м.н., директор Центра технологий декарбонизации, Уфимский государственный нефтяной технический университет; профессор Уфимского университета науки и технологии, e-mail: belan77767@mail.ru

BELAN Larisa N. – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Ufa State Petroleum Technological University, Director of the Center for Decarbonization Technologies, Ufa University of Science and Technology, Professor, e-mail: belan77767@mail.ru

ВИТЦЕНКО Анастасия Юрьевна – лаборант, Уфимский государственный нефтяной технический университет, e-mail: nastya-vitcenko@mail.ru

VITSENKO Anastasia Y. – laboratory assistant, Ufa State Petroleum Technological University, e-mail: nastya-vitcenko@mail.ru

ТУКТАРОВА Ирен Ольвертовна – к.т.н., доцент Уфимского государственного нефтяного технического университета, заведующий кафедрой, e-mail: umrko@mail.ru

TUKTAROVA Iren O. – Candidate of Technical Sciences, Docent, Ufa State Petroleum Technological University, Head of department, Docent, e-mail: umrko@mail.ru

ШАГАЛИЕВ Руслан Данифович – к.т.н., Уфимский государственный нефтяной технический университет, начальник межвузовской лаборатории, e-mail: shagaliev@rambler.ru.

SHAGALIEV Ruslan D. – Candidate of Technical Sciences, Ufa State Petroleum Technological University, Head of the Interuniversity, e-mail: shagaliev@rambler.ru.