КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ПО ЭМИССИИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА И ВЕГЕТАЦИОННЫМ ИНДЕКСАМ НА ТЕРРИТОРИИ ДОНБАССА

Ф.В. Недопекин, Н.С. Шеставин, В.В. Юрченко

Донецкий национальный университет, г. Донецк

f.nedopekin@gmail.com, n.shestavin@mail.ru, vika.yurchenko.donnu@mail.ru

Аннотация. Используя спутниковые данные по ежегодной глобальной эмиссии диоксида углерода, получены их распределения на территории Донбасса за период с 2013 г. по 2018 г. с указанием на их основные антропогенные источники: энергетические и металлургические предприятия. Выбраны контрольные точки вблизи крупнейших источников и определены среднегодовые вегетационные индексы растительности за тот же период времени. Проведено сравнение этих индексов в контрольных точках вблизи и вдали от источников эмиссии диоксида углерода. Указано на отсутствие корреляции значений вегетационных индексов и концентрации диоксида углерода в данный период времени.

Ключевые слова: спутниковые данные, эмиссия CO₂, EDGAR, NDVI, корреляция, изменение климата

Происходящие в настоящее время процессы глобального изменения климата обусловлены растущими выбросами антропогенных парниковых газов в атмосферу и в первую очередь эмиссией диоксида углерода (CO₂). Для контроля годовых объемов эмиссии CO₂ Объединенным исследовательским центром Европейской комиссии (European Commission DG JRC) и Нидерландским агентством по оценке окружающей среды (PBL) создана База данных о выбросах для глобальных атмосферных исследований – Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR – <http://edgar.jrc.ec.europa.eu/>), которая позволяет исследовать глобальные прошлые и современные антропогенные выбросы загрязнителей воздуха и парниковых газов с разбивкой по различным странам с разрешением на площади 0,1° × 0,1° или 11,1 × 11,1 км² [1].

Использование различных источников данных об эмиссии CO₂ и других загрязнителях атмосферы за период до 1970 года [2] сделало EDGAR основной

платформой для выполнения атмосферных научных исследований. Например, были изучены сезонная изменчивость атмосферного CO₂ в районе мегаполиса Париж [3], эволюция и прогноз промышленных выбросов CO₂ в Китае [4].

На рис. 1 показаны на основе данных EDGAR результаты анализа эмиссии CO₂ в Европе, Украине и на Донбассе за период 2013–2018 гг.

При этом на рис. 1а показано распределение антропогенных выбросов CO₂ в 2018 г. на территории стран Европейского Союза и ближайших соседей, в том числе Украины, а на рис. 1б – отдельно Украина и на рис. 1в – пять областей Украины, на которых располагается территория Донбасса и указаны следующие крупные населенные пункты: 1 – Донецк; 2 – Луганск; 3 – Харьков; 4 – Днепр и 5 – Запорожье.

На рис. 1г показаны выбросы CO₂ в 2016 г. на территории Донбасса и указаны главные их источники – энергетические предприятия, которые указаны в Табл. 1 под соответствующими номерами.

Табл. 1. Эмиссия CO₂ на энергетических предприятиях Донбасса

№ п/п	Долгота	Широта	Название предприятия	Мощность, (МВт)	Эмиссия CO ₂ , (Кт/год)
1	33.64425°	47.56633°	Криворожская ТЭС	2820	9646
2	36.36199°	49.71382°	Змиевская ТЭС	2200	7593
3	38.23516°	48.02759°	Зуевская ТЭС	1245	7376
4	35.18920°	48.50204°	Приднепровская ТЭС	1765	6215
5	39.18960°	48.73717°	Луганская ТЭС	1325	6141
6	37.60070°	48.91889°	Славянская ТЭС	800	5726
7	38.02642°	47.77071°	Старобешевская ТЭС	1900	4922
8	37.26013°	48.00095°	Кураховская ТЭС	1502	4341
9	34.62890°	47.50978°	Запорожская ТЭС	3600	1525
10	38.42468°	48.53661°	Угледорская ТЭС	1200	1524
11	38.24615°	48.48020°	Мироновская ТЭС	115	1177
12	36.18896°	50.02891°	Харьковская ТЭЦ-5	540	544

Рис. 1. Годовая эмиссия CO₂ в: а) Европе за 2018 г.; б) Украине – 2018 г.; в) Донбассе + Крупные города – 2018 г.; г) Донбассе + Тепловые электростанции – 2016 г.; д) Донбассе + Металлургические заводы – 2014 г.; е) Донбассе + Контрольные точки – 2013 г.

Аналогичная карта выбросов CO₂ на территории Донбасса в 2014 г., где указаны номера и местопо-

ложение металлургических предприятий из Табл. 2, показана на рис. 1д.

Табл. 2. Эмиссия CO₂ на металлургических предприятиях Донбасса

№ п/п	Долгота	Широта	Название предприятия	Эмиссия CO ₂ (Кт/год)
1	33.44238°	47.99727°	АрселорМиттал Кривой Рог	12043
2	37.67211°	47.13742°	Мариупольский меткомбинат им. Ильича	8255
3	37.41394°	47.13742°	Металлургический комбинат «Азовсталь»	6672
4	35.20019°	47.87951°	Металлургический комбинат «Запорожсталь»	3732
5	37.76000°	48.07073°	Металлургический комбинат «Донецксталь»	1470
6	37.67211°	48.01932°	Донецкий металлургический завод	N/A
7	37.96875°	48.10009°	Макеевский металлургический комбинат	N/A
8	38.22692°	48.25028°	Енакиевский металлургический завод	N/A
9	38.80371°	48.49112°	Алчевский металлургический комбинат	N/A
10	37.32055°	48.89361°	Краматорский металлургический завод	N/A
11	34.94750°	48.45470°	Металлургический завод «Днепросталь»	N/A
12	35.06286°	48.35989°	Днепропетровский металлургический завод	N/A

В 2018 году в Украине было выброшено в атмосферу 196,839 Мт CO₂, что меньше, чем в 2015 г. (213, 269), 2005 г. (354,463) и 1990 г. (783,230) [5]. Однако эти «успехи» достигнуты не путем внедрения низко-углеродных технологий, а за счет снижения промышленного производства, при этом за половину выбросов ответственен энергетический сектор, а за четверть – металлургическое производство [6].

Для оценки влияния максимальных концентраций CO₂ вблизи источников этих выбросов на состояние растительности выберем для дальнейшего анализа ряд контрольных точек: в Табл. 3 показаны точки № 1–9 вблизи источников эмиссии CO₂ и № 10–12 вдали от таких источников, которые указаны на карте эмиссии CO₂ на Донбассе в 2013 году (рис. 1е).

Табл. 3. Координаты и местоположение контрольных точек

№ п/п	Долгота	Широта	Местоположение точки на территории Украины
1	33.3017°	47.7273°	Днепропетровская область, Широковский район
2	34.8917°	48.3928°	Днепропетровская область, Днепропетровский район
3	35.2852°	47.7489°	Запорожская область, Запорожский район
4	37.8630°	47.8945°	Донецкая область, г. Донецк
5	38.1360°	48.2914°	Донецкая область, г. Енакиево
6	39.3165°	48.4994°	Луганская область, г. Луганск
7	38.4974°	48.8811°	Луганская область, Попаснянский район
8	37.5016°	48.7171°	Донецкая область, г. Краматорск
9	36.1525°	49.8899°	Харьковская область, Харьковский район
10	34.0726°	49.5056°	Полтавская область, Решетиловский район
11	32.9403°	48.5047°	Кировоградская область, Александрийский район
12	33.0125°	47.1898°	Николаевская область, Березнеговатский район

Для исследования состояния растительности вблизи и вдали от источников максимальной эмиссии CO₂ можно воспользоваться ресурсами Центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных Института космических исследований Российской академии наук [7], где можно для любой территории и для любого периода времени определять Нормализованные относительные вегетационные индексы – Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), который характеризует количество фотосинтетически

активной биомассы.

На рис. 2 показаны для 2013–2019 гг. изображения ежегодного композита NDVI по данным спутников Landsat, а в указанных контрольных точках определены значения в единицах коэффициента спектральной яркости: рNIR – интенсивность отражения в ближней инфракрасной области спектра (рис. 3) и рRED – интенсивность отражения в красной области спектра (рис. 4), на основе которых определяются величины NDVI (рис. 5) для контрольных точек за этот период времени.

Рис. 2. Годовой композит NDVI на территории Донбасса и в контрольных точках в:
а) 2013 г.; б) 2014 г.; в) 2015 г.; г) 2017 г.; д) 2018 г.; е) 2019 г.

Рис. 3. Канал NIR для контрольных точек на Донбассе

Рис. 4. Канал RED для контрольных точек на Донбассе

Рис. 5. Величина NDVI для контрольных точек для Донбасса

На рис. 3–5 следует обратить внимание на поведение вегетационного индекса NDVI в контрольных точках № 10–12 за 2015 г., когда было много атмосферных осадков и интенсивно развивалась растительность вне зон высокой концентрации эмиссии CO₂. Затем в этих точках наблюдается резкое снижение объема биомассы, которое можно объяснить появлением в последние годы признаков засухи по всей территории Украины.

Однако, в контрольных точках № 4–7, которые находятся в зоне конфликта, в 2017–2018 гг. наблюдается значительное увеличение растительности, в основном (предположительно) дикорастущей. А в остальных контрольных точках наблюдается уменьшение растительного покрова за счет общего

потепления на исследуемой территории.

Наблюдаемое увеличение концентрации CO₂ в атмосфере приводит к глобальному изменению климата и, в частности, к появлению признаков засухи на территории Причерноморья – уменьшению атмосферных осадков и как следствию – истощению ресурсов подземных вод, которые влияют на развитие растительности. Корреляция положительного влияния концентрации CO₂ на рост растений и отрицательного воздействия засухи в рассматриваемых контрольных точках пока приводит к различным конечным результатам вегетации растений, но следует ожидать все таки преобладания в ближайшие годы влияния засухи на этой территории.

Литература

1. Crippa M., Solazzo E., Huang G. *et al.* High resolution temporal profiles in the Emissions Database for Global Atmospheric Research // Scientific Data, 2020, V. 7, No. 121. – 17 p.
2. Crippa M., Guizzardi D., Muntean M. *et al.* Gridded Emissions of Air Pollutants for the period 1970–2012 within EDGAR v4.3.2 // Earth System Science Data, 2018, No. 31. – 40 p.
3. Xueref-Remy I., Dieudonne E., Vuillemin C. *et al.* Diurnal, synoptic and seasonal variability of atmospheric CO₂ in the Paris megacity area // Atmospheric Chemistry and Physics, Discussions, 2016, No. 218. – 52 p.
4. Han P., Zeng N., Oda T. *et al.* Evaluating China's fossil-fuel CO₂ emissions from a comprehensive dataset of nine inventories // Atmospheric Chemistry and Physics, Discussions, 2020, No. 643. – 21 p.
5. Crippa M., Oreggioni G., Guizzardi D. *et al.* Fossil CO₂ and GHG emissions of all world countries – 2019 Report, EUR 29849 EN, 2019, Publications Office of the European Union, Luxembourg. – 251 p.
6. Nedonekin F., Shestavin N., Yurchenko V. Prospects of Implementation of Carbon Dioxide Capture and Geological Storage Technologies in the Donbass for Mitigation of the Effects of Climate Change // Procedia Environmental Science, Engineering and Management, 2019, V. 6, No. 4. – P. 629–640.
7. Луян Е.А., Прошин А.А., Бурицев М.А. и др. Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2019, Т. 16, № 3. – С. 151–170.

CORRELATION ANALYSIS OF SATELLITE DATA ON CARBON DIOXIDE EMISSIONS AND VEGETATION INDEXES IN THE TERRITORY OF DONBASS

F.V. Nedopekin, N.S. Shestavin, V.V. Yurchenko

Donetsk National University, Donetsk

f.nedopekin@gmail.com, n.shestavin@mail.ru, vika.yurchenko.donnu@mail.ru

Abstract. Using the Emissions Database for Global Atmospheric Research satellite data on the annual global carbon dioxide emissions, their distributions in the Donbass were obtained for the period from 2013 to 2018, indicating their main anthropogenic sources: large cities, thermal power plants and metallurgical plants. Control points were selected near and far from the largest sources of carbon dioxide emissions and, with the help of the resources of the Shared Use Center, systems for archiving, processing and analysis of satellite data of the Institute of Space Research of the Russian Academy of Sciences, the average annual vegetation indexes in the territory of Donbass and at control points for the same period of time were determined. A comparison was made of the reflection intensities in the near infrared and red regions of the spectrum, as well as the normalized relative vegetation indexes at these control points. It is indicated that there is no direct correlation between the values of vegetation indexes and the concentration of carbon dioxide in a given period of time. A sharp decrease in the volume of biomass was noted in a number of control points due to the appearance of signs of drought in the Black Sea region, as well as a significant increase in wild vegetation in the conflict zone in the eastern regions of Donbass.

Keywords: satellite data, CO₂ emissions, EDGAR, NDVI, correlation, climate change

References:

1. Crippa M., Solazzo E., Huang G. *et al.* High resolution temporal profiles in the Emissions Database for Global Atmospheric Research // Scientific Data, 2020, V. 7, No. 121. – 17 p.
2. Crippa M., Guizzardi D., Muntean M. *et al.* Gridded Emissions of Air Pollutants for the period 1970–2012 within EDGAR v4.3.2 // Earth System Science Data, 2018, No. 31. – 40 p.
3. Xueref-Remy I., Dieudonne E., Vuillemin C. *et al.* Diurnal, synoptic and seasonal variability of atmospheric CO₂ in the Paris megacity area // Atmospheric Chemistry and Physics, Discussions, 2016, No. 218. – 52 p.
4. Han P., Zeng N., Oda T. *et al.* Evaluating China's fossil-fuel CO₂ emissions from a comprehensive dataset of nine inventories // Atmospheric Chemistry and Physics, Discussions, 2020, No. 643. – 21 p.
5. Crippa M., Oreggioni G., Guizzardi D. *et al.* Fossil CO₂ and GHG emissions of all world countries – 2019 Report, EUR 29849 EN, 2019, Publications Office of the European Union, Luxembourg. – 251 p.
6. Nedonekin F., Shestavin N., Yurchenko V. Prospects of Implementation of Carbon Dioxide Capture and Geological Storage Technologies in the Donbass for Mitigation of the Effects of Climate Change // Procedia Environmental Science, Engineering and Management, 2019, V. 6, No. 4. – P. 629–640.
7. Lupyán E.A., Proshin A.A., Burtsev M.A. *et al.* Experience in the operation and development of a center for collective use of archiving, processing and analysis systems of satellite data (CKP “IKI-Monitoring”) // Modern problems of remote sensing of the Earth from space, 2019, V. 16, No. 3. – P. 151–170. (In Russian)