

# МОНИТОРИНГ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В ОТКРЫТОЙ АТМОСФЕРЕ МЕТОДОМ

## ФУРЬЕ-СПЕКТРОСКОПИИ

Ил. С. Голяк<sup>1,2,\*</sup>, Д. Р. Анфимов<sup>1,2</sup>, И. Б. Винтайкин<sup>1,2</sup>, Иг. С. Голяк<sup>1,2</sup>, М. С. Дроздов<sup>3</sup>, А. Н. Морозов<sup>1,2</sup>, С. И. Светличный<sup>3</sup>, С. Е. Табалин<sup>1,2</sup>, Л. Н. Тимашова<sup>1</sup>, И. Л. Фуфурин<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана  
Москва, Россия

<sup>2</sup> Центр прикладной физики Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана  
Москва, Россия

<sup>3</sup> Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семёнова  
Российской академии наук  
Москва, Россия

\* E-mail: [iliyagol@mail.ru](mailto:iliyagol@mail.ru)

### Аннотация

Появление в атмосфере избыточной концентрации парниковых газов, которые, накапливаясь в ней, поглощают тепловое излучение Земли и частично возвращают его на земную поверхность, приводит к стремительному росту глобальной средней температуры воздуха и, как следствие, изменению климата. К парниковым относятся газы с высокой прозрачностью в видимом диапазоне и активным поглощением в тепловом инфракрасном диапазоне. В настоящей работе предложена новая методика регистрации спектров парниковых газов CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub>. Представлен макет, разработанный на базе динамического фурье-спектрометра, который регистрировал спектры ИК-поглощения в диапазоне длин волн 1.0–1.7 мкм со спектральным разрешением 10 см<sup>-1</sup>. Проведена долговременная запись коэффициента пропускания атмосферы в условиях городской застройки. По полученным данным осуществлялся контроль интегральной и объемной концентраций CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub>. Показано, что поведение временных зависимостей объемных концентраций углекислого газа и метана хорошо отражает степень загруженности дорог. Уменьшение объемной концентрации в вечернее время объясняется увеличением оптической трассы и дополнительным захватом массы воздуха, находящегося за пределами области интенсивного движения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** динамический фурье-спектрометр, спектры ИК-поглощения, диоксид углерода, метан, парниковые газы.

**DOI:** [10.31857/S0207401X23040088](https://doi.org/10.31857/S0207401X23040088)

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Manisalidis I., Stavropoulou E., Stavropoulos A. et al. // Front. Public. Health. 2020. V. 8. P. 14; <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>*
2. *Ларин И.К. // Хим. физика. 2020. Т. 39. № 3. С. 85; <https://doi.org/10.31857/S0207401X20030085>*

3. *Ларин И.К.* // Хим. физика. 2020. Т. 39. № 4. С. 44;  
<https://doi.org/10.31857/S0207401X20040111>
4. *Solomon S., Qin D., Manning M. et al.* Climate change 2007: The physical science basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
5. Advances in carbon capture / Eds. Rahimpour M.R., Farsi M., Makarem M.A. Cambridge: Elsevier, 2020; <https://doi.org/10.1016/c2018-0-05339-6>
6. *Галашев А.Е., Рахманова О.Р.* // Хим. физика. 2013. Т. 32. № 6. С. 88;  
<https://doi.org/10.7868/S0207401X13060022>
7. URL: <https://gml.noaa.gov/ccgg/mbl/data.php>
8. *Ramphull M., Surroop D.* // J. Environ. Chem. Eng. 2017. V. 5. № 6. P. 5994;  
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.11.027>
9. *Bi J., Zhang R., Wang H. et al.* // Energy Policy. 2011. V. 39. № 9. P. 4785;  
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.06.045>
10. *Da Silva M.G., Lisbôa A.C.L., Hoffmann R. et al.* // J. Environ. Chem. Eng. 2021. V. 9. № 3. P. 105202; <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105202>
11. *Ramos P.B., Ponce M.F., Jerez F. et al.* // J. Environ. Chem. Eng. 2022. V. 10. № 3. P. 107521; <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107521>
12. *Turner A.J., Shusterman A.A., McDonald B.C. et al.* // Atmos. Chem. Phys. 2016. V. 16. № 21. P. 13465; <https://doi.org/10.5194/acp-16-13465-2016>
13. *Lee J.K., Christen A., Ketler R. et al.* // Atmos. Meas. Tech. 2017. V. 10. № 2. P. 645;  
<https://doi.org/10.5194/amt-10-645-2017>
14. *Platt U., Stutz J.* Differential optical absorption spectroscopy. Berlin, Heidelberg: Springer, 2008; <https://doi.org/10.1007/978-3-540-75776-4>
15. Handbook of vibrational spectroscopy / Ed. Griffiths P.R. Chichester: John Wiley & Sons, 2006. P. 1750.
16. *Griffith D.W.T., Jamie I.M.* // Encyclopedia of analytical chemistry. V. 3. Chichester: John Wiley & Sons, 2000. P. 1979.
17. *Smith T.E.L., Wooster M.J., Tattaris M. et al.* // Atmos. Meas. Tech. 2011. V. 4. № 1. P. 97; <https://doi.org/10.5194/amt-4-97-2011>
18. *Laubach J., Bai M., Pinares-Patiño C.S. et al.* // Agric. For. Meteorol. 2013. V. 176. P. 50;  
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.03.006>
19. *Flesch T.K., Baron V.S., Wilson J.D. et al.* // Agric. For. Meteorol. 2016. V. 221. P. 111;  
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.02.010>
20. *Винтайкин И.Б., Голяк И.С., Королев П.А. и др.* // Хим. физика. 2021. Т. 40. № 5. С. 9;  
<https://doi.org/10.31857/S0207401X21050137>
21. *Kirchengast G., Schweitzer S.* // Geophys. Res. Lett. 2011. V. 38. № 13. L13701;  
<https://doi.org/10.1029/2011GL047617>
22. *Somekawa T., Manago N., Kuze H. et al.* // Opt. Lett. 2011. V. 36. № 24. P. 4782;  
<https://doi.org/10.1364/OL.36.004782>
23. *Saito H., Manago N., Kuriyama K. et al.* // Opt. Lett. 2015. V. 40. № 11. P. 2568;  
<https://doi.org/10.1364/OL.40.002568>
24. *Rieker G.B., Giorgetta F.R., Swann W.C. et al.* // Optica. 2014. V. 1. № 5. P. 290;  
<https://doi.org/10.1364/OPTICA.1.000290>
25. *Waxman E.M., Cossel K.C., Truong G.W. et al.* // Atmos. Meas. Tech. 2017. V. 10. № 9. P. 3295; <https://doi.org/10.5194/amt-10-3295-2017>
26. *Dobler J., Braun M., Blume N. et al.* // Remote Sens. 2013. V. 5. № 12. P. 6284;  
<https://doi.org/10.3390/rs5126284>
27. *Queißer M., Granieri D., Burton M.* // Sci. Rep. 2016. V. 6. № 1. Article 33834;  
<https://doi.org/10.1038/srep33834>

28. Голяк И.С., Морозов А.Н., Светличный С.И. и др. // Хим. физика. 2019. Т. 38. № 7. С. 3; <https://doi.org/10.1134/S0207401X19070057>
29. Wunch D., Toon G.C., Blavier J.F.L. et al. // Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. A. 2011. V. 369. № 1943. P. 2087; <https://doi.org/10.1098/rsta.2010.0240>
30. Schneising O., Buchwitz M., Reuter M. et al. // Atmos. Chem. Phys. 2011. V. 11. № 6. P. 2863; <https://doi.org/10.5194/acp-11-2863-2011>
31. Yoshida Y., Ota Y., Eguchi N. et al. // Atmos. Meas. Tech. 2011. V. 4. № 4. P. 717; <https://doi.org/10.5194/amt-4-717-2011>
32. Голубков Г.В., Григорьев Г.Ю., Набиев Ш.Ш. и др. // Хим. физика. 2018. Т. 37. № 10. С. 3; <https://doi.org/10.1134/S0207401X18090054>
33. Родионов А.И., Родионов И.Д., Родионова И.П. и др. // Хим. физика. 2021. Т. 40. № 10. С. 61; <https://doi.org/10.31857/S0207401X21100113>
34. Kaufmann P., Chrzanowski H.M., Vanselow A. et al. // Opt. Express. 2022. V. 30. № 4. P. 5926; <https://doi.org/10.1364/OE.442411>
35. Winters D.G., Schlup P., Bartels R.A. // Opt. Express. 2007. V. 15. № 3. P. 1361; <https://doi.org/10.1364/OE.15.001361>
36. Васильев Н.С., Винтайкин И.Б., Голяк И.С. и др. // Компьютерная оптика (Самара). 2017. Т. 41. № 5. С. 626; <https://doi.org/10.18287/2412-6179-2017-41-5-626-635>
37. Köhler M.H., Naßl S.S., Kienle P. et al. // Appl. Opt. 2019. V. 58. № 13. P. 3393; <https://doi.org/10.1364/ao.58.003393>
38. Морозов А.Н., Светличный С.И. Основы фурье-радиоспектрометрии. 2-е изд. Москва: Наука, 2014.
39. Lin C.H., Grant R.H., Heber A.J. et al. // Atmos. Meas. Tech. 2019. V. 12. № 6. P. 3403; <https://doi.org/10.5194/amt-12-3403-2019>
40. Балашов А.А., Вагин В.А., Голяк И.С. и др. // Журн. прикл. спектроскопии. 2017. Т. 84. № 4. С. 643.
41. Griffiths P.R., de Haseth J.A. Fourier transform infrared spectrometry. 2nd ed. Hoboken, USA: John Wiley & Sons, 2007; <https://doi.org/10.1002/047010631X>
42. Балашов А.А., Голяк Ил.С., Голяк Иг.С. и др. // Журн. прикл. спектроскопии (Минск). 2018. Т. 85. № 5. С. 822.
43. Набиев Ш.Ш., Григорьев Г.Ю., Лагутин А.С. и др. // Хим. физика. 2019. Т. 38. № 7. С. 49; <https://doi.org/10.1134/s0207401x19070124>
44. Patadia F., Levy R.C., Mattoo S. // Atmos. Meas. Tech. 2018. V. 11. № 6. P. 3205; <https://doi.org/10.5194/amt-11-3205-2018>
45. Rothman L.S., Gordon I.E., Babikov Y. et al. // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2013. V. 130. P. 4; <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2013.07.002>