

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА АРКТИЧЕСКОГО ОСТРОВА БЕЛЫЙ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2015—2017 ГГ.

И. Е. Субботина, Е. М. Баглаева, А. Г. Бувевич, А. П. Сергеев, А. В. Шичкин
Институт промышленной экологии Уральского отделения РАН (Екатеринбург, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 19 июля 2021 г.

На основе данных мониторинга метеорологических условий и концентраций диоксида углерода, метана и водяного пара в приземном слое атмосферы острова Белый (Арктическая зона Российской Федерации) в летние сезоны 2015—2017 гг. исследованы циклы изменчивости содержания парниковых газов (ПГ). Не выявлено данных, подтверждающих наличие линейной зависимости между средними значениями температуры и содержанием ПГ в летние сезоны за три года. Самая высокая среднесуточная температура в летний сезон соответствовала самому жаркому 2016 г. Различий среднесуточных концентраций ПГ, превышающих стандартное отклонение, для трех лет не обнаружено. Анализ временных рядов, связанных с кросс-корреляцией концентраций ПГ и температурой, показал, что концентрации метана и водяного пара содержат периодические составляющие: месяц, декада, неделя и день.

Ключевые слова: парниковые газы, мониторинг, изменения климата, Арктическая зона Российской Федерации (АЗРФ).

Введение

Экстремальные погодные явления заняли первое место в списке пяти глобальных рисков, опубликованных в 2017 г. по результатам Всемирного экономического форума. Ожидается, что следствием изменения климата будут рост глобальных температур и повышение вероятности экстремальной жары [1], что окажет существенное влияние на здоровье человека [2; 3]. Регистрируемые в последние десятилетия тенденции к потеплению являются самыми сильными за все время наблюдений [4; 5]; средняя мировая температура в 2019 г. была на 0,95°C выше среднего значения за XX в. [1]. В Специальном докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) о глобальном потеплении на 1,5°C [2] сообщается, что деятельность человека вызвала глобальное потепление примерно на 1,0±0,2°C по сравнению с доиндустриальными уровнями и с высокой степенью вероятности (0,9) достигнет 1,5°C в период между 2030 и 2052 гг., если продолжит расти существующими темпами.

В отчетах МГЭИК наиболее вероятной причиной потепления было названо увеличение содержания в атмосфере парниковых газов (ПГ).

Большинство парниковых газов, к которым относятся водяной пар H₂O, углекислый газ CO₂ и метан CH₄, имеет как природные, так и антропогенные источники. Количество углекислого газа в атмосфере Земли связано с жизнедеятельностью биосферы, вулканическими выбросами, а также с выбросами промышленных предприятий и сжиганием ископаемого топлива и биомассы [6—9]. Метан образуется в результате жизнедеятельности микроорганизмов в анаэробных условиях. С таянием ледников и вечной мерзлоты при потеплении изменяются условия для природного цикла метана и его эмиссии в атмосферу за счет увеличения проницаемости почвы в сочетании с диссоциацией содержащихся в ней газовых гидратов [10; 11]. К увеличению концентраций парниковых газов в атмосфере с начала индустриальной эпохи в 1750 г. привели изменения нескольких антропогенных факторов: рост численности населения, расширение землепользования и вырубку лесов, индустриализация и связанное с ней использование ископаемых видов топлива.

© Субботина И. Е., Баглаева Е. М., Бувевич А. Г., Сергеев А. П., Шичкин А. В., 2022

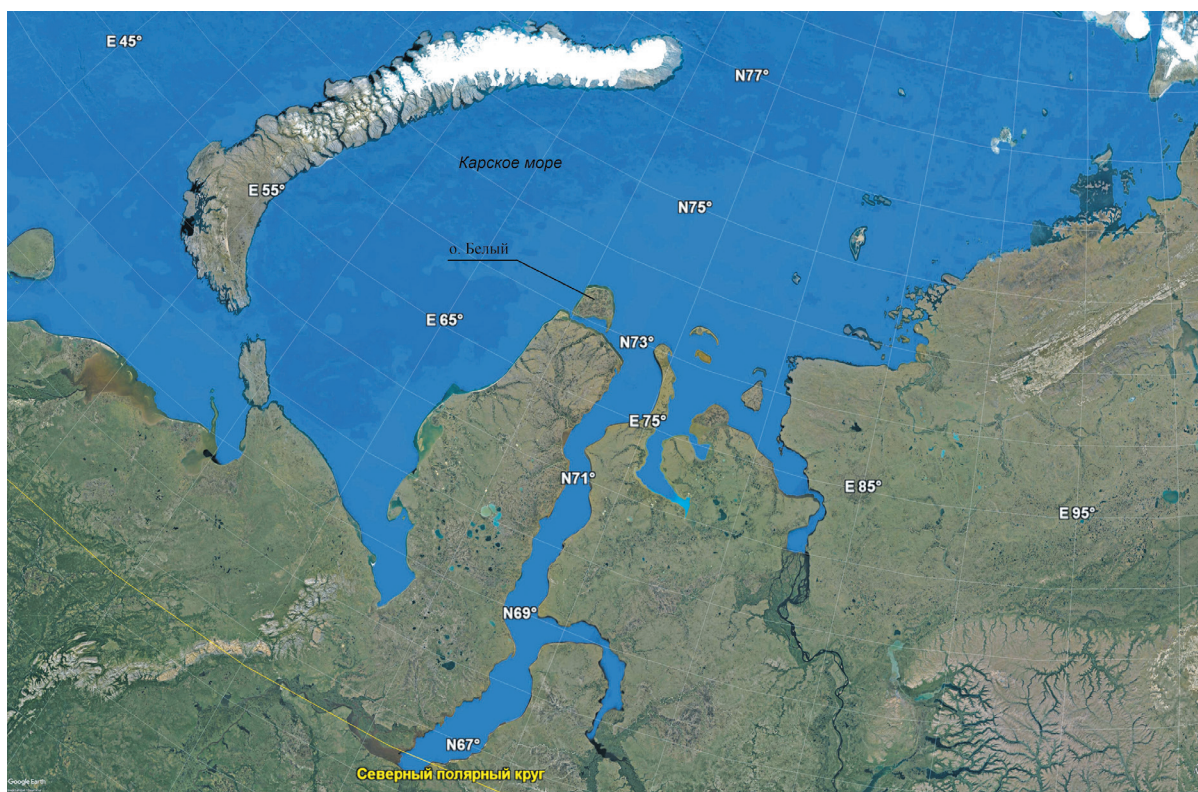


Рис. 1. Место отбора проб воздуха (остров Белый, Ямало-Ненецкий автономный округ). Источник: Google Earth
Fig. 1. Air sampling site (Island of Bely, Yamalo-Nenets Autonomous District, Russia). Source: Google Earth

Около 66% общего радиационного воздействия долгоживущих парниковых газов приходится на CO_2 , на CH_4 приходится около 17%, а на закись азота N_2O — 6% [5]. Водяной пар не учитывается как климатический фактор, поскольку его прямые выбросы от антропогенной деятельности создают пренебрежимо малый вклад в радиационный форсинг [12]. Также в [13] сообщается, что с 1985 по 2010 гг. для концентрации водяного пара не наблюдалось никаких существенных тенденций.

Последствия глобального потепления наиболее выражены в Арктической зоне планеты, где изменения температуры превышают средние по планете значения [14; 15], несмотря на незначительность антропогенного воздействия [16—20]. Поиск причин, приводящих к данному явлению, определяет цели научных исследований. Анализ особенностей динамики загрязнения Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) показывает тенденцию к усилению поступления загрязняющих примесей из других регионов [21].

Всемирная метеорологическая организация, Программа ООН по окружающей среде и научно-исследовательские группы работают над созданием интегрированной глобальной информационной системы по парниковым газам, чтобы предоставлять информацию, способную помочь странам отслеживать прогресс в осуществлении национальных обязательств в отношении выбросов, совершенствовать

национальную отчетность о выбросах и обеспечивать информационную основу для принятия дополнительных мер в области смягчения воздействий. В резюме «От нормативного регулирования загрязнения воздуха к законам об управлении качеством воздуха» подчеркивается, что надежные знания о качестве воздуха имеют центральное значение для любых нормативно-правовых мер по контролю загрязнения воздуха [22]. Региональные и национальные программы по адаптации к изменению климата также опираются на достоверные данные экологических мониторингов [23].

В данной работе проводилось исследование циклов и межгодовой изменчивости содержания парниковых газов в приземном слое атмосферного воздуха арктического острова Белый с целью выявления зависимостей между основными метеопараметрами и концентрациями ПГ.

Материалы и методы

Область исследования

В июле-августе 2015—2017 гг. на арктическом острове Белый (рис. 1) измерялось содержание метана, углекислого газа и водяного пара в атмосфере. Пункт отбора проб расположен в северо-западной части острова недалеко от Российской полярной гидрометеорологической станции ($\text{N}73,1^\circ$, $\text{E}71,2^\circ$).

Таблица 1. Описательная статистика метеорологических условий

Параметр	Год	Среднесуточное значение \pm SD	Медиана	Коэффициент вариации
Температура, К	2015	281,9 \pm 2,8	281,5	0,010
	2016	283,0 \pm 3,7	282,7	0,013
	2017	280,0 \pm 4,1	278,7	0,015
Давление, мм рт. ст.	2015	758,2 \pm 6,1	758,1	0,008
	2016	757,3 \pm 6,3	759,1	0,008
	2017	757,1 \pm 22,9	758,2	0,030
Влажность, %	2015	89,4 \pm 7,1	90,7	0,079
	2016	81,9 \pm 10,9	83,7	0,133
	2017	86,4 \pm 9,8	88,7	0,113

Остров Белый находится в Карском море в 9 км к северу от полуострова Ямал, его площадь около 1800 км², средняя высота поверхности 12 м над уровнем моря с террасами 3—7 и 6—12 м над уровнем моря [24]. Погода неустойчивая с сильными ветрами и резкими перепадами температур, что объясняется расположением Карского моря между относительно теплыми морями Северной Атлантики и сильно охлаждающими областями центральной Арктики. Климатическая зона — полярная тундра со среднегодовой температурой воздуха $-10,6^{\circ}\text{C}$. Зима холодная, длится около десяти месяцев. Средняя температура февраля (самого холодного месяца) $-24,2^{\circ}\text{C}$ с понижениями ниже -50°C . Годовое количество осадков составляет 258 мм [25]. Лето длится полтора-два месяца (июль и август), когда температура на острове составляет $4,1^{\circ}\text{C}$ и $5,3^{\circ}\text{C}$ соответственно (данные полярной станции им. М. В. Попова). В этот период средняя влажность составляет около 90%, направления ветра в основном северные, северо-восточные и юго-западные, скорость ветра около 6 м/с, средние многолетние осадки составляют 20—30 мм. Гидрографическая сеть острова включает несколько небольших рек, ручьев и множество озер. Ландшафт переувлажнен, поэтому почва имеет застойные черты [26]. Остров покрыт арктической тундровой растительностью, редкими прилегающими к земле карликовыми кустарниками, травами, мохообразными и лишайниками. Остров Белый не заселен, логистика связана с трудностями и финансовыми затратами, поэтому данные можно было получить только в летний период из-за необходимости постоянного контроля за работой устройств.

Подготовка данных

Концентрации парниковых газов (метана, диоксида углерода, водяного пара) измерялись с интервалом в 5 с с помощью анализатора Cavity Ring-Down Spectroscopy (G1401, PICARRO Inc; точность при ча-

стоте изменений 5 с: 50 ppb (мольные доли) для CO₂, 1 ppb (мольные доли) для CH₄). Метеопараметры (температура, влажность, атмосферное давление) измерялись метеостанцией Vaisala AWS310 (диапазону метеопараметров за период наблюдений соответствуют погрешность измерения температуры $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ и погрешность измерения относительной влажности $\pm 1,5\%$).

Из первоначальных данных измерений для дальнейшей работы были подготовлены часовые эмпирические распределения — ряды непрерывных данных, содержащих усредненные за один час концентрации газов в воздухе. Эти ряды затем синхронизировались по времени с метеорологическими параметрами. В работе выбраны три временных ряда длиной 765, 1269 и 1176 часовых интервалов в 2015, 2016 и 2017 гг. соответственно. Чтобы выделить закономерности изменения концентраций, использовались статистические методы и методы анализа временных рядов.

Данные описательной статистики

Приведены описательные статистические данные для часового распределения концентраций ПГ в воздухе: среднесуточное значение, стандартное отклонение, медиана и коэффициент вариации. Эти статистические показатели оценивают однородность множества и стабильность процесса.

Анализ временных рядов

Метеорологические условия и содержание газов в воздухе взаимосвязаны, что вносит множество трудностей в процесс обработки, интерпретации и прогнозирования концентраций. Для оценки статистических соотношений между концентрациями газов и метеопараметрами использовался коэффициент ранговой корреляции Спирмена.

Периодические компоненты временного ряда выявлялись с помощью спектрального анализа Фурье, в работе был использован алгоритм быстрого

Таблица 2. Основные статистические характеристики часового эмпирического распределения концентраций газов в воздухе

ПГ	Год	Среднесуточное значение \pm SD, ppm (мольная доля)	Медиана, ppm (мольная доля)	Коэффициент вариации	Коэффициент корреляции Спирмена между концентрацией ПГ и температурой	p-level
H ₂ O	2015	9900 \pm 2100	9400	0,21	0,89	< 10 ⁻⁶
	2016	9800 \pm 2300	9800	0,23	0,90	< 10 ⁻⁶
	2017	8500 \pm 2300	7900	0,28	0,90	< 10 ⁻⁶
CH ₄	2015	1,95 \pm 0,06	1,93	0,03	0,70	< 10 ⁻⁵
	2016	1,95 \pm 0,05	1,92	0,03	0,77	< 10 ⁻⁶
	2017	1,96 \pm 0,06	1,93	0,03	0,73	< 10 ⁻⁶
CO ₂	2015	389,5 \pm 9,9	389,7	0,03	-0,57	0,0005
	2016	392,6 \pm 2,9	392,2	0,01	-0,09	0,526
	2017	394,7 \pm 2,6	394,5	0,01	0,19	0,194

преобразования Фурье [27]. Спектральный анализ временных рядов определяет свойства временной инвариантности коэффициентов ранговой корреляции Спирмена между концентрациями газов и температурой [28]. Преобразование Фурье реализовано в Python.

Результаты и обсуждения

Описательная статистика

Основные метеорологические параметры 2015—2017 гг. приведены в табл. 1. Медианные и средние значения метеорологических параметров совпадают в пределах стандартного отклонения (SD), что не дает оснований предполагать наличие особенностей в распределении параметров и позволяет для анализа данных использовать средние значения.

Анализ данных среднесуточной температуры показал, что наблюдаемый период в 2016 г. был самым жарким, что согласуется с [5]. Среднесуточные значения давления и влажности для трех лет не различаются в пределах погрешности.

Значения коэффициента вариации для всех метеопараметров указывают на однородность данных с незначительной степенью рассеивания.

Описательная статистика часового эмпирического распределения концентраций газов в воздухе с 2015 по 2017 гг. представлена в табл. 2.

Медиана концентраций газов незначительно отличается от их среднесуточных значений для каждого года. Суточные значения концентраций CH₄ и CO₂ для каждого года имеют небольшие колебания; для водяного пара разброс значений значительный, но допустимый для признания однородности данных. Значения среднесуточных концентраций ПГ не от-

личаются от среднего в пределах стандартного отклонения SD.

Также в табл. 2 приведены коэффициенты ранговой корреляции Спирмена для оценки статистической связи между концентрациями газов и температурой. Нулевая гипотеза об отсутствии связи между концентрациями H₂O и CH₄ в атмосферном воздухе и температурой была отвергнута, выявлена связь с p-уровнем меньше 10⁻⁶ для большинства выборок (для CH₄ в 2015 г. — меньше 10⁻⁵). Коэффициент корреляции около 0,9 для водяного пара и около 0,7 для метана позволяет сделать вывод о росте концентраций этих ПГ при увеличении температуры. Высокие значения p-уровней, полученные для CO₂, не позволяют отвергнуть нулевую гипотезу.

Статистические соотношения во временных рядах концентраций ПГ

Для всех парниковых газов можно наблюдать резкие изменения коэффициента Спирмена от высоких положительных значений к отрицательным, и наоборот (рис. 2). Скачки температуры в эти периоды не обнаружены. Изменения коэффициента Спирмена могут быть связаны с инертностью атмосферы к событиям, происходящим на острове, т. е. температура остается постоянной при локальном изменении газового состава атмосферы. Например, это могут быть резкие выбросы метана после вскрытия метановых пузырей при оттаивании вечной мерзлоты в особо теплые периоды.

Для демонстрации вклада гармоник, связанных с периодом, построена периодограмма Фурье-анализа (рис. 3). В структуре временных рядов CH₄ и H₂O обнаружены следующие периодические составляющие: месяц, декада, неделя и день. Выявленные периодические составляющие необходимо учитывать

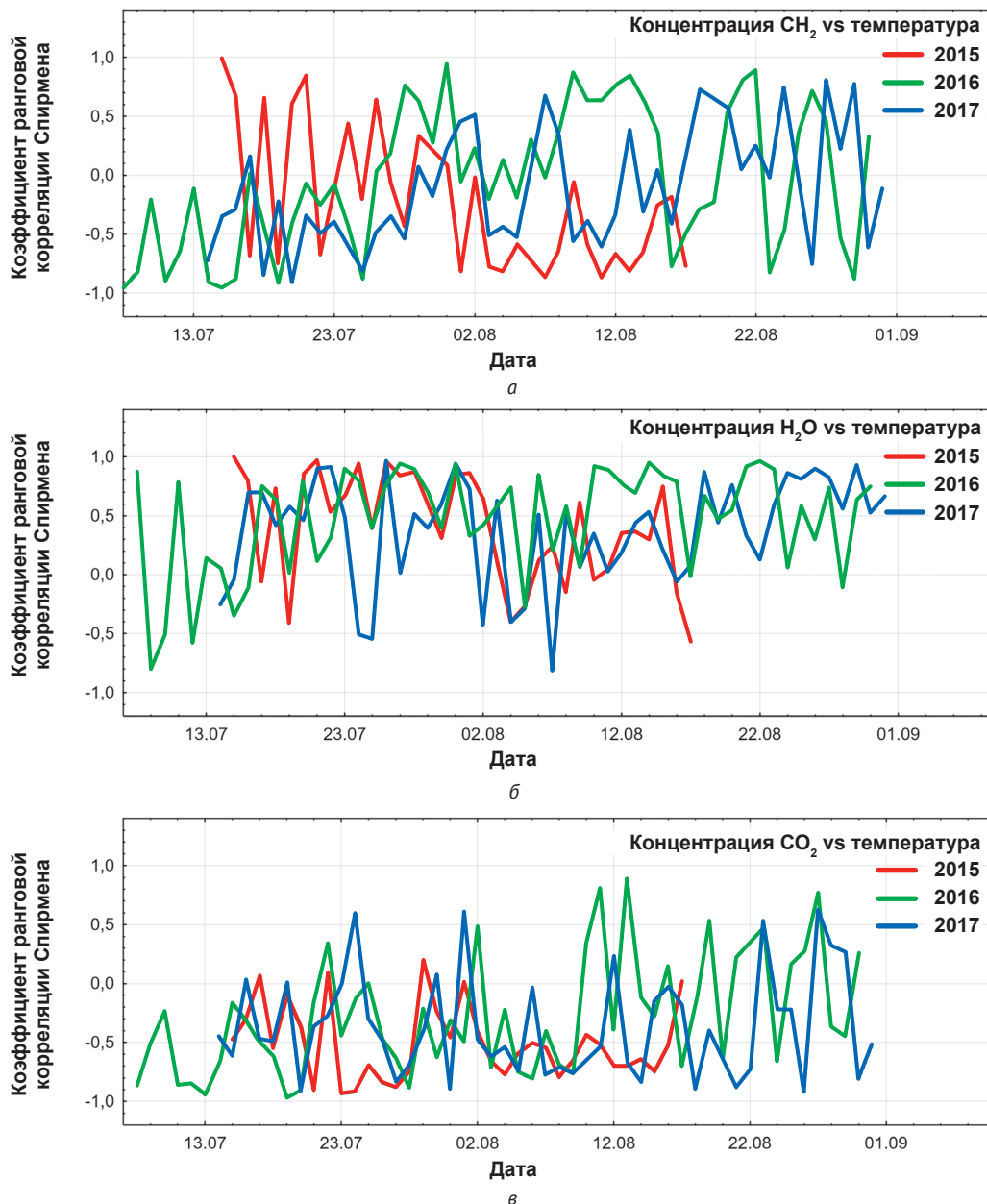


Рис. 2. Динамика коэффициента ранговой корреляции Спирмена концентраций CH_4 (а), H_2O (б), CO_2 (в) и температуры
 Fig. 2. Dynamics of Spearman's rank correlation coefficient of CH_4 (a), H_2O (b), CO_2 (v) concentrations and temperature

при построении прогностических моделей для описания сезонной динамики колебаний концентрации CH_4 и H_2O в зависимости от температуры. Существенных периодических задержек временных рядов CO_2 обнаружено не было, что указывает на сильную зашумленность. Для определения периодической составляющей требуются дополнительные исследования.

Заключение

Временные ряды температуры и концентраций газов были получены в результате мониторинга парниковых газов (метана, водяного пара и диоксида углерода) на острове Белый (АЗРФ) в летние сезоны

2015—2017 гг. Средние значения температуры и содержание ПГ в летние сезоны за три года оставались постоянными в пределах стандартного отклонения.

Проанализированные за три года данные отличаются от белого шума: периодограммы метана и водяного пара имеют выраженные декадные, недельные и однодневные компоненты, связанные с температурой.

Данные, полученные за время проведения мониторинга, используются как экспериментальная основа для создания и тестирования моделей, предсказывающих тренды изменения содержания основных парниковых газов [29; 30].

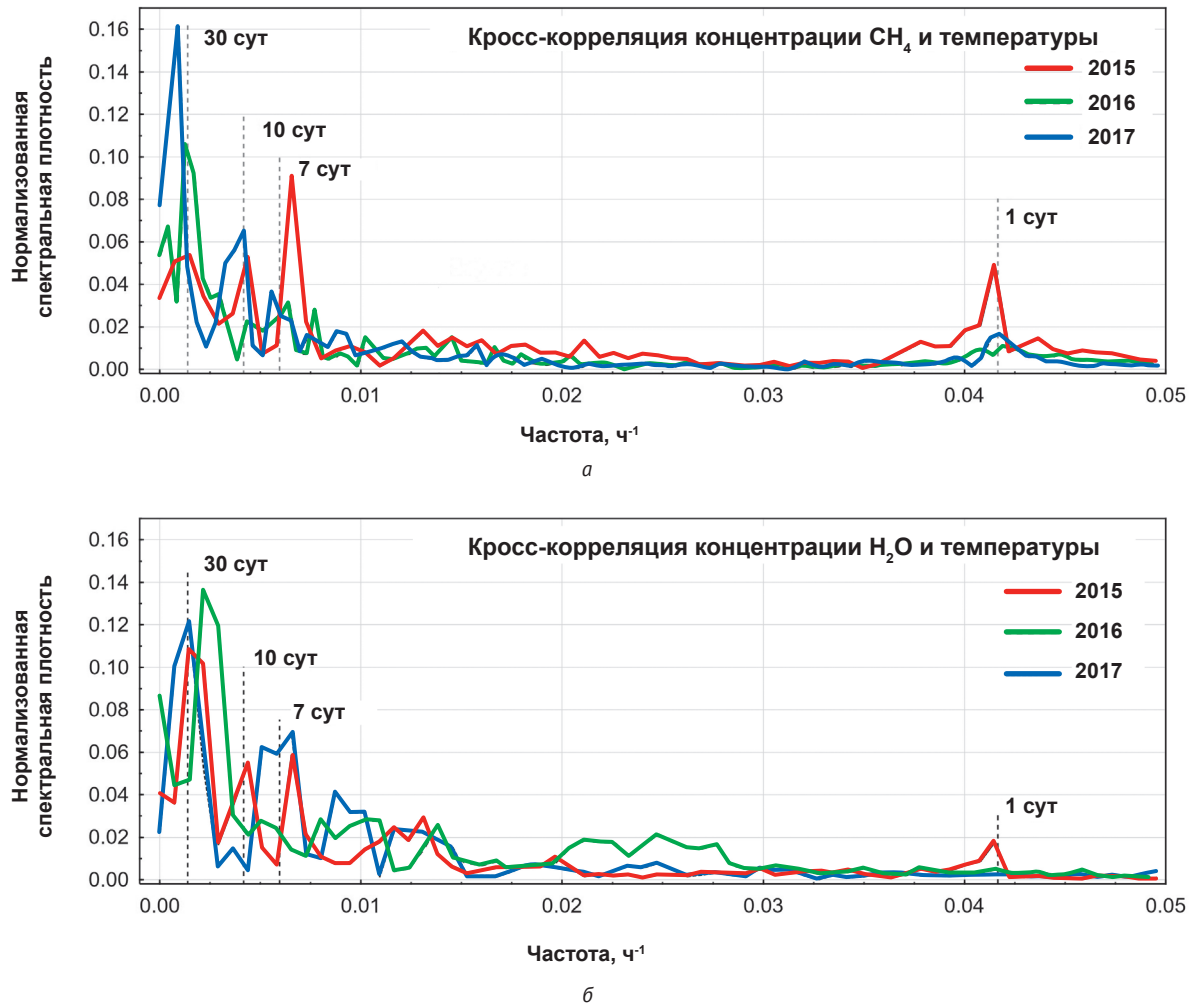


Рис. 3. Периодограмма коэффициентов ранговой корреляции Спирмена концентраций CH_4 (а) и H_2O (б) и температуры
Fig. 3. Period gram of the Spearman's rank correlation coefficients of CH_4 (a) and H_2O (b) concentrations and temperature

Авторы выражают благодарность Ю. И. Маркелову за помощь в организации и проведении мониторинга, результаты которого легли в основу настоящей статьи.

Также авторы признательны рецензенту и редакции за конструктивную критику и полезные рекомендации, позволившие улучшить качество рукописи.

Литература/References

1. Summary for Policymakers. IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [eds.: H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte et al.]. IPCC, 2019. Available at: <https://www.ipcc.ch/srocc/>.
2. Global Warming of 1.5°C: An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5°C Above Pre-industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty [eds.: V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Pört-

ner et al.]. IPCC, 2018. Available at: <https://www.ipcc.ch/sr15/>.

3. Alexander L. V., Zhang X., Peterson T. C. et al. Global Observed Changes in Daily Climate Extremes of Temperature and Precipitation. *J. of Geophysical Research*, 2006, vol. 111, p. D05109. Available at: <http://dx.doi.org/10.1029/2005jd006290>.

4. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [eds.: T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner et al.]. IPCC. Cambridge, UK; New York, USA, Cambridge Univ. Press, 2013, 1535 p.

5. The Global Climate in 2015—2019 [eds.: P. Siegmund, J. Abermann, O. Baddour et al.]. World Meteorological Organization (WMO-№ 1249). Geneva, Switzerland, 2020. Available at: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10251.

6. Lietzke B., Vogt R., Feigenwinter C., Parlow E. On the controlling factors for the variability of carbon dioxide flux in a heterogeneous urban environment. *Intern. J. of*

- Climatology, 2015, vol. 35 (13), pp. 3921—3941. Available at: <https://doi.org/10.1002/joc.4255>.
7. Yunqiu Gao, Xuhui Lee, Shoudong Liu et al. Spatio-temporal variability of the near-surface CO₂ concentration across an industrial-urban-rural transect, Nanjing, China. *Science of the Total Environment*, 2018, vol. 631—632, pp. 1192—1200.
 8. Hirano T., Sugawara H., Murayama S., Kondo H. Diurnal Variation of CO₂ Flux in an Urban Area of Tokyo. *SOLA*, 2015, vol. 11, pp. 100—103. DOI: 10.2151/sola.2015-024.
 9. Silva J. M. N., Carreiras J. M. B., Rosa I., Pereira J. M. C. Greenhouse gas emissions from shifting cultivation in the tropics, including uncertainty and sensitivity analysis. *J. of Geophysical Research*, 2011, vol. 116, p. D20304. DOI: 10.1029/2011JD016056.
 10. Chuvilin E., Grebenkin S., Zhmaev M. Gas Permeability of Sandy Sediments: Effects of Phase Changes in Pore Ice and Gas Hydrates. *Energy & Fuels*, 2021, vol. 35 (9), pp. 7874—7882. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.1c00366.
 11. Saunio M., Jackson R. B., Bousquet P. et al. The growing role of methane in anthropogenic climate change. *Environmental Research Letters*, 2016, vol. 11, p. 120207.
 12. Hegglin M. I., Tegtmeier S., Anderson J. et al. SPARC Data Initiative: Comparison of water vapor climatologies from international satellite limb sounders. *J. of Geophysical Research: Atmospheres*, 2013, vol. 118, pp. 11824—11846. DOI: 10.1002/jgrd.50752.
 13. Mateos D., Antón M., Sanchez-Lorenzo A. et al. Long-term changes in the radiative effects of aerosols and clouds in a mid-latitude region (1985—2010). *Global and Planetary Change*, 2013, vol. 111, pp. 288—295. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.10.004>.
 14. Serreze M. C., Barry R. G. Processes and impacts of Arctic amplification: A research synthesis. *Global and Planetary Change*, 2011, vol. 77, pp. 85—96.
 15. Schaller C., Kittler F., Foken T., Göckede M. Characterisation of short-term extreme methane fluxes related to non-turbulent mixing above an Arctic permafrost ecosystem. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2019, vol. 19, pp. 4041—4059.
 16. Methane as an Arctic climate forcer: Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). AMAP Assessment. Oslo, Norway, 2015, 139 p.
 17. Fisher R. E., Sriskantharajah S., Lowry D. et al. Arctic methane sources: Isotopic evidence for atmospheric inputs. *Geophysical Research Letters*, 2011, vol. 38 (21), p. L21803.
 18. Tan Z., Zhuang Q. Arctic lakes are continuous methane sources to the atmosphere under warming conditions. *Environmental Research Letters*, 2015, vol. 10, p. 054016.
 19. Zona D., Gioli B., Commane R. et al. Cold season emissions dominate the Arctic tundra methane budget. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 2016, vol. 113, pp. 40—45.
 20. Baglaeva E. M., Sergeev A. P., Shichkin A. V. et al. Particulate matter size distribution in air surface layer of middle Ural and Arctic territories. *Atmospheric Pollution Research*, 2019, vol. 10 (4), pp. 1220—1226.
 21. Макоско А. А., Матешева А. В. Оценка тенденций дальнего загрязнения атмосферы Арктической зоны России в 1980—2050 гг. с учетом сценариев изменения климата // *Арктика: экология и экономика*. — 2020. — № 1 (37). — С. 45—52. — DOI: 10.25283/2223-4594-2020-1-45-52.
 22. Makosko A. A., Matesheva A. V. Assessment of the long-range pollution trends of the atmosphere in the Arctic zone of Russia in 1980—2050 considering climate change scenarios. *Arktika: ekologiya i ekonomika. [Arctic: Ecology and Economy]*, 2020, no. 1 (37), pp. 45—52. DOI: 10.25283/2223-4594-2020-1-45-52. (In Russian).
 23. First Global Assessment of Air Pollution Legislation. Report of UNEP (02 September 2021). Available at: <https://www.unep.org/resources/report/first-global-assessment-air-pollution-legislation>.
 24. Эдельгериев Р. С. Х., Романовская А. А. Новые подходы к адаптации к изменению климата на примере Арктической зоны Российской Федерации // *Метеорология и гидрология*. — 2020. — № 5. — С. 12—28.
 25. Edelgeriev R. S. Kh., Romanovskaya A. A. New approaches to adaptation to climate change on the example of the Arctic zone of the Russian Federation. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2020, no. 5, pp. 12—28. (In Russian).
 26. Слагода Е. А., Лейбман М. О., Хомутов А. В., Орехов П. Т. Криолитологическое строение первой террасы острова Белый в Карском море (часть 1) // *Криосфера Земли*. — 2013. — Т. 17, № 4. — С. 11—21.
 27. Slagoda Ye. A., Leybman M. O., Khomutov A. V., Orekhov P. T. Cryolithological structure of the first terrace of Bely Island in the Kara Sea (part 1). *Kriosfera Zemli*, 2013, no. 17 (4), pp. 11—21. (In Russian).
 28. Трофимова И. Е., Бальбина А. С. Классификация климатов и климатическое районирование Западно-Сибирской равнины // *География и природ. ресурсы*. — 2014. — № 2. — С. 11—21.
 29. Trofimova I. E., Balybina A. S. Climate classification and climatic regionalization of the West Siberian Plain. *Geografiya i Prirod. Resursy*, 2014, no. 2, pp. 11—21. (In Russian).
 30. Abakumov E., Shamilshviliy G., Yurtaev A. Soil polychemical contamination on Bely Island as key background and reference plot for Yamal region. *Polish Polar Research*, 2017, vol. 38 (3), pp. 313—332.
 31. Cooley J. W., Tukey J. W. An Algorithm for the Machine Calculation of Complex Fourier Series. *Mathematics of Computation*, 1965, vol. 19, pp. 297—301. Available at: <https://doi.org/10.2307/2003354>.
 32. Sedehi O., Katafygiotis L. S., Papadimitriou C. Hierarchical Bayesian operational modal analysis: Theory and computations. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 2020, vol. 140, p. 106663.

29. Поддубный В. А., Наговицына Е. С., Маркелов Ю. И. и др. Оценка пространственного распределения концентрации метана в районе Баренцева и Карского морей в летний период 2016–2017 гг. // *Метеорология и гидрология*. — 2020. — № 3. — С. 77–86. Poddubny V. A., Nagovitsyna E. S., Markelov Yu. I. et al. Assessment of the spatial distribution of methane concentration in the Barents and Kara Seas in the summer 2016–2017. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2020, no. 3, pp. 77–86. (In Russian).
30. Субботина И. Е., Бувич А. Г., Сергеев А. П. и др. Двухшаговый комбинированный алгоритм повышения точности прогнозирования концентрации метана в атмосферном воздухе на основе нейронной сети NARX и последующего прогнозирования невязок // *Арктика: экология и экономика*. — 2020. — № 2 (38). — С. 59–66. Subbotina I. E., Buevich A. G., Sergeev A. P. et al. A two-step combined algorithm for improving the accuracy of forecasting the concentration of methane in the atmospheric air based on the NARX neural network and subsequent prediction of residuals. *Arktika: ekologiya i ekonomika*. [Arctic: Ecology and Economy], 2020, no. 2 (38), pp. 59–66. DOI: 10.25283/2223-4594-2020-2-59-66. (In Russian).

Информация об авторах

Субботина Ирина Евгеньевна, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник, Институт промышленной экологии Уральского отделения РАН (620990, Россия, Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, 20), e-mail: iesub@mail.ru.

Баглаева Елена Михайловна, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Институт промышленной экологии Уральского отделения РАН (620990, Россия, Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, 20).

Бувич Александр Геннадьевич, инженер, Институт промышленной экологии Уральского отделения РАН (620990, Россия, Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, 20).

Сергеев Александр Петрович, кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией, Институт промышленной экологии Уральского отделения РАН (620990, Россия, Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, 20).

Шичкин Андрей Васильевич, инженер, Институт промышленной экологии Уральского отделения РАН (620990, Россия, Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, 20).

Библиографическое описание данной статьи

Субботина И. Е., Баглаева Е. М., Бувич А. Г. и др. Динамика содержания парниковых газов в приземном слое атмосферного воздуха арктического острова Белый в летний период 2015–2017 гг. // *Арктика: экология и экономика*. — 2022. — Т. 12, № 1. — С. 68–76. — DOI: 10.25283/2223-4594-2022-1-68-76.

DYNAMICS IN THE CONTENT OF GREENHOUSE GASES IN THE SURFACE LAYER OF ATMOSPHERIC AIR OF THE ARCTIC ISLAND OF BELY IN THE SUMMER PERIOD 2015—2017

Subbotina, I. E., Baglaeva, E. M., Buevich, A. G., Sergeev, A. P., Shichkin, A. V.

Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Yekaterinburg, Russian Federation)

The article was received on July 19, 2021

Abstract

The reports of the Intergovernmental Panel on Climate Change, define the increase in the content of greenhouse gases (GHGs) in the atmosphere as the most likely cause of warming. The consequences of global warming are most pronounced in the Arctic zone of the planet, where temperature changes are significant. To provide an information basis for taking additional measures in the field of mitigating the effects of anthropogenic impact on climate change, reliable data on changes in GHG content in the Arctic are required.

Based on monitoring data of meteorological conditions and concentrations of carbon dioxide, methane and water vapor in the surface layer of the atmosphere on the Island of Bely (Arctic zone of the Russian Federation) in the summer seasons 2015—2017 the authors investigated the cycles of GHG content variability. There was no evidence of a linear relationship between the average temperature and GHG content in the summer seasons for three years. The highest average daily temperature in the summer season corresponded to the hottest 2016. No differences in mean daily GHG concentrations exceeding the standard deviation were found for three years. For all greenhouse gases, dramatic changes can be observed from a high positive Spearman coefficient to a negative one and vice versa. To demonstrate the contribution of period-related harmonics, a Fourier analysis period gram is constructed. Analysis of time series associated with cross-correlation of GHG concentrations and temperature show that methane and water vapor concentrations contain periodic components: month, decade, week and day. The identified periodic components should be considered when constructing predictive models to describe the seasonal dynamics of fluctuations in the concentration of CH₄ and H₂O depending on temperature. No significant periodic delays in the CO₂ time series are detected, indicating a strong noise level. The data obtained during the monitoring is used as a basis for creating models that predict trends in the content changes of major GHGs.

Keywords: Greenhouse gases, monitoring, climate change, the Arctic zone of the Russian Federation (AZRF).

The authors are grateful to Yu. I. Markelov for his help in organizing and holding monitoring, the results of which formed the basis of the manuscript.

Also, the authors are grateful to the reviewer and the Editorial Board for constructive criticism and useful recommendations, which helped to improve the quality of the manuscript.

Information about the authors

Subbotina, Irina Evgen'evna, PhD of Physical and Mathematical Sciences, Researcher, Institute of Industrial Ecology UB RAS (20, Sofia Kovalevskaya str., Yekaterinburg, Russia, 620990), e-mail: iesub@mail.ru.

Baglaeva, Elena Mihailovna, PhD of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, Institute of Industrial Ecology UB RAS (20, Sofia Kovalevskaya str., Yekaterinburg, Russia, 620990).

Buevich, Alexander Gennad'evich, Engineer, Institute of Industrial Ecology UB RAS (20, Sofia Kovalevskaya str., Yekaterinburg, Russia, 620990).

Sergeev, Alexander Petrovich, PhD of Physical and Mathematical Sciences, Head of Laboratory, Institute of Industrial Ecology UB RAS (20, Sofia Kovalevskaya str., Yekaterinburg, Russia, 620990).

Shichkin, Andrey Vasil'evich, Engineer, Institute of Industrial Ecology UB RAS (20, Sofia Kovalevskaya str., Yekaterinburg, Russia, 620990).

Bibliographic description of the article

Subbotina, I. E., Baglaeva, E. M., Buevich, A. G., Sergeev, A. P., Shichkin, A. V. Dynamics in the content of greenhouse gases in the surface layer of atmospheric air of the Arctic Island of Bely in the summer period 2015—2017. *Arktika: ekologiya i ekonomika*. [Arctic: Ecology and Economy], 2022, vol. 12, no. 1, pp. 68—76. DOI: 10.25283/2223-4594-2022-1-68-76. (In Russian).

© Subbotina I. E., Baglaeva E. M., Buevich A. G., Sergeev A. P., Shichkin A. V., 2022