

Изменения содержания метана в атмосфере на территории Казахстана по данным наземных наблюдений и спутникового зондирования

А. Х. Ахмеджанов, Н. Д. Ахметов, Т. К. Караданов

*Национальный центр космических исследований и технологий
Алматы, 050010, Республика Казахстан
E-mail: model_lab@mail.ru*

Рассмотрены особенности распределения метана в атмосфере на территории Казахстана по данным космического зондирования. На всех сезонных распределениях наблюдается тенденция к росту содержания газа за рассматриваемый период. Выявлено общее свойство метана: его концентрация резко уменьшается после высоты 100 гПа (порядка 16 км). Максимум содержания метана отмечается в июле в слое атмосферы с высоты от 600 до 200 гПа. По вертикальным распределениям наблюдается повышенное содержание газа в июле, пониженное — в январе. Наиболее повышенное содержание метана отмечено на северо-востоке Казахстана, пониженное — на юге. Наземные наблюдения Казгидромета 2016–2018 гг. за содержанием метана в приземном слое атмосферы показали, что наиболее повышенные концентрации газа наблюдаются в городах Усть-Каменогорск, Риддер, Семей и Караганда. Территориями с максимальными значениями содержания метана в атмосфере являются Восточно-Казахстанская, Карагандинская и Павлодарская области. Регион с минимальным содержанием — Туркестанская обл.

Ключевые слова: атмосфера, парниковый газ, метан, содержание, вертикальный профиль, дистанционное зондирование, излучение

Одобрена к печати: 24.07.2019

DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-5-293-300

Увеличение содержания метана в атмосфере способствует усилению парникового эффекта, так как метан интенсивно поглощает тепловое излучение Земли в инфракрасной области спектра на длине волны 7,66 мкм. Метан занимает второе место после углекислого газа по эффективности поглощения теплового излучения Земли. Вклад метана в создание парникового эффекта составляет примерно 30 % от величины, принятой для углекислого газа. С ростом содержания метана изменяются химические процессы в атмосфере, что может привести к ухудшению экологической ситуации на Земле. В настоящее время концентрация атмосферного метана составляет 1,8 ppm (млн⁻¹). Содержание метана в атмосфере в 200 раз меньше, чем углекислого газа (CO₂); в расчёте на одну молекулу газа парниковый эффект от метана, т.е. его вклад в рассеивание и удержание тепла, излучаемого нагретой солнцем Землёй, существенно выше, чем от CO₂. Кроме того, метан поглощает излучение Земли в тех окнах спектра, которые оказываются прозрачными для других парниковых газов (Bousquet et al., 2006).

На основе анализа результатов измерений приземной концентрации и общего содержания метана в окрестностях Санкт-Петербурга, траекторий движения воздушных масс и разработанной трёхмерной региональной модели переноса примеси исследованы основные процессы, формирующие поле метана в атмосфере Северо-Западного региона России (Макарова и др., 2006). Показано, что вклад эмиссии метана от промышленного центра в общее содержание газа в столбе атмосферы составляет не более 2 % от среднего значения.

За последние годы были проведены многочисленные спутниковые эксперименты, позволившие получить большой объём информации о вариациях (в том числе и долговременных) общих содержаний (ОС) и вертикальных профилей содержания метана в атмосфере. В то же время количество данных о пространственно-временной изменчивости ОС и вертикальных профилей метана в тропосфере ограничено из-за небольшого числа наземных станций,

осуществляющих систематический мониторинг ОС и вертикальных распределений метана, а также сравнительно малого срока (2–3 года) проведения спутниковых измерений ОС и тропосферных вертикальных профилей CH_4 (Хаматнурова и др., 2017). Поэтому актуальным вопросом является изучение пространственно-временной изменчивости метана в атмосфере для различных временных масштабов. Результаты этих исследований могут быть использованы в глобальных моделях атмосферы для прогноза климатических изменений.

Дифракционный спектрометр AIRS (EOS/Aqua) предназначен для измерения параметров атмосферы, в том числе содержания метана как парникового газа. На геопорталах НАСА имеются данные содержания в атмосфере метана с сентября 2002 г. по настоящее время.

Сравнение средних по столбу атмосферы отношений смеси метана, измеренных гиперспектральными методами наземной фурье-спектроскопии на физическом факультете Санкт-Петербургского государственного университета (59,9° с. ш., 29,8° в. д.) в 2009–2012 гг., с аналогичными данными, полученными японским спутником GOSAT, описано в работе (Макарова и др., 2013). Для сопоставления данных наблюдений вблизи Санкт-Петербурга, проведённых с поверхности Земли и с борта спутника GOSAT, были выбраны интервалы одновременных измерений в 2009–2012 гг. Для этих временных диапазонов из базы данных Национального института экологических исследований в Цукубе, Япония (NIES, 2012) были отобраны значения, измеренные спутником GOSAT. Данные наземной фурье-спектроскопии наблюдений вблизи Санкт-Петербурга достаточно хорошо согласуются с данными спутника GOSAT. Средние значения отношения смеси метана X_{CH_4} по спутниковым данным версии V01.xx на 17–21 млрд⁻¹ меньше, чем соответствующие значения, полученные из наземных измерений, при дисперсии ~13 млрд⁻¹. Для версии данных GOSAT V02.xx занижение в среднем составляет 2 млрд⁻¹, а дисперсия — ~18 млрд⁻¹. Это соответствует расхождениям X_{CH_4} , измеренным спутником GOSAT, и данным международных сетей фурье-спектроскопических наблюдений TCCOM (Total Carbon Column Observing Network) и NDACC (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change).

По данным дистанционного зондирования выполнены графики распределения метана по высоте на территории Казахстана за январь и июль 2018 г. на четырёх участках (север, юг, запад, восток) (рис. 1).

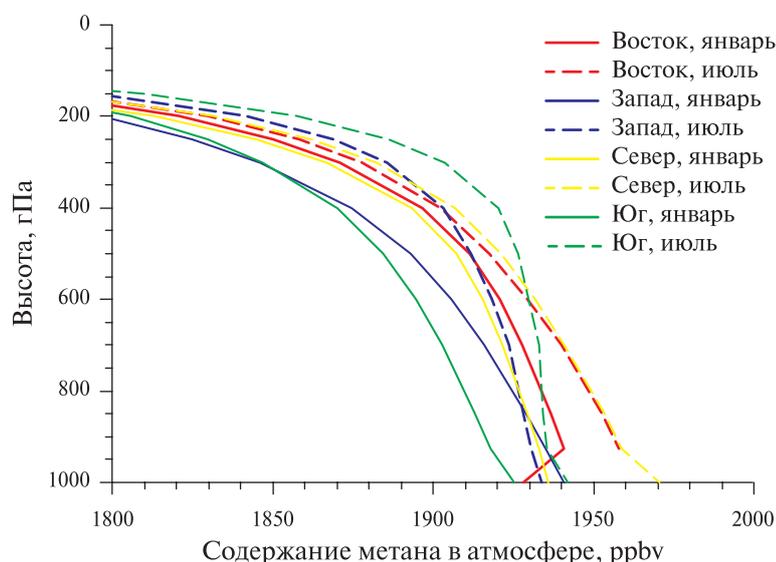


Рис. 1. Распределения метана по высоте по территории Казахстана за январь и июль 2018 г.

Участки расположены в квадратах со стороной 5°: север — 50–55° с. ш., 66–71° в. д.; юг — 42–47° с. ш., 66–71° в. д.; запад — 46–51° с. ш., 49–54° в. д.; восток — 46–51° с. ш., 78–83° в. д. На графиках наблюдается общее свойство CH_4 : концентрация метана после высоты 100 гПа (порядка 16 км) резко уменьшается. На востоке и севере в июле профили практически со-

впали. Максимум содержания метана отмечается в июле в слое атмосферы с высоты 600 гПа до 200 гПа. Из всех зимних распределений минимальным является распределение на южном участке. Из всех летних профилей меньшее содержание метана показывает распределение на западном участке. По этим вертикальным распределениям наблюдается повышенное содержание метана в июле на всех рассматриваемых участках, а в январе — пониженное.

На *рис. 2* представлены графики распределения содержания метана по территории Казахстана на высотах 1000 гПа (см. *рис. 2а*) и 925 гПа (см. *рис. 2б*) в среднем за 2018 г. по данным AIRS в относительных единицах ppbv (млрд⁻¹). Для анализа распределения содержания метана в атмосфере у земной поверхности на западе и севере Казахстана использовалась изобарическая плоскость 1000 гПа, так как на западе имеется Прикаспийская низменность, где уровень земной поверхности ниже уровня моря, а на севере — относительно ровная низменность. На остальной части Казахстана использовалась изобарическая плоскость 925 гПа, поскольку в центре находится Казахский мелкосопочник, на юге и востоке — горы Заилийского и Джунгарского Алатау. Районом с максимальным содержанием метана является северо-восток, а с минимальным — юг Казахстана. Максимальные значения содержания метана по годам: 2016 г. — 1947 ppbv; 2017 г. — 1950 ppbv; 2018 г. — 1958 ppbv. Минимальные значения содержания метана по годам: 2016 г. — 1877 ppbv; 2017 г. — 1884 ppbv; 2018 г. — 1887 ppbv. За последние три года максимальное значение содержания метана по территории Казахстана в среднем выросло на 11 ppbv, а минимальное — на 10 ppbv. Регионами с максимальными значениями содержания метана в атмосфере являются Восточно-Казахстанская, Карагандинская и Павлодарская области; с минимальными — Туркестанская обл.

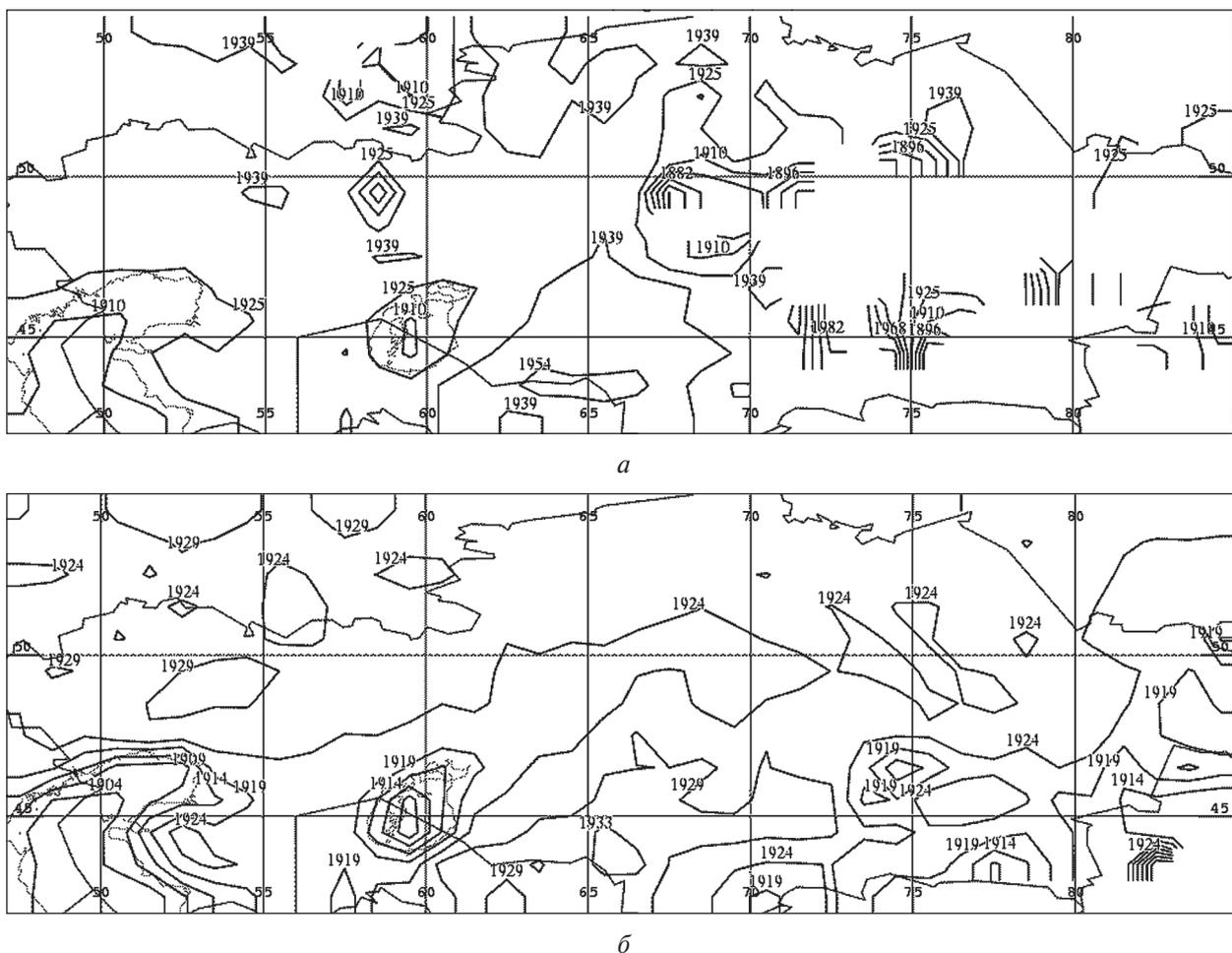


Рис. 2. Распределение содержания метана (ppbv) на изобарических поверхностях на территории Казахстана: *а* — 1000 гПа, *б* — 925 гПа

Сезонные изменения содержания метана по Казахстану с 2003 по 2018 г. представлены на *рис. 3*. Статистические сезонные характеристики месячных локальных ($1 \times 1^\circ$) величин содержания метана в атмосфере по данным AIRS показаны в *табл. 1*. Единица измерения структурных средних, экстремумов — ppbv. Согласно *табл. 1*, средние значения содержания метана в атмосфере составляют: осенью — 1911,8 ppbv; зимой — 1909,7 ppbv; весной — 1889,8 ppbv; летом — 1914,1 ppbv. Данные содержания метана весной являются наименьшими, а осенью, зимой и летом эти значения примерно одинаковы. На всех сезонных распределениях наблюдается тенденция к росту содержания метана по территории Казахстана за рассматриваемый период.

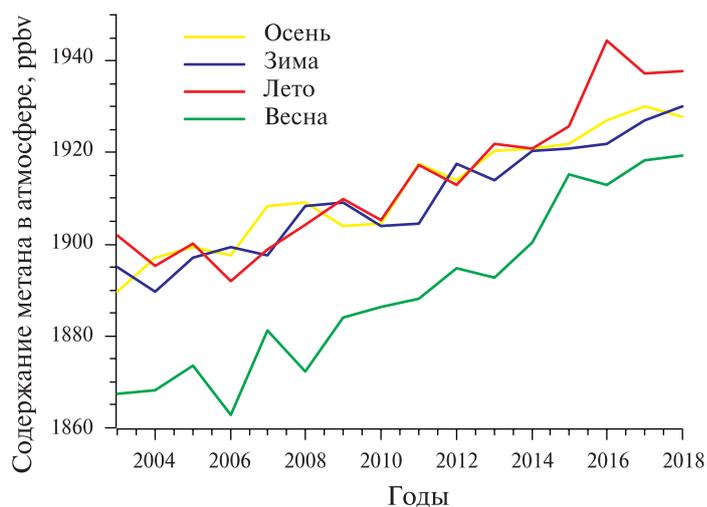


Рис. 3. Сезонные изменения содержания метана по Казахстану

Таблица 1. Статистические сезонные характеристики месячных величин содержания метана в атмосфере за 2004–2018 гг. по территории Казахстана. Единица измерения структурных средних, экстремумов — ppbv

	Осень	Зима	Весна	Лето
Среднее	1911,8	1909,7	1889,8	1914,1
Стандартная ошибка	3,09	3,07	4,74	4,01
Медиана	1911,5	1908,7	1887,2	1911,4
Стандартное отклонение	12,39	12,3	18,97	16,04
Дисперсия выборки	153,7	151,3	359,9	257,2
Эксцесс	-1,14	-1,18	-1,17	-0,78
Асимметричность	-0,14	0,07	0,29	0,51
Интервал	40,3	40,3	56,4	52,4
Минимум	1889,7	1889,7	1862,9	1891,9
Максимум	1930	1930	1919,3	1944,3

Многолетние изменения содержания метана в среднем по территории Казахстана на плоскости 1000 гПа отражены на графике (*рис. 4*, см. с. 297), построенном по данным сканера AIRS. За период с сентября 2002 г. по декабрь 2018 г. наблюдается устойчивый рост (тренд) концентрации метана. Результаты статистического анализа изменений приземной концентрации метана по территории Казахстана приведены в *табл. 2*. Единица измерения структурных средних, максимумов и минимумов — ppbv.

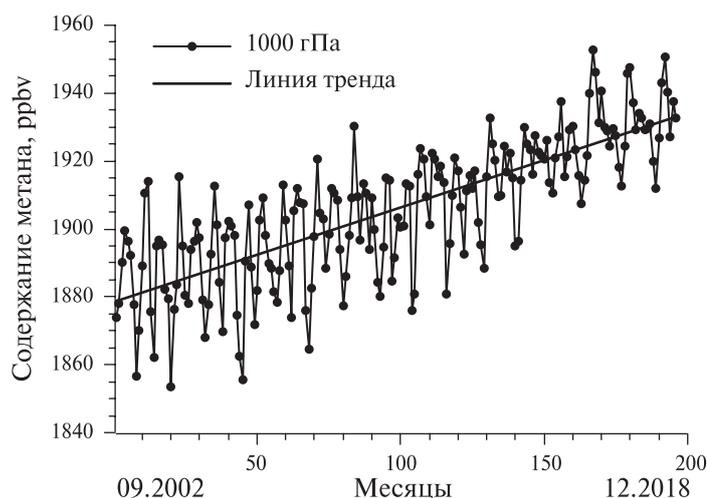


Рис. 4. Многолетние изменения содержания метана по территории Казахстана

Таблица 2. Статистические характеристики месячных величин содержания метана в атмосфере 2002–2018 гг. по территории Казахстана. Единица измерения структурных средних, экстремумов — ppbv

Среднее	1905,9
Стандартная ошибка	1,4
Медиана	1909,1
Стандартное отклонение	20,5
Дисперсия выборки	423,1
Эксцесс	–0,4
Асимметричность	–0,2
Интервал	99,1
Минимум	1853,5
Максимум	1952,7

В системе национальной гидрометеорологической службы наблюдения за состоянием окружающей среды проводится мониторинг состояния окружающей среды в соответствии с Экологическим Кодексом Республики Казахстан, включающий в себя наблюдения за загрязнением наземного атмосферного воздуха во всех крупных населённых пунктах. Выпущены информационные бюллетени о состоянии окружающей среды за 2017 и 2018 гг. с данными измерений загрязняющих веществ в атмосфере во всех городах Республики Казахстан (Информационные..., 2019). На основе анализа всех пунктов наблюдений определили, что наиболее повышенные концентрации метана отмечаются в городах Усть-Каменогорск, Риддер, Семей и Караганда. Согласно рис. 5 (см. с. 298), наиболее загрязнённым метаном является воздушный бассейн Усть-Каменогорска. Высокие концентрации метана наблюдаются с 2017 г. в Семее, в Караганде — с 2018 г.

Сравнение данных наземных измерений и дистанционного зондирования за 2016 и 2017 гг. показано на рис. 6 (см. с. 298). Использовались данные дистанционного зондирования по западному и северному регионам Казахстана (города Атырау, Уральск, Бейнеу, Актобе) на высоте 1000 гПа, а на юге и востоке — на высоте 925 гПа. Статистический анализ за 2016 г. данных наземных измерений и дистанционного зондирования: средние — 1898 и 1916 ppbv, медианы — 1842 и 1916 ppbv, максимумы — 3465 и 1930 ppbv, минимумы — 175 и 1889 ppbv. На рис. 6 наблюдается почти равный уровень данных дистанционного зондирования, а результаты наземных измерений имеют большой разброс. Это может объясняться сглаживанием данных дистанционного зондирования по пикселям.

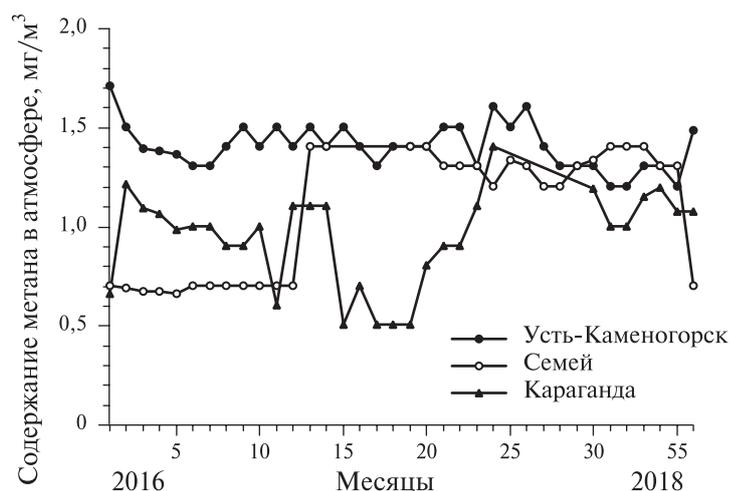


Рис. 5. Распределение концентрации метана за 2016–2018 гг. в Усть-Каменогорске, Семее, Караганде

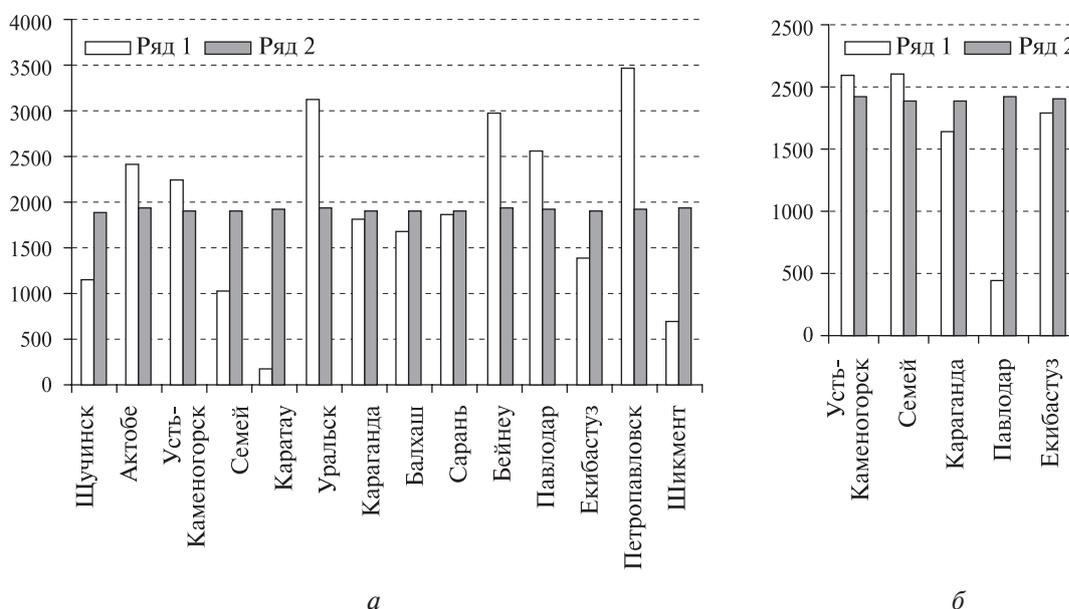


Рис. 6. Сравнение данных наземных измерений (ряд 1) и дистанционного зондирования (ряд 2) за февраль: а — 2016 г., б — 2017 г.

В заключение можно отметить, что по данным спутникового зондирования наиболее повышенное содержание метана наблюдается на северо-востоке Казахстана, а на юге — пониженное. Это подтверждают данные наземных наблюдений станциями Казгидромета. За последние 16 лет среднее содержание метана в атмосфере по территории Казахстана увеличилось на 7,2 %.

Работа выполнена в рамках проекта «Разработка системы космического мониторинга основных парниковых газов в атмосфере над территорией Республики Казахстан», финансируемого по целевой программе BR05336383 Аэрокосмического комитета Министерства цифрового развития, оборонной и аэрокосмической промышленности Республики Казахстан.

Литература

1. Макарова М. В., Поберовский А. В., Яговкина С. В., Кароль И. Л., Лагун В. Е., Парамонова Н. Н., Привалов В. И. Исследование процессов формирования поля метана в атмосфере северо-западного региона Российской Федерации // Известия российской академии наук. Физика атмосферы и океана. 2006. Т. 2. С. 237–249.
2. Макарова М. В., Гаврилов Н. М., Тимофеев Ю. М., Поберовский А. В. Сравнения спутниковых (GOSAT) и наземных фурье-спектрометрических измерений содержания метана вблизи Санкт-Петербурга // Исследование Земли из космоса. 2013. № 6. С. 50–56.
3. Информационные бюллетени о состоянии окружающей среды 2017–2018 гг. РГП Казгидромет МЭ РК. URL: <https://kazhydromet.kz/ru/bulleten/okrsreda> (дата обращения 28.01.2019).
4. Хаматнурова М. Ю., Грибанов К. Г., Захаров В. И. Разработка алгоритмов определения распределения метана в атмосфере из спектров спутникового радиометра IASI/METOP // Оптика атмосферы и океана. 2017. Т. 30. № 9. С. 794–798.
5. Bousquet P., Ciais P., Miller J. B., Dlugokencky E. J., Hauglustaine D. A., Prigent C., Van der Werf G. R., Peylin P., Brunke E.-G., Carouge C., Langenfelds R. L., Lathière J., Papa F., Ramonet M., Schmidt M., Steele L. P., Tyler S. C., White J. Contribution of anthropogenic and natural sources to atmospheric methane variability // Nature. 2006. V. 443. P. 439–443.

Changes in methane content in the atmosphere of Kazakhstan from ground and satellite data

A. Kh. Akhmedzhanov, N. D. Akhmetov, T. K. Karadanov

*National Centre of Space Research and Technology
Almaty 050010, Republic of Kazakhstan
E-mail: model_lab@mail.ru*

The features of the distribution of methane in the atmosphere of Kazakhstan are considered on the basis of space sensing data. At all seasonal distributions, a tendency is observed towards an increase in the methane content in Kazakhstan over the period under consideration. Generally, the content of methane decreases sharply higher the 100 hPa level (altitude about 16 km). The maximum content of methane is observed in July in the atmosphere in the region from 600 hPa to 200 hPa. According to the vertical distributions, the highest methane content is observed in the northeast of Kazakhstan, while the lowest in the south. According to 2016–2018 ground observations of Kazgidromet, the highest methane concentrations in the surface layer of the atmosphere are observed in the cities of Ust-Kamenogorsk, Ridder, Semey and Karaganda. East Kazakhstan, Karaganda and Pavlodar Regions are the territories with maximum methane content in the atmosphere. Turkestan Region is the region with the minimum content of methane in the atmosphere.

Keywords: atmosphere, greenhouse gas, methane, contents, vertical profile, remote sensing, solar irradiance

Accepted: 24.07.2019

DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-5-293-300

References

1. Makarova M. V., Poberovskii A. V., Yagovkina S. V., Karol I. L., Lagun V. E., Paramonova N. N., Privolov V. I., Issledovanie protsessov formirovaniya polya metana v atmosfere severo-zapadnogo regiona Rossiiskoi Federatsii (Study of methane field formation processes in the atmosphere of the North-Western region of the Russian Federation), *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Fizika atmosfery i okeana*, 2006, Vol. 2, pp. 237–249.

2. Makarova M. V., Gavrilov N. M., Timofeev Yu. M., Poberovskii A. V., Sravneniya sputnikovykh (GOSAT) i nazemnykh fur'e-spektrometricheskikh izmerenii sodержaniya metana vblizi Sankt-Peterburga (Comparisons of Satellite (GOSAT) and GroundBased Fourier Spectro), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2013, No. 6, pp. 50–56.
3. <https://kazhydromet.kz/ru/bulleten/okrsreda>.
4. Khamatnurova M. Yu., Griбанov K. G., Zakharov V. I., Razrabotka algoritmov opredeleniya raspredeleniya metana v atmosfere iz spektrov sputnikovogo radiometra IASI/METOP (Development of algorithms for determination of methane distribution in the atmosphere from Iasi/METOP satellite radiometer spectra), *Optika atmosfery i okeana*, 2017, Vol. 30, No. 9, pp. 794–798.
5. Bousquet P., Ciais P., Miller J. B., Dlugokencky E. J., Hauglustaine D. A., Prigent C., Van der Werf G. R., Peylin P., Brunke E.-G., Carouge C., Langenfelds R. L., Lathière J., Papa F., Ramonet M., Schmidt M., Steele L. P., Tyler S. C., White J., Contribution of anthropogenic and natural sources to atmospheric methane variability, *Nature*, 2006, Vol. 443, pp. 439–443.