

ОЦЕНКА ОТНОШЕНИЙ ОСНОВНЫХ НЕЙТРАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ТЕРМОСФЕРЫ В 2014–2017 гг. НА ВЫСОТАХ СЛОЯ F1 НАД ИРКУТСКОМ

ESTIMATED RELATIONS BETWEEN THE MAIN THERMOSPHERIC NEUTRAL COMPONENTS AT IONOSPHERIC F1-LAYER HEIGHTS ABOVE IRKUTSK IN 2014–2017

Г.П. Кушнаренко

*Институт солнечно-земной физики СО РАН,
Иркутск, Россия, kusch@iszf.irk.ru*

О.Е. Яковлева

*Институт солнечно-земной физики СО РАН,
Иркутск, Россия, yakovleva@iszf.irk.ru*

Г.М. Кузнецова

*Институт солнечно-земной физики СО РАН,
Иркутск, Россия, kuz@iszf.irk.ru*

G.P. Kushnarenko

*Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS,
Irkutsk, Russia, kusch@iszf.irk.ru*

O.E. Yakovleva

*Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS,
Irkutsk, Russia, yakovleva@iszf.irk.ru*

G.M. Kuznetsova

*Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS,
Irkutsk, Russia, kuz@iszf.irk.ru*

Аннотация. Получены оценки сезонных вариаций основных газовых составляющих термосферы $[O]/[N_2]$ и $[O_2]/[O]$ за период 2014–2017 гг. Для расчетов использовались известная авторская методика и результаты измерений электронной концентрации с помощью Иркутского дигизонда ($52^\circ N$, $104^\circ E$) на высотах 120–200 км в условиях разной геомагнитной активности. Получено, что во время геомагнитных возмущений во все сезоны рассматриваемого периода увеличивается относительное содержание молекулярной компоненты нейтральной составляющей термосферы и уменьшается атомарной. В сравнении с 2014 г. значения $[O_2]/[O]$ увеличиваются к 2017 г. в спокойных и возмущенных геомагнитных условиях: летом и весной — до 30 % и 20 % соответственно, зимой и осенью — до 10 %. Значения $[O]/[N_2]$ уменьшаются к 2017 г. в спокойные и возмущенные дни в среднем на 15 %. Подтвердилось предположение о том, что летом в спокойных геомагнитных условиях относительное содержание молекулярного кислорода $[O_2]/[O]$ увеличивается при понижении уровня солнечной активности.

Ключевые слова: геомагнитные возмущения, отношения газовых составляющих.

Abstract. We have estimated seasonal variations in the main thermospheric gas components $[O]/[N_2]$ and $[O_2]/[O]$ for the period 2014–2017. We have used the well-known authoring technique and electron density measurements made with the Irkutsk digisonde ($52^\circ N$, $104^\circ E$) at ionospheric F1-layer heights under different geomagnetic activity conditions. We have found that at these heights during geomagnetic disturbances in all seasons the molecular component of the neutral composition of the thermosphere increases and the atomic component decreases. In comparison with 2014, $[O_2]/[O]$ values increased by 2017 under quiet and disturbed geomagnetic conditions: up to 30 % and 20 % in summer and spring respectively; up to 10 % in winter and autumn. The $[O]/[N_2]$ ratio decreased by an average of 15 % by 2017. The assumption has been confirmed that in summer under quiet geomagnetic conditions the relative molecular oxygen content $[O_2]/[O]$ increases with decreasing solar activity.

Keywords: geomagnetic disturbances, gas component ratios.

ВВЕДЕНИЕ

На высотах средней ионосферы, где располагается область F1, основным показателем состояния термосферы является газовый состав, который характеризуется в основном соотношением концентраций атомов кислорода и молекул кислорода и азота. Электронная концентрация N_e и форма профиля $N(h)$ больше всего подвержены влиянию газового состава термосферы на высотах ниже 200 км, где обычно хорошо выполняется условие фотохимического равновесия. Используя полупирическую модель (ПЭМ) [Щепкин и др., 1998], можно относительно просто описать связь N_e с газовым составом термосферы, ее температурой и потоком солнечного излучения. С помощью ПЭМ и с привлечением результатов регулярных измерений электронной концентрации Иркутским ионизондом ($52^\circ N$, $104^\circ E$) мы можем получить отношения основных га-

зовых составляющих $[O]/[N_2]$ и $[O_2]/[O]$ по известной авторской методике [Щепкин и др., 2008, 2009] на высотах 120–200 км для заданных условий. В продолжение ранее проделанной работы [Кушнаренко и др., 2014, 2015] были выполнены расчеты для периода 2014–2017 гг., объединяющего условия максимума и спада солнечной активности. Исследовано поведение $[O]/[N_2]$ и $[O_2]/[O]$ по сезонам на указанных высотах ионосферы в спокойных и возмущенных геомагнитных условиях.

МЕТОД И ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДАННЫЕ

Полупирическая модель (ПЭМ), основанная на уравнении регрессии [Щепкин и др., 2009], может быть использована для анализа текущего состояния газового состава термосферы:

Таблица 1

Среднегодовые F10.7 в период 2003–2017 гг.

Год	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17
F10.7	128	106	92	80	74	69	71	80	113	120	123	146	118	89	77

Таблица 2

Средние отношения [O]/[N₂] и [O₂]/[O] в период 2014–2017 гг. (Иркутск)

Год	F10.7	[O]/[N ₂]							
		зима		весна		лето		осень	
		возм.	спок.	возм.	спок.	возм.	спок.	возм.	спок.
2014	146	0.331	0.343	0.240	0.280	0.179	0.191	0.313	0.327
σ, 2014		0.085	0.060	0.054	0.064	0.035	0.035	0.049	0.082
2015	118	0.276	0.414	0.216	0.229	0.164	0.171	0.218	0.244
σ, 2015		0.059	0.074	0.051	0.057	0.030	0.028	0.062	0.078
2016	89	0.289	0.314	0.196	0.217	0.136	0.152	0.181	0.240
σ, 2016		0.074	0.084	0.056	0.058	0.022	0.028	0.059	0.049
2017	77	0.229	0.277	0.160	0.170	0.124	0.140	0.165	0.250
σ, 2017		0.068	0.063	0.042	0.032	0.023	0.040	0.071	0.076
		[O ₂]/[O]							
2014	146	0.345	0.321	0.559	0.465	0.706	0.592	0.401	0.363
σ, 2014		0.134	0.109	0.160	0.147	0.222	0.191	0.071	0.059
2015	118	0.396	0.338	0.528	0.470	0.765	0.652	0.490	0.289
σ, 2015		0.108	0.090	0.170	0.173	0.248	0.203	0.074	0.083
2016	89	0.412	0.355	0.686	0.670	0.809	0.795	0.494	0.376
σ, 2016		0.134	0.130	0.127	0.140	0.284	0.294	0.056	0.044
2017	77	0.468	0.349	0.712	0.571	0.860	0.819	0.520	0.389
σ, 2017		0.189	0.160	0.156	0.204	0.297	0.335	0.195	0.203

$$\begin{aligned}
 N_e / N_{av} = & X_1 + X_2 \left[n_1 / (5n_2 + n_3) \right]^{1.5} + \\
 & + X_3 (n_1 / n_3)^{0.5} (\cos \chi)^{0.5} + \\
 & + X_4 \exp[-(T_{ex} - 600) / 600] + X_5 (E / E_0).
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Здесь N_e — электронная концентрация; N_{av} — среднее значение N_e по всему объему использованных данных отдельно для каждой высоты; X_j — коэффициенты уравнения модели; n_1, n_2, n_3 — концентрации атомов кислорода и молекул кислорода и азота соответственно; χ — зенитный угол Солнца; T_{ex} — температура экзосферы; E_0 — энергия потока ионизирующего излучения E в максимуме солнечной активности [Tobiska, Eparvier, 1998]. Запишем уравнение (1) в другом виде:

$$\begin{aligned}
 N_e / N_{av} = & X_1 + X_2 R \sqrt{RW} + \\
 & + X_3 \sqrt{R} (\cos \chi)^{0.5} + \\
 & + X_4 \exp[-(T_{ex} - 600) / 600] + \\
 & + X_5 (E / E_0).
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Здесь $R = ([O] / [N_2])$; $W = [1 / (1 + 5R_2)]^{1.5}$; $R_2 = [O_2] / [N_2]$; $R_2 / R = [O_2] / [O]$; [O], [O₂] и [N₂] — концентрации атомарного кислорода и молекулярных кислорода и азота соответственно. В рабочих расчетах были использованы модели термосферы [Hedin, 1987; Picone et al., 2002]. Для оценки отношений [O]/[N₂] и [O₂]/[O] брались измерения электронной концентрации, полученные с помощью дигизонда в дневные часы на высотах 120, 130, ..., 190, 200 км в период

2014–2017 гг. По этим данным из выражения (2) можно оценить искомые отношения $R, R_2, R_2/R$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Метод позволяет оценивать отношения [O]/[N₂] и [O₂]/[O] для дневных часов (7–18 LT), используя данные по электронной концентрации на высотах 120–200 км. Расчеты проводились по всем дням с разными геомагнитными условиями во все сезоны периода 2014–2017 гг., куда входят годы максимума (2014 г.) и спада солнечной активности (табл. 1).

Для каждого спокойного и возмущенного дня мы сначала считали среднее значение отношения за околополуденные часы (10–14 LT), а затем находили величину среднего отношения отдельно для спокойных и возмущенных дней каждого сезона указанных лет. Для последних отношений рассчитывалось среднеквадратичное отклонение σ (см. табл. 2). Возмущенными считались дни с геомагнитным индексом $A_p > 10$. Значения индексов F10.7, A_p и Dst получены из базы данных WDC-C2 в Киото [http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp].

ОТНОШЕНИЕ [O₂]/[O]

Изменения средних сезонных величин [O₂]/[O] в спокойных условиях в 2014–2017 гг. более наглядно показаны на рис. 1. Отношение [O₂]/[O] на высотах слоя F1 во все сезоны возрастает к концу этого периода. Наибольшие величины [O₂]/[O] наблюдаются летом: с 2014 г. по 2017 г. отношение увеличивается

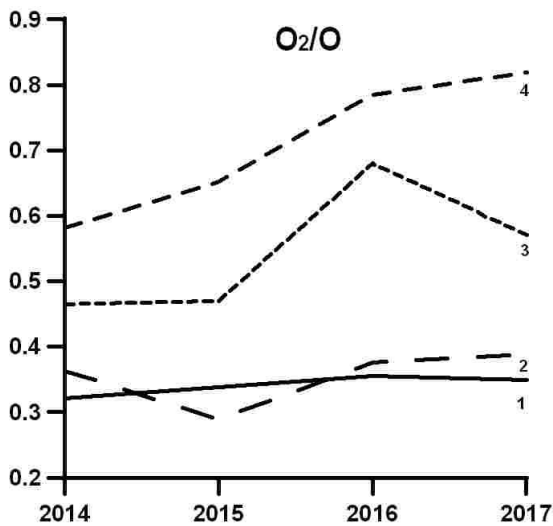


Рис. 1. Сезонные изменения $[O_2]/[O]$ в спокойных геомагнитных условиях: 1 — зима, 2 — осень, 3 — весна, 4 — лето. На оси X — годы исследуемого периода

на 30 %. Видимо, летом в спокойных геомагнитных условиях относительное содержание молекулярного кислорода $[O_2]/[O]$ увеличивается при понижении уровня солнечной активности. Подтверждением этому являются результаты нашей работы [Кушнарченко и др., 2011] по ст. «Иркутск», в которой отмечено возрастание $[O_2]/[O]$ в период длительного минимума солнечной активности (2007–2009 гг.).

В другие сезоны изменения от начальных величин 2014 г. к 2017 г. таковы: весной отношение $[O_2]/[O]$ увеличивается на 20 %, а зимой и осенью — в пределах 10 %. Можно отметить весеннее возрастание на 30 % величины $[O_2]/[O]$ в спокойные дни 2016 г. Возможно, причиной является довольно значительное уменьшение уровня солнечной активности в 2016 г. по сравнению с 2015 г.: среднегодовой индекс $F10.7$ изменился от 118 до 89 (табл. 1), что привело к увеличению среднего отношения $[O_2]/[O]$, как и в летний период.

Как правило, во время геомагнитных возмущений величины $[O_2]/[O]$ превышают значения для спокойных условий: весной и летом по всему периоду увеличение достигает 20 %, зимой и осенью — 25 %. В летние сезоны отношение $[O_2]/[O]$ выше зимних значений для всего рассматриваемого периода: в спокойных и в возмущенных условиях в среднем на 45–55 %.

ОТНОШЕНИЕ $[O]/[N_2]$

Изменения отношения $[O]/[N_2]$ по сезонам в спокойных геомагнитных условиях в период 2014–2017 гг. показаны на рис. 2. Зимняя ветвь содержит наибольшие значения $[O]/[N_2]$, летняя — самые низкие. В 2015 г. можно отметить зимнее увеличение на 18 % относительно 2014 г.

Характерно, что к 2017 г. средние значения $[O]/[N_2]$ во все сезоны уменьшаются относительно величин 2014 г. в среднем на 15 % и в спокойные, и в возмущенные дни.

Как было показано ранее в работах [Щепкин и др., 2009; Кушнарченко и др., 2011, 2014], во время геомагнитных возмущений отношение $[O]/[N_2]$ на высотах

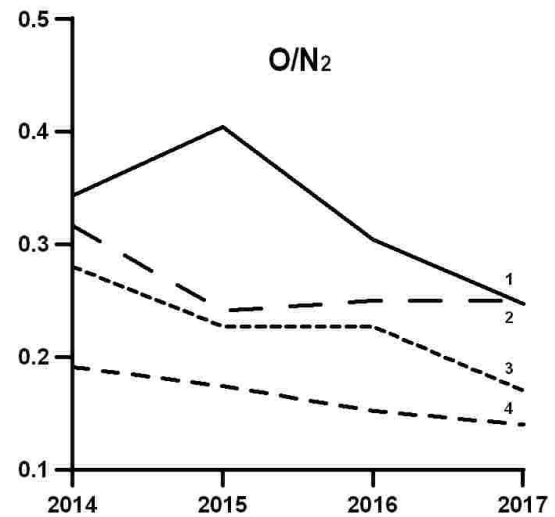


Рис. 2. Сезонные изменения $[O]/[N_2]$ в спокойных геомагнитных условиях: 1 — зима, 2 — осень, 3 — весна, 4 — лето. На оси X — годы исследуемого периода

слоя F1 почти всегда уменьшается и величина уменьшения зависит от сезона и интенсивности возмущений. Отметим наибольшие изменения, наблюдавшиеся во время возмущений: в 2015 г. зимой — до 30 %, осенью в 2016 г. и в 2017 г. — до 25 % и 35 % соответственно. В остальные сезоны по годам вариации от спокойных условий к возмущенным находятся в пределах 10 %.

Зимние значения $[O]/[N_2]$ превышают летние в спокойные и в возмущенные периоды во все рассматриваемые годы в среднем на 70–100 %, наибольшие отклонения наблюдались в 2015 г.

По спутниковым измерениям [Goncharenko et al., 2006] известно, что газовый состав в зоне возмущения характеризуется уменьшением концентрации атомарного кислорода и существенным возрастанием концентрации молекулярного азота. Эти изменения наблюдаются не только летом в условиях солнечного минимума, но и в течение всего солнечного цикла в возмущенные периоды [Lastovicka, 2002], что подтверждается и нашими оценками отношений $[O]/[N_2]$ и $[O_2]/[O]$ в рассматриваемые годы.

СРАВНЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ ОЦЕНОК ОТНОШЕНИЙ $[O]/[N_2]$ И $[O_2]/[O]$ С МОДЕЛЬНЫМИ ЗНАЧЕНИЯМИ

В работе [Кушнарченко и др., 2011] проводилось сравнение рассчитанных отношений $[O]/[N_2]$ и $[O_2]/[O]$ с соответствующими величинами, полученными по МСИС для периода спада солнечной активности (2003–2005 гг.). Рассматриваемые в настоящей работе условия (см. табл. 1) сопоставимы с условиями 2003–2005 гг., что позволяет в качестве примера привести сравнение наших оценок $[O]/[N_2]$ и $[O_2]/[O]$ с модельными значениями для мая 2005 г. (см. табл. 3 в [Кушнарченко и др., 2011]), когда наблюдались три значительных геомагнитных возмущения: 8 мая ($Dst=-127$ нТл); 15 мая ($Dst=-263$ нТл); 30 мая ($Dst=-138$ нТл). Отношения $r_1=[O]/[N_2]/[O]/[N_2]_{МСИС}$ и $r_3=[O_2]/[O]/[O_2]/[O]_{МСИС}$ показывают изменения рассчитанных нами отно-

шений $[O]/[N_2]$ и $[O_2]/[O]$ в возмущенные и спокойные дни в сравнении с соответствующими величинами МСИС.

В спокойных условиях отличия наших оценок от модельных составляют порядка 10–15 %, во время значительных возмущений величины $[O]/[N_2]$ выше значений по модели МСИС на 8–18 %. Отличие отношений $[O_2]/[O]$ от модельных достигает от 5 до 20 %.

Сравнение полученных значений $[O_2]/[O]$ и $[O]/[N_2]$ в другие сезоны другого года (2003 г.) периода спада солнечной активности также показывает значительное расхождение с модельными величинами во время сильных и умеренных геомагнитных возмущений, что позволяет сделать следующие выводы.

1. Для периодов сильных геомагнитных возмущений в октябре и ноябре 2003 г. наши оценки отношений $[O]/[N_2]$ и $[O_2]/[O]$ были ниже модельных значений в два раза, в мае и сентябре уменьшение достигало 30 %.

2. Для периодов умеренных и слабых возмущений наши оценки $[O]/[N_2]$ меньше соответствующих модельных значений на 10–20 % и меньше значений для спокойных дней на 25–35 %. Отношение $[O_2]/[O]$ превышает модельные значения на 20–50 % и в 1.5–2 раза выше значений для спокойных дней.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Получено, что летом в спокойных геомагнитных условиях относительное содержание молекулярного кислорода $[O_2]/[O]$ увеличивается при понижении уровня солнечной активности.

2. На высотах ниже 200 км в периоды геомагнитных возмущений увеличивается относительное содержание молекулярной компоненты нейтральной составляющей термосферы и уменьшается атомарной. Во время возмущений средние значения $[O_2]/[O]$ превышают значения для спокойных условий во все сезоны периода 2014–2017 гг. и могут достигать весной и летом 20 %, зимой и осенью 25 %. Величины $[O]/[N_2]$ во время возмущений уменьшаются зимой и осенью в отдельные годы на 25–35 %, в летние и весенние сезоны — в пределах 10 %.

3. По отношению к начальным величинам 2014 г. значения $[O_2]/[O]$ увеличиваются к 2017 г. и в спокойных, и возмущенных геомагнитных условиях: летом и весной — до 30 % и 20 % соответственно, зимой и осенью — до 10 %. В то же время отношение $[O]/[N_2]$ уменьшается к 2017 г. по сравнению с 2014 г. в спокойные и возмущенные дни в среднем на 15 %.

4. Проведенные в наших предыдущих работах оценки основных газовых составляющих термосферы выявили значительное расхождение с соответствующими величинами по модели МСИС во время сильных и умеренных геомагнитных возмущений в период спада солнечной активности. Поскольку нами использовался экспериментальный материал по электронной концентрации и коэффициенты ПЭМ, полученные на его основе для Иркутска, можно предположить, что в возмущенных условиях реальный газовый состав существенно отличается

от модельного. Оценки основных газовых составляющих по имеющейся методике позволяют проводить процедуру коррекции модели термосферы применительно к конкретным гелиогеофизическим условиям. Важно, что решение такой задачи осуществляется на базе регулярных ионосферных измерений методом вертикального зондирования.

Работа выполнена в рамках базового финансирования программы ФНИ П.16 (проект П.16.1.1 «Исследование влияния солнечной активности и процессов в нижней атмосфере на изменения термодинамических характеристик атмосферы, Мирового океана и климата»). Результаты получены с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Ангара» [<http://ckp-rf.ru/ckp/3056>].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Кушнаренко Г.П., Кузнецова Г.М., Колпакова О.Е. Оценки отношений основных газовых составляющих во время сильных и умеренных геомагнитных возмущений в период спада и минимума солнечной активности // Солнечно-земная физика. 2011. Вып. 19. С. 134–139.

Кушнаренко Г.П., Кузнецова Г.М., Яковлева О.Е. Сезонные изменения отношений основных газовых составляющих термосферы в последнем минимуме солнечной активности (2007–2009 гг.) // Солнечно-земная физика. 2014. Вып. 25. С. 29–32.

Кушнаренко Г.П., Яковлева О.Е., Кузнецова Г.М. Долговременные изменения в нейтральном газовом составе термосферы над Иркутском // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 4. С. 30–34. DOI: [10.12737/13457](https://doi.org/10.12737/13457).

Щепкин Л.А., Кушнаренко Г.П., Кузнецова Г.М., Фрейзон И.А. Зависимость параметров средней ионосферы от солнечной и геомагнитной активностей. 1. Степень развития слоя F1 // Геомагнетизм и аэронавигация. 1998. Т. 38, № 5. С. 72–76.

Щепкин Л.А., Кушнаренко Г.П., Кузнецова Г.М. Возможность оценок относительного содержания атомов и молекул кислорода по данным измерений электронной концентрации в средней ионосфере // Геомагнетизм и аэронавигация. 2008. Т. 48, № 1. С. 129–133.

Щепкин Л.А., Кузнецова Г.М., Кушнаренко Г.П. Оценки относительного содержания атомов и молекул кислорода на высоте 120 км по данным ионосферных измерений // Геомагнетизм и аэронавигация. 2009. Т. 49, № 4. С. 350–353.

Goncharenko L., Salah J., Crowley G., et al. Large variations in the thermosphere and ionosphere during minor geomagnetic disturbances in April 2002 and their association with IMF B_y // J. Geophys. Res. 2006. V. 111, A03303. DOI: [10.1029/2004JA010683](https://doi.org/10.1029/2004JA010683).

Hedin A.E. MSIS-86 thermospheric model // J. Geophys. Res. 1987. V. 92, N A5. P. 4649–4662.

Lastovicka J. Monitoring and forecasting of ionospheric space weather-effects of geomagnetic storms // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 2002. V. 64. P. 697–705.

Picone J.M., Hedin A.E., Drob D.P., Aikin A.C. (GTD7-2000) NRLMSISE-00 Empirical model of the atmosphere: statistical comparisons and scientific issues // J. Geophys. Res. 2002. V. 107, N A12. P. 1469. DOI: [10.1029/2002JA009430](https://doi.org/10.1029/2002JA009430).

Tobiska W.K., Eparvier F.G. EUV97: Improvements to EUV irradiance modeling in the soft X-rays and EUV // Solar Phys. 1998. V. 147, N 1. P. 147–159.

URL: <http://ckp-rf.ru/ckp/3056> (дата обращения 31 января 2020 г.).

URL: <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp> (дата обращения 31 января 2020 г.).

REFERENCES

- Goncharenko L., Salah J., Crowley G., Paxton L.J., Zhang Y., Coster A., Rideout W., Huang C., Zhang S., Reinisch B., Taran V. Large variations in the thermosphere and ionosphere during minor geomagnetic disturbances in April 2002 and their association with IMF B_y . *J. Geophys. Res.* 2006, vol. 111, A03303. DOI: [10.1029/2004JA010683](https://doi.org/10.1029/2004JA010683).
- Hedin A.E. MSIS-86 thermospheric model. *J. Geophys. Res.* 1987, vol. 92, no. A5, pp. 4649–4662.
- Kushnarenko G.P., Kuznetsova G.M., Kolpakova O.E. The estimations of the ratios of the major gas constituents during strong and moderate geomagnetic disturbances in the descending phase of solar activity and solar minimum. *Solnechno-zemnaya fizika* [Solar-Terrestrial Physics]. 2011, vol. 19, pp. 134–139. (In Russian).
- Kushnarenko G.P., Kuznetsova G.M., Yakovleva O.E. Seasonal changes of the thermospheric main gas components ratios during the last solar activity minimum (2007–2009). *Solnechno-zemnaya fizika* [Solar-Terrestrial Physics]. 2014, vol. 25, pp. 29–32. (In Russian).
- Kushnarenko G.P., Yakovleva O.E., Kuznetsova G.M. Long-term variations in neutral gas composition of the thermosphere above Irkutsk. *Solnechno-zemnaya fizika* [Solar-Terrestrial Physics]. 2015, vol. 1, no. 4, pp. 30–34. DOI: [10.12737/13457](https://doi.org/10.12737/13457). (In Russian).
- Lastovicka J. Monitoring and forecasting of ionospheric space weather-effects of geomagnetic storms. *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 2002, vol. 64, pp. 697–705.
- Picone J.M., Hedin A.E., Drob D.P., Aikin A.C. (GTD7-2000) NRLMSISE-00 Empirical model of the atmosphere: statistical comparisons and scientific issues. *J. Geophys. Res.* 2002, vol. 107, no. A12, p. 1469. DOI: [10.1029/2002JA009430](https://doi.org/10.1029/2002JA009430).
- Tobiska W.K., Eparvier F.G. EUV97: Improvements to EUV irradiance modeling in the soft X-rays and EUV. *Solar Phys.* 1998, vol. 147, no. 1, pp. 147–159.
- Shchepkin L.A., Kushnarenko G.P., Kuznetsova G.M., Freizon I.A. The middle ionosphere parameters dependence upon the solar and geomagnetic activities. 1. The development degree of the F1 layer. *Geomagnetizm i aeronomiya* [Geomagnetism and Aeronomy]. 1998, vol. 38, no. 5, pp. 72–76. (In Russian).
- Shchepkin L.A., Kushnarenko G.P., Kuznetsova G.M. The possibility of estimations of the atomic and molecular oxygen relative abundance according to electron density measurements in the middle ionosphere. *Geomagnetizm i aeronomiya* [Geomagnetism and Aeronomy]. 2008, vol. 48, no. 1, pp. 129–133. (In Russian).
- Shchepkin L.A., Kuznetsova G.M., Kushnarenko G.P. The estimations of atomic and molecular oxygen the relative abundance at height of 120 km according to the ionospheric measurements. *Geomagnetizm i aeronomiya* [Geomagnetism and Aeronomy]. 2009, vol. 49, no. 4, pp. 350–353. (In Russian).
- URL: <http://ckp-rf.ru/ckp/3056> (accessed January 31, 2020).
- URL: <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp> (accessed January 31, 2020).

Как цитировать эту статью:

Кушнаренко Г.П., Яковлева О.Е., Кузнецова Г.М. Оценка отношений основных нейтральных составляющих термосферы в 2014–2017 гг. на высотах слоя F1 над Иркутском. *Солнечно-земная физика*. 2020. Т. 6, № 3. С. 110–114. DOI: [10.12737/szf-63202013](https://doi.org/10.12737/szf-63202013).