

Диоксид азота в воздушном бассейне России по спутниковым данным

А.А. Тронин, С.Г. Крицук, И.Ш. Латыпов

*Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр
экологической безопасности РАН
197110, Санкт-Петербург, ул. Корпусная, 18
E-mail: a.a.tronin@ecosafety-spb.edu*

Диоксид азота является токсичным газом и относится ко 2 классу опасности. Основным источником NO₂ служит сжигание органического топлива при температурах выше 1000 °С. В природе он образуется в заметных количествах при лесных, торфяных и угольных пожарах и в небольших количествах при разрядах молний. В современных условиях автомобильный транспорт обеспечивает до 80% поступления газа в атмосферу. В современных городах концентрации могут достигать 1000 мкг/м³, что многократно превышает предельно допустимые концентрации. Современные приборы дистанционного зондирования позволяют вести мониторинг содержания NO₂ в атмосфере. Основными инструментами для измерения концентраций диоксида азота в столбе атмосферы служат газоанализатор SCIAMACHY, установленный на борту природоресурсного спутника ENVISAT и прибор OMI на борту спутника AURA. Пространственное разрешение аппаратуры, а также облачность пока не позволяет вести ежедневный мониторинг атмосферы. Поэтому для анализа содержания NO₂ целесообразно использовать среднемесячные и среднегодовые значения. На среднегодовых данных отчетливо фиксируются крупные аномалии над городскими агломерациями. Так, среднегодовая концентрация по Московской области за 2007 г. составляет $722 \cdot 10^{13}$ молекул/см², тогда как в Архангельской области эта величина равна $56 \cdot 10^{13}$. В г. Москва среднегодовые концентрации превышают $2000 \cdot 10^{13}$. В глобальном плане наихудшая ситуация наблюдается в Китае. Анализ полученных данных показывает явную антропогенную приуроченность аномалий диоксида азота. Распределение диоксида азота весьма неравномерно. Контрастность аномалий достигает двух порядков. Распределение диоксида азота в столбе атмосферы относительно простое, более 50% диоксида азота находится на высоте 0 – 1.5 км, так как все источники газа находятся на земной поверхности. Анализ распределения газа в пространстве показывает, что имеется значительный перенос диоксида азота, что открывает новые возможности для моделирования трансграничных переносов. Также проведён анализ содержаний таких газов, как метан, угарный газ, углекислый газ, диоксид серы в ареалах аэротехногенного загрязнения крупных городских и промышленных агломераций.

Ключевые слова: диоксид азота, спутниковые наблюдения, городские агломерации, автомобили.

Введение

Диоксид азота является токсичным газом и относится ко 2 классу опасности (табл. 1). Основным источником NO₂ служит сжигание органического топлива при температурах выше 1000 °С. В природе он образуется в заметных количествах при лесных, торфяных и угольных пожарах и в небольших количествах при разрядах молний. В современных условиях автомобильный транспорт обеспечивает до 80% поступления газа в атмосферу (табл. 2). В современных городах концентрации могут достигать 1000 мкг/м³, что многократно превышает предельно допустимые концентрации. Современные приборы дистанционного зондирования позволяют вести мониторинг содержания NO₂ в атмосфере.

Таблица 1. Концентрации диоксида азота в атмосфере

<i>Средняя концентрация в атмосфере</i>	0.4–9.4 мкг/м ³ 20–90 мкг/м ³ в городах
<i>Класс опасности</i>	2
<i>Предельно допустимая концентрация ПДКсс(среднесуточная) [1]</i>	0.04 мг/м ³
<i>Предельно допустимая концентрация ПДКмр (максимальная разовая доза) [1]</i>	0.085 мг/м ³ С 1.02.2006 г 0.2 мг/м ³

Таблица 2. Основные источники NO₂ в атмосфере [2]

<i>Источник</i>	<i>Объём, Тз/год</i>
Сжигание топлива	33
Горение биомассы	7.1
Почвы	5.6
Молнии	5.0
ВСЕГО	~52

Аппаратура и данные

Основными инструментами для измерения концентраций диоксида азота в столбе атмосферы служат газоанализатор SCIAMACHY, установленный на борту природоресурсного спутника ENVISAT и прибор OMI на борту спутника AURA (табл. 3).

Таблица 3. Основные технические характеристики приборов SCIAMACHY и OMI

<i>Прибор /спутник</i>	<i>Спектральный диапазон, нм</i>	<i>Спектральное разрешение, нм</i>	<i>Стабильность спектральных каналов, нм</i>	<i>Разрешение на местности, км</i>	<i>Измеряемые газы</i>
SCIAMACHY/ ENVISAT	240 - 314	0.24	0.003	30 x 60	O ₃ , CO, CH ₄ , N ₂ O, NO ₂ , SO ₂ , HCHO, H ₂ O
	309 - 405	0.26	0.003		
	394 - 620	0.44	0.004		
	604 - 805	0.48	0.005		
	785 - 1050	0.54	0.005		
	1000 - 1750	1.48	0.015		
	1940 - 2040	0.22	0.003		
	2265 - 2380	0.26	0.003		
OMI/AURA	270 - 314	0.45-1.0	0.002	13 x 24	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , BrO, HCOH OClO, аэрозоль
	306 - 380				
	350 - 500				

Пространственное разрешение аппаратуры, а также облачность пока не позволяет вести ежедневный мониторинг атмосферы. Поэтому для анализа содержания NO₂ целесообразно использовать среднемесячные и среднегодовые значения. Для дальнейшего анализа данных были использованы среднемесячные значения диоксида азота для приборов SCIAMACHY и OMI (табл. 4).

Таблица 4. Данные приборов SCIAMACHY и OMI

Прибор /спутник	Название продукта	Размер изображения, пиксели	Размер пиксела, градусы	Единицы измерения
SCIAMACHY/ ENVISAT	TM3 tropospheric NO2 columns	1440 x 720	0.25	1e13 молекул/см ²
OMI/AURA	Monthly mean tropospheric NO2 from OMI version 1.0	2880 x 1440	0.125	1e13 молекул/см ²

Данные наблюдений поступали в формате GRD, после фильтрации, загружались в ГИС ArcGIS, где и проводился расчёт концентраций. На первом этапе расчёт был выполнен по субъектам федерации и только для данных OMI, как имеющих более высокое разрешение на местности и стабильность данных по диоксиду азота. Для всех субъектов федерации были рассчитаны среднемесячные значения концентраций NO₂ в столбе атмосферы. По ним были вычислены среднегодовые значения за 2006 и 2007 гг.

Результаты

Результаты измерений диоксида азота на территорию Российской Федерации приведены на рисунке 1 и таблице 5. На среднегодовых данных отчётливо фиксируются крупные аномалии над городскими агломерациями. Так, среднегодовая концентрация по Московской области за 2007 г. составляет $722 \cdot 10^{13}$ молекул/см², тогда как в Архангельской области эта величина равна $56 \cdot 10^{13}$. В г. Москва среднегодовые концентрации превышают $2000 \cdot 10^{13}$. Практически все крупные города страны отчётливо дешифрируются на спутниковых картах диоксида азота, что связано с наличием в этих городах большого количества автомобилей, являющихся основным источником диоксида азота в настоящее время.

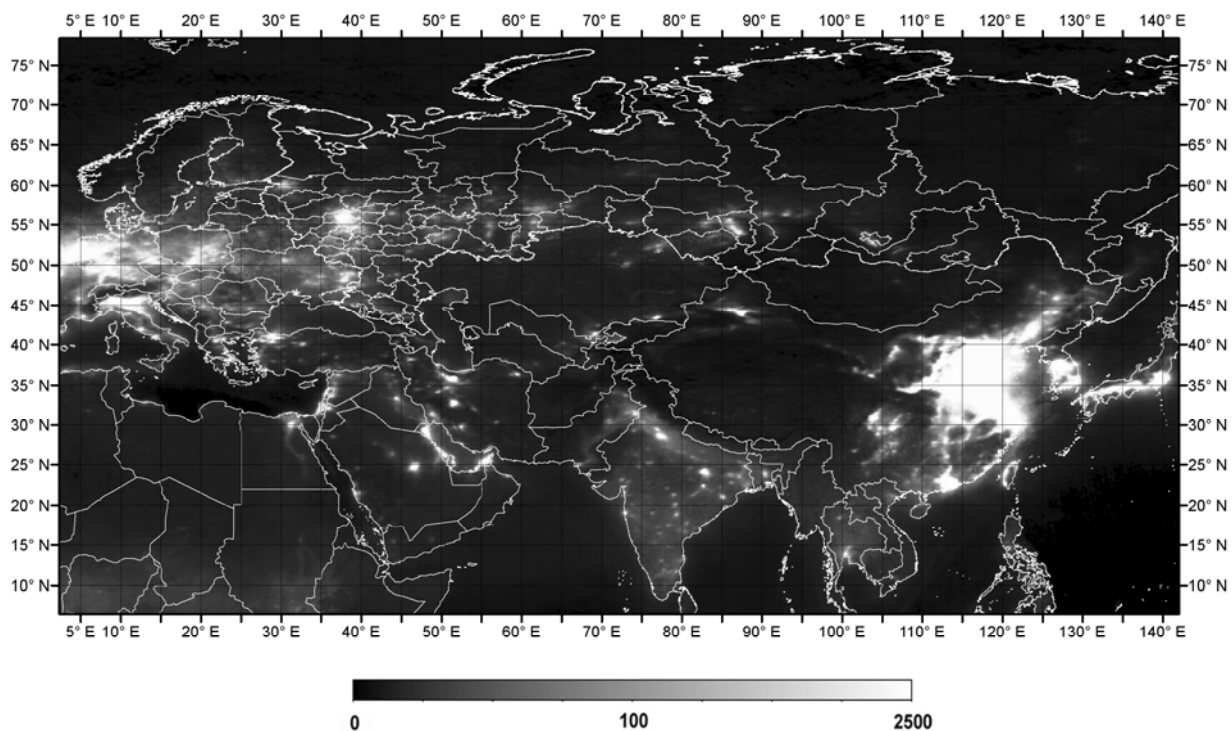


Рис. 1. Среднее содержание диоксида азота в столбе атмосфере над Евразией в 2007 г. Содержания в 10^{13} молекул/см²

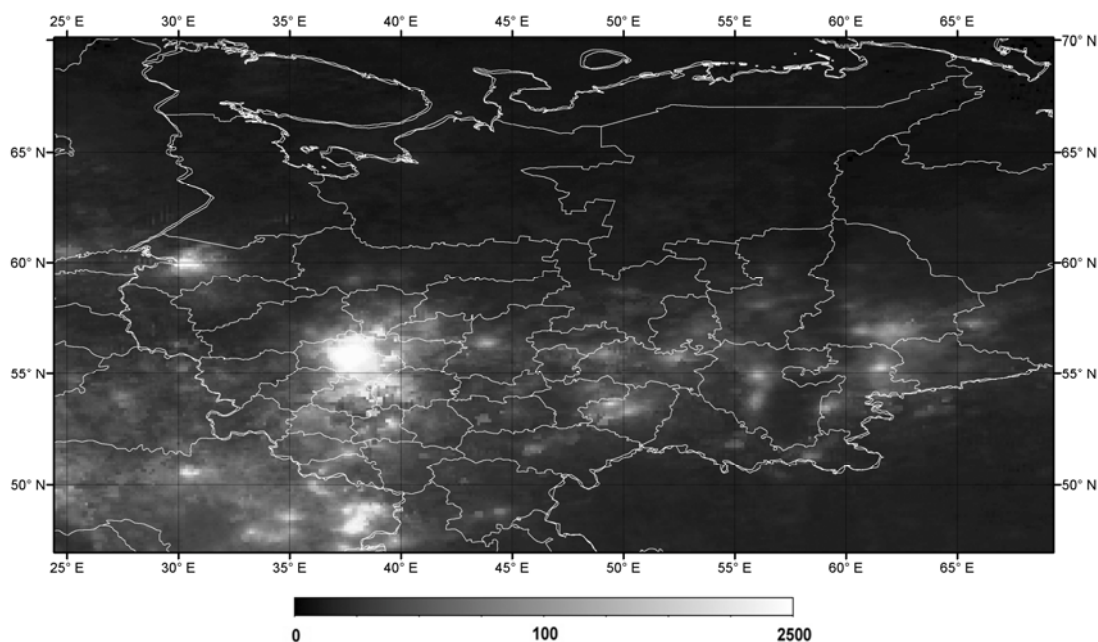


Рис. 2. Среднее содержание диоксида азота в столбе атмосфере над европейской частью Российской Федерации в 2007 г. Содержания в 10^{13} молекул/см²

Кроме городов, отмечены аномалии диоксида азота над крупными угольными и нефтегазоносными бассейнами. Так, прослеживаются высокие концентрации NO_2 над Кузнецким, Иркутским и Канско-Ачинским угольными бассейнами в России, Экибастузским в Казахстане, Донецким на Украине. Обнаружены высокие концентрации газа в пределах Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, в широтном Приобье, районах современной добычи углеводородов в полосе Сургут-Нижневартовск. По-видимому, высокие содержания газа в атмосфере вызваны сжиганием угля и попутного газа на месте добычи сырья.

Таблица 5. Результаты измерений NO_2 по субъектам федерации по данным прибора ОМІ

Субъекты федерации	2006 г.	2007 г.	Субъекты федерации	2006 г.	2007 г.
Центральный ФО			Республика Марий Эл	117	195
Белгородская область	237	338	Республика Мордовия	173	216
Брянская область	195	250	Республика Татарстан	181	273
Владимирская область	346	420	Удмуртская Республика	158	204
Воронежская область	191	273	Чувашская Республика	160	241
Ивановская область	258	319	Кировская область	82	154
Калужская область	253	323	Нижегородская область	175	222
Костромская область	119	163	Оренбургская область	141	176
Курская область	196	330	Пензенская область	171	214
Липецкая область	256	410	Пермский край	132	146
г. Москва	1888	2013	Самарская область	202	304
Московская область	584	694	Саратовская область	141	203
Орловская область	244	384	Ульяновская область	164	233
Рязанская область	301	392	Уральский ФО		
Смоленская область	177	227	Курганская область	174	223
Тамбовская область	204	278	Свердловская область	150	165
Тверская область	139	200	Тюменская область	109	135
Тульская область	347	517	Ханты-Мансийский АО	60	77

Ярославская область	185	287	Челябинская область	204	254
Северо-Западный ФО			Ямало-Ненецкий АО	34	71
Республика Карелия	39	67	Сибирский ФО		
Республика Коми	47	49	Республика Алтай	27	36
Архангельская область	51	56	Республика Бурятия	35	51
Ненецкий АО	97	113	Республика Тыва	24	35
Вологодская область	304	275	Республика Хакасия	63	94
Калининградская область	19	30	Алтайский край	123	168
Ленинградская область	162	223	Красноярский край	57	88
г. Санкт-Петербург	495	578	Таймырский АО	15	22
Мурманская область	35	50	Эвенкийский АО	21	38
Новгородская область	141	169	Иркутская область	44	62
Псковская область	114	178	Усть-Ордынский Бурятский АО	109	175
Южный ФО			Кемеровская область	206	278
Республика Адыгея	187	227	Новосибирская область	135	156
Республика Дагестан	118	121	Омская область	108	127
Республика Ингушетия	150	174	Томская область	68	97
Кабардино-Балкарская Республика	134	145	Читинская область	37	51
Республика Калмыкия	116	133	Агинско-Бурятский АО	44	79
Карачаево-Черкесская Республика	127	135	Дальневосточный ФО		
Республика Северная Осетия Алания	141	165	Республика Саха (Якутия)	22	27
Чеченская Республика	139	170	Приморский край	80	95
Краснодарский край	216	241	Хабаровский край	23	36
Ставропольский край	175	195	Амурская область	32	39
Астраханская область	119	135	Камчатская область	18	21
Волгоградская область	151	195	Корякский АО	17	18
Ростовская область	223	239	Магаданская область	16	22
Приволжский ФО			Сахалинская область	42	50
Республика Башкортостан	150	203	Еврейская АО	69	71
			Чукотский АО	11	17

Отмечены также повышенные концентрации диоксида азота над промышленными агломерациями Челябинска, Екатеринбурга, Самары, Запорожья, Днепропетровска. По размеру и интенсивности эти аномалии превышают аналогичные аномалии, создаваемые городскими агломерациями, где доминирующим является вклад автомобилей. В случае промышленных агломераций становится существенным вклад промышленных источников диоксида азота.

В глобальном плане наблюдаются три района с аномально высокими концентрациями диоксида азота: атлантическое побережье США, центральная часть Западной Европы, восточные районы Китая. Наихудшая ситуация наблюдается в Китае, в треугольнике Пекин – Шанхай – Ухань. Среднегодовые концентрации там достигают максимальных значений $3763 \cdot 10^{13}$ молекул/см² в 2007 г. Это абсолютный максимум для всей Земли. В Западной Европе выделяются две крупные аномалии, одна протягивается с юга Англии, через Бельгию и Голландию в индустриальные районы запада Германии. В этой агломерации невозможно выделить отдельные города или промышленные районы. Эта огромная область имеет среднегодовые концентрации на уровне $500 - 1700 \cdot 10^{13}$ молекул/см² в 2007 г. Вторая область располагается в северной Италии.

Анализ полученных данных показывает явную антропогенную приуроченность аномалий диоксида азота. Распределение диоксида азота весьма неравномерно. Контрастность аномалий достигает двух порядков.

Обсуждение

Согласно распределению основных источников диоксида азота на земной поверхности (табл. 2) сжигание органического топлива при высокой температуре (более 1000 °С) является главной причиной роста содержания газа в атмосфере. Современные экологические исследования выявили, что основным загрязнителем атмосферы в крупных городах является автотранспорт [3]. Сравнение данных спутниковых наблюдений за содержанием диоксида азота и количеством зарегистрированных автомобилей в субъектах федерации показывает несомненную связь (рис. 3).

Наибольшее количество автомобилей зарегистрировано в Москве, Московской области и Санкт-Петербурге, там же наблюдаются абсолютные максимумы концентраций газа в атмосфере. Выше основной зависимости находятся Владимирская, Тульская и Рязанская области, которые имеют относительно мало автомобилей, но наблюдаются относительно высокие концентрации диоксида азота. Анализируя спутниковые наблюдения можно сказать, что здесь имеет место трансграничный перенос из Москвы и Московской области в соседние субъекты федерации. С другой стороны, есть субъекты федерации, в которых наблюдается «дефицит» газа, по сравнению с количеством автомобилей. Это Приморский и Хабаровский края, Иркутская и Калининградская область. Возможно, «дефицит» газа в этих регионах вызван наличием существенного парка автомобилей, отвечающим стандартам ЕВРО-2 и ЕВРО-3, существенно ограничивающих эмиссию диоксида азота в атмосферу.

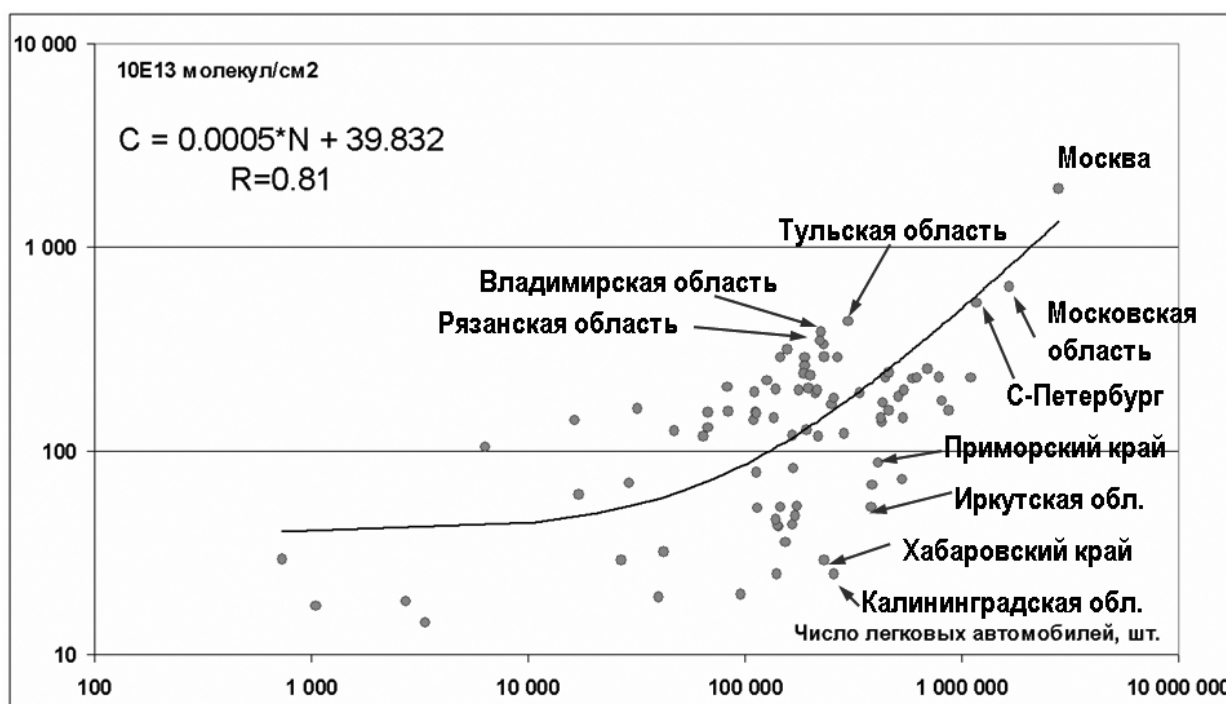


Рис. 3. Среднее содержание диоксида азота по субъектам федерации в 2006-2007 г. и численность парка легковых автомобилей на 01.01.2007 г.

Распределение диоксида азота в столбе атмосферы относительно простое, более 50% диоксида азота находится на высоте 0 – 1.5 км, так как все источники газа находятся на земной поверхности. Выявление связи спутниковых наблюдений с наземными требует проведения специальных исследований.

Заклучение

Современные приборы дистанционного зондирования позволяют вести мониторинг содержания NO_2 в атмосфере. Содержания диоксида азота в атмосфере достигают значений $3763 \cdot 10^{13}$ молекул/см². Распределение диоксида азота весьма неравномерно. Контрастность аномалий достигает двух порядков. Анализ полученных данных показывает явную антропогенную приуроченность аномалий диоксида азота. По интенсивности аномалий, их площади можно ранжировать источники газа на городские и промышленные агломерации, районы добычи и переработки углеводородного сырья, в первую очередь, угля. В городских агломерациях выявлена зависимость содержания диоксида азота от числа автомобилей. Анализ распределения газа в пространстве показывает, что имеется значительный перенос диоксида азота, что открывает новые возможности для моделирования трансграничных переносов.

Литература

1. Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населённых мест ГН 2.1.6.1338-03 // Перечень и коды веществ, загрязняющих атмосферный воздух. Санкт-Петербург: Фирма "Интеграл", 2008. 438 с.
2. IPCC (International Panel of Climate Change) 2001, Climate Change 2001 - Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 1042 p.
3. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2004 году / Под ред. Д.А. Голубева, Н.Д. Сорокина. Санкт-Петербург: ООО «Сезам-Принт», 2008. 472 с.

Satellite observations of nitrogen dioxide in Russia

A.A. Tronin, S.G. Kritsuk, I.Sh. Latypov

*Scientific Research Centre for Ecological Safety
Russian Academy of Sciences
18, Korpusnaya str., St-Petersburg, 197110, Russia
E-mail: a.a.tronin@ecosafety-spb.edu*

Nitrogen dioxide is a highly toxic gas with 2 class of danger. Main source of NO_2 are organic fuel combustion with temperatures more than 1000 °C. It is generated in forest, coal and peat fires and in small amount in thunderstorms. Modern vehicles are responsible to the 80% of gas income into the atmosphere. Gas concentrations can exceed 1000 mkg/m^3 in cities, that much higher than maximum allowable concentration. Current remote sensing systems allow to control nitrogen dioxide in atmosphere. Main devises for gas measurements from satellite are SCIAMACHY on ENVISAT and OMI on AURA satellite. Daily Earth monitoring is impossible due to low spatial resolution and clouds. Monthly and yearly mean values are reasonable for analysis. Large city agglomerations are clearly defined on the yearly mean data. Mean nitrogen dioxide in Moscow district in 2007 г. was $722 \cdot 10^{13}$ molecules/cm², while in Archangelsk one was $56 \cdot 10^{13}$. Moscow city has yearly concentrations more than $2000 \cdot 10^{13}$. The worst situation in the world is in China. Satellite data analysis discover evident relations anthropogenic activity and nitrogen dioxide concentrations. The spatial distribution of nitrogen dioxide is not uniform. Gas concentrations are changed in two orders. Vertical profile of nitrogen dioxide is rather simple, more than 50% of gas spaced between surface and 1.5 km, as all gas sources located on the Earth's surface. Data analysis also indicates significant gas transfer, which can be the base for transboundary gas transport modeling.

Keywords: nitrogen dioxide, satellite observations, city agglomerations, vehicles.