



DOI 10.22363/2313-2310-2018-26-1-63-72

УДК 504.75.05

ОСОБЕННОСТИ РАССЕИВАНИЯ ВЫБРОСОВ ДИОКСИДА АЗОТА ПРЕДПРИЯТИЯМИ ЭНЕРГОКОМПЛЕКСА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА НАСЕЛЕНИЕ МЕГАПОЛИСОВ

П.Ю. Силаева¹, А.В. Силаев²

¹ Российский университет дружбы народов

Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

² ООО «Эффективные Технологические Решения»

Российская Федерация, ИНДЕКС, Москва, 4-я Магистральная ул., 5, стр. 2, оф. 2

В статье сравнивается воздействие автотранспорта и стационарных источников на здоровье населения в крупных городах. Рассматриваются основные особенности мегаполисов, которые существенным образом увеличивают степень влияния выбросов от объектов теплоэнергетического комплекса на здоровье человека. Ставится вопрос о недооцененности влияния загрязнителей от стационарных источников именно в условиях крупных городов.

Ключевые слова: загрязнение воздуха, теплоэнергетика, автотранспорт, мегаполис

ОБОСНОВАНИЕ

Основными источниками загрязнения диоксидом азота в современных мегаполисах являются автотранспорт и энергетика. Бесспорно, влияние автотранспорта на состояние атмосферного воздуха велико, особенно в крупных городах, в условиях плотной застройки и развитой сети автодорог. По экспертным оценкам, суммарный выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух г. Москвы автотранспортом ежегодно составляет порядка 190 тыс. т (2016 г.) [1]. За последнее время значительное внимание было уделено решению проблемы высокой транспортной нагрузки и ее негативного воздействия на окружающую среду, о чем свидетельствуют многочисленные программы, направленные на сокращение выбросов от автотранспорта. Результат принимаемых мер значительно отстает от стремительного роста количества транспорта на дорогах мегаполисов. Количество автотранспорта в Москве в настоящее время превышает 4,5 млн ед., а его ежегодный прирост составляет около 278 тыс. ед. (на 2016 г.) [1]. Масса выбросов от передвижных источников более чем в 10 раз превышает количество выбросов от стационарных источников.

По сравнению с 2015 годом в 2016 году автопарк Москвы вырос на 278 тыс. ед.

По данным Федеральной службы государственной статистики по г. Москве, валовый выброс от стационарных источников загрязнения атмосферного воздуха в 2016 году составил около 61 тыс. т [2]. При этом более 50% веществ в атмосферный воздух Москвы от стационарных источников приходится на пред-

тов в мегаполисе в отличие от малых городов приводит к тому, что при любом направлении ветра выбросы одной или нескольких ТЭС направлены в сторону жилых массивов;

2) при наиболее часто наблюдающихся скоростях ветра (1–2 м/с) расстояние, на котором достигается максимальная приземная концентрация, составляет несколько километров от источника выбросов. Таким образом, перенос поллютанта от стационарных источников происходит на значительное расстояние, при этом площадь распространения негативного влияния может быть соотнесена с площадью административных округов. Мощные областные ТЭС, находящиеся на расстоянии 5–10 км от границ города, также негативно воздействуют на состоянии атмосферного воздуха в черте города;

3) следствием большой площади мегаполиса является также наличие вторичного перераспределения при сменах направлений ветра ранее выброшенных газовых примесей, которые достигают приземного слоя атмосферы, не покидая территории мегаполиса, обуславливая дополнительное «вторичное» загрязнение атмосферы мегаполисов;

4) в отличие от малых городов с преимущественно малоэтажной застройкой преобладание высотной застройки, сравнимой с высотой дымовых труб, существенно снижает достигаемый эффект от рассеивания выбросов в вертикальном направлении.

В соответствии с классическими исследованиями Берлянда М.Е. вплоть до достижения максимальной приземной концентрации от стационарных источников установлено значительное повышение концентрации с увеличением высоты, особенно на малых расстояниях от источника. Вследствие высотной застройки в селитебных зонах на расстояниях нескольких километров от ТЭС часть населения подвергается воздействию повышенных концентраций примесей на значительном удалении от поверхности земли, в том числе и в ночное время, когда воздействие автотранспорта минимально. Таким образом, учет пространственного распределения загрязнений в трех измерениях оказывается критически важным для объективной оценки эффективности защитных мероприятий в условиях мегаполисов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Авторы в своих работах используют понятия «экологическое качество жизни населения» и «экологический комфорт». Экологическое качество жизни населения — качественно-количественный комплексный показатель факторов окружающей среды, в которой проживает группа населения. Определение экологического комфорта происходит из определения санитарно-эпидемиологического благополучия населения — это состояние здоровья населения и окружающей природной среды, при котором отсутствует вредное воздействие факторов этой среды на человека, и обеспечиваются благоприятные условия его жизнедеятельности [4].

Анализ соотношения степени влияния различных источников загрязнения атмосферного воздуха на **экологическое качество жизни населения** основывается

на неоднократно подтвержденных корреляций заболеваемости различных групп населения с качеством атмосферного воздуха [5]. Важно учитывать факторы негативного воздействия в привязке к исследуемым целевым группам населения и исключить из расчета ареалы, в которых вероятность пребывания определенных групп индивидуумов минимальна.

Существующие подходы оценки экологического благосостояния окружающей среды, такие как доли или превышение ПДК основаны преимущественно на инструментальных методах измерения и призваны отражать степень потенциальной опасности при превышении таких показателей, не характеризуют прямо качество долговременного проживания в каждом определенном районе (микрорайоне). Иными словами, они напрямую не отражают экологического качества жизни в данном районе, так как носят сугубо бинарную смысловую нагрузку, как то: безопасно — небезопасно. Показатели инструментальных измерений являются общими для всех возрастных групп населения и не имеют территориальной дифференциации. К примеру, для принятых показателей не существует разницы между селитебными зонами и промплощадками, так же экспозиция у различных групп населения радикально отличается, как из-за восприимчивости каждой отдельно взятой группы, так и из-за образа жизни. Применение такого достаточно грубого инструмента исключает возможность прогнозирования развития ситуации и не представляет необходимой гибкости оценки влияния перспективных технологий в энергетике, призванных обеспечить постоянно растущий потребительский сектор, при этом одновременно улучшить экологическую обстановку в мегаполисах.

Многочисленные исследования специалистов в области здравоохранения выявили устойчивую зависимость роста заболеваемости целым рядом специфических заболеваний (непосредственно связанных с ухудшением качества окружающей среды) в различных городских субпопуляциях, и выбросов поллютантов, характерных, в частности, для электростанций. Исследования Всемирной организации здравоохранения показывают, что повышенное содержание диоксида азота в атмосферном воздухе может приводить как к острым, так и к хроническим заболеваниям дыхательных путей. Оксиды азота — потенциальные раздражители, способные увеличить риск хронических легочных заболеваний. Оксиды азота, улетающие в атмосферу, представляют серьезную опасность для экологической ситуации, так как способны вызывать кислотные дожди, а также сами по себе токсичны, вызывающие раздражение слизистых оболочек. Диоксид азота воздействует в основном на дыхательные пути и легкие, а также вызывает изменения состава крови, в частности, уменьшает содержание в крови гемоглобина. В специальной литературе также указывается на то, что воздействие на организм человека диоксида азота снижает сопротивляемость к заболеваниям, вызывает кислородное голодание тканей, особенно у детей. Усиливает действие канцерогенных веществ, способствуя возникновению злокачественных новообразований. По данным доклада о состоянии здоровья населения г. Москвы, в 2015 году заболеваемость органов дыхания составила 18% от общей заболеваемости у взрослых, 36% — у подростков (15—17 лет), 55% — дети до 15 лет [3].

По мере удаления от источника выброса все большее количество NO превращается в NO_2 — бурый, обладающий характерным неприятным запахом газ. Диоксид азота сильно раздражает слизистые оболочки дыхательных путей. Вдыхание ядовитых паров диоксида азота может привести к серьезному отравлению. Диоксид азота вызывает сенсорные, функциональные и патологические эффекты. К сенсорным эффектам можно отнести обонятельные и зрительные реакции организма на воздействие NO_2 . Даже при малых концентрациях, составляющих всего $0,23 \text{ мг/м}^3$, человек ощущает присутствие этого газа. Эта концентрация есть порог обнаружения диоксида азота. Однако способность организма обнаруживать NO_2 пропадает после 10 мин вдыхания, но при этом ощущается чувство сухости и першения в горле. Хотя и эти признаки исчезают при продолжительном воздействии газа в концентрации, в 15 раз превышающей порог обнаружения. Таким образом, NO_2 ослабляет обоняние.

Но диоксид азота воздействует не только на обоняние, но и ослабляет ночное зрение — способность глаза адаптироваться к темноте. Этот эффект уже наблюдается при концентрации $0,14 \text{ мг/м}^3$, что, соответственно, ниже порога обнаружения.

Функциональным эффектом, вызываемым диоксидом азота, является повышенное сопротивление дыхательных путей. Иными словами, NO_2 вызывает увеличение усилий, затрачиваемых на дыхание. Эта реакция наблюдалась у здоровых людей при концентрации NO_2 всего $0,056 \text{ мг/м}^3$, что в 4 раза ниже порога обнаружения. А люди с хроническими заболеваниями легких испытывают затрудненность дыхания уже при концентрации $0,038 \text{ мг/м}^3$.

Патологические эффекты проявляются в том, что NO_2 делает человека более восприимчивым к патогенам, вызывающим болезни дыхательных путей. У людей, подвергшихся воздействию высоких концентраций диоксида азота, чаще наблюдаются катар верхних дыхательных путей, бронхиты, круп и воспаление легких. Кроме того, диоксид азота сам по себе может стать причиной заболеваний дыхательных путей. Попадая в организм человека, NO_2 при контакте с влагой образует азотистую и азотную кислоты, которые разъедают стенки альвеол легких. При этом стенки альвеол и кровеносных капилляров становятся настолько проницаемыми, что пропускают сыворотку крови в полость легких. В этой жидкости растворяется вдыхаемый воздух, образуя пену, препятствующую дальнейшему газообмену. Возникает отек легких, который зачастую ведет к летальному исходу. Длительное воздействие оксидов азота вызывает расширение клеток в корешках бронхов (тонких разветвлениях воздушных путей альвеол), ухудшение сопротивляемости легких к бактериям, а также расширение альвеол. Некоторые исследователи показывают, что в районах с высоким содержанием в атмосфере диоксида азота наблюдается повышенная смертность от сердечных и раковых заболеваний.

Люди, страдающие хроническими заболеваниями дыхательных путей (эмфиземой легких, астмой) и сердечно-сосудистыми болезнями, могут быть более чувствительны к прямым воздействиям NO_2 . У них легче развиваются осложнения (например, воспаление легких) при кратковременных респираторных инфекциях.

Исходя из этого поставленная задача по разработке качественно новых показателей, отражающих необходимые параметры, становится актуальной. В качестве

обоснования предлагаемого подхода к определению показателей экологичности проживания на данной территории проведено сопоставление опытных данных по текущей заболеваемости верхних дыхательных путей с экспериментально за- меренными текущими локальными уровнями концентраций окислов азота.

При осреднении показателей было принято во внимание пространственно- временное распределение вероятности пребывания целевых групп. Иными сло- вами, соотношение вкладов от различных источников загрязнения для разных возрастных групп различно. Так, например, дети дошкольного возраста, младших классов и пенсионеры, преимущественно проводят время в квартирах и во дворах, территория которых в меньшей степени подвержена загрязнению от автотран- спорта. Основным источником загрязнения этих территорий служит энергоком- плекс. Население трудоспособного возраста, напротив, больше времени проводит вблизи автодорог, и подвергаются в дневное время его негативному воздействию.

Таким образом, степень воздействия стационарных энергетических источни- ков на экологическое качество жизни населения с учетом специфики мегаполи- са может оказаться сравнимым, а не многократно меньшим, по отношению к автотранспорту.

В целях более подробного рассмотрения соотношения вкладов от автотран- спорта и энергокомплекса в мегаполисах и влияющих на него факторов авторами был изучен представительный массив экспериментальных данных измерения концентраций диоксида азота за 2015–2016 годы с 20-минутной разверткой по времени вблизи Московского государственного университета. Эксперименталь- ные данные изучались совместно с опытными метеорологическими данными рассматриваемого района.

При низких уровнях фонового загрязнения от энергоисточников вейвлет-ана- лиз временных рядов концентраций диоксида азота позволяет отчетливо выявить характер вклада автотранспорта в загрязнение окружающего воздуха в районе наблюдения.

Результаты исследования показывают связанные с транспортными потоками колебания концентрации диоксида азота — повышение концентрации поллю- танта происходит в утренние часы, а снижение в вечерние, что соответствует рит- му автомобильного движения (рис. 2). Соответствующий вклад имеет вид пара- болической функции. Стоит отметить тот факт, что приземная концентрация за наблюдаемый период не снижалась ниже отметки 0,2 ПДКсс, максимальное зна- чение концентрации — 1,25 ПДКсс. Таким образом, колебания концентрации достигали 1,05 ПДКсс.

Приведенный график демонстрирует явно выраженную зависимость измене- ния концентрации в данном случае от ритма движения автотранспорта и в целом соответствует сложившемуся общепринятому мнению о роли автотранспорта в загрязнении атмосферы.

В то же время, на большой совокупности опытных данных выявлен иной ха- рактер повышения концентрации диоксида азота в течении продолжительных непрерывных периодов времени, который не может быть объяснен описанным влиянием автотранспорта (рис. 3). Такой график изменения концентрации ха- рактеризуется отсутствием описанной закономерности, обусловленной влияни-

ем автотранспорта, с одновременными длительными периодами превышения допустимых концентраций и повышения уровня фонового загрязнения почти в 4 раза. В соответствии с исследованиями М.Е. Берлянда такое поведение приземной концентрации обусловлено выбросами стационарных источников в сочетании с часто встречающимися неблагоприятными для их рассеивания метеорологическими условиями.

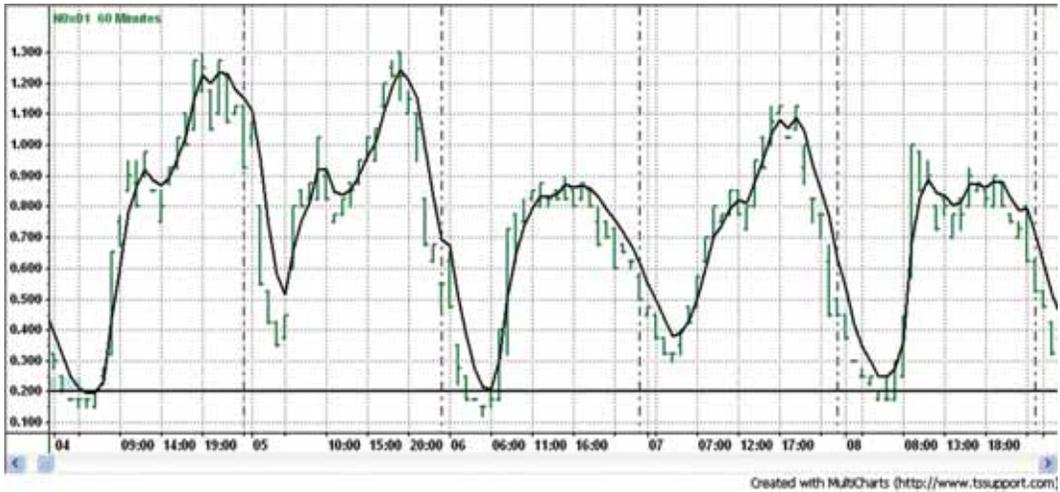


Рис. 2. Суточный ритм выбросов диоксида азота от автотранспорта. АСКЗА МГУ
[**Fig. 2.** The daily rhythm of nitrogen dioxide emissions from vehicles.
Automatic station of atmospheric pollution control (ASCSA) “MSU”]

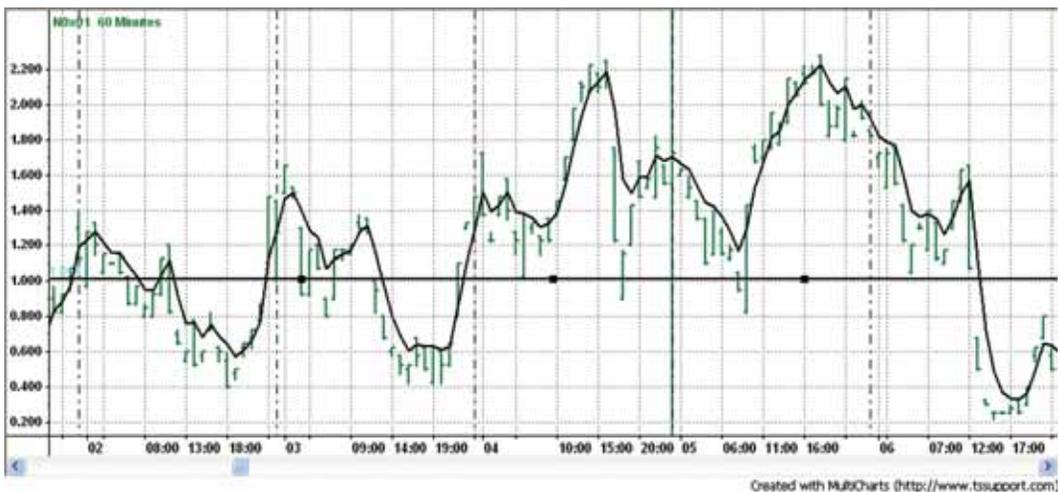


Рис. 3. Влияние неблагоприятных условий на концентрацию диоксида азота. АСКЗА МГУ
[**Fig. 3.** Influence of adverse conditions on the concentration of nitrogen dioxide.
Automatic station of atmospheric pollution control (ASCSA) “MSU”]

К таким неблагоприятным условиям можно отнести проявления и сочетания приподнятой и приземной инверсий, а также штиля. Инверсии по Берлянду проявляются до 71% времени, из них 33% приподнятая и 38% приземная. Для мега-

полисов наиболее опасна приподнятая инверсия, так как она создает «запирающий слой» выше источника загрязнения, который препятствует рассеиванию газовых примесей. Для территории Москвы и Московской области Берлянд выявил годовое распределение повторяемости случаев температурной инверсии. Наиболее характерны сочетания неблагоприятных метеорологических условий в осенний и весенний периоды.

Необходимо отметить, что природные процессы очистки атмосферного воздуха от загрязнителей периодически снижают концентрации вредных веществ. Однако максимальная степень очистки атмосферного воздуха (по аналогии со скруббером) порядка 70% при ливневых продолжительных осадках, а очищающая способность снега и малых осадков ничтожно мала.

По результатам настоящего исследования помимо описанных температурных инверсий на рассеивание загрязняющих веществ критическое влияние оказывают переходные процессы вторичного перераспределения поллютантов под влиянием смены силы и направления ветра. Например, во время штиля из-за сравнительно медленной диффузии происходит накопление загрязняющих веществ в непосредственной близости к источнику. Впоследствии накопленная масса переносится сменившим штиль ветром, кратно увеличивая содержание загрязнителя в подветренном районе из-за сравнительно медленной диффузии. В то же время опытные метеоданные показывают, что повторяемость штиля в Москве составляет до 30% в году

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основании изложенного можно заключить, что предприятия энергетики оказывают значительное влияние на состояние воздуха в мегаполисах, однако оценить изолированно их долю в общем загрязнении только на основании экспериментальных данных по измерению результирующей концентрации вредных выбросов затруднительно. В то же время предложенное обоснование раздельной оценки атрибутивных рисков для населения различных источников загрязнения позволяет получить такую оценку расчетным путем при условии учета выявленных ключевых факторов, влияющих на рассеивание выбросов в условиях мегаполиса.

Чтобы отразить основные значимые факторы, влияющие на пространственное распределение концентраций примесей, необходимо сократить расчетный интервал по времени с последующим осреднением полученных расчетных данных с учетом временного сдвига атрибутивных рисков. В то же время следует подчеркнуть, что предложенные авторами подходы к пространственному и временному осреднению соответствующих атрибутивных рисков для различных групп населения, проживающих в мегаполисе, равно применимы для обработки как расчетных, так и опытных данных по концентрациям загрязнителей воздуха.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Доклад «О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2016 году» / под ред. А.О. Кульбачевского. М.: ДПиООС; НИиПИ ИГСП, 2017. 363 с.

- [2] Федеральная служба государственной статистики по г. Москве. [Электронный ресурс]. URL: moscow.gks.ru (дата обращения: 25.12.2017).
- [3] Портал Единой межведомственной информационно-статистической системы [Электронный ресурс]. URL: www.fedstat.ru (дата обращения: 25.12.2017).
- [4] Федеральный закон от 30.03.1999 г. № 52-ФЗ (ред. от 18.04.2018 г.) «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения». Ст. 1. Основные понятия [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22481/bb9e97fad9d14ac66df4b6e67c453d1be3b77b4c/ (дата обращения: 25.12.2017).
- [5] Ревич Б.А. К оценке влияния деятельности ТЭК на качество окружающей среды и здоровье населения // Проблемы прогнозирования. 2010. С. 87–99 [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-otsenke-vliyaniya-deyatelnosti-tek-na-kachestvo-okruzhayushchey-sredy-i-zdorovie-naseleniya> (дата обращения: 25.12.2017).

© Силаева П.Ю. Силаев А.В., 2018

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 26.12.2017

Дата принятия к печати: 15.01.2018

Для цитирования:

Силаева П.Ю., Силаев А.В. Особенности рассеивания выбросов диоксида азота предприятиями энергокомплекса и их влияние на население мегаполисов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2018. Т. 26. № 1. С. 63–72. DOI 10.22363/2313-2310-2018-26-1-63-72

Сведения об авторах:

Силаева Полина Юрьевна — старший преподаватель кафедры прикладной экологии экологического факультета Российского университета дружбы народов, аспирантка экологического факультета Российского университета дружбы народов. E-mail: silaeva-polina@gmail.com

Силаев Алексей Валерьевич — заместитель гендиректора ООО «Эффективные технологические решения». E-mail: silaev-aleksei@mail.ru

PECULIARITIES OF DISPERSION OF NITROGEN DIOXIDE EMISSIONS BY THE ENERGY COMPLEX ENTERPRISES AND THEIR IMPACT ON THE POPULATION OF MEGAPOLISES

P.Yu. Silaeva¹, A.V. Silaev²

¹ Peoples' Friendship University of Russia
6, Miklukho-Maklaya str., Moscow, 117198, Russian Federation

² LLC "Effective Technological Solutions"
4-ya Magistral'naya str., d. 5 page 2 of. 2, Moscow, 123007, Russian Federation

The article compares the impact of vehicles and stationary sources on the health of the population in large cities. The main features of megacities are considered, which significantly increase the degree of emissions influence from the heat power complex on human health. The question of underestimation of the pollutants' influence from stationary sources in conditions of large cities is raised.

Key words: air pollution, heat power complex, motor transport, megapolis

REFERENCES

- [1] Report “On the state of the environment in the city of Moscow in 2016” edited by A.O. Kulbachevsky. M.: Department for Environmental Management And Protection; Institute of urban planning and system design, 2017. 363 p.
- [2] Electronic source: Federal state statistics service for Moscow. Mode of access: moscow.gks.ru (Date of access: 25.12.2017).
- [3] Electronic source: portal of the Unified interdepartmental information and statistical system. Mode of access: www.fedstat.ru (Date of access: 25.12.2017).
- [4] The Federal law from 30.03.1999 № 52-FZ (as amended on 18.04.2018) “On the sanitary-epidemiological welfare of population” Article 1. Basic concept. Electronic source. Mode of access: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22481/bb9e97fad9d14ac66df4b6e67c453d1be3b77b4c/ (Date accessed: 25.12.2017).
- [5] Revich B.A. to the assessment of the impact of fuel and energy activities on the quality of the environment and public health. Problems of forecasting. 2010 p. 87–99. Electronic source. Mode of access: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-otsenke-vliyaniya-deyatelnosti-tek-na-kachestvo-okruzhayushey-sredy-i-zdorovie-naseleniya> (Date of access: 25.12.2017).

Article history:

Received: 26.12.2016

Revised: 15.01.2018

For citation:

Silaeva P.Yu., Silaev A.V. (2018) Peculiarities of dispersion of nitrogen oxide emissions by the energy complex enterprises and their impact on the population of megapolises. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 26 (1), 63–72. DOI 10.22363/2313-2310-2018-26-1-63-72

Bio Note:

Silaeva Polina — senior lecturer, Department of Applied ecology, faculty of Ecology, RUDN, post-graduate student, faculty of Ecology, RUDN. E-mail: silaeva-polina@gmail.com

Silaev Alexey Valeryevich — Deputy General Director of LLC “Effective Technological Solutions”. E-mail: silaev-aleksei@mail.ru