

УДК 504.3.054, 543.271.3; 544.3

ТЕРМОДИНАМІКА ВИКИДІВ ТОКСИЧНИХ РЕЧОВИН АВТОМОБІЛЯМИ В ПОВІТРЯ МІСТ ТА ОЧИЩЕННЯ ЙОГО РОСЛИНАМИ

**Белєвцев Р.Я., Блажко В.І., Дерман В.А., Жолуденко О.А.,
Кузенко С.В., Терещенко С.І.**

Белєвцев Р.Я. докт. геол.-мин. н., зав. відділу, чл.-кор НАН України. ДУ «Інститут навколишнього середовища НАН України», igns_bielievtsev@nas.gov.ua

Блажко В.І. н. с. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»

Дерман В.А. н. с. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»

Жолуденко О.А. н. с. ДУ «Інститут навколишнього середовища НАН України»,

Кузенко С.В. н. с. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»

Терещенко С.І. канд. геол.-мин. н., ст.н. с. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»

Розглянута така важлива еколого-геохімічна проблема як забруднення повітря міст токсичними газовими викидами автомобільного транспорту по конкретним замірам складу повітря на прикладі Академмістечка м. Києва. Проведений термодинамічний аналіз хімічних реакцій за участю таких токсичних газів як оксид вуглецю (СО) та оксиди азоту, які викидають автомобілі. Ці токсичні гази переважно виділяються при зменшенні швидкості автомобілів, коли у їх двигунах знижуються температура та газовий тиск, а тому кількість кисню для повних реакцій окислення становиться недостатньою. Тобто при низьких швидкостях автомобілів в їх двигунах йдуть інші реакції з утворенням оксидів вуглецю та азоту, які є отруйними речовинами для людини. Найбільше забруднення виявлено на автомобільних шляхах та на близьких до них тротуарах, а особливо на перехрестях. Ці токсичні гази накопичуються на автомобільних шляхах, а потім мігрують від них в повітря кварталів міст в процесі дифузії. На всіх вулицях Києва гранично допустима концентрація (ГДК) перевищена по СО та оксидам азоту у 2-3 рази, а на значних магістралях - по вулицям Володимирській, Шевченко та Хмельницького - це перевищення токсичних газів доходить до 10 разів. Зроблений також важливий висновок про значну роль дерев та інших рослин для очищення повітря міст від цих забруднюючих речовин. Навпроти, дерева на вулицях міст ростуть краще ніж у лісі, завдяки використанню цих шкідливих для людей оксидів вуглецю та азоту і навіть краще виглядають. Щодо рішучих заходів для одержування чистого повітря на вулицях міст, то окрім їх максимального озеленення, це - перехід на електричні двигуни в автомобілях, аналогічно тролейбусам та трамваям. А це вже пов'язано з розвитком ядерної енергетики. З більш загальних філософських позицій діалектичного аналізу можна також розглядати геохімічні процеси в повітрі міст при газових викидів автомобілями як боротьбу протилежностей: з одного боку це забруднення повітря, що шкідливе для людини, а, з другого боку, цей процес корисний для рослин. Такий діалектичний аналіз процесів забруднення повітря міст дозволяє максимально висаджувати в містах рослини, особливо великі дерева, тому що не тільки автомобілі забруднюють повітря міст, а також і деякі підприємства.

Ключові слова: автомобілі, оксиди вуглецю та азоту у повітрі, термодинаміка реакцій забруднення повітря, дифузія, вплив рослин на очищення повітря в містах.

Вступ

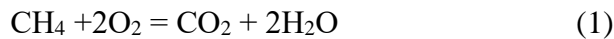
Зараз людство переживає багато екологічних проблем, пов'язаних із зростанням кількості населення на Землі, а також з економічним прогресом. Кількість населення на

планеті протягом останнього століття збільшилась у сім разів і, відповідно, економіка та особливо використання вуглеводневого палива, більш як в десять разів [1-3]. Це призводить до значного забруднення навколишнього середовища, в тому числі атмосфери населених пунктів. Особливо це стосується великих міст, які значно забруднюються викидами автомобільного транспорту [4-8].

Рівень забруднення викидами автомобілів повітря міст. Значний вклад в забруднення атмосфери населених пунктів вносить автомобільний транспорт (автомобілів у світі зараз більше 600 млн.), особливо в великих містах (75-90% рівня забруднення). Основні токсичні речовини – це оксид вуглецю (CO), який вони виділяють: до 10% бензинові мотори та 0,2% – дизелі, а також оксиди азоту (0,5% – бензинові і 0,25% – дизельні).

Температура двигунів автотранспорту досягає на трасах 1000-2000°K, але на малих швидкостях та на зупинках при холостому ході значно знижується, що супроводжується меншим використанням кисню та виділенням оксидів вуглецю та азоту.

Тому при значних температурах 1000-2000°K в двигунах за участю, наприклад, метану, відбувається реакція (1):



Вільна енергія (ΔG_T) цієї реакції від'ємна та близька до - 800 кДж/моль. Газовий тиск в двигунах при робочих температурах 1000-2000°K порядку 100-500 бар при виконанні співвідношення $\Delta G_T = -RT \cdot \ln P$, та $RT = PV$. Тому при значних швидкостях автомобілів в їх двигунах проходить реакція (1).

Однак, при зменшенні швидкості автомобілів у їх двигунах знижуються температура та газовий тиск, і тому кількість кисню для реакції (1) становиться недостатньою. Наприклад, при температурі нижче 1000°K тиск знижується до 50 бар, а при холостих обертах двигунів цей показник значно менший.

Тобто, за цих умов при низьких швидкостях автомобілів в їх двигунах за участю метану проходить інша реакція (2) з утворенням оксидів вуглецю та азоту, які є забруднюючими речовинами в атмосфері:



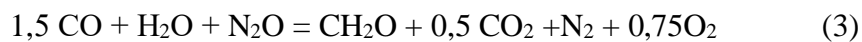
Вільна енергія цієї реакції $\Delta G_T = -430$ кДж, що значно менше ніж за реакцією (1).

Відомо, що зони з перевищенням ГДК (гранично-допустима концентрація) за оксидами азоту та вуглецю перевищують 90 % територій міст. Автомобіль є найбільш активним споживачем кисню повітря – це в десятки разів більше, ніж споживає населення міст. На поживавлених автотрасах міст концентрація кисню в повітрі знижується до 15%, а при концентрації кисню нижче 17% у людей виникають симптоми нездужання. Тому

токсичними у повітрі є СО та оксиди азоту. А особливо токсичним є СО, який формується при низьких швидкостях автомобілів та особливо при холостій роботі двигуна автомобіля на зупинках та перед перехрестям, як правило, при очікуванні зеленого світла світлофору. Наприклад, на всіх вулицях Києва гранично допустима концентрація (ГДК) перевищує допустиму по СО та по оксидам азоту в 2-3 рази, а на значних магістралях – вулицях Володимирській, Хмельницького та бульварі Шевченко – це перевищення сягає десятка разів. В цілому, ГДК по забрудненню газами для міст України дорівнює в повітрі: для оксидів азоту максимальне $0,6 \text{ мг/м}^3$, а середнє денне – $0,1 \text{ мг/м}^3$, а для оксиду вуглецю максимальне – 5 мг/м^3 , а середнє денне дорівнює 3 мг/м^3 , за даними геофізичних лабораторій міст.

Наші нещодавні заміри у липні 2018 року забруднення повітря автомобілями на проспекті Палладіна в Академмістечку міста Києва показали, що в зелених зонах навіть поблизу доріг забруднення цими газами значно нижче ГДК. Але на самих автотрасах і особливо на перехрестях, а також на тротуарах, близьких до них, вже концентрація цих газів є високою і досягає ГДК (рис.1). Наприклад, на перехресті проспекту Палладіна і бульвару Вернадського в Академмістечку вміст СО перевищує $2,0 \text{ мг/м}^3$, а вміст оксидів азоту перевищує $1,0 \text{ мг/м}^3$ (рис. 1). Заміри вмісту цих газів в повітрі виконувались газоаналізатором ОКСВ-5М.

Заміри, які показано на рис. 1, є попередніми. Доцільним є додаткові дослідження. Середній вміст СО у 2017 р. у місті Києві по оксиду вуглецю дорівнював $2,6 \text{ мг/м}^3$, а по оксиду азоту - $0,12 \text{ мг/м}^3$. А максимальна разова концентрація для СО - $14,0 \text{ мг/м}^3$, а для оксиду азоту - $0,36 \text{ мг/м}^3$. СО та оксиди азоту дуже шкідливі для людини та тварин, які дихають киснем. Але для рослин оксиди азоту та СО можуть дати вуглеводи (CH_2O), наприклад, за реакцією (3):



Ця реакція йде вправо, оскільки вільна енергія її від'ємна: $\Delta G_T = -15 \text{ кДж/моль}$. Вона проходить з утворенням рослинних вуглеводів (CH_2O) і навіть з виділенням вільного кисню, тобто забруднення повітря автомобілями є токсичним для людей, але корисним для рослин. Та це і добре видно вдовж автомобільних доріг по розвинених деревах (рис. 3). Тобто, в атмосфері буває і так: що погано для людей, то добре для рослин.

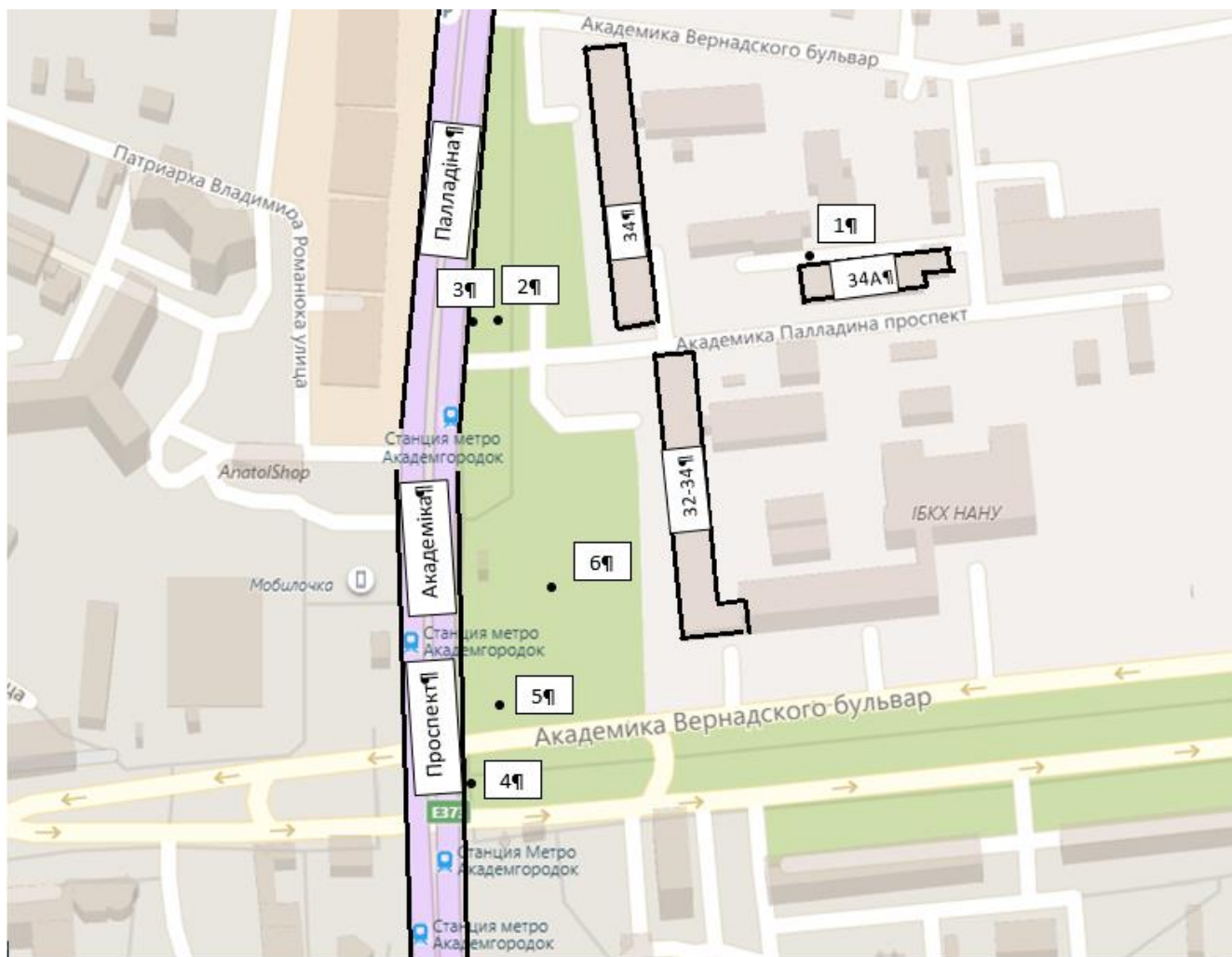


Рис 1. Розміщення вимірів (1-6) забруднення повітря оксидами вуглецю та азоту на території Академмістечка (результати р. 2): вимір 1 – у дворі ІГНС НАНУ (адреса проспект Академіка Палладіна, 32А); виміри 2 та 3 – поблизу автомобільної траси по просп. Акад. Палладіна, навпроти інституту ІГМР НАНУ, 34; вимір 4 – на перехресті просп. Акад. Палладіна та бульвару Акад. Вернадського; вимір 5 – в 10 м від бульвару Акад. Вернадського в бік Інституту загальної та неорганічної хімії НАНУ (ІЗНХ), 32-34; Вимір 6 – в 40 м від виміру 5 в бік ІЗНХ НАНУ під деревами. Відстань між вимірами 1 та 2 близько 150 м, тобто масштаб території 1:25.

Fig 1. Location of measurement sites (1-6) of air pollution with carbon and nitrogen oxides in Academmistechco area (results in Fig.2): site 1 – in the yard of SI “IEG NASU” (address: Palladin Avenue, 34A); sites 2 and 3 – near the road of Palladin avenue opposite IGMOF NASU (address: Palladin Avenue, 34); site 4 – at the crossroad of Palladin Avenue and Vernadskyi boulevard; site 5 – 10 meters from Vernadskyi boulevard towards Institute of General and Inorganic Chemistry of NAS of Ukraine (IGIC) (address: Palladin Avenue, 32-34); site 6 – 40 meters from site 5 towards – IGIC NASU under the trees. The distance between the sites 1 and 2 is about 150 m, i.e. the area scale is 1:25.

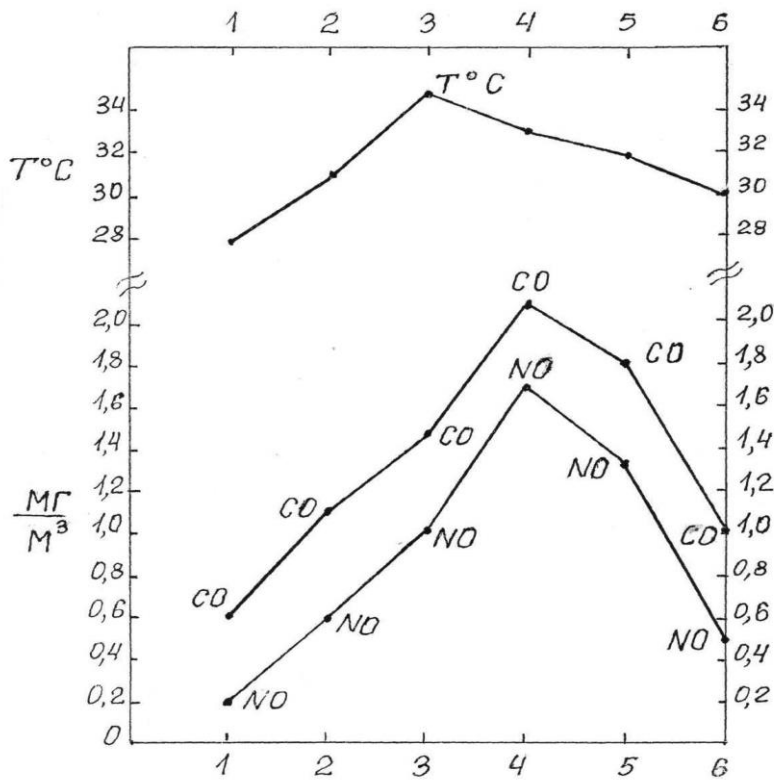


Рис. 2. Результати вимірів забруднення повітря оксидами вуглецю та азоту(в mg/m^3) на проспекті Палладіна в Академмістечку в різних пунктах : **1** – у дворі ІГНС серед дерев; **2** – в 5 м від початку асфальтової автомобільної траси по проспекту Палладіна поблизу тротуару; **3** – на початку самої автомобільної траси; **4** – на перехресті проспекту Палладіна та бул. Вернадського; **5** – в 10 м від автомобільної траси в напрямку до Інституту загальної та неорганічної хімії НАН України; **6** – в. 20 м від пункту 5 до Інституту загальної та неорганічної хімії НАН України вже під деревами.

Fig. 2. Results of measurement of air pollution with carbon and nitrogen oxides (mg/m^3) in Palladin Avenue in Academmistechco area at different sites: **1** – in the yard of SI “IEG NASU” among the trees; **2** – 5 meters from the beginning of the road in Palladin Avenue near the sidewalk; **3** – at the beginning of the road itself; **4** – at the crossroad of Palladin Avenue and Vernadskyi boulevard; **5** – 10 meters from the road towards Institute of General and Inorganic Chemistry of NAS of Ukraine; **6** – 20 meters from site 5 towards Institute of General and Inorganic Chemistry of NAS of Ukraine behind the trees.



Рис. 3. Великі розвинуті дерева на бульварі Вернадського поблизу з перехрестям з проспектом Академіка Палладіна.

Fig. 3. Big mature tree in Vernadskyi boulevard near the crossroad with Palladin Avenue.

Про процеси дифузії забруднюючих газів в повітрі

Розглянемо також міграцію забруднюючих газів автомобілями (оксид вуглецю та оксиди азоту) в повітрі. Ці гази виділяються та накопичуються на автомобільних трасах та шляхах, а потім можуть мігрувати від них в повітря кварталів міста в процесі дифузії. Міграція молекул відмічених забруднюючих газів (CO та NO_x) в повітрі здійснюється в процесі дифузії за формулою [10]: $r^2 = 6Dt$, де r – відстань, D – коефіцієнт дифузії, t – час. Коефіцієнт дифузії забруднюючих газів близький до основних газів повітря і приблизно дорівнює: $D = 0,17 \text{ см}^2/\text{сек}$. Тому шлях дифузійної міграції цих газів дорівнює близько 300 см за добу. І тому концентрація забруднюючих газів у бік від автомобільних шляхів, де вони виділяються і накопичуються, повинна бути майже постійною, лише з поступовим зменшенням. У той же час, за нашими спостереженнями, від шляхів концентрація забруднюючих газів досить різко зменшується вже на відстані в декілька метрів (рис. 2): особливо від пункту 3 до пункту 2, а також від пункту 4 до пункту 5 і далі до пункту 6. Ці різкі зменшення концентрації забруднюючих речовин можна пояснити дією процесів очищення повітря від його забруднення. До цих процесів очищення повітря можна віднести перш за все дію рослин, переважно дерев, які досить буйно ростуть біля автомобільних трас (рис. 3). Дані є попередніми, для більш досконалих висновків доцільним є продовження досліджень з більшою кількістю матеріалів.

Висновки

Викиди автомобільного транспорту в мегаполісах несуть загрозу не лише для екології в цілому, а і безпосередньо здоров'ю населення. Головними забруднюючими токсичними речовинами є оксид вуглецю та оксиди азоту. Перераховані аерозолі, перш за все, затримуються в атмосферному повітрі міст. Вони перевищують ГДК в декілька разів (до десяти), особливо на автомобільних трасах. Гази з автомобільних трас та шляхів в процесі дифузії мігрують в повітря кварталів міста. Дерев та інші рослини уздовж цих вулиць є поглиначами названих вище забруднюючих речовин. Тому треба обов'язково вздовж автомобільних трас і особливо вздовж вулиць міст садити більше дерев та інших рослин. Тобто, дерева та інші рослини в місті – найкращий захисник від отруєння людей викидами автомобілів та інших техногенних джерел.

Щодо заходів, спрямованих на покращення стану атмосферного повітря, то серед них треба відмітити заміну у двигунах автомобілів бензину на дизель та газ. Але це тільки в незначній мірі поліпшить стан повітря в мегаполісах. Стосовно рішучих заходів для досягнення чистого повітря на вулицях міст, то це – перехід на електричні двигуни в

автомобілях, аналогічно тролейбусам та трамваям. А це вже пов'язано, перш за все, з розвитком ядерної енергетики.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Белевцев Р.Я.* Влияние современной энергетики на окружающую среду // “Энергетика Земли, її геолого-екологічні прояви, науково-практичне використання”. Зб.наук. праць, КНУ, Київ, 2006. – с. 166-168.
2. *Белевцев Р.Я., Бойченко С.Г., Спивак С.Д. та інші.* Термодинамика газового обмена в окружающей среде. Под редакцией члена-корреспондента НАН Украины Р.Я.Белевцева., “Наукова думка”, Київ, 2007.- 248 с.
3. *Белевцев Р.Я.* Происхождение и эволюция внешних геосфер: газовой атмосферы, кислого океана, свободного атмосферного кислорода и возникновение жизни // Доповіді НАН України, 12, 2011. – с. 83 – 90.
4. *Вітрищак В.Я., Вітрищак С.В., Качур Н.В.* Оцінка реальної небезпеки забруднення атмосферного повітря викидами автотранспорту. // Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення, Зб. Наукових праць, т. 2, м.Алушта, 2010, с. 160-162.
5. *Синенко Е.В.* Охрана окружающей среды при эксплуатации автомобильного транспорта. К., Техника, 1985, 48 с.
6. *Баскова І.П., Порєв А.А., Приміський В.П.* Екологічний моніторинг викидів автомобілів // Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення, , Зб. Наукових праць, т. 2, м. Алушта, 2006, с. 229-232.
7. *Рижков В.Г. Кожмякін Г.Б., Гаген С.В.* Автомобільний транспорт як джерело забруднення атмосферного повітря м. Запоріжжя // Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення, , Зб. наукових праць, т. II, м. Алушта, 2009, с. 248-252.
8. Бекмуханов М. Автомобильный транспорт Казахстана. АЛМАТЫ, 2005.
9. Денисов В.И. Рогалев В.А. Проблемы экологизации автомобильного транспорта. СПб, МАПЭБ, 2005, с. 312.
10. Эберт Г. Краткий справочник по физике. Гос. Издательство физ-мат. литературы, Москва, 1963, 552 с.

REFERENCES

1. Belevtsev, R. (2006), *Vlyianyie sovremennoi enerhetyky na okruzhaiushchuiu sredu* , Proceedings of KNU, Kiev, pp. 166-168.
2. Belevtsev, R., Boichenko ,S., Spivak, S .etc. (2007), *Termodinamika gazovogo obmena v okruzhayushchey srede: monografiya*, Naukova Dumka, Kyiv, UA, 247p.
3. Belevtsev, R. (2011), *Proiskhozhdeniye i evolutsia vneshnikh geosfer: gazovodnoy atmosfery , kislogo okeana, svobodnogo atmosfernogo kisloroda i vzniknoveniya zhizni*, Report. NAN of Ukraine, 12, pp. 83-90.
4. Virishchak, V., Vitriushchak, S., Kachur, N. (2010), *Ekolohichna bezpeka: problemy i shlyakhy vyrishennya*, Zbirnyk naukovykh prats, Alushta, 2, pp.160-162.
5. Sinenko, E. (1985), *Okhrana okruzhayshchey sredy pry ekspluatatsiy avtomobil'noho transportu*, Tekhnika, Kyiv, UA, 48p.
6. Baskova, I., Porev, A., Prymis'kyu, V., (2006), *Ekolohichna bezpeka: problemy i shlyakhy vyrishennya*, Zbirnyk naukovykh prats, Alushta, 2, pp.229-232.
7. Ryzhkov, V., Kozhemyakin, G., Gagen, S. (2009), *Avtomobilnyi transport yak dzherelo zabrudnennia atmosfernoho povitria m. Zaporizhzhia*, Zbirnyk naukovykh prats, Alushta, 2, pp. 248-252.
8. Bekmuhanov, M. (2005), *Avtomobil'nyy transport Kazakhstana*, Almata, KZ.
9. Denisov, V., Rogalev V. (2005), *Problemy ekologizatsii avtomobil'noho transporta*, SPb, МАРЕВ, 312p.
10. Ebert, G. (1963), *Kratkiy spravochnik po fizike*, Moscow, Gos. Iz-vo physical and mathematical literature, 552p.

ТЕРМОДИНАМІКА ВИБРОСОВ ТОКСИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ АВТОМОБИЛЯМИ В ВОЗДУХ ГОРОДОВ И ОЧИСТКА ЕГО РАСТЕНИЯМИ

Белевцев Р.Я., Блажко В.И., Дерман В.А., Жолуденко О.А., Кузенко С.В., Терещенко С.И.

Белевцев Р.Я. д. г.-м. н., зав. отд., профессор, чл.-кор. НАН Украины, ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины, igns_bielievtsev@nas.gov.ua.

Блажко В.И. н. с. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины»

Высотенко О.О. н. с. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины»

Дерман В.А. н. с. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины»

Жолуденко О.А. н. с. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины»

Кузенко С.В. н. с. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины»

Лазаренко Е.Е. ст. н. с., к. г. н., ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины»

Терещенко С.И. ст. н. с., к. г. н., ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины».

Рассмотрена такая важная эколого-геохимическая проблема, как загрязнение воздуха городов токсическими газовыми выбросами автомобильного транспорта по конкретным замерам состава воздуха в Академгородке г. Киева. Проведенный термодинамический анализ химических реакций с участием таких токсических газов, как оксид углерода и оксид азота. Наибольшее загрязнение обнаружено на самих автомобильных путях и близ прилегающих к ним тротуарах вдоль дорог и на перекрестках. Эти газы выделяются и накапливаются на автомобильных трассах и путях и впоследствии могут мигрировать от них в воздух кварталов города в процессе диффузии. Сделан также вывод о важной роли деревьев и других растений для очистки воздуха от загрязняющих веществ. Относительные решительных действий для достижения чистого воздуха на улицах городов, то это – переход на электрические двигатели в автомобилях, аналогично троллейбусам и трамваям, а это уже связано с развитием атомной энергетики.

Ключевые слова: *автомобили, оксид углерода и азота в воздухе, термодинамика реакций загрязнений воздуха, диффузия, влияния растений на очистку воздуха в городах.*

THERMODYNAMICS OF TOXIC AUTOMOTIVE EMISSIONS IN CITY AIR AND AIR PURIFICATION BY PLANTS

R. Belevtsev, V. Blazhko, O. Vysotenko, V. Derman, O. Zholudenko, S. Kuzenko, E. Lazarenko, S. Tereshchenko

R. Belevtsev – D.Sc. (Geol.-Min.), Head of Department, Professor, Cor. Member NASU, SI “Institute of Environmental Geochemistry NAS of Ukraine”, igns_bielievtsev@nas.gov.ua.

V. Blazhko - Researcher, SI “Institute of Environmental Geochemistry NAS of Ukraine”

V. Derman - Researcher, SI “Institute of Environmental Geochemistry NAS of Ukraine”

O. Zholudenko - Researcher, SI “Institute of Environmental Geochemistry NAS of Ukraine”

S. Kuzenko - Researcher, SI “Institute of Environmental Geochemistry NAS of Ukraine”

S. Tereshchenko – Senior Researcher, D.Sc. (Geol.-Min.), SI “Institute of Environmental Geochemistry NAS of Ukraine”

Such an important ecological and geochemical problem as urban air pollution by toxic gas emissions from road transport was assessed by specific measurements of the air composition in Academmistechco of the city of Kyiv. Thermodynamic analysis of the chemical reactions involving such toxic gases as carbon monoxide and nitrogen oxides emitted from transportation has been carried out. These toxic gases are preferentially released when the speed of automobiles decreases and the temperature and gas pressure in the engine decreases, and consequently the amount of oxygen for complete reaction becomes insufficient. That is, under these conditions, at low speeds of cars, other reactions take place in their engines with the formation of carbon oxides and nitrogen which are toxic substances for people. The highest pollution was found on the motorways and the adjacent sidewalks along them, and at the cross roads. These toxic gases are released and accumulated on the highways and paths, and can later migrate from them into the air of the city blocks in the process of diffusion. On all Kyiv streets, the maximum permissible concentration (MPC) of CO and nitrogen oxides is exceeded by 2-3 times, and on major highways such as Volodymyrska, Shevchenko and Khmelnytskyi streets this exceeding reaches 10 times. It was also concluded that trees and other plants play a significant role in air purification from the pollutants. Moreover, the trees seem to grow better than in the forest consuming toxic for people carbon and nitrogen oxides and even look better. Regarding the decisive actions to achieve clean air on the streets, besides greening electric engines should be used in cars more extensively like in trolleybuses and trams. This is closely connected with the development of nuclear energy production. From more general philosophic approach, the geochemical processes in the urban air polluted by automotive gaseous emissions can be viewed as dialectic between unity and diversity: on the one hand, the air pollution is harmful for people, on the other hand, it is valuable for vegetation. Such dialectic analysis of the urban air pollution processes favours extensive greening in cities, especially planting big trees, because besides transport, enterprises and factories also contaminate the environment.

Keywords: *Cars, carbon and nitrogen oxide in the air, thermodynamics of air pollution reactions, diffusion, the impact of plants on air in cities.*