

УДК: 504.3.054(543.26)+ 519.8

Н. В. МАКСИМЕНКО, канд. геогр. наук, доц., **О. Л. ЛЯШЕНКО**

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

61022 Харків, майдан Свободи, 6

nadezdav08@mail.ru

МОДЕЛЮВАННЯ АТМОСФЕРНОГО ПЕРЕНОСУ ЗАБРУДНЕННЯ ДЛЯ ЦІЛЕЙ ЛАНДШАФТНОГО ПЛАНУВАННЯ

Представлено результати експерименту з моделювання повітряного перенесення забруднюючих речовин з автотраси до житлової зони, який априорі забезпечить можливість оптимізації ландшафтного планування в урбосистемах. Модель дозволяє врахувати такі чинники, як просторова конфігурація житлової забудови, відстань до джерела і кут переносу забруднення та наявність бар'єру по відношенню до домінуючих вітрів, похилість забудови та ін. при прогнозуванні можливого забруднення селітебних ландшафтів. Наведені результати польової апробації моделі підтверджують реалістичність розробленої моделі і вірогідність отриманих за її допомогою розрахунків.

Ключові слова: ландшафтне планування, моделювання, приземна концентрація, урболандшафт, житлова забудова, перенесення забруднення

Максименко Н. В., Ляшенко А. Л. МОДЕЛИРОВАНИЕ АТМОСФЕРНОГО ПЕРЕНОСА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЛАНДШАФТНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

Представлены результаты эксперимента по моделированию воздушного переноса загрязняющих веществ от автотрассы до жилой зоны, априори обеспечивающая возможность оптимизации ландшафтного планирования в урбосистеме. Она позволяет учесть такие факторы, как пространственная конфигурация жилой застройки, расстояние до источника и угол переноса загрязнения и наличие барьера по отношению к доминирующим ветрам, этажность застройки и др. при прогнозировании возможного загрязнения селитебных ландшафтов. Приведены также результаты полевой апробации, подтверждающие реалистичность разработанной модели и достоверность полученных с ее помощью расчетов.

Ключевые слова: ландшафтное планирование, моделирование, приземная концентрация, урболандшафт, жилая застройка, перенос загрязнения

Maksymenko N. V., Lyashenko O. L. SIMULATION OF ATMOSPHERIC POLLUTION TRANSPORT FOR THE PURPOSE OF LANDSCAPE PLANNING

In this paper the author's calculation model for the air transport of pollutants from the highway to the residential area has been presented, which a priori would allow to optimize landscape planning in urban systems. It allows to take into account such factors as the spatial configuration of residential development, distance to the source and angle of contamination transport and presence of barriers in relation to the prevailing winds, etc. number of storeys in buildings, etc. in predicting the possible contamination of residential landscapes. These are also the results of its field testing confirming the feasibility and reliability of the developed model obtained by means of its calculation.

Keywords: landscape planning, modeling, surface concentrations, urban landscape, residential construction, pollution transport

Вступ

Актуальність роботи. Проблема удосконалення середовища існування людини в урболандшафтах шляхом перерозподілу потоків атмосферного забруднення від домінуючого джерела – автотранспорту може бути вирішена, на наш погляд, методами ландшафтно-екологічного планування і конструювання, а також вдосконаленням культури будівництва допомогти природі і людству взаємно адаптуватися до спільного існування на новому ноосферному рівні стало розв'язати ландшафтної оболонки.

Необхідно самим свідомо створювати високоефективні культурні ландшафти або територіальні природно - господарські системи, сприятливі для життєдіяльності людей і добре вписані в природний ландшафт.

Розвиток наукових праць з геоecологічної оптимізації господарської діяльності та оптимізації стану довкілля пов'язані, перш все, з вдосконаленням територіальної структури, функціонування та організації природно-господарських систем в цілому, тобто з підбору технологій природокорис-

тування та реконструкції ландшафтів, що відповідають геоекологічним принципам коеволюції, культурним традиціям, цільовій орієнтації промисловості, а також можливостям суспільства і природи.

Ландшафтне планування (ЛП) орієнтоване на формування геоекологічно оптимізованих культурних ландшафтів шляхом вдосконалення територіальної структури і функціонування ландшафтно-техногенних систем, а також узгодження технологій господарської діяльності в з ландшафтними особливостями територій.

На сьогодні проблема організації ландшафтного планування, мабуть, один з найбільш актуальних екологізованих конструктивних напрямків ландшафтознавства.

Концептуально конкретизуючи поняття «ландшафтне планування» як процес, його можна визначити і так: ландшафтне планування – це ландшафтно-екологічно обґрунтована територіальна організація природи і господарства культурних ландшафтів, спрямована на ефективне використання та збереження природних ресурсів, а також на матеріальну, екологічну та естетичну оптимізацію умов життєдіяльності людини в природному середовищі. Це один з комплексних напрямків територіальної адаптації людини з його господарською діяльністю в оточуючому середовищі. Загальною метою ландшафтного планування є підвищення ефективності виробництва, збільшення якісної біопродуктивності і біорізноманіття ландшафтів при збереженні стійкості геосистем і сприятливих умов життєдіяльності людини.

Методи дослідження

Перша теорія дифузії домішок в атмосфері була створена Г. І. Тейлором у 1915 р. [1] та Шмідтом у 1917 р. [2], які припустили диференціальне рівняння, що виражає закон збереження маси та засновано на припущенні про аналогію процесів молекулярної та турбулентної дифузії. У 1923 р. О. Ф. Т. Робертс знайшов вирішення їх рівняння.

Проте вже перші експериментальні дослідження атмосферної дифузії, здійснені до другої світової війни у Портоні (Англія), виявили якісні розходження рівнянь Г. І. Тейлора та О.Ф.Т.Робертса. Причиною таких розходжень виявляється якісна відмін-

ність турбулентної дифузії від молекулярної.

Задля отримання формул, які задовільно узгоджуються з експериментальними даними, почали задавати функціональні залежності для коефіцієнтів турбулентної дифузії.

У 1932 р. була опублікована робота О. Г. Сеттона[3], в якій викладена теорія розсіювання домішок, заснована на статистичній теорії турбулентності.

Використовуючи теорему Г. І. Тейлора [1] про поведінку частки в ізотропному турбулентному потоку та припускаючи, що розподіл концентрації в хмарі співпадає з

Ландшафтне планування урбанізованих територій орієнтоване на вирішення наступних задач:

- перетворення ландшафтів для додання їм більш сприятливих для життєдіяльності властивостей (меліорація);

- ландшафтно-екологічне планування з метою еколого-економічної оптимізації розміщення господарської діяльності і об'єктів (при заданих технологіях);

- ландшафтне планування технологій виробництва, використання сировини і захисних заходів на існуючих господарських об'єктах (при заданих ландшафтних умовах);

- ландшафтне планування показу та організації селітебних територій з метою оптимізації їх функціонального (виробничого та комунально-побутового) зонування і екологічного благополуччя;

- ландшафтне планування перетворень у ландшафтах для підвищення їх стійкості до антропогенних впливів (інженерно-екологічні перебудови ландшафтів, компенсаційні заходи тощо);

- ландшафтне планування охорони природи і відновлення деградованих земель.

- ландшафтне планування з метою підвищення естетичної привабливості рекреаційних, селітебних і інших територій.

Метою роботи є створення і апробація моделі перенесення автотранспортного забруднення від вулиць до житлової забудови для розробки рекомендацій з оптимізації ландшафтного планування в урбосистемах.

нормальним розподілом Гаусса, О. Г. Сетон отримав рішення для стаціонарного крапкового джерела, а шляхом його інтегрування по у О. Г. Сетон отримав рівняння для лінійного джерела нескінченної або скінченної довжини.

Подальший розвиток теорії розсіювання йшов в основному двома напрямками: рішення, отримані з рівняння турбулентної дифузії зі змінними коефіцієнтами, та рішення, отримані на засаді статистичної теорії.

Розглянемо спочатку перший напрямок, до якого відносяться роботи К. Л. Калдера [4], Д. Л. Лайхмана [5], М. Е. Берлянда [6] та інші.

У 1963 р. М. Е. Берлянд [6] отримав рішення для крапкового джерела, розташованого на висоті h для приземної концентрації домішки з урахуванням часу усереднення.

У 1963 р. Д. Л. Лайхман [5] запропонував описувати горизонтальне та вертикальне розсіювання різними рівняннями, а саме, горизонтальне розсіювання – рівнянням Гаусса, а вертикальне – напівемпіричним рівнянням турбулентної дифузії.

У 1973 р. Н. Л. Бизова [7] розробила методичний посібник з розрахунку розсіяння домішок, в основі якого лежить формула Д. Л. Лайхмана.

Функціональні залежності [8,4,5,7] для коефіцієнтів турбулентної дифузії мають обмежену область використання [9]. З більш складними залежностями аналітичне рішення рівняння турбулентної дифузії неможливе. Розвиток обчислювальної техніки дозволив отримувати чисельні рішення цього рівняння [10].

Результати дослідження

Сучасне містобудівельне проектування передбачає цілеспрямовану зміну природного середовища і конструювання міських ландшафтів з зазначеними сприятливими властивостями. Створення та ефективне використання схем ландшафтного планування міської території, соціально-економічні та екологічні результати впровадження цих концепцій на рівні адміністративного району міста мають стати складовою частиною діяльності, що забезпечує екологічну рівновагу, соціальну стабільність та сталий розвиток території.

Теорія О. Г. Сеттона розвивалася у роботах закордонних авторів – Х. Е. Крамера [11], Ф. Пасквілла [12] та інших, та в працях радянських – П. І. Андреева [13], С. Н. Тевєровського [14], А. Е. Хайкіной [15] та інших.

Діючі норми проектування засновані на методиці розрахунку Головної Географічної Обсерваторії (ГГО). Розрахункові формули отримані з загальновідомого рівняння при знаходженні максимуму функції та впровадженні деяких інтерполяційних залежностей, отриманих на підставі статистичних даних натурних обстежень. Формула задля розрахунку максимальної приземної концентрації газової домішки при викиду холодної газоповітряної суміші з джерела з круглим вістям має вигляд:

$$C_M = \frac{AMn}{h^4 \sqrt[3]{2\pi D\omega_0}} \quad (1)$$

де: n – безрозмірний коефіцієнт, значення якого $n=1-3$; D – діаметр труби;

ω_0 – швидкість викиду газоповітряної суміші; A – коефіцієнт, значення якого для несприятливих метеорологічних умов в залежності від кліматичних зон складає 120–140.

Несприятливими метеорологічними умовами вважається поєднання небезпечної швидкості вітру з нестійкою стратифікацією атмосфери.

П. І. Андреев [13] отримав формулу для максимальної концентрації, прийнявши у якості вихідної формулу О. Г. Сеттона. Порівняння методики розрахунку ГГО з методикою А. І. Андреева показало, що вони відрізняються чисельними коефіцієнтами та множителем $h^{1/3}$.

Комплексна реалізація схем ландшафтного планування території адміністративного району міста реально можлива на досить віддалену перспективу, проте власне схема ландшафтного планування є тим документом, в якому за допомогою еколого-географічного підходу розробляються стратегічні напрямки розвитку території.

Ландшафтне містобудівельне планування і проектування – одне з найбільш прогресивних напрямків територіальної організації перетворених і натуральних ландшафтних комплексів [17].

В умовах швидкої урбанізації все більшу роль у плануванні селітебних територій відіграють проекти групових систем розселення. В них плануванням координуються розміри і темпи розвитку систем розселення з урахування балансів використання земельних, повітряних, водних і лісових ресурсів. Однак простий баланс перерахованих ресурсів не відображає особливостей внутрішньої ландшафтно-екологічної планувальної і функціональної неоднорідності запланованих під забудову територій. При цьому плануються єдині структури транспортних, інженерно-комунальних і еколого-технологічних, протиерозійних, водоохоронних санітарно-захисних зон і інших природоохоронних систем, що підвищує озеленення території. Великі транспортно-комунікаційні коридори, віддалені від селітеби, вирішують частину екологічних проблем впливу транспорту на людину і природу. Екологічно важливим є збереження взаємозв'язаних великих зелених масивів, більш стійких до антропогенних впливів і більш ефективних в поліпшенні і підтриманні сприятливої екологічної ситуації в зоні селітеби.

Однак, міська екологічна структура повинна мати свої особливості на всіх територіальних рівнях. При формуванні екологічного каркасу слід враховувати регіональні соціально-економічні і зональні природні особливості територій, пов'язані з ландшафтно-кліматичними умовами. Особливу увагу слід приділити режиму напрямків і потужності вітрового потоку в селітебних зонах урболандшафтів. Саме вони мо-

жуть погіршити чи покращити екологічну ситуацію, пов'язану із забрудненням повітря автотранспортом.

Існує міркування стосовно того, що конфігурація розташування будинку по відношенню до транспортних потоків і домінуючих напрямків вітру має одне з вирішальних значень у створенні екологічного клімату селітеби. Будинки та споруди, деформують вітровий потік, змінюючи його швидкість та напрямок. В деформованому потоку розсіювання домішок підкоряється іншим закономірностям, ніж ті, що були розглянуті раніше, та безпосередньо пов'язане з характеристиками плинну. Плин, що утворюється за твердим тілом, називають аеродинамічним слідом. Аеродинамічний слід поблизу тіла називають також аеродинамічною тінню. У зоні аеродинамічної тіні утворюється циркуляційний рух, лінії току котрого представляють собою замкнені криві.

У 1958 р. В. М. Ельтерман дослідним шляхом використання теорії розмірності отримав залежність для визначення максимальної концентрації шкідливої речовини під час викиду його у зону аеродинамічної тіні будівлі [18].

У 1977 р. опублікована робота В. П. Тітова та В. С. Тішкіна [19], в якій використана теорія О. Г. Сеттона задля випадку знаходження джерела у зоні аеродинамічної тіні. Концентрація домішки у зоні аеродинамічного сліду будівлі визначається як сума концентрацій від дійсного та фіктивного джерела, що направляє домішки назустріч вітру.

$$C_{x,y,z} = \frac{M}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp -\frac{y^2}{2\sigma_y^2} \exp -\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2} + \exp -\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2} + 2K \frac{\sigma_y\sigma_z}{\sigma_{1y}\sigma_{1z}} \exp -\frac{y^2}{2\sigma_{1y}^2} \exp -\frac{z^2}{2\sigma_{1z}^2} \quad (2)$$

де: K – коефіцієнт влучення домішок у зону аеродинамічного сліду; σ_{1y} , σ_{1z} – параметри інтенсивності процесу дифузії у зоні аеродинамічного сліду. Поза межами зони зворотного плинну $\sigma_{1y} = \sigma_y$; $\sigma_{1z} = \sigma_z$. Якщо $K=0$, формула (2) спрощується.

У 1980 р. В. Т. Самсонов [19] припустив, що вплив повітряного потоку на кон-

центрацію домішки можна врахувати, підібравши відповідну залежність задля узагальненого коефіцієнта дифузії s . Задавши нормальний закон розподілу домішки зі змінною дисперсією, він отримав наступний вираз:

$$C = \frac{M}{0,5u \sqrt{0,5s_y^2x^2 + B_\phi^2s_zx + L}} \varphi_0 \frac{y}{\sqrt{0,5s_y^2x^2 + B_\phi^2}} \quad (3)$$

$$\times \varphi_0 \frac{z-h}{\frac{1}{2}s_zx} \sqrt{1+A(z-h)} + \varphi_0 \frac{z+h}{\frac{1}{2}s_zx} \sqrt{1+A(z+h)}$$

де: B_ϕ – параметр, який характеризує горизонтальне коливання вісі факелу, під час відхилення вітру від заданого напрямку; L – витрата повітря у викиду; A – комплексний множник; $\varphi_0 t = \frac{1}{2\pi} \exp -\frac{t^2}{2}$.

Таким чином, в даний час теорія дифузії домішок в атмосфері за відсутності перешкод розроблена достатньо повно. Незважаючи на різноманіття формул усі вони можуть бути отримані з одного диференціального рівняння та приведені до подібного вигляду. Результати розрахунків по формулах співпадають за відповідного підбору експериментальних констант.

Розглянувши існуючі методики для написання програмного продукту, можна зробити висновок, що основою всіх цих методик є рівняння Ланжевена. Авторами запропонована методика розрахунку концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі, що містяться у викидах автотранспорту.

Максимальне значення приземної концентрації шкідливої речовини c_m (мг/м³) за цією методикою при викиді газоповітряної суміші з одиночного точкового джерела з круглим гирлом досягається за несприятливих метеорологічних умов на відстані x_m (м) від джерела і визначається за формулою:

$$C_m = \frac{AMFmn\eta}{H^2 \sqrt{V_1 \Delta T}} \quad (4)$$

де: A – коефіцієнт, залежний від температурної стратифікації атмосфери; M (г/с) – маса шкідливої речовини, що викидається в атмосферу в одиницю часу; F – безрозмірний коефіцієнт, що враховує швидкість осідання шкідливих речовин в атмосферному повітрі; m і n – коефіцієнти, що враховують умови виходу газоповітряної суміші з гирла джерела викиду; H (м) – висота джерела викиду над рівнем землі (для наземних джерел при розрахунках приймається

$H=2$ м); η – безрозмірний коефіцієнт, що враховує вплив рельєфу місцевості, в разі рівної або слабопересічної місцевості з перепадом висот, що не перевищує 50 м на 1 км, $\eta = 1$; ΔT (°C) – різниця між температурою газоповітряної суміші T_s , що викидається та температурою навколишнього атмосферного повітря T_a ; V_1 (м³/с) – витрата газоповітряної суміші, визначувана за формулою:

$$V_1 = \frac{\pi D^2}{4} \omega_0 \quad (5)$$

де: D (м) – діаметр гирла джерела викиду; ω_0 (м/с) – середня швидкість виходу газоповітряної суміші з гирла джерела викиду.

Постановка експерименту. Апробація програми розрахунку концентрації забруднення у різних точках спостереження проведена на прикладі визначення концентрації діоксиду вуглецю. Обрано п'ять принципово різних тестових ділянки, що розташовані на різній відстані від автомобільного потоку, у т.ч. на перехресті вулиць, мають різне позиційне розташування по відношенню до напрямку вітру та з (або без) перешкод на шляху вітрового потоку до будівлі:

Перша тестова ділянка розташована за 130 метрів від дороги у дворі житлового будинку, що є перешкодою на шляху вітрового потоку із викидами автотранспорту. Особливість тестової ділянки також полягає у тому, що вона майже повністю оточена висотними (9-ти, 12-ти та 16-ти поверховими) будівлями, що окрім обмеження притоку забруднення з вулиці обмежує розсіювання і самоочищення атмосферного повітря на цій території.

Друга тестова ділянка обрана на перехресті двох вулиць з інтенсивним автомобільним рухом впродовж всього дня з підвітряного боку.

Третя тестова ділянка знаходилась на відстані 30 м від автомобільного потоку на розі двох будинків у арці також з підвітряного боку вулиці. Вітровий потік спрямований під кутом 45°. Перешкод на шляху руху повітря від дороги до точки спостереження немає.

Четверта тестова ділянка розташована за 30 м від дороги до будинку за суцільною перешкодою, яка створена одноповерхови-

ми кіосками. Вітер був спрямований перпендикулярно до будівлі.

П'ята тестова ділянка розташована за 30 м від дороги до будинку, між якими немає перешкод. Вітер був спрямований також перпендикулярно до будівлі.

Мета експерименту – проаналізувати як змінюється концентрація CO₂ від дороги до житлового будинку.

Таблиця

Протокол результатів дослідів

№ п/п	Масова концентрація за шкалою забарвленого стовпчика CO ₂ , мг/м ³	Місце відбору газових проб	Масова концентрація CO ₂ , мг/м ³	Розрахункова масова концентрація, мг/м ³
1	0,047	130 метрів від дороги у дворі житлового будинку	0,040	0,039
2	0,05	перехрестя вулиць Блюхера та Академіка Павлова	0,042	0,042
3	0,043	30 м від дороги на розі будинку перед аркою (45° до напрямку вітру)	0,036	0,035
4	0,04	30 м від дороги до будинку за суцільною перешкодою – кіоски (перпендикулярно до напрямку вітру)	0,034	0,034
5	0,052	30 м від дороги на відкритому місці (перпендикулярно до напрямку вітру)	0,044	0,044

В процесі експерименту концентрації цієї речовини визначалися за допомогою наступних приладів: універсального газоаналізатору (УГ-2) та аспілятора сільфонного типу АМ-5М. Розрахунок концентрацій діоксиду вуглецю за допомогою програмного продукту проводився згідно до вищеписаної методики.

Експериментально встановлено, що найвищий показник концентрації забруднення (0,052 мг/м³ – на приладі і 0,044 мг/м³ – за розрахунком) зафіксований на п'ятій тестовій ділянці, яка знаходилась перед 12-поверховим будинком, що розташований перпендикулярно напрямку основного повітряного потоку і перед яким немає перешкод (табл.).

Другою за концентрацією забруднення є тестова ділянка на перехресті двох вулиць (0,050 мг/м³ – на приладі і 0,042 мг/м³ – за розрахунком) (табл.). Згідно традиційного екологічного аналізу саме це місце повинно було мати найвище забруднення, але в ході експерименту доведено, що для перехрестя, як правило характерні різноспря-

мовані повітряні потоки, що сприяють розсіюванню забруднюючих речовин и зниженню масової концентрації CO₂.

Наступною за рівнем забруднення виявилась ділянка всередині житлового мікрорайону (перша тестова ділянка) (0,047 мг/м³ – на приладі і 0,040 мг/м³ – за розрахунком) (табл.). Особливістю цієї ділянки є розміщення в центрі двору, який зі всіх боків оточений висотними будинками з 9-ти, 12-ти та 16-ти поверхів. Знову ж таки, згідно традиційного екологічного сприйняття урболандшафту, саме ця територія має бути найкраще «захищеною» від транспортного забруднення, оскільки житлові будинки перешкоджають перенесенню забруднення від магістралі всередину двору. Дослідження довело зворотне – виявилось, що забруднюючі речовини, що через арки «всмоктуються» у двір і там залишаються, оскільки тут переважають штилі.

Цікавий висновок зроблено при порівнянні показників з двох тестових ділянок (четверта і п'ята ділянки) що розташовані в абсолютно однакових умовах – поруч з 12-

поверховим житловим будинком, на однаковій відстані від основного джерела забруднення, перпендикулярно до основного повітряного потоку. Відрізняються вони лише тим, що перед будинком на шляху потоку повітря від дороги до будинку стоять одноповерхові кіоски. Завдяки перешкоді концентрація забруднення між ними відрізняється на 10 пунктів ($0,044 \text{ мг/м}^3$ – на п'ятій ділянці і $0,034 \text{ мг/м}^3$ – на четвертій) (табл.).

Експериментально доведено, що перешкода, яка знаходиться на висоті джерела

забруднення дозволяє знизити концентрацію потоку на 20%. Важливо, що масова концентрація забруднюючої речовини, отримана за допомогою програмного продукту відрізняється від отриманої експериментально майже повністю співпадає. Це дозволяє зробити висновок, що розроблена програма може бути використана для прогнозу забруднення у будь-якому іншому урболандшафті.

Висновки

Отримані значення концентрацій діоксиду вуглецю у п'ятьох місцях різної віддаленості від джерела викиду та з урахуванням наявності та відсутності перешкод між джерелом та місцем відбору газових проб показали, що висока концентрація вуглекислоти досягається на перехресті, біля будинку на відкритій ділянці і, як не дивно, у дворі за житловим будинком.

Проведений польовий експеримент доводить, що створена програма, за якою роз-

рахована і заміряна концентрація речовини є однаковою, дозволяє вірогідно прогнозувати вплив конфігурації забудови на перенесення забруднюючих речовин. На її основі можливо розробляти проекти удосконалення системи житлової забудови методами ландшафтного планування з метою покращення екологічного стану довкілля в урболандшафті.

Література

1. Taylor C. I. Proc. Lond. Math., 1922, Ser. 2, v.20, p. 3 – 18.
2. Schmidt W. Der Massen austausch in freien Luft. etc. Hamburg, 1925. – 20 p.
3. Сетон О. Г. Микрометеорологія. / О. Г. Сетон // Пер. с англ. – Л.: Гидрометеоздат, 1958. – 230 с.
4. Calder K. L. Quart. J. Mech. Appl. Math., 1949, v. 2, – p. 153.
5. Лайхтман Д. Л. Фізика пограничного слоя атмосфери. – Л., Гидрометеоздат, 1970. – 180 с.
6. Берлянд М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. – Л., Гидрометеоздат, 1975. – 448 с.
7. Бызова Н. Л. Методическое пособие по расчету рассеяния примесей в пограничном слое атмосферы. / Н. Л. Бызова – М., Гидрометеоздат, 1973. – 32 с.
8. Безуглая Э. Ю. Труды ГГО. / Э. О. Безуглая // Вып. 243, 1970, с. 69 – 79.
9. Скорер Р. Аэродинамика окружающей среды. / Р. Скорер // Пер. с англ. – М., Мир, 1980. – 550 с.
10. Fleischer M. T., Worley F. L. Atmospheric Environment, 1978, v. 12, – p. 1349 – 1357.
11. Cramer H. E. Proc. Inst. Nath. Conf. Appl. Meteorol., Amer. Meteorol. Soc., 1957, –p. 63 - 72.
12. Pasquill F. Meteorol. Mag., 1963, v. 90, – p. 25 – 37.
13. Андреев П. И. Рассеяние в атмосферном воздухе газов, выбрасываемых промышленными предприятиями. / П. И. Андреев. – М., Госстройиздат, 1952. – 88 с.
14. Теверовский Е. Н. Новые идеи в области изучения аэрозолей. / Е. Н. Теверовский. – М.: Изд. – во АН СССР, 1949, – с. 108 - 115.
15. Хайкина А. Е. Труды НИИСТ. / А. Е. Хайкина. – 1969, № 30, – С. 120 - 125.
16. Recommended Guide for prediction of the dispersion of auborne effluent (sec. ed.). – New York, 180 p. The American Society of Mechanical Engineers, 1973, N 4.
17. Географическое обоснование экологических экспертиз / под ред. Т. В. Звонковой. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1985.
18. Эльтерман В. М. Вентиляция химических производств. / В. М. Эльтерман // 3 – е изд. – М.: Химия, 1980. – 288 с.
19. Титов В. П., Водоснабжение и санитарная техника / В. П. Титов, В. С. Тишкин. – 1977, № 7, – с. 12 - 14.
20. Самсонов В. Т. Авторефер. канд. дис. М., ЦНИИОТ ВЦСПС, 1980. – 22 с.

Надійшла до редколегії 28.03.2014