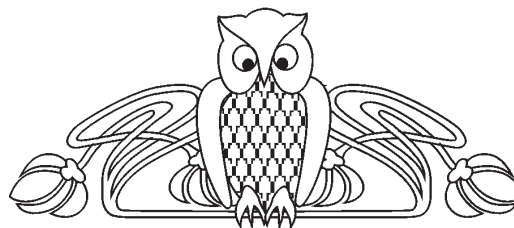




УДК 629.113.004.42

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ АВТОТРАНСПОРТА НА СОСТОЯНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА ЭНГЕЛЬСА (Саратовская область)



Л. В. Гребенюк, В. Н. Ерёмин, М. В. Решетников,
О. В. Фомина

Саратовский государственный университет,
E-mail: grebenuk2@yandex.ru

Проведены исследования влияния автотранспорта на состояние атмосферного воздуха и почвенного покрова города Энгельса. Проанализировано движение автотранспорта на городских улицах. Рассчитаны концентрации выхлопных газов от автомобильного транспорта. Установлены взаимосвязи между количеством автомобильного транспорта, концентрацией выхлопных газов и загрязнением почвенного покрова.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, выхлопные газы, загрязнение почв, свинец, город Энгельс.

The Assessment of Motor Transport' Influence on a Condition of Atmospheric air and a Soil Cover in the Territory of the Engels City

L. V. Grebenuk, V. N. Eremin, M. V. Reshetnikov,
O. V. Fomina

The research of motor transport' influence on a condition of atmospheric air and a solid cover of the Engels city are carried out. motor transport movement on city streets is analysed. concentration of exhaust gases from the motor transport are calculated. interrelations between quantity of the motor transport, concentration of exhaust gases and pollution of a soil cover are established.

Key words: motor transport, exhausted gases, pollution of a soil, lead, Engels city.

Одним из главных источников загрязнения атмосферного воздуха в городах является автотранспорт. Основная часть загрязнителей поступает от автомобилей в виде отработавших газов (99% всех выбросов), которые содержат оксид углерода, оксиды азота, различные углеводороды, альдегиды, диоксид серы. На придорожные территории попадают продукты износа шин (цинк, кадмий, медь, свинец), тормозных накладок (медь, свинец, хром, никель, цинк) и материалов дорожных покрытий (кадмий, свинец) [1].

Контроль над состоянием воздуха на территории крупных населенных пунктов проводится на стационарных постах наблюдения за атмосферным воздухом (ПНЗ). Система ПНЗ имеет ряд недостатков: во-первых, полученные данные не позволяют оценить вклад автотранспорта и степень загрязнения воздуха на отдельных улицах и в конкретных микрорайонах; во-вторых, стационарные посты наблюдения установлены

далеко не во всех городах. На территории Саратовской области ПНЗ находятся только в г. Саратове (10 постов) и в г. Балаково (3 поста) [2]. В других населенных пунктах области стационарные посты наблюдения отсутствуют.

Для оценки степени загрязнения воздуха от передвижных источников часто используют известные расчетные методики [3–5]. В 1996–1999 гг. в лаборатории урбоэкологии Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского проводились исследования по изучению интенсивности транспортных потоков на основных магистралях городов Саратова, Балаково и Энгельса. По методике Ю. Г. Фельдмана были рассчитаны концентрации выбросов окиси углерода в каждой точке наблюдения [6]. В. З. Макаровым сделан вывод об отсутствии прямой связи между концентрацией загрязняющих веществ и интенсивностью движения автомобилей. На широких магистралях концентрация окиси углерода меньше, чем на узких улицах с многоэтажной застройкой, при одинаковой транспортной нагрузке.

Авторы настоящей публикации в 2012 г. провели аналогичные исследования на ряде улиц г. Энгельса, дополнив их изучением степени загрязнения почвенного покрова свинцом вдоль автотрасс города.

По данным управления ГИБДД ГУ МВД России по Саратовской области, по состоянию на 1 января 2013 г. в Энгельском районе зарегистрировано 83,2 тыс. единиц автомобильного транспорта. Только за последние два года количество автотранспортных средств, зарегистрированных в Энгельском районе, увеличилось почти на 30%. Вклад передвижных источников (автотранспорта) в суммарный выброс загрязняющих веществ в атмосферу муниципального района составил 70,7% (17,7 тыс. т) [2].

Для оценки степени загрязнения атмосферного воздуха г. Энгельса нами произведены анализ транспортной инфраструктуры города и градация автотрасс по интенсивности движения, изучен состав транспортных потоков, определены концентрации загрязняющих веществ. Согласно применяемым в работе методикам на трассах города в зависимости от изменения потока движения машин выбрано 28 точек наблюдения (т. н.) (рис. 1).

Наблюдения за интенсивностью движения автотранспорта проводились в различное время суток (в интервале с 8.00 до 9.00 часов, с 12.00 до 13.00 часов и с 18.00 до 19.00 часов по 20 минут каждого временного интервала) в течение 3 су-



Рис. 1. Схема расположения точек наблюдения за интенсивностью движения автотранспорта в г. Энгельсе

ток. После проведения замеров рассчитывалось среднее арифметическое число проезжающих автомобилей в час через каждую точку. Отдельно велся подсчет легковых, легких грузовых, средних грузовых, тяжелых грузовых автомобилей и автобусов (табл. 1).

Максимальное количество транспорта отмечено на ул. Тельмана (2093 авт./ч), площадь Свободы (1877 авт./ч), ул. Лесозаводская (1385 авт./ч), ул. Волоха (846 авт./ч). Средней загруженностью (около 500 машин в ч), характеризуются улицы Нестерова, Маяковского, Калинина, проспекты Строителей, Энгельса и др. Наименее загруженными, от 29 до 84 машин в час, оказались улицы Лесопильная и Вокзальная. По результатам наблюдений проведена градация дорог г. Энгельса по интенсивности движения автотранспорта. Большинство обследованных улиц относится к автотрассам со средней (8–17 тыс. авт./сут) и высокой (18–27 тыс. авт./сут) интенсивностью движения.

Основной вклад в транспортные потоки вносит легковой транспорт (64–97%, в среднем – 87% от общего числа автомобилей). Максимальное

число грузовиков разной грузоподъемности зафиксировано на ул. Тельмана, ул. Горького и пл. Свободы (158, 139 и 144 авт./ч соответственно). Пассажирские автобусы немногочисленны (в среднем 2% от общего числа транспорта).

Интенсивность движения незначительно меняется в зависимости от времени суток. На большинстве автодорог отмечается некоторое увеличение интенсивности в утренние и вечерние интервалы наблюдений.

Кроме наблюдений за транспортными потоками, в работе использовались расчетные методы определения концентрации загрязняющих веществ на городских автомагистралях. Оценка уровня загрязнения приземного слоя атмосферы выбросами автотранспортных средств по концентрации оксида углерода произведена по известным методикам [3–5]. В примененных методиках при расчетах выбросов используется ряд параметров: общее количество автомобилей, зафиксированное на точке наблюдения в течение часа; количество легковых автомашин, грузовых автомобилей разного типа и автобусов; средняя скорость движения автомобилей; сведения о



Таблица 1

Результаты наблюдений за интенсивностью движения автотранспорта на улицах г. Энгельса

Но- мер	Наименование улицы	Средняя интенсивность движения автомобилей, час					Всего
		легковые	легкие грузовые	средние грузовые	тяжелые грузовые	автобусы	
1	Просп. Химиков (ул. Космонавтов / ул. Марины Расковой)	356	29	20	16	6	427
2	Просп. Строителей (ул. Ломоносова / ул. Менделеева)	436	35	7	4	20	502
3	Ул. Марины Расковой (ул. Полтавская / ул. Менделеева)	360	13	21	28	4	426
4	Ул. Урожайная (ул. Нестерова / пер. Горный)	267	17	10	6	0	300
5	Ул. Колотилова (пр. 1-й Студенческий / пр. 2-й Студенческий)	252	15	8	6	6	287
6	Ул. Маршала Василевского (ул. Российская / ул. Колотилова)	125	17	14	6	0	162
7	Ул. Студенческая (1-й Пристанский пр. / 1-й геологический пр.)	587	27	23	9	8	654
8	Ул. Полиграфическая (ул. Нестерова / ул. Революционная)	571	50	13	1	13	648
9	Ул. Тельмана (ул. Волоха / ул. Маяковского)	1801	145	13	0	64	2023
10	Ул. М. Горького (ул. Тельмана / ул. Петровская)	586	127	12	0	61	786
11	Ул. М. Горького (ул. Халтурина / ул. Коммунистическая)	302	102	1	0	60	465
12	Ул. Калинина (ул. Петровская / ул. Тихая)	516	12	2	0	57	587
13	Ул. Лесозаводская (ул. Островского / ул. Кривая)	1103	11	27	0	6	1147
14	Ул. Вокзальная (ул. Гоголя / ул. Новобазарная)	64	1	4	1	0	70
15	Ул. Советская (ул. Вокзальная / ул. Пугачевская)	179	5	5	1	0	190
16	Ул. Степная (ул. Волоха / ул. Маяковского)	578	22	11	1	10	622
17	Просп. Фридриха Энгельса (ул. Харьковская / ул. Краснодарская)	504	22	9	0	13	548
18	Просп. Фридриха Энгельса (ул. Одесская / ул. Полтавская)	472	20	11	1	11	515
19	Ул. Краснознаменная (ул. Мира / ул. Амурская)	397	24	32		0	453
20	Ул. Волоха (ул. Тельмана / ул. Петровская)	765	42	17	0	6	830
21	Пл. Свободы (ул. Петровского / ул. Льва Кассиля)	1711	131	13	0	7	1862
22	Ул. Коммунистическая (ул. М. Горького / пл. Свободы)	212	3	4	0	0	219
23	Ул. Нестерова (ул. Московская / ул. Астраханская)	478	35	7	1	3	524
24	Ул. Нестерова (ул. Смоленская / ул. Ленинградская)	268	12	18	4	9	311
25	Ул. Полтавская (ул. Тельмана / ул. Космонавтов)	289	18	18	4	1	330
26	Просп. Волжский (ул. Томская / ул. Мельничная)	578	39	52	44	20	733
27	Ул. Маяковского (ул. Будочная / Дачный пер.)	470	44	32	5	28	579
28	Ул. Лесопильная (1-й Речной пер. / ул. Грозненская)	30	6	2	0	0	38

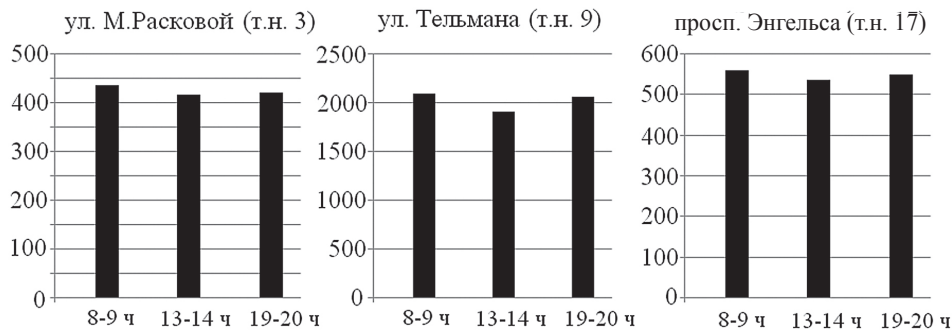


Рис. 2. Диаграммы изменения интенсивности транспортных потоков в зависимости от времени суток на отдельных улицах г. Энгельса

ширине проезжей части и линии застройки; продольный уклон дорожного полотна; этажность зданий; данные о регулировании дорожного движения (светофорное, нерегулируемое, кольцевое движение, движение с обязательной остановкой и т. д.); метеорологические условия (скорость ветра, относительная влажность воздуха); наличие зеленых насаждений вдоль трасс и т. д.

В расчетах по разным методикам используется свой набор параметров. Единый параметр для всех методик – общее количество автомобилей, проезжающих через точку наблюдения за час.

В методике, предложенной В. Ф. Сидоренко и Ю. Г. Фельдманом, для расчетов применяется формула:

$$C_p = K_1 K_2 K_3 (C_0 / vH / 30)^{1/3},$$

где C_p – расчетная концентрация оксида углерода (mg/m^3) на краю проезжей части; v – скорость ветра на улице в пределах 1–10 м/с; H – ширина улицы в линиях застройки; C_0 – стандартная концентрация оксида углерода, получаемая как

$$C_0 = 7,38 + 0,026N + \sum A/N,$$

где N – интенсивность движения автотранспорта в авт./ч в двух направлениях;

$\sum A = A_1 + A_2 + A_3$ – сумма поправок, учитывающих долю грузовых автомобилей и автобусов в общем количестве транспорта; изменение средней скорости движения автомобилей, изменение продольного уклона дороги от нулевого.

Коэффициенты K_1, K_2, K_3 учитывают степень снижения токсичности выбросов и количество выбросов за счет усовершенствования автомобильных двигателей и использования лучшего топлива. На практике учесть данные мероприятия сложно, поэтому в расчетах коэффициенты K_1, K_2, K_3 не учитывались.

В расчетной методике С. В. Алексеева с соавторами учитывается расход топлива в зависимости от вида транспорта, тип топлива (бензин, дизельное). Данная методика позволяет рассчитать не только выбросы СО, но и оценить степень загрязнения воздуха диоксидом азота и углекислым диоксидом.

Для расчетов по формуле, предложенной А. И. Федоровой и А. Н. Никольской, применя-

емой для оценки концентрации оксида углерода (K_{CO}),

$$K_{CO} = (0,5 + 0,01N \times K_T) \times K_A \times K_Y \times K_C \times K_B \times K_{II},$$

где 0,5 – фоновое загрязнение атмосферного воздуха нетранспортного происхождения, mg/m^3 ,

N – суммарная интенсивность движения автомобилей на городской дороге, авт./ч,

В формулу вносятся поправки ($K_T, K_A, K_Y, K_C, K_B, K_{II}$), значения которых варьируют в зависимости от метеорологических условий, процентного соотношения автомобилей разного типа, уклона местности, характера застройки вдоль автотрассы и т. д.

В целом полученные концентрации выбросов СО, рассчитанные по методикам разных авторов, сопоставимы между собой. Наибольшая корреляция значений концентраций оксида углерода, рассчитанная по разным методикам, документируется для точек наблюдения с интенсивностью движения транспорта от 400 до 2000 авт./ч.

В данной работе приводятся результаты расчетов выбросов оксида углерода по методике А. И. Федоровой и А. Н. Никольской [4]. При подборе коэффициентов скорости ветра принималась за 3 м/с (средняя скорость ветра в г. Энгельсе), относительная влажность воздуха 60%. Продольный уклон местности принимался за 0° для всех точек наблюдения (т. н.). Коэффициент аэрации варьирует от 0,4 до 1 в зависимости от типа застройки вдоль каждой улицы. Предельно допустимая концентрация оксида углерода в атмосфере населенных мест $ПДК_{мр} = 5 mg/m^3$.

Расчеты показали, что из 28 точек наблюдения только в пяти концентрация оксида углерода не превышает ПДК (пр. Химиков, ул. Вокзальная, ул. Советская, ул. Лесопильная, ул. Полтавская), на остальных автотрассах содержание СО варьирует от 5 до 56,4 mg/m^3 , что составляет 1–11,3 ПДК (рис. 3).

В целом отмечается прямая схожесть динамики между интенсивностью движения автотранспорта и количеством выбросов загрязняющих веществ (рис. 4).

Анализ результатов показал, что степень аэрации на конкретных точках наблюдения может

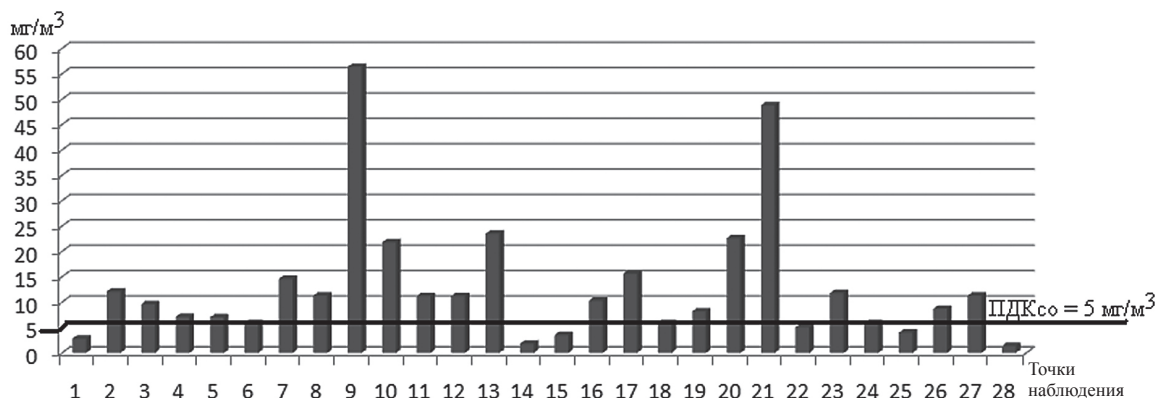


Рис. 3. Диаграмма превышения концентрации оксида углерода над ПДК в точках наблюдения

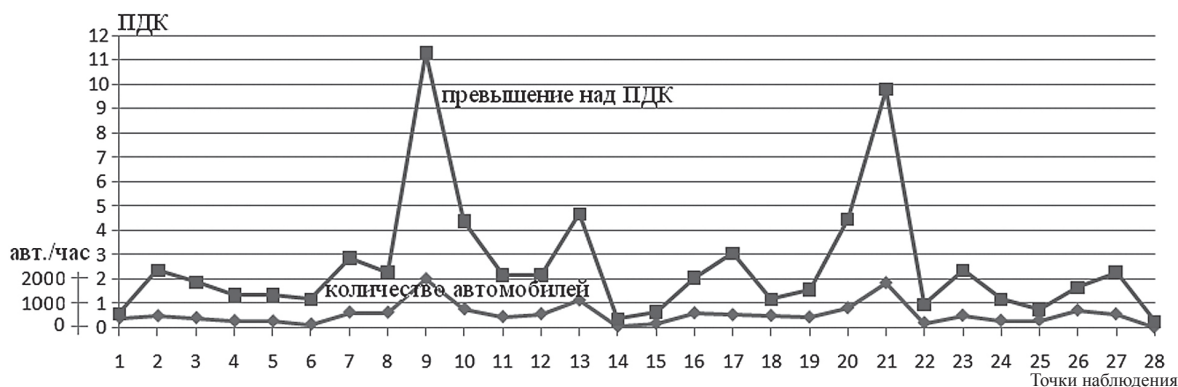


Рис. 4. Графики динамики интенсивности движения автотранспорта и выбросов оксида углерода

несколько исказить прямую зависимость. Например, при одинаковой интенсивности движения на пр. Химиков (т. н. 1, 427 авт./ч) превышение над ПДК не наблюдается из-за хорошей проветриваемости (одноэтажная застройка и пустырь), а на ул. М. Расковой (т. н. 3, 426 авт./ч) с многоэтажной и малоэтажной застройкой с двух сторон превышение составляет 1,9 ПДК. При сравнении результатов в точках наблюдения 4, 24 и 25 отмечено уменьшение концентраций оксида углерода при небольшом увеличении интенсивности движения транспорта (табл. 2).

Для изучения степени загрязнения почвенного покрова соединениями свинца вдоль автотрасс г. Энгельса в 10 из 28 точек наблюдения за интенсивностью движения транспорта были отобраны почвенные образцы. Образцы в каждой точке отбирались трижды в течение 2012 г. (весенний, летний и осенний периоды). Методика отбора почвенных образцов и пробоподготовка велась в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84 [7].

Все отобранные почвенные образцы анализировались на содержание валовых форм соединений свинца. Аналитические работы проводились в аккредитованной лаборатории ФГУ «Государственная станция агрохимической службы «Саратовская» методом атомной абсорбции на спектрофотометре ААС-1N. Валовые формы извлекались путем химического разложения почв кипячением с HNO_3 (1:1).

Для каждой пробы рассчитывались коэффициент концентрации ($K_{с\text{фон}}$) и коэффициент опасности ($K_{с\text{ПДК}}$) по формулам:

$$K_{с\text{фон}} = C_i / C_{\text{ф}}$$

где C_i – концентрация элемента в пробе, а $C_{\text{ф}}$ – фоновая концентрация (9 мг/кг);

$$K_{с\text{ПДК}} = C_i / \text{ПДК}$$

где C_i – концентрация элемента в пробе, а ПДК – предельно допустимая концентрация свинца в почвах городских территории (32 мг/кг). Результаты исследований представлены в табл. 3 и 4.

Таблица 2

Зависимость степени загрязнения атмосферы от характера застройки вдоль автотрасс

Номер	Наименование улицы	Характеристика улицы	Интенсивность движения (авт./ч)	Превышение над ПДК
4	Ул. Урожайная	Многоэтажная/малоэтажная застройка	300	1,4
24	Ул. Нестерова	Малоэтажная/малоэтажная застройка	311	1,2
25	Ул. Полтавская	Односторонняя застройка/многоэтажная	330	0,8



Таблица 3

Результаты исследований почвенных образцов на содержание валовых форм соединений свинца

Номер образца	Результаты исследований отбора проб в 2012 г.								
	Весна			Лето			Осень		
	Pb, мг/кг	$K_{сфон}$	$K_{спдк}$	Pb, мг/кг	$K_{сфон}$	$K_{спдк}$	Pb, мг/кг	$K_{сфон}$	$K_{спдк}$
3	32	3,6	1	36	4	1,13	37	4,1	1,2
5	10,4	1,2	0,3	12	1,3	0,4	14,1	1,6	0,4
7	48	5,3	1,5	53	5,9	1,7	51	5,7	1,6
9	350	38,9	10,9	366	40,7	11,4	367,5	40,8	11,5
12	56	6,2	1,7	57,4	6,4	1,8	60	6,7	1,9
14	7,1	0,8	0,2	7,5	0,8	0,2	7,6	0,8	0,2
17	49	5,4	1,5	51,3	5,7	1,6	52	5,8	1,6
21	91	10,1	2,8	100,2	11,1	3,1	101,1	11,2	3,2
26	54	6	1,7	57	6,3	1,8	57,5	6,4	1,8
28	3,1	0,3	0,1	4,8	0,5	0,2	3	0,3	0,1

Таблица 4

Средние значения концентрации свинца (Pb), коэффициента концентрации и коэффициента опасности

Номер образца	Наименование улицы	Концентрация Pb (ср.), мг/кг	$K_{сфон}$ (ср.)	$K_{спдк}$ (ср.)
3	Ул. М. Расковой	35	3,9	1,1
5	Ул. Колотилова	12,2	1,4	0,4
7	Ул. Студенческая	50,7	5,6	1,6
9	Ул. Тельмана	361,2	40,1	11,2
12	Ул. Калинина	57,8	6,4	1,8
14	Ул. Вокзальная	7,4	0,8	0,2
17	Просп. Энгельса	50,8	5,6	1,6
21	Пл. Свободы	97,4	10,8	3,0
26	Просп. Волжский	56,2	6,2	1,8
28	Ул. Лесопильная	3,6	0,4	0,1

Валовые формы свинца обнаружены во всех исследованных пробах в концентрации от 3,6 до 361,2 мг/кг. Анализируя результаты определения коэффициента опасности ($K_{спдк}$), можно сделать выводы о степени геохимического загрязнения почвенного покрова на территории г. Энгельса. Согласно шкале оценки загрязнения природных сред загрязнение почвенного покрова элементами первого класса опасности по значению коэффициента опасности классифицируется следующим образом: до 1 – допустимое, от 1 до 1,5 – умеренно-опасное, от 1,5 до 3 – опасное, свыше 3 – чрезвычайно опасное [8]. Таким образом, допустимая степень геохимического загрязнения почвенного покрова соединениями свинца зафиксирована на улицах Вокзальная, Лесопильная, Колотилова, умеренно-опасная – на ул. М. Расковой, опасная – на улицах Студенческая, Калинина и проспектах Волжский и Ф. Энгельса. Чрезвычайно опасная

степень загрязнения зафиксирована на ул. Тельмана и пл. Свободы.

Взаимосвязь между интенсивностью движения автотранспорта, концентрацией оксида углерода в составе выхлопных газов и степенью загрязнения почвенного покрова соединениями свинца отражена на рис. 5.

Подобие кривых вариаций всех параметров не вызывает сомнений. Зафиксированная взаимосвязь подтверждает известную модель – высокая плотность автомобильного потока на городских улицах приводит к образованию повышенных концентраций оксида углерода, а также других загрязняющих веществ в приземных слоях атмосферы. Почва как среда, депонирующая загрязняющие соединения, фиксирует долговременное существование интенсивных процессов загрязнения окружающей среды автомобильным транспортом.

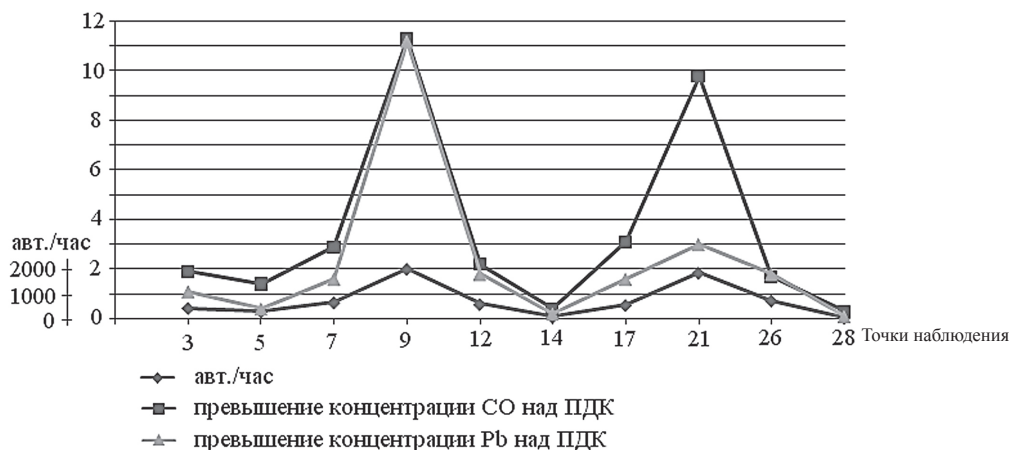


Рис. 5. Графики изменения интенсивности движения автотранспорта, превышения концентрации оксида углерода над ПДК и степени загрязнения почвенного покрова вдоль автотрасс

Библиографический список

1. Дзюба К. С., Никулин В. В. Автотранспорт // Эковестник Дубны. Дубна, 2001. С. 31–36.
2. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2012 году. Саратов, 2013. 224 с.
3. Фельдман Ю. Г. Гигиеническая оценка автотранспорта как источника загрязнения атмосферного воздуха. М., 1975. 160 с.
4. Федорова А. И., Никольская А. Н. Практикум по экологии и охране окружающей среды : учеб. пособие. Воронеж, 1997. 305 с.

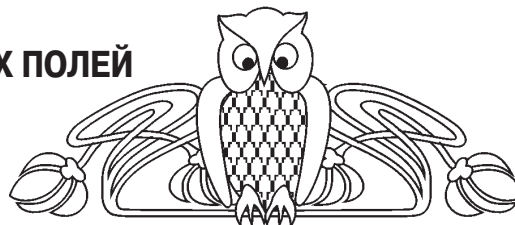
5. Алексеев С. В., Груздева Н. В., Гуцина Э. В. Экологический практикум школьника : учеб. пособие для учащихся. Самара, 2005. 304 с.
6. Макаров В. З. Ландшафтно-экологический анализ крупного промышленного города. Саратов, 2001. 176 с.
7. ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического и гельминтологического анализа. М., 2008. 8 с.
8. Экология : геоэкология недропользования : учебник / А. Г. Милютин, Н. К. Андросова, И. С. Калинин, А. К. Порцевский ; под ред. А. Г. Милютина. М., 2007. 440 с.

УДК [517.95+550.837+537.8]

КРИТЕРИИ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ВЕКТОРНЫХ ПОЛЕЙ МНОЖЕСТВУ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

В. П. Губатенко

Саратовский государственный университет
E-mail: gubatenkovp@gmail.com



Поставлена задача нахождения критериев принадлежности векторных полей множеству электромагнитных полей. Исследованы вопросы существования и единственности решения данной задачи. Сформулированы искомые критерии для множества переменных электромагнитных полей в частотной области в случае изотропных сред. Показано, что эти критерии разделяют множество переменных электромагнитных полей в линейных изотропных средах на два подкласса, приведены примеры полей, принадлежащих этим подклассам. Рассмотрены вопросы применимости полученных результатов для нахождения аналитических решений уравнений Максвелла и поставлена краевая обратная задача электроразведки.

Ключевые слова: геоэлектрика, электроразведка, прямые и обратные задачи, электромагнитное поле, аналитические решения, уравнения Максвелла, дифференциальные уравнения в частных производных.

Criteria Affiliation of the Vector Fields to the Set of Electromagnetic Fields

V. P. Gubatenko

Problem for finding the criteria of belonging the vector fields to the set of electromagnetic fields is formulated. The existence and uniqueness of the solution of this problem are investigated. The desired criteria for the set of alternating electromagnetic fields in the frequency domain in the case of isotropic media are formulated. It is shown that these criteria are shared set of alternating electromagnetic fields in linear isotropic media into two subclasses. Are examples of the fields belonging to these subclasses. The applicability of the results to find analytical solutions of Maxwell's equations and to formulate of inverse problems of electrical prospecting are considered.