

БАЗАРЕВИЧ О.В., КАПСКИЙ Д.В.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ GPS-ДАННЫХ ДЛЯ РАСЧЕТА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА НА ЭКОСИСТЕМУ СИМБИОТИЧЕСКИХ МЕГАПОЛИСОВ

*Белорусский национальный технический университет*

*Выполнен анализ различных используемых моделей по оценке экологического воздействия транспорта на экосистему городов, разработан программный продукт для автоматизации методики расчетов выбросов от автомобильного транспорта на базе разработанных в Белорусском национальном техническом университете с использованием GPS-треков. Приведены результаты применения методики для оценки экологических потерь в дорожном движении в городах с наложением на геокарту конкретного участка дорожной сети. Даны рекомендации по дальнейшему совершенствованию предлагаемой методики оценки экологических потерь от транспорта в экосистеме города.*

**Ключевые слова:** экосистема; город; экологическое воздействие; моделирование; GPS-трек; дорожный транспорт.

### Введение

Города являются центрами экологических проблем. На фоне преимуществ развития разветвленной транспортной сети урбанизированных территорий проявляется рост негативного ее воздействия на окружающую среду – многократное превышение нормативов предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ, повышенный уровень шума, особенно вблизи магистралей [1, 2].

Последние несколько десятков лет в Республике Беларусь наблюдается устойчивая тенденция роста автомобилизации населения (около 4,3% в год). Растут издержки автомобилизации, что ведет к ухудшению экологической обстановки, увеличению числа погибших и раненых, росту социальных издержек. Согласно докладу ВОЗ 2016 Республика Беларусь занимает 3-е место по смертности из-за загрязнения воздуха. В загрязнение атмосферного воздуха весомый вклад вносит транспортный сектор. В настоящее время существует ряд ученых, в книгах которых встречаются разделы, посвященные моделям оценки загрязнения окружающей среды автомобильным транспортом. Актуальные исследования проводятся в странах Западной Европы, США и Новой Зеландии. В работе будут рассмотрены и проанализированы работы этих авторов и исследования других стран.

Анализ литературы о загрязнении окружающей среды автомобильным транспортом показывает, что отсутствие единой методики расчетов вызывает трудности в оценке объема выбросов и вреда окружающему миру.

Для оценки этого воздействия автомобильного транспорта на окружающую среду и разработки мероприятий по его снижению этого необходимо создать пригодное для практического использования программное средство. Создание специализированного программного

средства повышает наглядность, точность и скорость работы с данными. После сравнения множества моделей, применяемых в данной сфере, в качестве базовой, принята модель, разработанная в БНТУ, имеющая аналог за рубежом в виде COPERT [1, 8, 11, 14]. Существует также необходимость постоянного совершенствования и автоматизации элементов САПР дорожного движения, которые в комплексе приведут к полной автоматизации процессов оценки.

### Краткий анализ подходов к оценке вреда от выбросов автомобильным транспортом в городах

Проводить инвентаризацию выбросов от автомобильного транспорта можно разнообразными способами. Информация о выбросах может быть получена непосредственным мониторингом качества воздуха, либо оценкой объема потребляемого топлива или произведенных транспортных операций, например, пройденного расстояния или совершенной транспортной работой. Все методологии и подходы могут быть сгруппированы в две категории: сверху-вниз (нисходящий) и снизу-вверх (восходящий).

- Нисходящий подход основан на общем потреблении топлива транспортом, например, информация может быть получена из данных о продаже топлива, и прямым мониторингом транспортных выбросов, например, посредством мониторинга качества воздуха на исследуемой территории.

- Восходящий подход основан на транспортной деятельности, например, авт.×км, тонна-км.

Подходы «сверху-вниз» и «снизу-вверх» должны проводиться параллельно, если позволяет бюджет исследования. Чтобы гарантировать качество кадастров выбросов, следует сравнить результаты обоих подходов.

Как правило, оба подхода применимы как к оценке парниковых газов, так и к общей оценке критериев загрязнения воздуха. Для получения подробных кадастров выбросов для каждого вида транспортного средства используется подход «снизу-вверх», основанный на данных пройденного пути (авт.×км) и других транспортных данных (пассажиры-км, тонно-км и т.д.). Кроме того, восходящий подход может явиться поставщиком входных данных для пользователей нисходящего подхода, т. е. данные мониторинга качества воздуха, могут быть рассчитаны на основе данных о потреблении топлива.

**Нисходящий подход.** Результат загрязняющего воздействия транспорта может быть получен из подхода «сверху-вниз», который основан на данных от продажи топлива и результатах мониторинга качества воздуха. Обычно выбросы ПГ рассчитываются на основе «оценки расхода топлива в едином энергоблоке, умноженного на коэффициент выбросов» [3]; в то время как выбросы ЗВ получают мониторингом качества воздуха и анализом методом «распределения источников».

Существуют различные подходы в «распределении источников». Общепринятый подход (модели рецепторов), основанный на мониторинге воздуха и отборе проб, может обеспечить определение только коэффициента вклада конкретных загрязняющих веществ, таких как ТЧ, CO<sub>2</sub>, ЛОС и т.д. Для получения количества выбросов можно применять методы моделирования движения воздуха (модели дисперсии) и оценивать выбросы на основе качества окружающего воздуха (данные выборки или дистанционного мониторинга). В качестве ключевого входного параметра для оценки социальных издержек измеряют общую социальную стоимость единичного загрязнителя в определенных географических границах. Используемое выражение имеет следующий вид:

$$ПС = \sum_{i,j} (M_{i,j} \times КП), \quad (1)$$

где ПС – социальные потери от выбросов, у.е.;  
КП – коэффициент социальных потерь от выбросов, у.е./т; М – общий объем выбросов, т;  
i – тип источника выбросов;  
j – тип атмосферного загрязнителя.

Существует два метода оценки объема топлива, потребляемого транспортом:

- Расчет из общей энергетической статистики: выделение интересующих данных из общего показателя потребления топлива (изложенной в документации энергетической статистики).

- Проведение опроса: сбор данных о

потреблении топлива всеми транспортными сегментами, например, автобусные компании, грузовые компании, компании такси, авиакомпании, судоходные компании, владельцами частных автомобилей и / или от АЗС.

Второй метод может иметь больший уровень детализации в каждом конкретном транспортном сегменте, одновременно является сложным в реализации (или менее всеобъемлющим), так как в большинстве развивающихся стран недостаточно развита методика обследований и ведения статистической документации. Однако, следует заметить, что первый способ может быть более удобным, т. к. в развивающихся странах статистика в области энергетики, как правило, более доступна, чем другие типы информации.

Контроль качества воздуха и методы «распределения источников» могут помочь определить концентрацию и источники ЗВ. Распределение источников – это идентификация источников загрязнения атмосферного воздуха и количественная оценка их негативного вклада в окружающую среду. Такая задача может быть решена тремя способами:

- 1) С применением информации из общих кадастров выбросов;

- 2) С применением моделей, ориентированных на исходное состояние;

- 3) С применением моделей, ориентированных на датчики [4, 5].

По данным Объединенного исследовательского центра Европейской комиссии, модели, ориентированные на датчики, являются наиболее доступными и наиболее часто используемыми для идентификации источников [4].

Восходящий подход. В соответствии с рекомендацией Межправительственной группы экспертов по изменению климата [6, 2, 7] «если имеются данные о пройденном расстоянии, целесообразно оценить количество использованного топлива по имеющимся данным». В большинстве случаев, включая оценку количества ЗВ, подход «снизу-вверх» следует методике, основанной на активности транспорта, т.е. с использованием проделанной транспортной работы (ПАК) [6, 8, 9]. Чтобы точно рассчитать объем транспортных потерь и связанные с ними социальные издержки, применяют следующие уравнения:

$$\mathcal{E} = \sum_{i,j} [Q_{i,j} \times A_{i,j} \times H_{i,j}]; \quad (2)$$

$$M = \sum_{i,j} Q_{i,j} \times K_{B_{i,j,k}}; \quad (3)$$

$$ПС = \sum_{i,k} M_{i,j,k} \times КП_{k}, \quad (4)$$

где ПС – социальные потери от выбросов транспорта, у.е.;

M – общий объем выбросов от автомобильного

транспорта, т;  
 КП – коэффициент социальных потерь от выбросов транспорта, у.е./т; Э – энергетический спрос, кВт×ч;  
 КВ – коэффициент выбросов, г/км;  
 Q – интенсивность движения транспорта, авт/ч;  
 А – транспортная активность, авт.×км, тонна-км;  
 Н – средний расход топлива на единицу, л/100км;  
 i – тип транспортного средства;  
 j – тип используемого топлива;  
 k – тип загрязняющего вещества.

## Выбор программных средств и архитектуры для создания ПО

Важным условием создания программного продукта является создание архитектуры системы и обоснованного выбора программных средств [11-14]. Актуальный набор серверного и десктопного программного обеспечения, с помощью которого можно создать удобное рабочее окружение, который представляет операционная система Ubuntu, обеспечивает большую производительность по сравнению с Windows (Ubuntu более экономно расходовал ресурсы ОЗУ и ЦПУ). Из-за доступности и стабильности этой СУБД выбор остановлен на PostgreSQL версии 9.6 (pgadmin 4 2.0) (рис. 1).

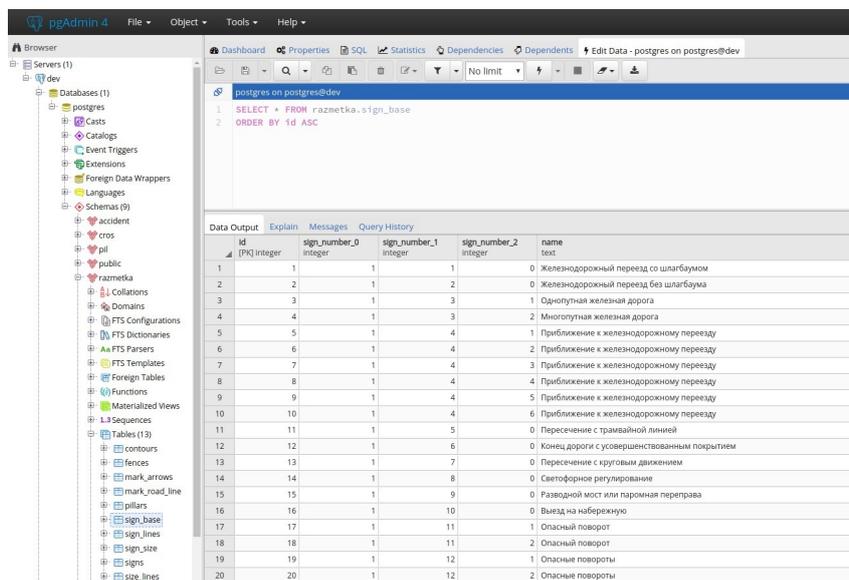


Рисунок 1 – Интерфейс «pgadmin4 2.0»

Также выбрано расширение для базы данных PostGIS, которое осуществляет поддержку географических объектов в СУБД. На-

личие интерфейса стало ключевым в выборе GeoServer 2.13 в качестве сервера для обработки геоданных (рис. 2).

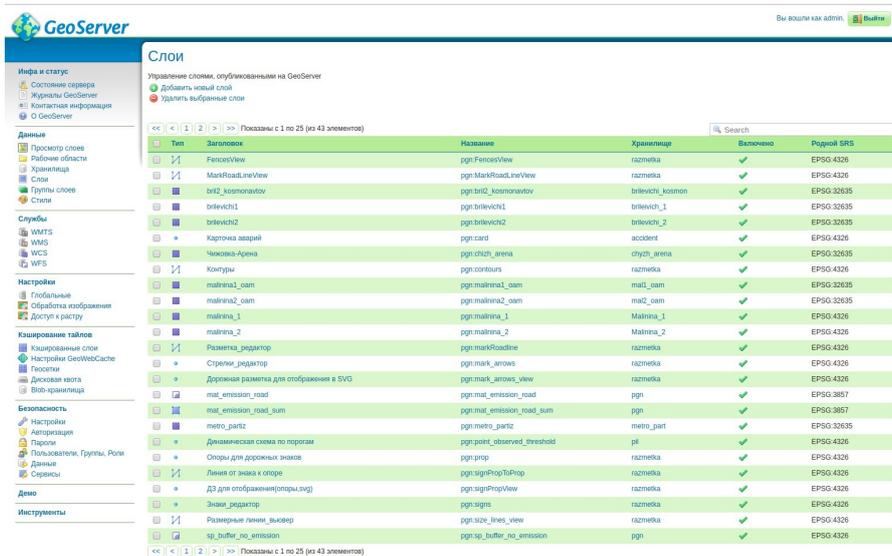


Рисунок 2 – Интерфейс сервера Geoserver

Картографическая библиотека Leaflet служит для создания браузерных и адаптированных под мобильные устройства интерактивных карт, в т. ч. для создания онлайн-карт. JavaScript-библиотека Leaflet 1.3, имеющая API, который удобен, легок в использовании и с огромным числом документации.

Для преобразования узкоспециализированного языка JavaScript в язык общего назначения использовался Node.js, который добавил

возможность взаимодействовать с устройствами ввода-вывода через API, написанный на C++. Также платформа позволила подключить другие внешние библиотеки, в т. ч. которые написаны на других языках, и обеспечила вызовы к ним из JavaScript-кода.

Учитывая выбор операционной системы, оптимальным ГИС являлся геоинформационная система QGIS версии 3.0.1 (рис. 3).

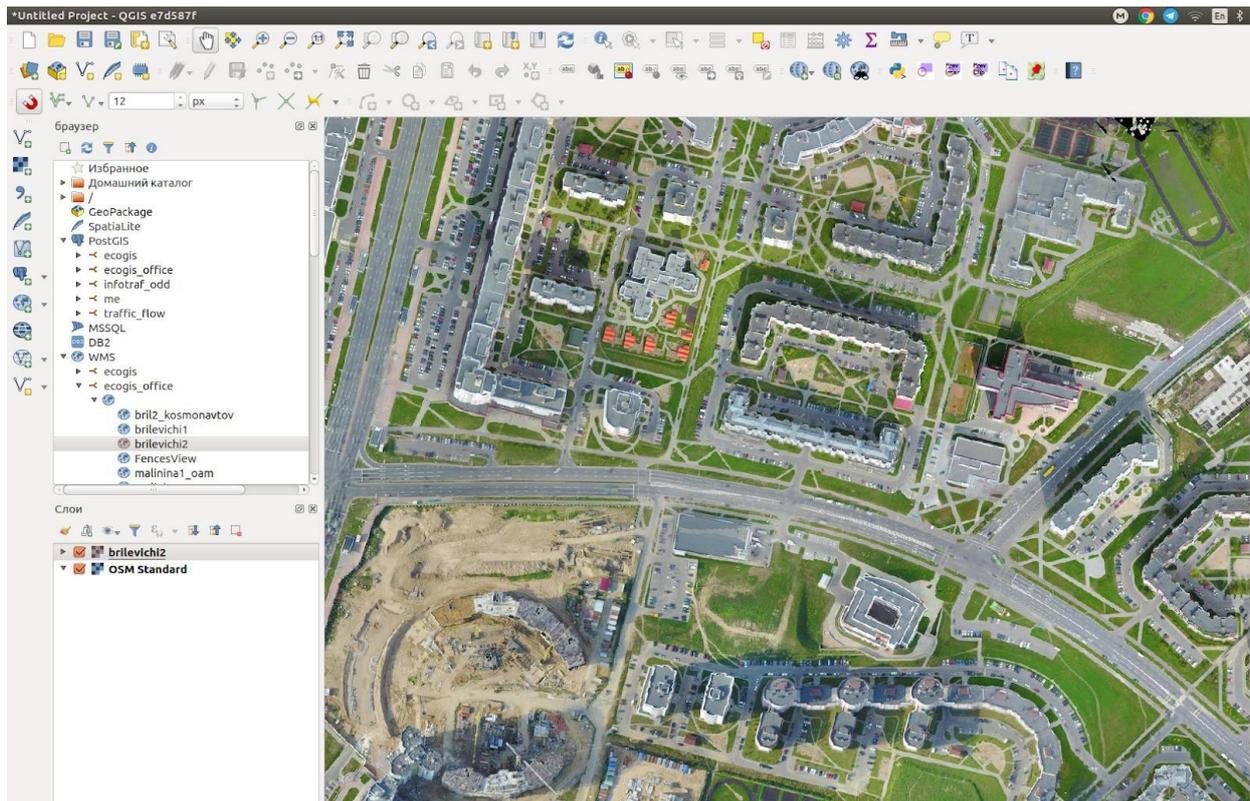


Рисунок 3 – Интерфейс программного продукта QGIS 3 для реального участка улично-дорожной сети города Минска

### Создание и работа с базой данных

В модели транспортная сеть, в которой находятся атрибуты, представлена в виде графа [8, 14]. Для проведения исследования записаны GPS треки. Запись производилась с применением смартфона на операционной системе IOS 10.3.3 и предустановленным специализированным приложением «Трекер». Запись GPS треков производилась при движении по установлен-

ному маршруту на двух типах транспортных средств (общественный транспорт и легковой автомобиль) для получения более точных показателей средней скорости движения на участке. GPS треки записаны в формате GPX. Сформирован код запроса. Запросом обработано 12 GPS треков, общая продолжительность обработки составила чуть более 8 секунд. Результат работы представлен на рисунке 4.

```

jupyter gpx (autosaved)
File Edit View Insert Cell Kernel Widgets Help
Python 3.0

filter_1 as (select * from lines where g2 is not null), -- удаляем последний (он не валидный)
obr as (select id, GREATEST(EXTRACT(EPOCH from t2-t1), 1)::integer seconds, ST_Distance(g1, g2) distance, degrees(ST
obr1 as (select *, (distance / seconds) * 3.6 speed from obr), -- скорость
obr2 as (select *, case when speed <= 20 then 1 else 0 end stops from obr1), -- остановки
obr3 as (select *, lag(seconds) over() seconds0, lag(speed) over() speed0 from obr2), -- смотрю в прошлое
filter_2 as (select * from obr3 where speed0 is not null), -- удаляем первый
obr4 as (select *, case when (speed - speed0) / seconds0 < 0 then seconds0 else 0 end delay from filter_2), -- задержка
gps as (select * from obr4 where (speed between 1 and 119) and (seconds between 1 and 119)), -- чистка
obr5 as (select gps.id id gps, net.id id net, gps.stops, gps.delay, speed, t1, round((gps.g1 <-> net.geom)::numeric,
obr6 as (select DISTINCT ON (id gps) id gps, id net, speed, t1, stops, delay from obr5 order by id gps, distance, di
insert into tn_param(id network, t, speed, stops, delay)
select id net, t1, speed, stops, delay
from obr6

--*)
end = datetime.datetime.now()
print('end calc', (end-start))

start calc /home/jovyan/tracks/ДС Юго-Запад_ДС Малиновка-4 (авт)/073_22_дек_2017_r_17_18_06.gpx
end calc 0:00:00.758221
start calc /home/jovyan/tracks/ДС Юго-Запад_ДС Малиновка-4 (авт)/051_14_дек_2017_r_13_57_21.gpx
end calc 0:00:00.704432
start calc /home/jovyan/tracks/ДС Юго-Запад_ДС Малиновка-4 (авт)/010_14_дек_2017_r_8_07_06.gpx
end calc 0:00:00.765935
start calc /home/jovyan/tracks/ДС Юго-Запад_ДС Малиновка-4 (легк)/26_мая_2017_r_14_11_46.gpx
end calc 0:00:00.351058
start calc /home/jovyan/tracks/ДС Юго-Запад_ДС Малиновка-4 (легк)/26_мая_2017_r_18_00_33.gpx
end calc 0:00:00.416151
start calc /home/jovyan/tracks/ДС Юго-Запад_ДС Малиновка-4 (легк)/31_мая_2017_r_7_59_36.gpx
end calc 0:00:00.481447
start calc /home/jovyan/tracks/ДС Малиновка-4_ДС Юго-Запад (легк)/26_мая_2017_r_8_13_46.gpx
end calc 0:00:00.463471
start calc /home/jovyan/tracks/ДС Малиновка-4_ДС Юго-Запад (легк)/26_мая_2017_r_17_39_15.gpx
end calc 0:00:00.712159
start calc /home/jovyan/tracks/ДС Малиновка-4_ДС Юго-Запад (легк)/26_мая_2017_r_13_53_00.gpx
end calc 0:00:00.451701
start calc /home/jovyan/tracks/ДС Малиновка-4_ДС Юго-Запад (авт)/069_22_дек_2017_r_16_31_02.gpx
end calc 0:00:00.728350
start calc /home/jovyan/tracks/ДС Малиновка-4_ДС Юго-Запад (авт)/053_18_дек_2017_r_14_15_04.1.gpx
end calc 0:00:00.683475
start calc /home/jovyan/tracks/ДС Малиновка-4_ДС Юго-Запад (авт)/024_14_дек_2017_r_8_50_25.gpx
end calc 0:00:00.702295

In [ ]:

```

Рисунок 4 – Результат работы запроса

Опишем общие табличные представления. Представление «lines» соединяет точки, но не линией, а последовательно. В этом представлении есть выборка из «tn\_track». Это временная таблица, которая необходима для быстрого действия работы алгоритма. Для упрощения работы создаётся такой скрипт:

```

create TEMP table IF NOT EXISTS tn_track ( id
serial primary key,
times TIMESTAMP WITH TIME ZONE,
geom geography('point', 4326) );

```

Так как последняя точка не сможет соединиться (т.к. она конечная для GPS трека), то её требуется удалить, что и делает секция «filter\_1». В секции «obr» вычисляется время, расстояние и угол между двумя точками, а затем в «obr1» и «obr2» переводятся и вычисляется скорость движения и остановки транспорта соответственно. Далее необходимо повторить процесс, так как необходимо вычислять задержки, а для этого необходимо знать скорость до той точки, которая является рассчитываемой. Делаем вывод, что для достижения цели необходимо соединить все точки ещё раз, но удалить первую (начальную для предыдущего расчета). Это делают секции «obr3» и «filter\_2», а «obr4» считает задержки транспорта. Далее необходимо отфильтровать невалидные данные. Под невалидные понимаются те данные, у которых скорость фактически невозможна (пределы от 1 до 119). Аналогичный процесс касается и времени. Фильтр обрабатывает ситуацию “перемещения назад”, когда сбивается время и следующая точка по времени

идёт раньше, чем предыдущая. Все эти действия лишь фильтрация и подготовка данных к непосредственному сопоставлению с транспортной сетью.

Для удобства привязки транспортную сеть необходимо привести к удобному виду. Это достигнуто применением представленного ниже кода. CREATE MATERIALIZED VIEW mat\_network AS

```

with net as (select net.id, net.id_road, is_right, net.
geom::geography geom, degrees(ST_Azimuth(ST_
StartPoint(net.geom), ST_EndPoint(net.geom)))
deg, COALESCE(width, 35) width, road.id_line
id_line from tn_network net inner join tn_road road
on net.id_road=road.id),
ids as (select net1.id id1, net2.id id2, row_number()
over(order by net1.id) ids from net net1, net net2
where net1.id_line=net2.id_line and net1.is_
right!=net2.is_right and ST_OrderingEquals(ST_
SnapToGrid(net1.geom::geometry,
0.00001), ST_Reverse(ST_SnapToGrid(net2.
geom::geometry, 0.00001))) is true),
obr1 as (select unnest(array[id1, id2]) id, ids from
ids),

```

```

obr2 as (select id id_network, min(ids) ids from
obr1 group by id) select net.*, obr2.ids
from net left join obr2 on net.id=obr2.id_network;

```

```

CREATE INDEX tn_mat_network_gist ON mat_
network USING gist (geom);

```

Для завершения работы необходимо к каждой из точек найти соответствующую линию, к которой будет осуществлена привязка. Для этого определим два критерия: близость взаиморасположения и угол между ними. Зададим круг радиусом 50 метров для поиска ближайших линий. Полученный набор линий, сравним по азимутам направлений. В секцию «obr6»

поступают линии на сопоставление, для одной точки может быть несколько линий в пределах 50 метров, поэтому далее осуществляется поиск линии, находящейся на наименьшем расстоянии от точки. Результатом процесса является заполнение таблицы «tn\_param» (рис. 5) полученными данными.

id	id_network	t	timestamp with time zone	speed	stops	delay
1	1332273	15799	2017-12-22 14:36:43-00	18	1	1
2	1332274	15799	2017-12-22 14:36:44-00	17	1	1
3	1332275	15799	2017-12-22 14:36:45-00	15	1	1
4	1332276	15799	2017-12-22 14:36:46-00	14	1	1
5	1332277	15799	2017-12-22 14:36:47-00	13	1	1
6	1332278	15799	2017-12-22 14:36:48-00	12	1	1
7	1332279	15799	2017-12-22 14:36:49-00	11	1	1
8	1332280	15799	2017-12-22 14:36:50-00	10	1	1
9	1332281	15799	2017-12-22 14:36:51-00	8	1	1
10	1332282	15799	2017-12-22 14:36:52-00	9	1	0
11	1332283	15799	2017-12-22 14:36:53-00	8	1	1
12	1332284	15799	2017-12-22 14:36:54-00	2	1	1
13	1332285	15799	2017-12-22 14:36:55-00	1	1	2
14	1332286	15799	2017-12-22 14:37:11-00	9	1	0
15	1332287	15799	2017-12-22 14:37:12-00	12	1	0
16	1332288	15799	2017-12-22 14:37:13-00	14	1	0
17	1332289	15799	2017-12-22 14:37:14-00	14	1	0
18	1332290	15799	2017-12-22 14:37:15-00	15	1	0
19	1332291	15799	2017-12-22 14:37:16-00	17	1	0
20	1332292	15799	2017-12-22 14:37:17-00	18	1	0
21	1332467	15799	2017-12-14 11:12:14-00	27	0	1
22	1332468	15799	2017-12-14 11:12:15-00	26	0	1
23	1332469	15799	2017-12-14 11:12:16-00	25	0	1
24	1332470	15799	2017-12-14 11:12:17-00	23	0	1
25	1332471	15799	2017-12-14 11:12:18-00	21	0	1
26	1332472	15799	2017-12-14 11:12:19-00	18	1	1
27	1332473	15799	2017-12-14 11:12:20-00	15	1	1
28	1332474	15799	2017-12-14 11:12:21-00	13	1	1
29	1332475	15799	2017-12-14 11:12:22-00	10	1	1
30	1332476	15799	2017-12-14 11:12:23-00	6	1	1

Рисунок 5 – Табличный вид полученных данных

Графическое изображение результата можно получить, используя ГИС QGIS. В программе необходимо подключиться к созданной базе данных и создать SQL запрос, представленный ниже.

```
with obr1 as (select id_network, tim,
avg(speed) speed, avg(stops) stops, avg(delay)
delay, sum(coun) coun from mat_param group by
id_network, tim),
res as (select id_network, sum(coun)
```

```
coun, round(avg(stops), 0)::integer stops,
round(min(delay), 0)::integer delay,
round(avg(speed), 0)::integer speed from obr1
where tim between 9 and 12 group by id_network)
select id_network, coun, stops, delay,
speed, geom
from res inner join tn_network net on res.
id_network=net.id
```

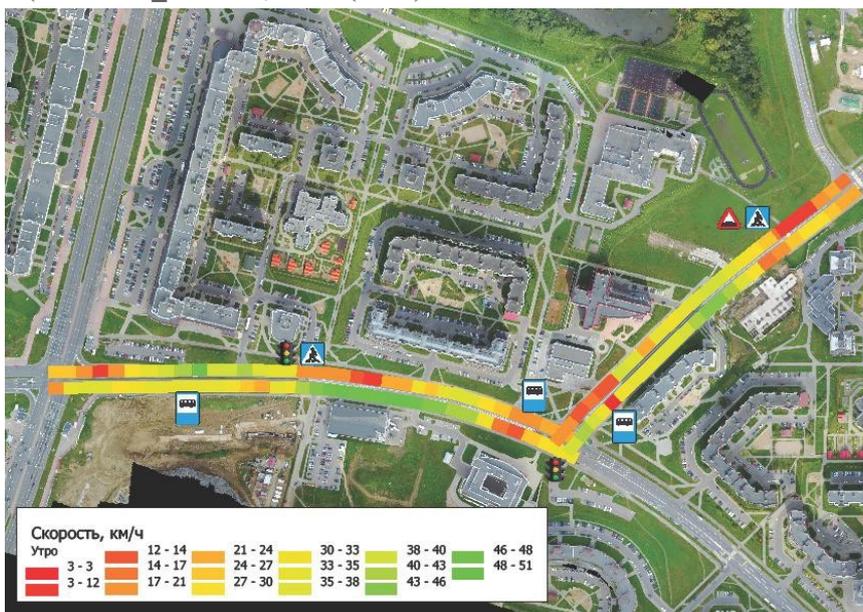


Рисунок 6 – Графический вид расчетно-экспериментальных данных для реального участка города Минска

### Исследование характеристик транспортных потоков

Для расчета объема выбросов от автомобильного транспорта по выбранной модели необходимо комплексное обследование УДС. Проводились замеры интенсивности движения транспорта и состава транспортного потока. Исследования на интересующих участках выполняются в период с 3.00 до 12 с интервалом в 4 часа, в будний и выходной дни недели. Замеры ИД и состава транспортного потока выполняются в течение 15 минутных интервалов времени.

Результаты экспериментальных исследований представлены в виде графиков изменения интенсивности по времени суток. Для последующей обработки данных использовался программный пакет «Traffic Intensity» [15]. Исследовались также скорости транспортных потоков. Исследования выполнялись на 3 различных элементарных участках сети: регулируемый перекресток; регулируемый пешеходный переход; нерегулируемый пешеходный переход с искусственными неровностями (см. рис. 7, фрагмент).

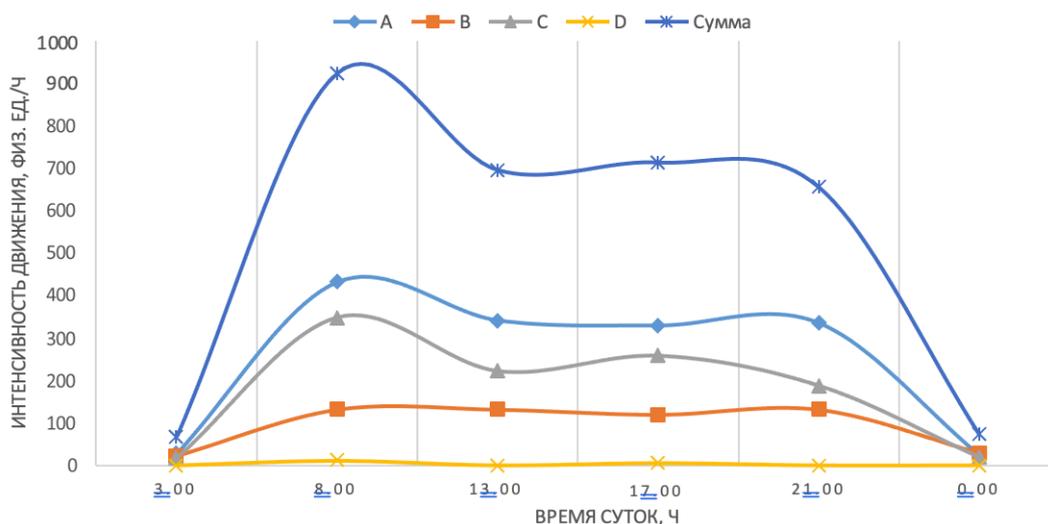


Рисунок 7 – Пример графика изменения интенсивности транспортных потоков по времени суток (выходной день) для регулируемого перекрестка, входящего в экспериментальную улично-дорожную сеть

Программный пакет «Traffic Intensity» сохраняет введенную информацию в файл с расширением XML (рис. 8).

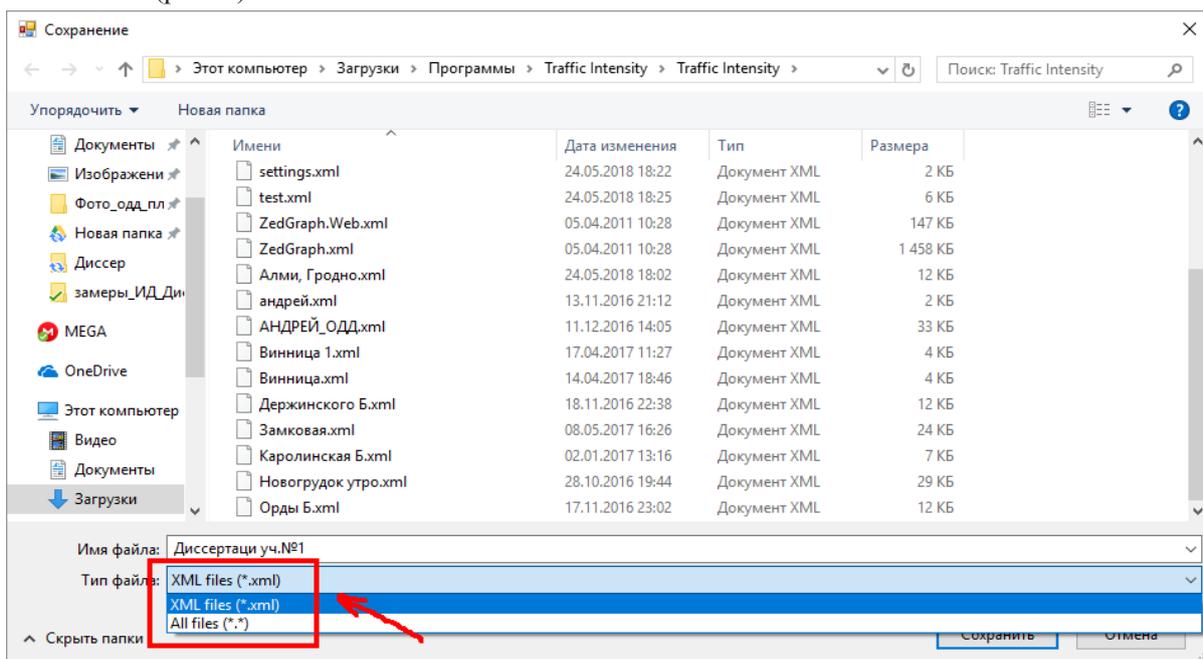


Рисунок 8 – Пример сохранения файла с расширением XML

Так как созданная база данных не может непосредственно получать данные из XML файла, пришлось провести их синтаксический анализ (парсинг). Это существенно ускоряет работу

по сравнению с ручным переносом данных. Рассмотрим пример экспортного файла, представленного на рис. 9.

```
<?xml version="1.0" standalone="yes"?>
<NewDataSet>
  <Table1 xmlns="Settings">
    <Name>СfP». P' PsP»C+PμC+PePsPiPs - CfP».
P"СЪPsPrPSPμPSCŦPeP°CŦ</Name>
    <FourLanes>1</FourLanes>
    <1A>1</1A>
    <1B>1</1B>
    <1C>1</1C>
    <1D>1</1D>
    <1E>0</1E>
    <1F>0</1F>
    <DateTime>17.03.2016 6:15:00</DateTime>
    <NumZam>1</NumZam>
    <p1>0</p1>
    <p2>0</p2>
    <p3>1</p3>
    <p4>0</p4>
    <p5>1</p5>
    <p6>0</p6>
    <p7>0</p7>
    <p8>0</p8>
    <p9>1</p9>
    <p10>0</p10>
    <p11>0</p11>
    <p12>0</p12>
    <p13>0</p13>
  </Table1>
  <Table2 xmlns="Measurement 0">
    <NumMes>0</NumMes>
    <TimeOfMes>17.03.2016 7:15:00</TimeOfMes>
    <Period>600</Period>
  </Table2>
  <Table3 xmlns="Transport intensity 0">
    <PкP°PiСЪ.>AB</PкP°PiСЪ.>
    <P>>0</P>>
    <P">0</P">
    <Pћ>0</Pћ>
  </Table3>
  <Table3 xmlns="Transport intensity 0">
    <PкP°PiСЪ.>AC</PкP°PiСЪ.>
    <P>>0</P>>
    <P">0</P">
    <Pћ>0</Pћ>
  </Table3>
  <Table3 xmlns="Transport intensity 0">
    <PкP°PiСЪ.>AD</PкP°PiСЪ.>
    <P>>0</P>>
    <P">0</P">
```

Рисунок 9 – Пример файла с расширением XML

Рассмотрев файл, заметим, что в атрибуте xmlns имеются индикаторы, по которым можно ориентироваться. В индикаторе Setting описано: название сохраненного проекта; направления движения транспорта; количество за-

меров; типы транспортных средств.

Параметры замера (дата и продолжительность) находятся по шаблону “Measurement «№\_замера»”.

Данные замера транспорта находятся по шаблону “Transport intensity «№\_замера»”, а пешеходов “Pedestrian intensity «№\_замера»”.

В каждом этом элементе имеется дочерний элемент <Напр.>, где описаны направления движения транспорта, а по таким, как <Л>, <Г> и т.д. описано количество и тип транспорта, движущегося по указанному направлению.

Написать парсер можно на любом языке программирования, так как формат XML широко распространён. Выбор остановился на языке программирования JavaScript, так как в нем можно написать парсер XML-файла без подключения сторонних библиотек, поэтому задачу можно решить одним методом document.querySelectorAll, получая информацию через свойство textContent.

### Программирование расчетов выбросов загрязняющих веществ от автомобильного транспорта

Для этого необходимо последовательно исследовать все дуги в сети и вычислить количество выбросов в каждой. Это реализуется с использованием двух материализованных запросов: mat\_network; mat\_param.

Ниже представлен пример кода материализованного запроса.

```
CREATE MATERIALIZED VIEW mat_
param AS
with param as (select id, id_
network, date_part('hour'::text,
timezone('Europe/Minsk'::text, t)) tim, speed,
stops, delay from tn_param)
select id_network, tim,
round(avg(speed), 0)::integer speed, count(*)
coun, sum(stops) stops, sum(delay) delay from
param group by id_network, tim;
CREATE INDEX tn_mat_param_tim ON
mat_param USING HASH (tim);
REINDEX table mat_param;
```

В представленном коде, mat\_network используется для подготовки «сырой» транспортной сети к последующей обработке (добавление индекса, вычисление углов, опознание типа направления), а mat\_param применяется для агрегаций данных, так как на каждую дугу в одночасовой промежуток времени может быть внесено несколько замеров. Именно это служит причиной агрегации по часу. В итоге получится, что на одну дугу может быть записано не более 24 данных о скорости, задержках, остановках и интенсивности движения транспорта.

Рассмотрим запрос для вычисления векторных данных выбросов. Запрос является ма-

териализованным. Из-за массивности функции вычисления занимают больше одной минуты, следовательно, данные необходимо сохранить чтобы при повторном обращении не делать полный перерасчет.

В начале необходимо агрегировать данные ИД, привести их к удобному виду, за это отмечают следующие представления: i1, iobr1, i1, i2, i3, iobr1, iobr2.

- i1 – трансформирует 1 столбец в несколько строк схемы;
- iobr1 – необходим для зануления четвертого направления во время обработки данных полученных на Т-образном перекрестке;
- i1 – трансформирует данные из столбцов в строки (данные хранящиеся в БД);
- i2 – фильтрует представление i1, убирая пустые строки;
- i3 – группирует все данные по каждому входу и времени, объединяют транспорт в транспортные группы;
- iobr1 – рассчитывает процентное отношение каждого вида транспорта в потоке;
- iobr2 – приводит замер за некий промежуток времени к среднечасовой интенсивности движения;
- intensity – распределяет ИД по транспортной сети и производит выбор часа, на который представляются данные;
- speed – агрегирует скорость по времени суток для заданного временного интервала;
- obr1 – приводит данные к «удобному» виду для представления obr2 и создает колонку geom для определения месторасположения дуги
- obr2 – непосредственно производит расчет выбросов ЗВ.

Тело запроса проводит агрегацию по ID, так как не исключена возможность хранения нескольких данных на одной дуге. При возникновении такой ситуации все данные будут объединены по заданному правилу. Результатом процесса является заполнение таблицы «mat\_emission\_road» (рис 10) полученными данными.

Графическое изображение результата можно получить, используя ГИС QGIS. В программе необходимо подключиться к созданной базе данных и создать SQL запрос. В результате создан слой, как представлено на рис. 11.

Для расчетов выбросов ЗВ используется написанная функция calc\_substance. В нем запрограммированы формулы модели [8, 11, 12, 14]. Функция написана на языке программирования Python 3.0.

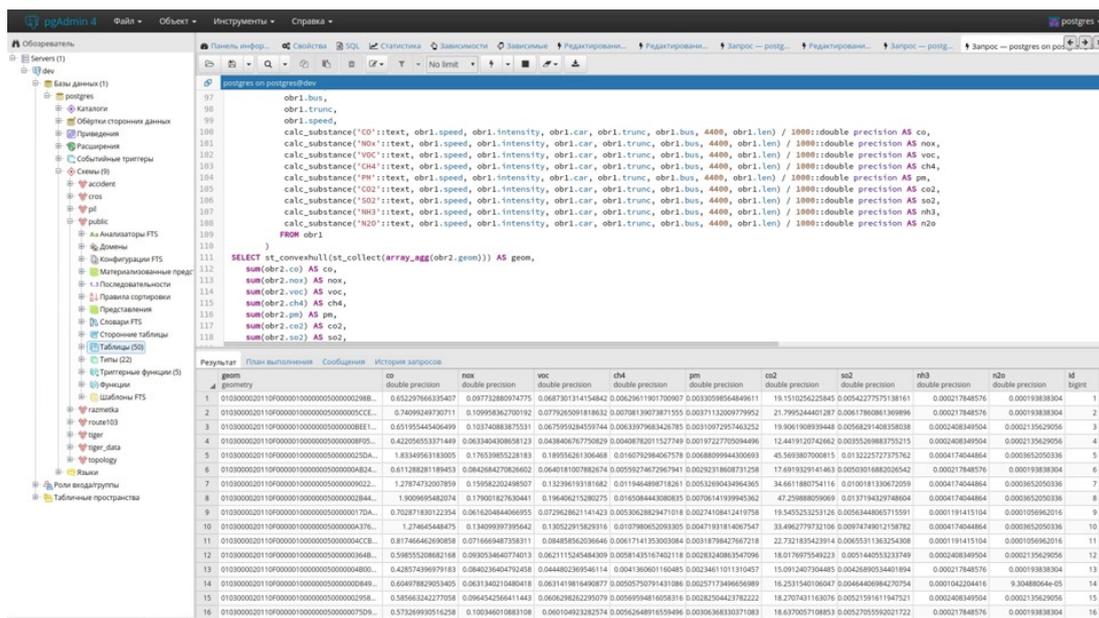


Рисунок 10 – Табличный вид полученных данных

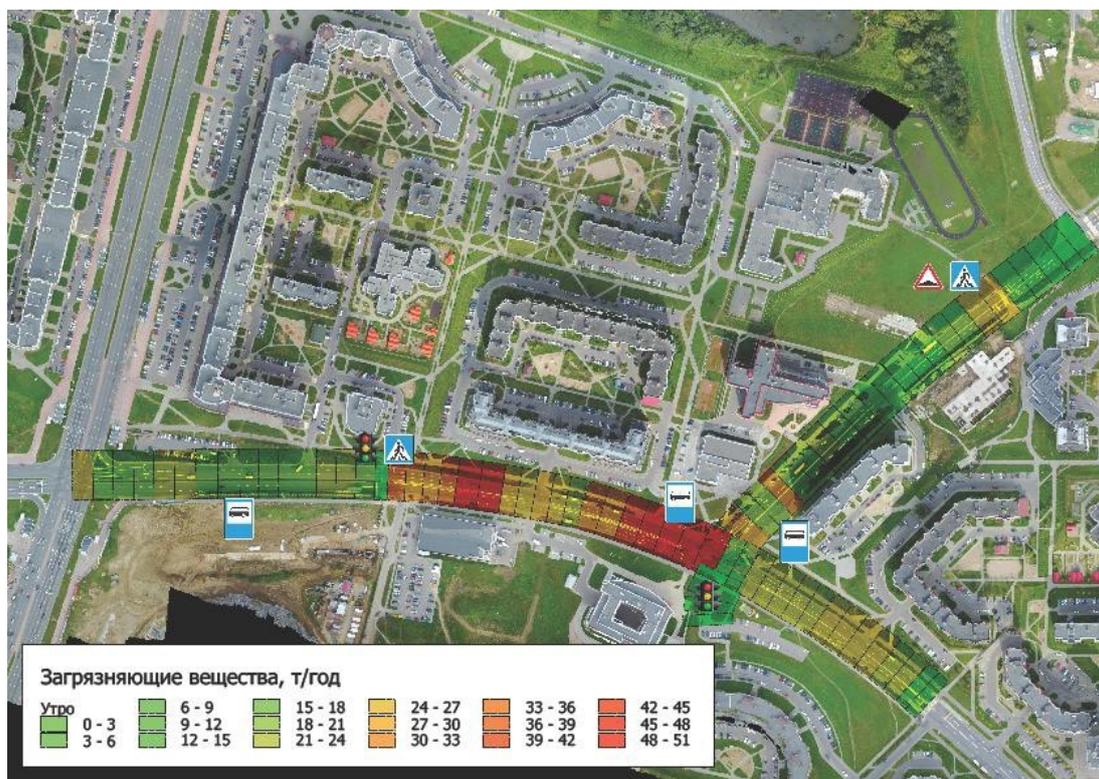


Рисунок 11 – Графический вид полученных данных для реального участка улично-дорожной сети города Минска

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проанализированы методики расчета выбросов загрязняющих веществ от автомобильного транспорта. Выполнен анализ методик оценки вреда от выбросов загрязняющих веществ автомобильным транспортом. Выявлены недостатки, связанные с трудностью сбора исходных данных.

Исследован принцип работы с проекци-

ями в картографии. Повышена точность вычисления расстояния между элементарными участками дорожной сети (между вершинами графа).

Разработано программное средство, позволяющее производить расчеты объема загрязняющих веществ. Программа позволяет обрабатывать исходные данные с большой скоростью без вмешательства человека. Повышение скорости обработки данных (менее 2 секунд на 24

GPS-файла) достигнуто автоматизацией процесса и последующей его оптимизацией.

Разработано программное средство, предназначенное для визуализации произве-

денных расчетов по оценке качества дорожного движения для различных вариантов организации движения и решений по транспортному планированию городов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Врубель Ю.А.** Организация дорожного движения. В двух частях. Часть 1 / **Ю.А. Врубель.** – Мн. Белорусский фонд безопасности дорожного движения, 1996.– 328 с.
2. **INFRAS (2004).** Handbook of Emission Factors for Road Transport, Version INFRAS, Berne, Switzerland. – 2004.
3. **European Commission.** JRC Reference Reports: European Guide on Air Pollution Sources Apportionment with Receptor Models. European Commission, Joint Research Centre. Luxembourg: European Union. doi:10.2788/9307.
4. **Technical Guideline of Air PM Source Apportionment Techniques (Trial Version).** Beijing: Ministry of Environmental Protection (PRC). URL: [http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201308/t20130820\\_257699.htm](http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201308/t20130820_257699.htm).
5. **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.** Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Hayama, Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2006. URL: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>.
6. **Врубель Ю.А.** Потери в дорожном движении / Ю.А. Врубель. – Мн: БНТУ, 2003.– 380 с.
7. **Врубель Ю.А.** Определение потерь в дорожном движении / Ю.А. Врубель, Д.В. Капский, Е.Н. Кот – Мн: РИО БНТУ, 2006. – 252 с.
8. **Правила расчета выбросов механическими транспортными средствами в населенных пунктах : ТКП 17.08-03-2006 (02120).** – Введ. 28.06.2006. – Минск : Минприроды, 2006. – 23 с.
9. **Ntziachristos L. and Samaras Z. COPERT III.** Computer program to calculate emissions from road transport. Methodology and emission factors (version 2.1). Technical Report No. 49. European Environment Agency, Copenhagen. – 2000.
10. **Zallinger M., Hausberger S., Ajtay D. and Weilenmann M. ARTEMIS WP 300 – Task 3321:** Instantaneous emission modelling applications, final report to the Commission, Graz. – 2005.
11. **Капский, Д.В.** Создание «транспортной экологической» карты населенных пунктов / Капский Д.В., Базаревич О.В., Кузьменко В.Н., Мозалевский Д.В. В сборнике: Образование. Транспорт. Инновации. Строительство. Сборник материалов II Национальной научно-практической конференции. 2019. – С. 283-289.
12. **Капский, Д.В.** Программа расчета объемов выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта / Д.В. Капский, О.В. Базаревич / Социально-экономические проблемы развития и функционирования транспортных систем городов и зон их влияния: материалы XXV Международной (XXV Екатеринбургской) научно-практической конференции. Екатеринбург, 16-17 июня 2019 года. – С. 176-181.
13. **Пугачёв, И.Н.** Оценка экологических потерь в дорожном движении на основе GPS-данных о параметрах транспортных потоков и моделирования Пугачёв И.Н., Капский Д.В., Майорова Л.П., Базаревич С.В., Черенцова А.А., Лукьянов А.И., Казарбина С.А. / – Министерство науки и высшего образования РФ; Хабаровск. ТОГУ. – 2020. – 249 с.
14. **Свидетельство № 222 от 17.09.10г. о регистрации компьютерных программ в Национальном центре интеллектуальной собственности** // Д.В. Капский, Д.В. Мозалевский, М.К. Мирошник, А.В. Коржова; В.Н. Кузьменко; А.С. Полховская; Е.Н. Костюкович.

#### REFERENCES

1. **Vrubel' Ju.A.** Organizacija dorozhnogo dvizhenija. V dvuh chastjah. Chast' 1 / **Ju.A. Vrubel'.** – Mн. Belorusskij fond bezopasnosti dorozhnogo dvizhenija, 1996.– 328 s.
2. **INFRAS (2004).** Handbook of Emission Factors for Road Transport, Version INFRAS, Berne, Switzerland. – 2004.
3. **European Commission.** JRC Reference Reports: European Guide on Air Pollution Sources Apportionment with Receptor Models. European Commission, Joint Research Centre. Luxembourg: European Union. doi:10.2788/9307.
4. **Technical Guideline of Air PM Source Apportionment Techniques (Trial Version).** Beijing: Ministry of Environmental Protection (PRC). URL: [http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201308/t20130820\\_257699.htm](http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201308/t20130820_257699.htm).
5. **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.** Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Hayama, Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2006. URL: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>.
6. **Vrubel' Ju.A.** Poteri v dorozhnom dvizhenii / Ju.A. Vrubel' . – Mн: BNTU, 2003.– 380 s.
7. **Vrubel' Ju.A.** Opredelenie poter' v dorozhnom dvizhenii / Ju.A. Vrubel' , D.V. Kapskij, E.N. Kot – Mн: RIO BNTU, 2006. – 252 s.
8. **Pravila rascheta vybrosov mehanicheskimi transportnymi sredstvami v naseleennyh punktah : TKP 17.08-03-2006 (02120).** – Vved. 28.06.2006. – Minsk : Minprirody, 2006. – 23 s.
9. **Ntziachristos L. and Samaras Z. COPERT III.** Computer program to calculate emissions from road transport. Methodology and emission factors (version 2.1). Technical Report No. 49. European Environment Agency, Copenhagen. – 2000.

10. **Zallinger M., Hausberger S., Ajtay D. and Weilenmann M. ARTEMIS WP 300 – Task 3321:** Instantaneous emission modelling applications, final report to the Commission, Graz. – 2005.

11. **Kapskij, D.V.** Sozdanie «transportnoj jekologicheskoy» karty naseleennykh punktov / Kapskij D.V., Bazarevich O.V., Kuz'menko V.N., Mozalevskij D.V. V sbornike: Obrazovanie. Transport. Innovacii. Stroitel'stvo. Sbornik materialov II Nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii. 2019. – S. 283-289.

12. **Kapskij, D.V.** Programma rascheta ob'emov vybrosov zagrijaznjajushchih veshchestv ot avtotransporta / D.V. Kapskij, O.V. Bazarevich / Social'no-jekonomicheskie problemy razvitiya i funkcionirovaniya transportnykh sistem gorodov i zon ih vlijanija: materialy XXV Mezhdunarodnoj (XXV Ekaterinburgskoj) nauchno-prakticheskoy konferencii. Ekaterinburg, 2019. 16-17 ijunja 2019 goda. – S. 176-181.

13. **Pugachjov, I.N.** Ocenka jekologicheskikh poter' v dorozhnom dvizhenii na osnove GPS-dannykh o parametrah transportnykh potokov i modelirovaniya Pugachjov I.N., Kapskij D.V., Majorova L.P., Bazarevich S.V., Cherencova A.A., Luk'janov A.I., Kazarbina S.A. / – Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniya RF; Habarovsk. TOGU. – 2020. – 249 s.

14. **Svidetel'stvo № 222 ot 17.09.10g. o registracii komp'juternykh programm v Nacional'nom centre intellektual'noj sobstvennosti**// D.V. Kapskij, D.V. Mozalevskij, M.K. Miroshnik, A.V. Korzhova; V.N. Kuz'menko; A.S. Polhovskaja; E.N. Kostjukovich.

*BAZAREVICH O. V., KAPSKI D. V.*

## USING GPS DATA TO CALCULATE THE ECOLOGICAL IMPACT OF ROAD TRANSPORT ON THE ECOSYSTEM OF SYMBIOTIC MEGACITIES

*Belarussian National Technical University*

*The article analyzes the various models used to assess the environmental impact of transport on the ecosystem of cities, developed a software product for automating the methodology for calculating emissions from road transport based on those developed at the Belarussian National Technical University using GPS tracks. Some results of the application of the methodology for assessing environmental losses in road traffic in cities are given with the application to the geomap of a specific section of the road network. Recommendations are given for further improvement of the proposed methodology for assessing environmental losses from transport in the city's ecosystem.*

**Keywords:** ecosystem; city; environmental impact; modeling; GPS track; road transport.



**Базаревич Олег**, аспирант кафедры «Транспортные системы и технологии», магистр. Область интересов: исследования характеристик дорожного движения, моделирование транспортных процессов и систем, моделирование потерь (в т.ч. экологических) в дорожном движении и воздействия автомобильного транспорта на экосистемы городов и населенных пунктов.

**Bazarevich Oleg**, post-graduate student of the department “Transport systems and technologies”, master. Area of interest: studies of traffic characteristics, modeling of transport processes and systems, modeling of losses (including environmental) in road traffic and the impact of road transport on the ecosystems of cities and towns.

E-mail: [atf@bntu.by](mailto:atf@bntu.by)



**Капский Денис Васильевич**, доктор технических наук, доцент. Декан автотракторного факультета Белорусского национального технического университета. Проводит исследования в области организации движения, технических средств регулирования и информационно-алгоритмического обеспечения управления движением, транспортного планирования и математического моделирования процессов транспортных систем.

**Kapski D. V.**, doctor of Science, Associate Professor. Dean of the Automotive and Tractor Faculty of the Belarussian National Technical University. Conducts research in the field of traffic management, technical means of regulation and information and algorithmic support for traffic control, transport planning and mathematical modeling of transport systems processes.

E-mail: [d.kapsky@bntu.by](mailto:d.kapsky@bntu.by)