

ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ (на примере решения задач размещения логистических центров)

Актуальность работы. Возможным вариантом развития Украины является создание условий для эффективного функционирования предприятий и компаний, руководители которых все чаще проявляют интерес к методам логистики, направленным на экономию ресурсов. В результате увеличение рентабельности бизнеса происходит не за счет наценки, а за счет снижения текущих затрат. Ведь по оценкам специалистов затраты на логистическую деятельность, содержание персонала и транспортные услуги в условиях современного рынка могут превышать стоимость создания самого товара [1].

Логистические затраты формируются в процессе сопровождения материального потока от источника к конечному потребителю. Логистические центры (ЛЦ) позволяют решить проблему доставки грузов от поставщика к потребителю в кратчайшие сроки и с наименьшими финансовыми затратами. Развитая система этих центров сокращает цепи поставок, оптимизирует товарные потоки, повышает маневренность поставок. Отечественный и зарубежный опыт доказывает, что обоснованное размещение ЛЦ позволяет снизить логистические затраты на 12 – 35% [1, 2]. При этом неравномерное развитие областей Украины, ее транспортной и логистической инфраструктуры, большие расстояния между промышленными районами при отсутствии обоснованных методов размещения ЛЦ определяют актуальность и перспективность представленной работы.

Постановка задачи в общем виде. Широкий выбор способов транспортировки требует от менеджеров определения наилучших мест для размещения инфраструктурных подразделений. Процесс определения местоположения реализуется в последовательности, представленной на рис. 1, где 1 обозначает процесс анализа информации, определяющей требования к ЛЦ; 2 – процесс изучения факторов, влияющих на местоположение ЛЦ; 3 – формирование перечня требований к предполагаемому месту размещения центра; 4 – выбор района застройки; 5 – оценка выбранного района на соответствие требованиям; 6 – анализ выбранных мест застройки с учетом дополнительных факторов; 7 – формирование перечня рекомендуемых участков застройки [3].

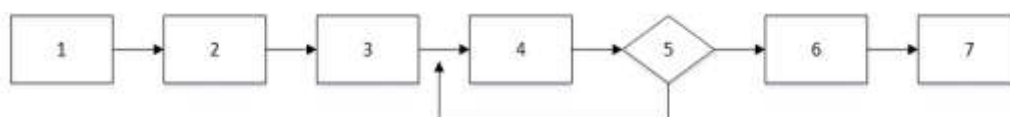


Рисунок 1 - Процесс определения местоположения логистического центра

Ключевым моментом определения места положения является выбор района застройки. При решении этой задачи необходимо учесть ряд факторов, основными из которых являются транспортная и географическая доступность местности, размер и конфигурация участка, планы местных властей, а также строительные факторы и нормы, регламентирующие местоположение объектов строительства. Поэтому современные работы по территориальному планированию, землеустройству, кадастру требуют системного подхода к решению вопросов территориального размещения. Данный подход успешно реализуется с помощью эффективных компьютерных средств – геоинформационных систем (ГИС). Располагая необходимой совокупностью данных, представляемых в режиме реального времени, пользователи, используя ГИС, имеют возможность принимать оптимальные и безопасные решения, что, в конечном итоге, позволяет строительным организациям эффективно и качественно выполнять свои работы с минимальными затратами [3].

Таким образом, **целью работы** является оценка возможности применения геоинформационных систем для решения задач размещения логистических центров.

Решение задачи исследования. Критерием оптимальности размещения является минимизация затрат, связанных с продвижением материального потока от поставщика к потребителю. Математически такая задача соответствует многокритериальной оптимизации, когда

координаты ЛЦ (x_0, y_0) определяют из условия, что целевая функция, зависящая от расстояний между элементами логистической цепи с координатами (x_i, y_i) , должна быть минимальной, т.е. [4]

$$S = \sum_{k=1}^n D_k \rightarrow \min, \quad (1)$$

где D_k – расстояние до k -го элемента логистической цепи (производителя или потребителя) до ЛЦ; n – число элементов логистической цепи.

Множество потребителей и производителей образует множество $\{E_k\}$ ($k=1, \dots, n$) – множество элементов логистической цепи. С учетом их координат разместим E_k в координатной плоскости. Тогда минимальное расстояние D_k от элемента логистической цепи до ЛЦ будет определяться длиной отрезка на координатной плоскости по известным координатам его концов, т.е. выражение (1) представим в виде:

$$S(x, y) = \sum_{k=1}^n \sqrt{(x - x_k)^2 + (y - y_k)^2} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где (x, y) – координаты ЛЦ; (x_k, y_k) – координаты элементов логистической цепи.

Отметим, что первые методы решения задач «о размещении» были предложены еще в середине XIX в. Ведущие экономисты И. фон Тюнен, А. Вебер, А. Лёш, Э. Гувер, М. Гринхат, У. Изард и др. подчеркивали роль географической специализации производства и фундаментальное значение развития логистической инфраструктуры [4, 5]. Однако, проведенный анализ существующих методов и их применение в тестовых задачах показали следующие результаты [3, 4]:

- основное внимание специалистов сосредоточено на подходах, развивающих оптимизационные методы решения подобных задач;
- каждый из проанализированных методов давал разные координаты расположения;
- наибольшей строгостью вычисления обладает метод «центра тяжести», который позволяет учесть большинство факторов, влияющих на выбор местоположения, позволяет использовать реальные расстояния и географические координаты и т.п.;
- наиболее субъективным является метод анализа иерархий и подобные ему экспертные методы;
- получаемые координаты не всегда были оптимальны, так как не давали минимума функции логистических издержек (2);
- в некоторых случаях полученные координаты были недопустимы, попадая на участки, где размещение строительных объектов запрещено (были близки к магистральным трубопроводам, железнодорожным станциям, социальным объектам и пр.).

Таким образом, подводя итог, отметим, что оптимизационные методы решения задачи размещения дают обоснованные результаты, но их применение на практике ограничивается следующими причинами [2, 4]:

- большая размерность приводит к снижению эффективности строгих математических методов;
- необходима привязка к реальным объектам с получением их географических координат или расстояний;
- необходимо учесть множество разнородных факторов, влияющих на выбор.

Однако развитие математических пакетов, таких как Mathematica, MathCad, MatLab и др., развитие геоинформационных систем, появление доступных картографических пространственных данных, в том числе спутниковых снимков высокого разрешения, приводит к тому, что оптимизационные методы становятся эффективным средством решения задачи о размещении ЛЦ.

Проанализируем рис. 1. Изучение факторов, влияющих на местоположение ЛЦ, показало, что часть из них линейно влияют на целевую функцию (2), а часть – выступают в виде ограничений. Это позволило уточнить исходную формулировку оптимизационной задачи и представить ее в следующем виде [4]:

$$S(x, y) = \sum_{k=1}^n \sqrt{f_k v_k ((x - x_k)^2 + (y - y_k)^2)} \rightarrow \min, \quad (3)$$

где f_k – транспортный тариф для k -го элемента логистической цепи; v_k – объемы поставок (спрос) k -го элемента логистической цепи.

При выполнении ограничений

$$\sqrt{(x - x_k)^2 + (y - y_k)^2} \leq c, \quad k = \overline{1, n}, \quad (4)$$

где c - ограничение, регламентируемое факторами, которые, например, могут определять допустимую близость к коммуникациям, зданиям и т.п.

Таким образом, получаем координаты, которые позволяют обоснованно с точки зрения системного подхода принимать решения о размещении ЛЦ.

Рассмотрим применение вышеизложенного подхода для решения задач размещения ЛЦ на территории Донецкой области.

Сложившаяся непростая ситуация на Востоке Украины требует системного решения задач снабжения населения в сложных условиях. Здесь важнейшим фактором, влияющим на выбор места для логистического центра, является спрос – количество жителей районов Донецкой области, нуждающихся в продуктах первой необходимости. С другой стороны, необходимо учесть, что часть территории является неконтролируемой, а значит, размещать центр не везде возможно.

С учетом данных обстоятельств была получена карта Донецкой области (рис. 2), на которой зеленым и желтым цветом схематично отмечены пока еще неконтролируемые участки.

На основе полученной карты, используя картографический web-сервис dateandtime.info определим географические координаты основных населенных пунктов Донецкой области, с наибольшим количеством жителей, заинтересованных в создании ЛЦ. Было выбрано 13 населенных пунктов, их географические координаты (в десятичных градусах) во всемирной системе координат WGS84, используемой в системе глобального позиционирования и навигации GPS, и количество жителей представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Данные по населенным пунктам Донецкой области

Название населенного пункта	Географические координаты		Количество жителей (N)
	Широта	Долгота	
Донецк	48.0230000 ⁰	37.8022400 ⁰	922 137
Дебальцево	48.3407200 ⁰	38.4049000 ⁰	25 184
Горловка	48.3357600 ⁰	38.0532500 ⁰	254 400
Краматорск	48.7230500 ⁰	37.5562900 ⁰	162 800
Авдеевка	48.1398900 ⁰	37.7425500 ⁰	35 100
Константиновка	46.8167300 ⁰	35.4228700 ⁰	73 839
Бахмут	48.5955900 ⁰	37.9998700 ⁰	77 500
Покровское	47.9785200 ⁰	36.2256000 ⁰	64 895
Доброполье	48.4614700 ⁰	37.0852400 ⁰	30 697
Светлодарск	48.4337400 ⁰	38.2233100 ⁰	12 042
Соледар	48.6793500 ⁰	38.0890200 ⁰	11 486
Часов Яр	48.5934800 ⁰	37.8572400 ⁰	13 999
Новгородское	48.3155560 ⁰	37.8838890 ⁰	10 788
Сумма (Σ)			1 694 867

Отметим, что в вышеприведенной формулировке задачи (формулы (3) – (4)) используются плоские прямоугольные координаты элементов логистической цепи x_k и y_k . Однако современные картографические сервисы дают географические координаты широты и долготы земной поверхности либо в градусах с минутами и секундами, либо в градусах с десятичной дробью, как это представлено в таблице 1.

Для перевода исходных географических координат в необходимые прямоугольные координаты используем подход, предложенный в работе Ештокина А.Н., основанный на использовании формул, выведенных для референц – эллипсоида Красовского [6]. Полученные данные представлены в таблице 2. Здесь в последней колонке приведено значение m – весового коэффициента, величина которого определена следующим образом:

$$m = \frac{N}{\Sigma},$$

где N - число жителей в населенном пункте; Σ - суммарное количество жителей в выбранных населенных пунктах.

При этом, чем выше значение m , тем больше объемы поставок, а значит, тем ближе к населенному пункту должен быть расположен ЛЦ.

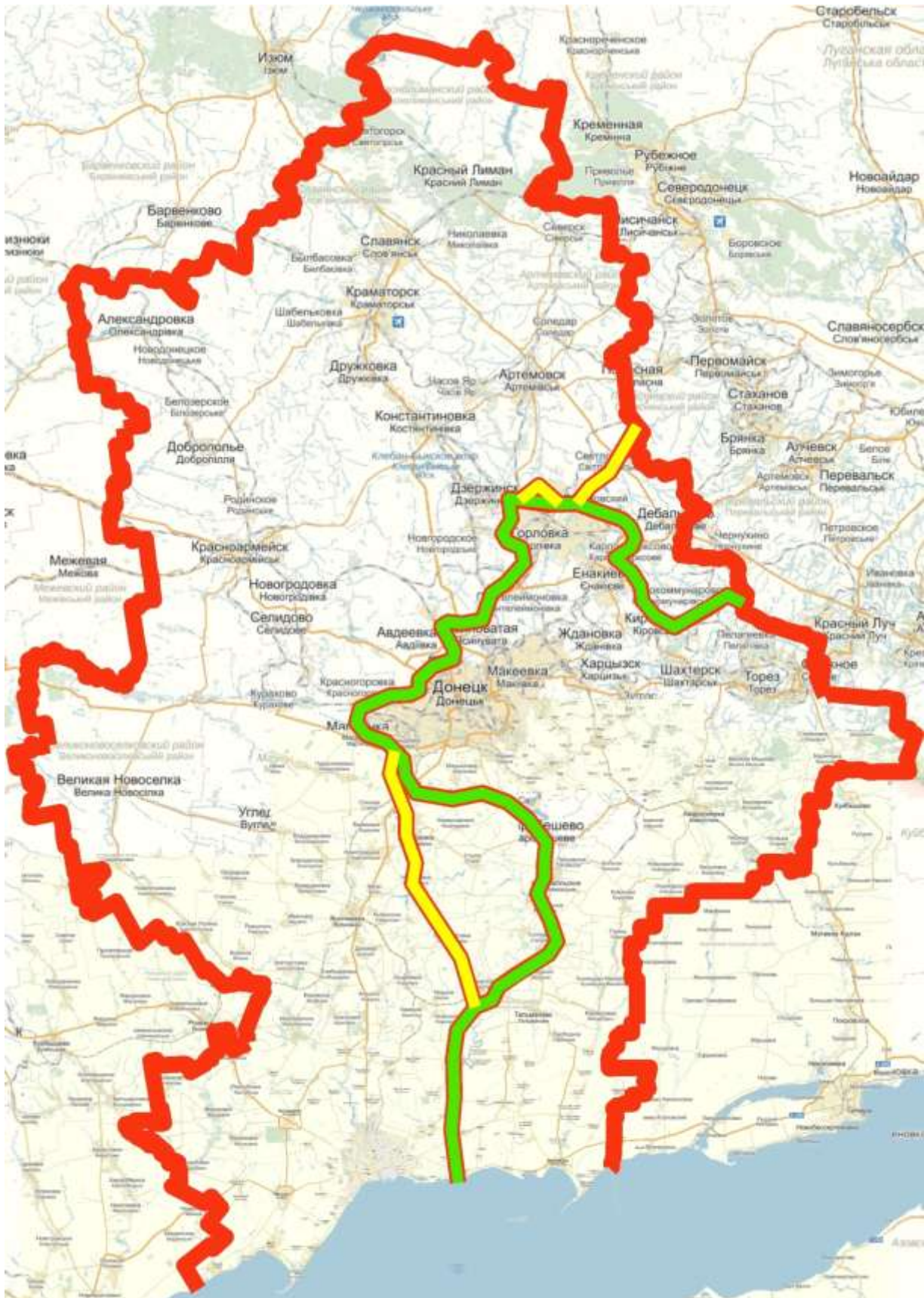


Рисунок 2 – Карта Донецкой области с выделенными границами

Таблица 2 – Данные по населенным пунктам Донецкой области

Название населенного пункта	Прямоугольные координаты		m
	По оси x	По оси y	
Донецк	5321772.946	7410655.661	0.54
Дебальцево	5356578.940	7455883.017	0.01
Горловка	5356289.477	7429807.304	0.15
Краматорск	5399929.702	7393776.363	0.1
Авдеевка	5334840.988	7406415.569	0.02
Константиновка	5189815.940	6684902.614	0.04
Бахмут	5385232.614	7426227.286	0.05
Покровск	5319859.571	7292878.358	0.04
Доброполье	5371606.621	7358390.116	0.02
Светлодарск	5367043.035	7442525.996	0.007
Соледар1	5394464.697	7432914.357	0.007
Часов Яр 1	5385145.563	7415703.104	0.008
Новгородское	5354211.751	7417218.239	0.006

На основе данных таблицы 2 найдем необходимые координаты ЛЦ, используя встроенную итеративную процедуру `fmincon` математического пакета Matlab.

Листинг m-файла и графические результаты работы процедуры представлены на рисунке 3.

```
function f=LC(x)
global a b m k
a=[5321772.946 5356578.940 5356289.477
5399929.702 5334840.988 5189815.940
5385232.614 5319859.571 5371606.621
5367043.035 5394464.697 5385145.563
5354211.751];
b=[7410655.661 7455883.017 7429807.304
7393776.363 7406415.569 6684902.614
7426227.286 7292878.358 7358390.116
7442525.996 7432914.357 7415703.104
7417218.239];
m=[0.54 0.01 0.15 0.1 0.02 0.04 0.05
0.04 0.02 0.007 0.007 0.008 0.006];
f=0;
for k=1:13
    f=f+sum(sqrt((m(k)*(x(1)-
a(k)))^2+(m(k)*(x(2)-b(k)))^2));
end
```

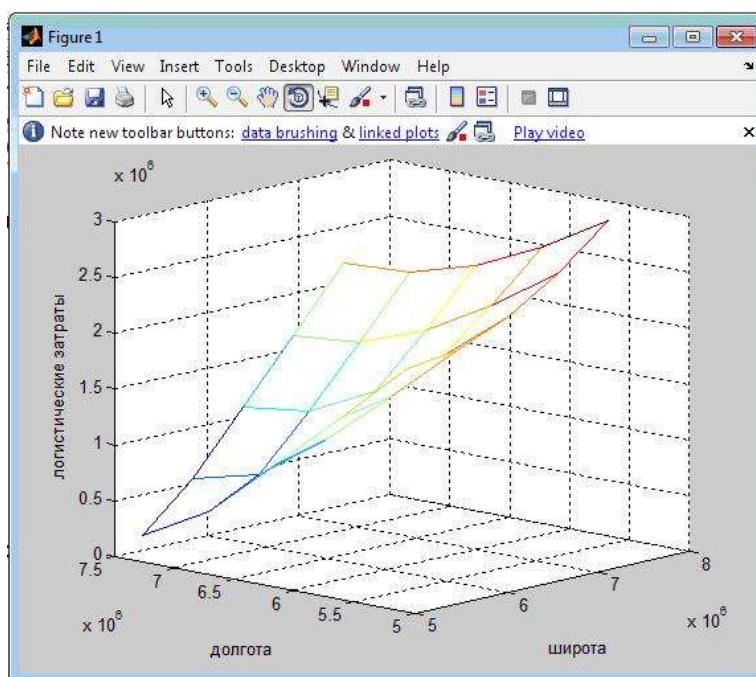


Рисунок 3 – Решение задачи «о размещении» для городов Донецкой области:
 а – листинг m-файла; б – графическая иллюстрация итеративной процедуры нахождения оптимальных координат ЛЦ

В результате получено следующее значение координат:

$$x_{\text{опт}}=5354211.295 \text{ и } y_{\text{опт}}=7417218.325,$$

дающие минимальное значение функции (3), т.е. $S=64526.724$

При этом для получения оптимальных значений географических координат и выбора места для ЛЦ на карте решается обратная задача – перевод прямоугольных координат в географические. Используя процедуру, изложенную в работе [6] получаем:

$$x_{\text{опт}}=48^{\circ}19'15.0'' \text{ N и } y_{\text{опт}}=37^{\circ}04'03.0'' \text{ E}$$

или в десятичных градусах

$$x_{\text{опт}}= 48.320833 \text{ и } y_{\text{опт}}= 37.067500.$$

Полученное место на карте представлено на рисунке 4 (получено с помощью картографического web-сервиса google.com.ua/maps).

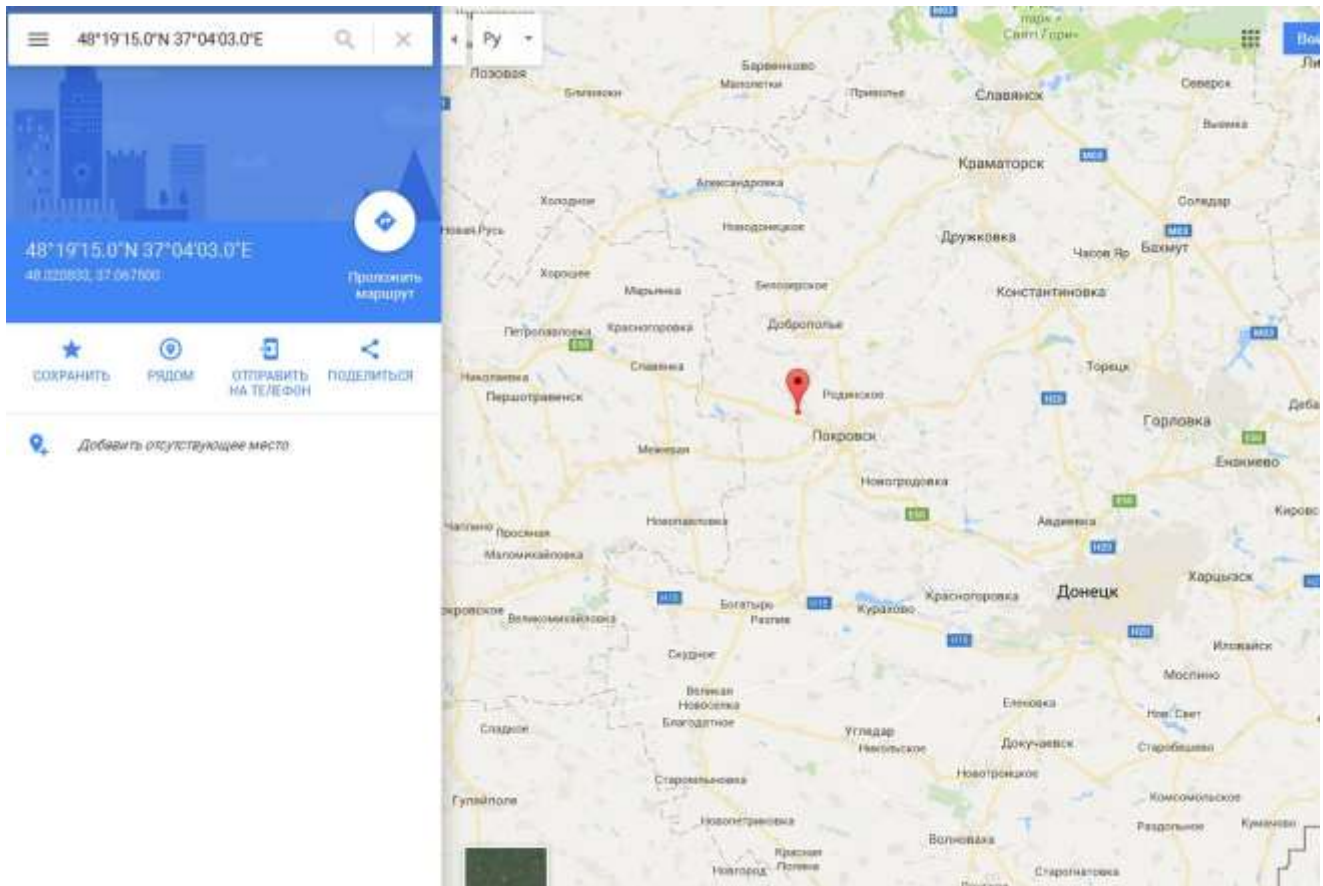


Рисунок 4 – Место оптимального расположения логистического центра

Анализ результатов показал, что полученные координаты соответствуют участку, находящемуся недалеко от поселка Гришино Донецкой обл. (рисунок 5). Также в пользу данного местоположения говорит то, что участок расположен недалеко от магистральных трасс, что соответствует общим требованиям к местам размещения логистических объектов.

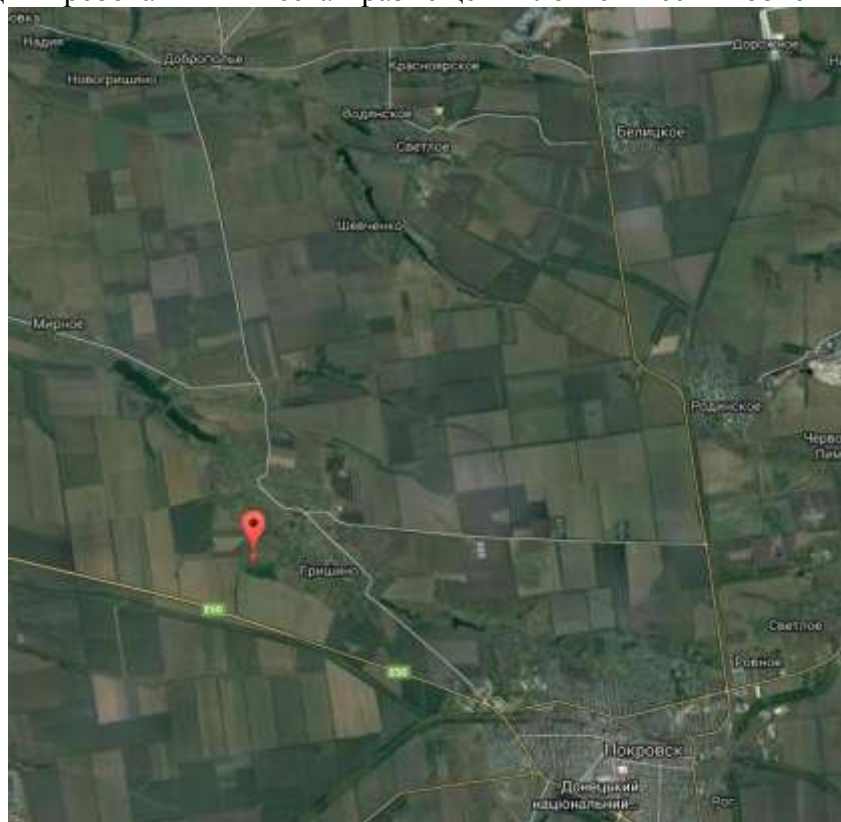


Рисунок 5 – Снимок места оптимального расположения логистического центра

Заклучение. В работе проанализированы существующие методы выбора мест для размещения логистических центров. И хотя постановка задачи не нова, но применение строгих математических методов ограничивалось рядом причин. Развитие современных геоинформационных систем и систем математического моделирования позволяет решать эту задачу и давать конкретные практические рекомендации.

Для иллюстрации предложенных подходов рассмотрена задача выбора места размещения логистического центра на территории Донецкой области с целью максимального удовлетворения спроса на продукты первой необходимости жителей крупных населенных пунктов. Применение геоинформационных систем позволило успешно решить эту задачу, более того, классическая задача теории принятия решений получила практическую направленность, позволив обосновать исходные данные и ограничения и «наполнить смыслом» полученные результаты.

Список литературы.

1. Новопісна, Е.В. Чинники, що впливають на формування логістичних витрат підприємства [Текст] / Е.В. Новопісна // Управління проектами та розвиток виробництва: зб. наук. пр. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2009. - № 4(32). – С. 123 – 129.
2. Копылова О.А. Методика оценки вариантов размещения региональных логистических центров: автореф. ... канд. техн. наук. : 05.22.01 / Копылова Олеся Александровна. – Магнитогорский гос. техн. ун-т им. Г.И. Носова. – Екатеринбург, 2014. – 20 с.
3. Романько, М. В. Геоинформационный подход к определению местоположения логистического центра [Текст] / М. В. Романько // Информатика та системні науки: матеріали VII Всеукр. наук.-практ. конф., Полтава, 10-12 березня 2016 р. – Полтава, 2016. – С. 267 – 270.
4. Даншина С.Ю. Проблема размещения распределительного центра для проектов развития [Текст] / С.Ю. Даншина // Управління проектами та розвиток виробництва: зб. наук. пр. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2016. – № 3 (59).
5. Бауэрсокс, Д.-Дж. Логистика: интегрированная цепь поставок [Текст]: пер. с англ. / Д.-Дж. Бауэрсокс, Д.-Дж. Клосс. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2005. – 640 с.
6. Ештокин, А.Н. Топография с основами геодезии [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А.Н. Ештокин. – Режим доступа: <http://topography.ltsu.org>. – 9.12.2016 г.