

DOI: 10.21122/2227-1031-2018-17-2-130-141

УДК 528.4:332.63

Стейкхолдерно-интегрированный подход к оценке уровня инженерно-инфраструктурного обеспечения городов

Докт. экон. наук, проф. К. А. Мамонов¹⁾, канд. техн. наук С. Г. Нестеренко¹⁾,
Э. С. Штерндок¹⁾, М. А. Грек¹⁾, асп. А. В. Рудомаха¹⁾

¹⁾Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова (Харьков, Украина)

© Белорусский национальный технический университет, 2018
Belarusian National Technical University, 2018

Реферат. Разработан алгоритм оценки уровня инженерно-инфраструктурного обеспечения территории городов с использованием геоинформационных систем в рамках стейкхолдерно-интегрированного подхода. Для достижения поставленной цели решены следующие задачи: охарактеризован стейкхолдерно-интегрированный подход к оценке уровня инженерно-инфраструктурного обеспечения городов; систематизированы существующие подходы к оценке уровня инженерно-инфраструктурного обеспечения городов; разработан алгоритм определения данных пространственных моделей; построены пространственные модели для оценки уровня инженерно-инфраструктурного обеспечения с использованием геоинформационных систем. Предложен комплексный подход к моделированию пространственных факторов для оценки инженерно-инфраструктурного обеспечения города, который отличается от существующих разработкой и применением геоинформационного инструментария. Разработаны пространственные модели инженерно-инфраструктурного обеспечения территории города, включающие территориальные, экологические, энергетические, социально-экономические и другие характеристики, что позволило реализовать предложенный подход к моделированию пространственных факторов. Заслуживает внимания использование геоинформационных систем, что открывает возможность более детального рассмотрения моделей влияния пространственных факторов, позволяет повысить объективность решения поставленной проблемы.

Ключевые слова: инженерно-инфраструктурное обеспечение, геоинформационное моделирование, средства геоинформационных систем, оценка уровня, территория города

Для цитирования: Стейкхолдерно-интегрированный подход к оценке уровня инженерно-инфраструктурного обеспечения городов / К. А. Мамонов [и др.] // *Наука и техника*. 2018. Т. 17, № 2. С. 130–141. DOI: 10.21122/2227-1031-2018-17-2-130-141

Stakeholder-Integrated Approach to Assessment of Level in Urban Engineering and Infrastructure Provision

К. А. Mamonov¹⁾, S. G. Nesterenko¹⁾, E. S. Shterndok¹⁾, M. A. Grek¹⁾, A. V. Rudomakha¹⁾

¹⁾O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv (Kharkiv, Ukraine)

Abstract. An algorithm for assessment of level in engineering and infrastructure support of urban area has been developed while using geographic information systems (GIS) in the framework of stakeholder-integrated approach. In order to achieve the target goal the following tasks have been solved: description of stakeholder-integrated approach to assessment of level in engineering and infrastructure support of cities; systematization of the existing approaches to assessment of level in engineering and infrastructure support of cities; development of an algorithm for determination of data for spatial models; development of spatial models for assessment of level in engineering and infrastructure support while using geographic infor-

Адрес для переписки

Мамонов Константин Анатольевич
Харьковский национальный университет
городского хозяйства имени А. Н. Бекетова
ул. Маршала Баженова, 17,
61002, г. Харьков, Украина
Тел.: +380 99 291-73-54
kostia_mamonov@mail.ru

Address for correspondence

Mamonov Konstantin A.
O. M. Beketov National University
of Urban Economy in Kharkiv
17 Marshal Bazhenov str.,
61002, Kharkiv, Ukraine
Tel.: +380 99 291-73-54
kostia_mamonov@mail.ru

mation systems. A comprehensive approach has been proposed to simulate spatial factors in order to assess urban engineering and infrastructure support, which is different from the existing ones due to development and application of GIS tools. Spatial models of urban engineering and infrastructure support have been developed in the paper. They include territorial, ecological, power engineering, socio-economic and other characteristics. These models have made it possible to implement the proposed approach for simulation of the spatial factors. It is necessary to point out the fact that geographic information systems have been used and this approach provides a possibility to detailed consideration of models which reveal influence of spatial factors. So it is possible to increase objectivity of solving the problem.

Keywords: engineering and infrastructure support, GIS modeling, geographic information systems tools, assessment of level, urban territory

For citation: Mamonov K. A., Nesterenko S. G., Shterdok E. S., Grek M. A., Rudomakha A. V. (2018) Stakeholder-Integrated Approach to Assessment of Level in Urban Engineering and Infrastructure Provision // *Science and Technique*. 17 (2), 130–141. DOI: 10.21122/2227-1031-2018-17-2-130-141

Введение

Инженерная инфраструктура городов предназначена для обеспечения на конкретной территории всех потребителей водой, энергией, топливом, вывоза бытовых и производственных отходов. Инженерная инфраструктура городов включает в себя системы водоснабжения, канализации, тепло-, электро-, газоснабжения, связи, освещения, санитарной очистки и других видов благоустройства. Инженерное оборудование систем содержит наземные и подземные сооружения, инженерные сети и коммуникации.

Уровень инженерного обеспечения территории населенного пункта оказывает существенное влияние на качество жизни населения, а также на привлекательность города для населения. Он также является одним из факторов, который влияет на оценку пространственных характеристик, обеспечивающих формирование, распределение и использование земель городов. В таких условиях важное значение приобретает оценка уровня инженерно-инфраструктурного обеспечения городов. Кроме того, на формирование и реализацию инженерно-инфраструктурного обеспечения городов оказывают влияние группы заинтересованных лиц (стейкхолдеров), которые взаимодействуют в сфере земельных отношений городских агломераций.

Анализ разработок

Решением проблем в сфере исследования направлений и определения особенностей инженерно-инфраструктурного обеспечения, его оценки, использования современных технологий занимаются ученые Ю. Ф. Дехтяренко [1], А. А. Лященко [2, 3], К. А. Мамонов [4–6], Ю. Н. Палеха [7, 8], В. Д. Шипулин [9] и др.

Однако остаются нерешенными вопросы, связанные с оценкой уровня инженерно-инфраструктурного обеспечения, учитывая особенности формирования, распределения и использования земель городов и взаимоотношения с различными группами заинтересованных лиц (стейкхолдеров).

Целью исследования является разработка алгоритма оценки уровня инженерно-инфраструктурного обеспечения территории городов с использованием геоинформационных систем в рамках стейкхолдерно-интегрированного подхода.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- характеристика стейкхолдерно-интегрированного подхода к оценке уровня инженерно-инфраструктурного обеспечения городов;
- систематизация существующих подходов к оценке уровня инженерно-инфраструктурного обеспечения городов;
- разработка алгоритма определения данных пространственных моделей;
- построение пространственных моделей для оценки уровня инженерно-инфраструктурного обеспечения с использованием геоинформационных систем.

Результаты исследования

Для развития инженерно-инфраструктурного обеспечения городов предложено создать информационно-пространственный базис, который формируется на основе результатов интегральной оценки. В этом контексте для решения поставленной задачи разработан стейкхолдерно-интегрированный подход, суть которого состоит в том, что определяются интегральные

критерии пространственных характеристик инженерно-инфраструктурного обеспечения городов, формируются геоинформационные модели, что позволяет принимать обоснованные решения для повышения эффективности функционирования городских агломераций.

В [4, 7–11] определено, что оценка уровня инженерно-инфраструктурного обеспечения территорий города базируется на определении условий оценочных районов, в первую очередь городскими инженерными сетями. Коэффициент уровня инженерно-инфраструктурного обеспечения городов K_j определяется на основе исследования влияния эксплуатационных характеристик существующих сетей тепло-, газо-, водоснабжения, канализации (местоположение, диаметр труб, давление в возможных точках подключения, линейно-узловые нагрузки на сеть и т. д.) на потребителя, учитывая особенности формирования, распределения и использования земель. Значение K_j находится в диапазоне от 1,0 (наивысшая вероятность) до 1,5 (наименьшая вероятность).

В условиях города существуют значительные сложности в получении и совокупной обработке распределенных в пространстве данных инженерно-инфраструктурного обеспечения систем. Поэтому для оценки уровня инженерно-инфраструктурного обеспечения территории города определено, что коэффициент K_j зависит от местоположения, длины и диаметров трубопроводов инженерных сетей [5, 6, 12–16].

Исходя из того, что инженерно-инфраструктурное обеспечение систем представляется геопространственными объектами, оценка уровня выполняется с использованием геоинформационных систем. Для моделирования пространственных факторов по каждому виду трубопроводного инженерно-инфраструктурного обеспечения территории города определена последовательность:

1-й этап: создание цифрового аналога инженерной сети;

2-й этап: определение данных для модели уровня инженерно-инфраструктурного обеспечения территории путем:

– построения элементов инженерной сети в единую систему с помощью показателей стоимости строительства трубопроводов различного диаметра;

– расчета глубин буферов от труб инженерно-инфраструктурного обустройства на основе единой системы;

3-й этап: создание геоинформационной модели инженерно-инфраструктурного обеспечения территории на основе буферизации труб инженерных сетей по определенным глубинам буферов.

Согласно установленной последовательности для моделирования уровня инженерно-инфраструктурного обеспечения территории города разработан следующий линейный алгоритм определения данных пространственной модели:

1) *начало*: атрибуты геоинформационного слоя инженерной сети путем расчета суммарной протяженности труб

$$L_{\Sigma} = \sum L_i; \quad (1)$$

2) расчет стоимости труб определенного диаметра

$$V_{Di} = V_i L_i; \quad (2)$$

3) определение суммарной стоимости всех труб

$$V_{\Sigma} = \sum V_i L_i; \quad (3)$$

4) расчет средней стоимости 1 м труб

$$V_{cp} = V_{\Sigma} / L_{\Sigma}; \quad (4)$$

5) определение коэффициента буфера

$$K = S / L_{\Sigma} V_{cp} / 2; \quad (5)$$

6) расчет глубины буферов

$$R_i = K V_i; \quad (6)$$

конец: атрибуты геоинформационного слоя инженерной сети с глубинами буферов.

В представленных моделях алгоритма приняты следующие обозначения: D_i – диаметр труб; V_i – стоимость 1 м пог. труб определенного диаметра; L_i – длина труб определенного диаметра; S – площадь территории; R – глубина буфера.

Согласно установленной последовательности этапов для моделирования уровня инженерно-инфраструктурного обеспечения территории разработан линейный алгоритм расчета данных пространственной модели (рис. 1).

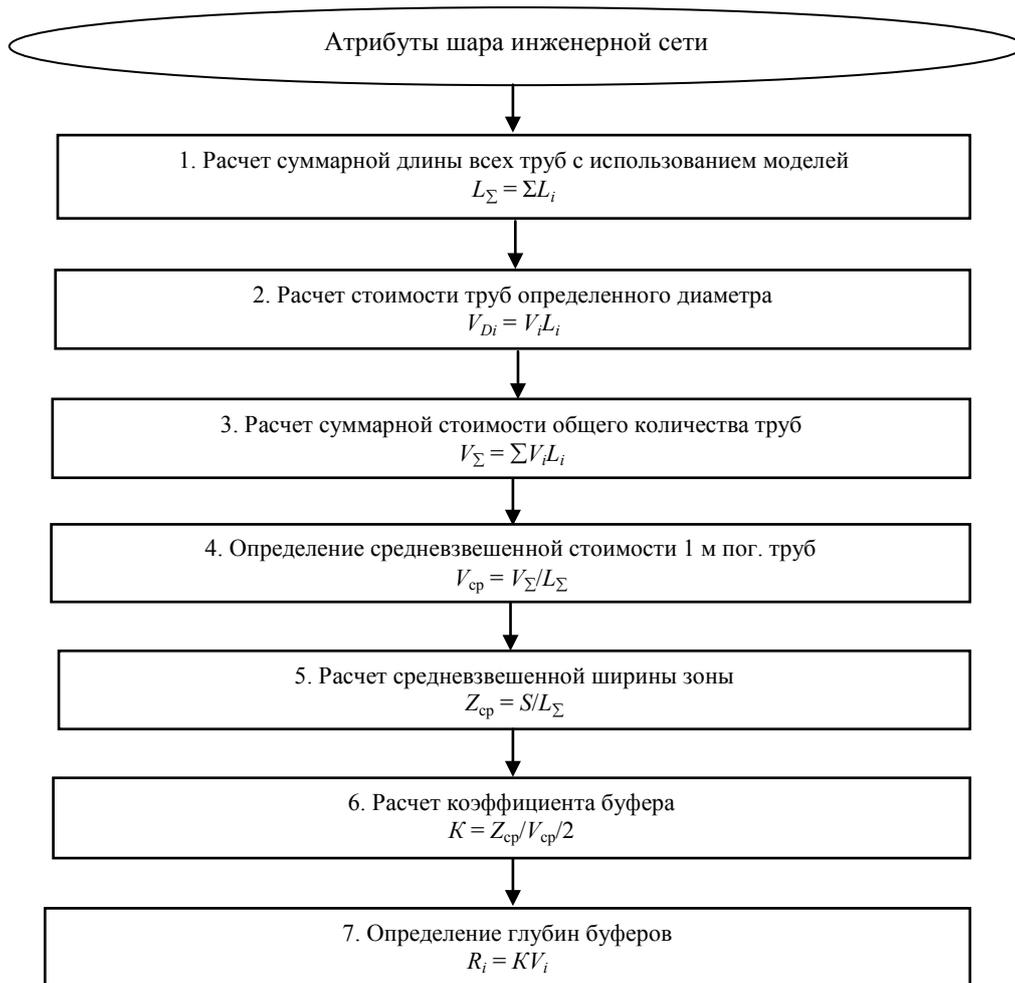


Рис. 1. Алгоритм расчета данных пространственной модели

Fig. 1. Algorithm of data calculation for spatial model

Для моделирования пространственных факторов предложена методика осуществления расчета глубин зон сети водоснабжения г. Харькова, результаты которой представлены в табл. 1.

Таблица 1

Расчет глубин зон сети водоснабжения
Calculation of depth in water network zones

Диаметр D_i , мм	Длина L_i , мм	Значение V_i , грн	Значение $V_i L_i$, грн·м	Глубина буфера R_i , мм
1	2	3	4	5
150	5460	19	103740	78
200	12956	23	297988	94
250	3563	28	99764	114
300	100884	34	3430056	139

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5
400	78618	39	3066102	159
500	40183	52	2089516	213
600	62874	64	4023936	262
700	6004	68	408272	278
800	36597	72	2634984	294
900	25167	86	2164362	352
1000	55733	100	5573300	409
1200	37417	126	4714542	515
1400	33912	154	5222448	629
1600	46098	195	8989110	797

По разработанному алгоритму (рис. 1) созданы пространственные модели инженерно-

инфраструктурного обеспечения территории г. Харькова (рис. 2–5).



Рис. 2. Пространственная модель уровня инженерно-инфраструктурного обеспечения территории г. Харькова существующей сетью водоснабжения (разработано авторами)

Fig. 2. Spatial model of engineering and infrastructure support level for territory of Kharkiv by existing water supply network (developed by authors)

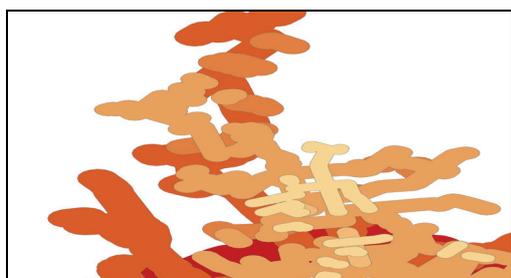


Рис. 3. Пространственная модель уровня инженерно-инфраструктурного обеспечения территории г. Харькова существующей сетью теплоснабжения (разработано авторами)

Fig. 3. Spatial model of engineering and infrastructure support level for territory of Kharkiv by existing heat supply system (developed by authors)

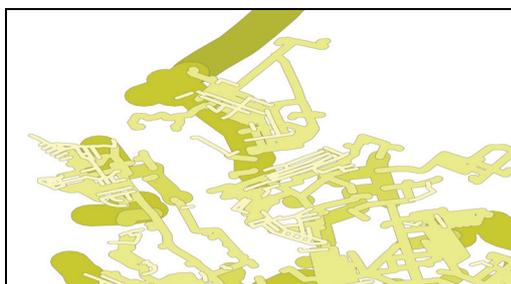


Рис. 4. Пространственная модель уровня инженерно-инфраструктурного обеспечения территории г. Харькова существующей сетью газоснабжения (разработано авторами)

Fig. 4. Spatial model of engineering and infrastructure support level for territory of Kharkiv by existing gas supply system (developed by authors)

Для моделирования пространственных факторов земель мегаполиса предложено определить уровень обеспечения территории инженерной инфраструктурой электроснабжения.



Рис. 5. Пространственная модель уровня инженерно-инфраструктурного обеспечения территории г. Харькова существующей сетью водоотведения (разработано авторами)

Fig. 5. Spatial model of engineering and infrastructure support level for territory of Kharkiv by existing water drainage network (developed by authors)

Показатель обеспечения территории инженерной инфраструктурой электроснабжения H_i для каждого из районов города определяется по следующим принципам. В частности, при равномерной плотности нагрузки условия электроснабжения являются функцией удаленности от источников (центра) питания. Оценка влияния фактора электроснабжения характеризуется условным показателем, для которого максимальное значение (наиболее благоприятные условия) равно 1,0 с последующим уменьшением его по мере удаленности от источников питания и с усложнением схемы электроснабжения.

Анализ значительного количества разработанных проектов, а также специально выполненных расчетов показывает, что в зоне радиусом до 1,0 км от источника (центра) питания этот показатель составляет 1,0, при удалении до 2,5 км – 0,85, при удалении до 5,0 км – 0,77 (если при этом не требуется создание нового центра питания). По этим данным путем буферизации трансформаторных пунктов создана модель уровня инженерно-инфраструктурного обеспечения территории существующей сетью электроснабжения.

Разработана модель, характеризующаяся линией тренда по мере удаленности от источни-

ков питания (рис. 6), которая представлена логарифмической функцией

$$E = -0,144\ln(x) + 0,9946. \quad (7)$$

Большое значение коэффициента детерминации ($R^2 = 0,9912$) свидетельствует о существенной степени влияния независимого фактора на результирующий показатель.

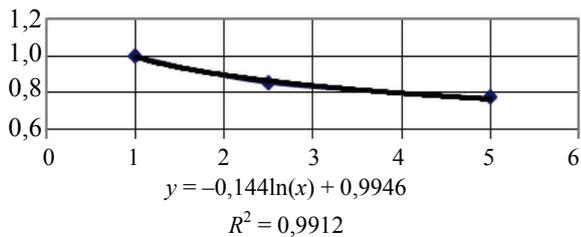


Рис. 6. Диаграмма и модель удаленности объектов от источников питания (разработано авторами)

Fig. 6. Diagram and model showing distance from project objects to sources of supply (developed by authors)

С использованием разработанной модели, геоинформационного инструментария, данных по объектам источников питания и сети электроснабжения г. Харькова построена пространственная модель уровня инженерно-инфраструктурного обеспечения территории существующей сетью электроснабжения (рис. 7).

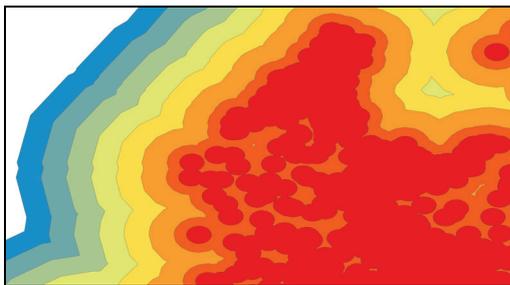


Рис. 7. Пространственная модель уровня инженерно-инфраструктурного обеспечения территории г. Харькова существующей сетью электроснабжения (разработано авторами)

Fig. 7. Spatial model of engineering and infrastructure support level for territory of Kharkiv by existing electricity supply network (developed by authors)

Определение влияния инженерно-инфраструктурного обеспечения территории г. Харькова на оценочные районы осуществляется путем наложения определенного вида простран-

ственной модели инженерно-инфраструктурного обеспечения территории на оценочные районы и расчета индексов инженерно-инфраструктурного обеспечения оценочных районов с определением площадей буферов в каждом районе.

Результаты расчета нормированных индексов обеспечения инженерной инфраструктурой теплоснабжения (A_n), газоснабжения (B_n), водоснабжения (F_n), канализации (G_n) и электроснабжения (H_n) районов города предложено использовать для определения интегрального индекса уровня инженерного обустройства оценочных районов города (U_i) с помощью веса каждой из составляющих инженерного обустройства в общей оценке по модели

$$U_i = A_n a + B_n b + F_n f + G_n g_c + G_n g_r + H_n h, \quad (8)$$

где a, b, f, g_c, g_r, h – соответствующий вес каждого из факторов.

На основании интегральных индексов уровня инженерного обустройства оценочных районов средствами ГИС-технологий создается слой оценки обеспечения территории инженерной инфраструктурой, который является пространственной моделью (рис. 8).



Рис. 8. Пространственная модель оценки обеспечения территории инженерной инфраструктурой (разработано авторами)

Fig. 8. Spatial model for evaluation of engineering and infrastructure support (developed by authors)

В системе геоинформационного моделирования пространственных факторов земель городов большое значение имеет экологическое состояние территорий. Его оценка осуществляется на основе определения концентрации (интенсивности действия) того или иного фактора со следующей характеристикой его интегрированного проявления (расчет интегрального ин-

декса). Наиболее влиятельными экологическими факторами являются:

- атмосферное загрязнение;
- акустическое загрязнение;
- электромагнитное загрязнение;
- загрязнение почвы.

Следует отметить, что основные источники загрязнения атмосферного воздуха города – мобильные (автотранспорт) и стационарные источники (предприятия) территории. Выходные данные об объемах выбросов в атмосферу, общий выброс загрязняющих веществ и распределение выбросов от стационарных и передвижных источников аккумулируются областным государственным управлением охраны окружающей природной среды и областным центром по гидрометеорологии. Данные загрязнения атмосферного воздуха определяются натурными наблюдениями.

Комплексная характеристика экологического состояния определяется на основе индекса загрязнения атмосферы $I_{за}$, который рассчитывается по модели

$$I_{за} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{q_i}{ГДК} \right) C_i, \quad (9)$$

где q_i – концентрация, мг/м³; ГДК – граничная допустимая концентрация, мг/м³; C_i – коэффициент приведения.

На основе расположения источников загрязнения предприятиями города и соответствующих объемов выбросов в них средствами пространственного анализа ГИС, методом построения поверхностей IDW создается пространственная модель (слой) загрязнения атмосферного воздуха предприятиями (рис. 9). Для представления распределения загрязнения атмосферного воздуха по территории выбраны уровни загрязнения для наиболее загрязняющей составляющей: 1ГДК, 2,5ГДК и 5ГДК. Картина загрязнения от промышленных источников отражает наиболее вероятные и влиятельные зоны загрязнения.

На основе местоположения проезжих частей магистралей города общегородского и районного значений буферизацией создается про-

странственная модель загрязнения атмосферы от автотранспорта.

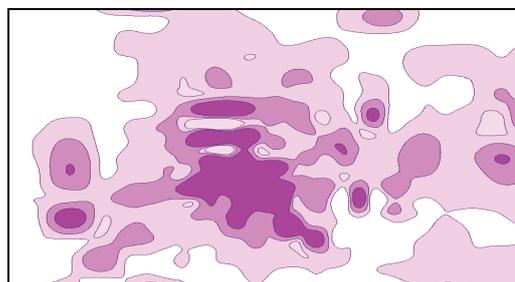


Рис. 9. Пространственная модель загрязнения атмосферного воздуха, построенная методом обратно взвешенных расстояний IDW (разработано авторами)

Fig. 9. Spatial model of air pollution built with the help of IDW method (developed by authors)

Целостную пространственную модель загрязнения атмосферы предложено разработать путем взвешенного суммирования пространственной модели загрязнения атмосферного воздуха предприятиями и от автотранспорта.

Для моделирования пространственных факторов в контексте их интегральной оценки необходимо учитывать загрязнения почв тяжелыми металлами. Основными источниками химического загрязнения почв являются выбросы в атмосферу промышленных предприятий, жидкие и газообразные вещества (твердые выбросы: сажа, свинец Pb, кадмий Cd, цинк Zn, никель Ni, железо Fe, хром Cr, кобальт Co, медь Cu, марганец Mn, ртуть Hg, ряд других металлов и органическая пыль). Крупные фракции (21 мм) оседают вблизи источников выбросов, накапливаясь в верхнем слое почвы, мелкие частицы (менее 1 мм) образуют аэрозоли и распространяются с воздушной массой на достаточное расстояние.

Исходными данными для оценки загрязнения почв должны быть данные областного центра по гидрометеорологии в контрольных точках на территории города по основным видам тяжелых металлов (Cd, Fe, Mn, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni). По этим данным создается точечный слой точек измерений. На основе месторасположения точек и значений ЗС в них средствами пространственного анализа ГИС методом построения поверхностей Spline разработана пространственная модель загрязнения почв тяжелыми

металлами с плоскостными объектами уровней загрязнения менее 16 ЗС, 16–32 ЗС, 32–128 ЗС, более 128 ЗС (рис. 10).

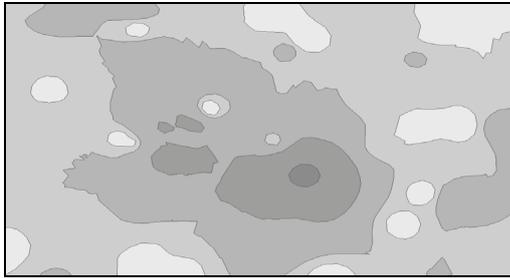


Рис. 10. Пространственная модель загрязнения почв тяжелыми металлами, созданная методом построения поверхностей Spline (разработана авторами)

Fig. 10. Spatial model of soil pollution by heavy metals built with the help of method for constructing Spline surfaces (developed by authors)

Оценка загрязнения почв тяжелыми металлами районов г. Харькова выполняется путем наложения пространственной модели загрязнения почв тяжелыми металлами на оцениваемые районы, расчета индексов средневзвешенной концентрации загрязнения почв тяжелыми металлами на основании определения площадей зон загрязнения по модели

$$M_i = \sum(S_{ij} \cdot ZC_j) / S_i, \quad (10)$$

где M_i – средневзвешенный показатель суммарного загрязнения почв (ZC_i) для i -го оценочного района города; S_{ij} – доля j -зоны i -го района, имеющая определенное значение ZC_i ; ZC_j – соответствующее значение ZC j -зоны.

В рамках моделирования пространственных факторов земель городов предложено осуществлять пространственное моделирование акустического загрязнения.

Следует отметить, что шум – один из существенных факторов негативного влияния на здоровье человека. Основным источником акустического загрязнения городской среды является транспорт. Характеристики транспортного шума – эквивалентный ($LA_{экр}$) и максимальный ($LA_{макс}$) корректируемые уровни звука, дБА, на рассчитанном расстоянии:

- от оси полосы движения автотранспорта к точке расчета, или оси ближней полосы, – для многополосных автотранспортных потоков;

- от оси пути движения трамвайного транспорта к точке расчета;
- от оси пути движения железнодорожного транспорта к точке расчета;
- к точке расчета от траектории движения воздушного транспорта.

Перечисленные характеристики учитываются при построении современной пространственной модели акустического загрязнения городской территории. Зоны акустического загрязнения от автотранспорта, железной дороги и аэропорта интегрированы в одну пространственную модель акустического загрязнения города и представлены на рис. 11.

Оценка акустического загрязнения оцениваемых районов выполнена путем наложения пространственной модели акустического загрязнения на соответствующие районы, расчета средневзвешенных индексов акустического загрязнения для оценочных районов на основании определения площадей зон загрязнения по модели

$$X_i = \sum(S_{ij} \cdot K_j) / S_i, \quad (11)$$

где X_i – средневзвешенный показатель акустического загрязнения для i -го оценочного района города; S_{ij} – доля j -зоны i -го района, имеющая определенное значение K_i ; K_j – соответствующее значение K j -зоны.

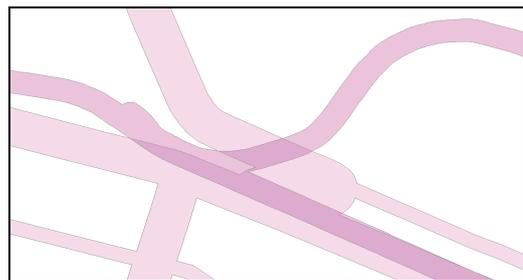


Рис. 11. Пространственная модель зон акустического загрязнения от автотранспорта и железной дороги г. Харькова (разработана авторами)

Fig. 11. Spatial model of acoustic pollution zones caused by road transport and railway on the territory of Kharkiv (developed by authors)

В рамках моделирования пространственных факторов авторами предложено определить источники и факторы электромагнитного загрязнения.

К источникам электромагнитного излучения в городах принадлежат радио-, телевизионные и радиолокационные станции различного назначения, работающие в полосе радиочастот, а также сеть линий электропередачи, которая состоит из воздушных высоковольтных линий электропередачи и электрических подстанций (распределительные устройства, преобразователи электроэнергии, трансформаторы, выпрямители и другие сооружения).

Исходная информация для расчета уровня электромагнитного загрязнения может быть предоставлена санитарно-эпидемиологической станцией. Используется также санитарный паспорт объекта.

Средствами ГИС по объектам загрязнения создаются зоны загрязнения среды. Экологическое качество районов оценивается с применением оверлейного анализа (перекрытия) территории районов с зонами загрязнения среды.

Оценка электромагнитного загрязнения оценочных районов выполнена путем наложения пространственной модели электромагнитного загрязнения на оценочные районы, расчета средневзвешенных индексов электромагнитного загрязнения на основании определения площадей зон загрязнения в каждом районе по модели

$$Z_i = \sum(S_{ij} \cdot K_j) / S_i, \quad (12)$$

где Z_i – средневзвешенный показатель электромагнитного загрязнения для i -го оценочного района города; S_{ij} – доля j -зоны i -го района, имеющая определенное значение K_j ; K_j – соответствующее значение K_j -зоны.

В системе оценки пространственных факторов земель городов для осуществления пространственного моделирования предложено определять уровень экологического состояния территории.

Следует отметить, что экологическое состояние территории отдельных участков города характеризуется интегральным индексом E_i . Он агрегирует в себе показатели, определяющие действия различных экологических факторов на качество территории. Оценка интегрального индекса экологического состояния территории осуществляется через взвешивание отдельных

факторов. Значения весовых коэффициентов получены по результатам корреляционно-регрессионного анализа влияния экологического состояния на заболевания людей с использованием экспертных оценок.

Расчет интегрального индекса экологического качества территории каждого из выделенных районов осуществляется с учетом коэффициентов по модели

$$E_i = X_n W_x + Y_n W_y + Z_n W_z + M_n W_m, \quad (13)$$

где X_n, Y_n, Z_n – индекс атмосферного, акустического и электромагнитного загрязнения соответственно; M_n – индекс загрязнения грунта; W – вес фактора.

По этим данным создается пространственная модель интегральной оценки экологического качества территории г. Харькова (рис. 12).

Пространственное моделирование факторов направлено на реализацию оценки привлекательности территории городов. В этом контексте особое значение приобретает определение социальной привлекательности (престижности) городской среды, которая отражает удовлетворение жителей архитектурно-эстетическими, социально-инфраструктурными, транспортными условиями проживания, разнообразием мест приложения труда, уровнем озеленения микрорайонов, наличием условий для развития детей, общим культурным уровнем окружения и т. п. [12].

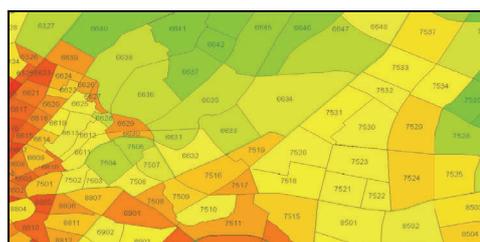


Рис. 12. Пространственная модель оценки экологического качества территории г. Харькова (разработано авторами)

Fig. 12. Spatial model for ecological quality evaluation on the territory of Kharkiv (developed by authors)

Оценка привлекательности среды в городе осуществляется методами прямых измерений, экспертным, комбинированным.

Путем прямых измерений производится оценка привлекательности среды по опреде-

ленным факторам. Для этого на основании данных топографической съемки и справочников создаются 4-точечные тематические слои следующих объектов:

- магазинов и заведений питания (N_c);
- поликлиник и аптек (O_i);
- школ и детсадов (P_i);
- учреждений культуры и искусства (Q_i).

Оценка привлекательности городской среды при наличии каждого из этих факторов выполняется средствами ГИС путем наложения тематических слоев на оценочные районы и вычисления их плотности (рис. 13) [13].

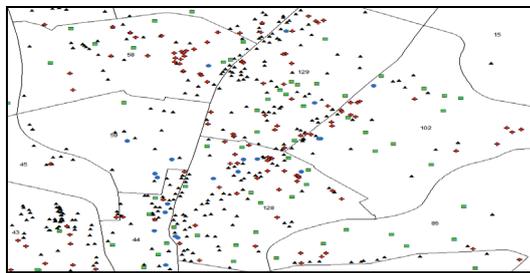


Рис. 13. Вид наложения слоя «магазины и заведения питания, поликлиники и аптеки» на оценочные районы, «учреждения культуры и искусства, магазины и заведения питания (фрагмент)» на оценочные районы (разработано авторами)

Fig. 13. View of “shops and culinary options, polyclinics and pharmacies” overlay for evaluating districts, “institutions of culture and art, shops and culinary options (fragment)” overlay for evaluating districts (developed by authors)

По представленным данным средствами ГИС-технологий создан слой привлекательности среды для оценочных районов (рис. 14).

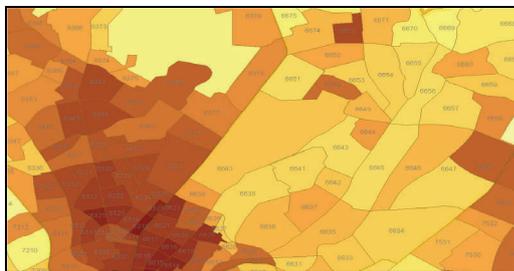


Рис. 14. Пространственная модель оценки социально-градостроительной привлекательности среды территории г. Харькова (разработана авторами)

Fig. 14. Spatial model for evaluation of socio-urban environment attractiveness on the territory of Kharkiv (developed by authors)

Обобщающим этапом моделирования пространственных факторов на зональном уровне является определение экономико-планировочных зон и зональных коэффициентов K_{m2} на основе анализа квалитетических показателей оценочных районов.

Вычисление комплексных индексов ценности территории города I_i осуществляется по модели

$$I_i = S_i P_S + E_i P_E + U_i P_U + C_i P_C, \quad (14)$$

где S_i – интегральный индекс транспортно-функционального удобства территории города; E_i – интегральный индекс экологического качества территории; U_i – интегральный индекс инженерно-инфраструктурного обеспечения территории; C_i – интегральный индекс социально-градостроительной привлекательности среды; P_S, P_E, P_U, P_C – соответствующий вес каждого из отдельных интегральных индексов.

На основе предложенной модели, определенных пространственных показателей средствами ГИС создается пространственная модель экономико-планировочных зон города по коэффициентам K_{m2} (рис. 15).

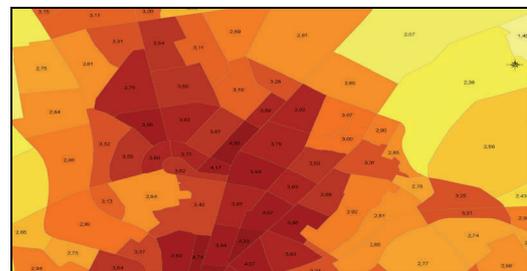


Рис. 15. Пространственная модель комплексной оценки экономико-планировочных зон г. Харькова (разработана авторами)

Fig. 15. Spatial model of complex assessment of economic-planning zones on the territory of Kharkiv (developed by authors)

ВЫВОДЫ

1. Предложен комплексный подход к моделированию пространственных факторов для оценки инженерно-инфраструктурного обеспечения города, который отличается от существующих разработкой и применением геоинформационного инструментария. Разработаны

пространственные модели инженерно-инфраструктурного обеспечения территории города, включающие территориальные, экологические, энергетические, социально-экономические и другие характеристики, что позволило реализовать предложенный подход к моделированию пространственных факторов.

2. Определены подходы и разработан алгоритм моделирования, которые позволяют создать геоинформационную модель оценки уровня инженерно-инфраструктурного обеспечения для определенной территории в условиях ограниченного доступа к данным инженерных систем. Использование геоинформационных систем открывает возможность более детального рассмотрения моделей влияния пространственных факторов, позволяет повысить объективность решения поставленной проблемы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дехтяренко, Ю. Ф. Методичні основи грошової оцінки земель в Україні: наук. вид. / Ю. Ф. Дехтяренко, М. Г. Лихогруд, Ю. М. Манцевич. Киев: ПРОФІ, 2006. 624 с.
2. Лященко, А. А. Цифрове картографічне забезпечення грошової оцінки земель населених пунктів / А. А. Лященко, О. В. Ціпенко // Кадастр, фотограмметрія, геоінформатика – сучасні технології і перспективу розвитку: матеріали 2-ї Міжнар. наук.-практ. конф. Львів; Краків: НУ «Львівська політехніка», 2000. С. 82–92.
3. Лященко, А. Методика та практичні питання геоінформаційного моделювання врахування впливу локальних факторів на нормативно-грошову оцінку земельних ділянок / А. Лященко, Ю. Кравченко, Д. Горковчук // Землевпорядний вісник. 2015. № 11. С. 28–33.
4. Мамонов, К. А. ГИС-забезпечення у раціональному використанні земельних ресурсів міської забудови / К. А. Мамонов, С. Г. Нестеренко, К. І. Вяткін // Науковий вісник будівництва. 2016. Т. 86, № 4. С. 283–286.
5. Мамонов, К. А. Геоінформаційні системи в землеустрої: напрями, особливості та практика застосування в міському середовищі / К. А. Мамонов, С. Г. Нестеренко, К. І. Вяткін // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 2016. Вип. 166. С. 60–68.
6. Мамонов, К. А. Системи мобільного лазерного сканування в геоінформаційних технологіях / К. А. Мамонов, К. І. Вяткін, С. Г. Нестеренко // Комунальне господарство міст. Сер.: Технічні науки та архітектура. 2016. Вип. 132. С. 121–126.
7. Палеха, Ю. Н. Особенности использования ГИС-технологий в оценке территорий населенных пунктов

- Украины / Ю. Н. Палеха // Ученые записки Таврического национального университета имени В. В. Вернадского. География. 2003. Т. 16, № 1. С. 125–132.
8. Палеха Ю. Н. Применение ГИС-технологий в градостроительных проектах на государственном и региональном уровнях / Ю. Н. Палеха, А. В. Олещенко, И. В. Соломаха // Ученые записки Таврического национального университета имени В. В. Вернадского. Сер. География. 2012. Т. 25, № 1. Р. 155–166.
 9. Шипулин, В. Д. Основные принципы геоинформационных систем. / В. Д. Шипулин. Харьков: ХНАГХ, 2010. 337 с.
 10. Оцінка земель. Правила розроблення технічної документації з нормативної грошової оцінки земель населених пунктів: Стандарт Державного комітету України із земельних ресурсів СОУ ДКЗР 0032632-012:2009. Київ, 2009. 98 с.
 11. Порядок нормативної грошової оцінки земель населених пунктів [Електронний ресурс]: наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України, 25.11.2016, № 489 // Законодавство України. Режим доступа: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/RE29777.html
 12. Лурье, И. К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков / И. К. Лурье. М.: КДУ, 2008. 424 с.
 13. Митчелл, Э. Руководство по ГИС Анализ. Ч. 1: Пространственные модели и взаимосвязи / Э. Митчелл; пер. с англ. Киев: ЗАО ECOMM Co; Стилос, 2000. 198 с.
 14. Хаксхольд, В. Введение в городские геоинформационные системы / В. Хаксхольд; пер. с англ. М.: Дата+, 1998. 321 с.
 15. Legal Barriers to 3D Cadastre Implementation: What is the Issue? / S. Ho [et al.] // Land Use Policy. 2013. Vol. 35, No 1. P. 379–387.
 16. Oosterom, P. Research and Development in 3D Cadastres / P. Oosterom // Computers, Environment and Urban Systems. 2013. Vol. 40, No 1. P. 1–6.

Поступила 01.03.2017

Подписана в печать 10.05.2017

Опубликована онлайн 30.03.2018

REFERENCES

1. Dekhtyarenko Yu. F., Likhogroud M. G., Mantsevich Yu. M. (2006) *Methodological Foundations of Monetary Valuation of Land in Ukraine: Scientific Publication*. Kyiv, "PROFI" Publishing House. 624 (in Ukrainian).
2. Liashchenko A. A., Tsipenko O. V. (2000) Digital Cartographic Support of Monetary Valuation of Settlement Land. *Materials 2-nd International Scientific-Practical Conference "Cadastre, Photogrammetry, Geo-Informatics – Modern Technologies*

- and Prospects of Development”]. Lviv-Krakow, National University “Lviv Polytechnic”, 82–92 (in Ukrainian).
3. Liashchenko A., Kravchenko Yu., Gorkovchuk D. (2015) Methodology and Practical Issues of Geo-Modeling Taking into Account the Impact of Local Factors on Regulatory and Monetary Value of Land. *Zemlevporyadnii Visnik* [Land Management Journal], (11), 28–33 (in Ukrainian).
 4. Mamonov K. A., Nesterenko S. G., Vyatkin K. I. (2016) GIS-Provision for Rational Use of Land Resources in Urban Areas. *Naukovii Visnik Budivnitstva = Scientific Bulletin of Bulding*, 86 (4), 283–286 (in Ukrainian).
 5. Mamonov K. A., Nesterenko S. G., Vyatkin K. I. (2016) Geo-Informational Technologies in Land Planning: Directions, Special Aspects And its Practical Application in Urban Environment. *Zbirnik Naukovikh Prats' Ukraïns'kogo Derzhavnogo Universitetu Zaliznichnogo Transportu = Collected Scientific Works of Ukrainian State University of Railway Transport*, Is. 166, 60–68 (in Ukrainian).
 6. Mamonov K. A., Vyatkin K. I., Nesterenko S. G. (2016) Mobile Systems Laser Scanning Geoinformation Technologies. *Komunal'ne Gospodarstvo Mist = Municipal Economy of Cities*, Is. 132, 121–126 (in Ukrainian).
 7. Palekha Yu. N. (2003) Specific Features in Application of GIS-Technologies for Assessment of Settlement Territories in the Ukraine. *Uchenye Zapiski Tavricheskogo Natsional'nogo Universiteta imeni V. V. Vernadskogo. Geografiya = Scientific Notes of Taurida National V. I. Vernadsky University. Series Geography*, 16 (1), 125–132 (in Russian).
 8. Palekha Yu. N., Oleshchenko A. V., Solomaha I. V. (2012) Application of GIS Technology in Urban Development Projects at the National and Regional Levels. *Uchenye Zapiski Tavricheskogo Natsional'nogo Universiteta imeni V. V. Vernadskogo. Geografiya = Scientific Notes of Taurida National V. I. Vernadsky University. Series Geography*, 25 (1), 155–166 (in Russian).
 9. Shipulin V. D. (2010) *The Basic Principles of Geographic Information Systems*. Kharkiv, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. 337 (in Russian).
 10. SOU DKZR 0032632-012:2009 [Standard of the State Committee of Ukraine on Land Resources]. Land Valuation. *Rules and Regulations for Preparation of Technical Documentation with Standard Monetary Value of Settlement Land*. Kiev, 2009. 98 (in Ukrainian).
 11. Procedure for Standard Monetary Valuation of Settlement Land: Order of Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine, dated 25.11.2016 No 489. *Legislation of Ukraine*. Available at: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/RE29777.html (in Ukrainian).
 12. Lurie I. K. (2008) *Geo-Information Mapping. Methods for Geo-Informatics and Digital Processing of Space Images*. Moscow: KDU Publishing House. 424 (in Russian).
 13. Mitchell A. (1999) *The ESRI Guide to GIS Analysis. Volume 1: Geographic Patterns and Relationships*. ESRI Press. 190.
 14. Huxhold W. E. (1991) *An Introduction to Urban Geographic Information Systems*. Oxford University Press, New York. 337.
 15. Ho S., Rajabifard A., Stoter J., Kalantari M. (2013) Legal Barriers to 3D Cadastre Implementation: What is the Issue? *Land Use Policy*, 35 (1), 379–387. DOI: 10.1016/j.landusepol.2013.06.010.
 16. Oosterom P. (2013) Research and Development in 3D Cadastres. *Computers, Environment and Urban Systems*, 40 (1), 1–6. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2013.01.002.

Received: 01.03.2017

Accepted: 10.05.2017

Published online: 30.03.2018