

УДК 681.3

## Структурирование и агрегирование в системном анализе ресурсной обеспеченности территории

А.Б. Гнатюк<sup>1</sup>, В.Н. Ершов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУВПО «Ивановский филиал Владимирского юридического института ФСИН России»,  
Иваново, Российская Федерация

<sup>2</sup>ФГБОУВПО «Костромской государственный университет имени Н.А. Некрасова»,  
Кострома, Российская Федерация

E-mail: abg-07@mail.ru, yvn@ksu.edu.ru

### Авторское резюме

**Состояние вопроса:** При принятии управленческих решений по рациональному размещению предприятий необходимо учитывать большое количество объектов и факторов и наличие сложной структуры взаимодействий, имеющих различную физическую и социально-экономическую природу. Это связано со значительными методическими и технологическими проблемами, поэтому существующие методики учитывают, как правило, лишь несколько наиболее существенных факторов, что не позволяет с достаточной точностью решать данный класс пространственных задач.

**Материалы и методы:** Реализуется системная технология определения свойств территории с помощью моделей пространственного влияния объектов. Для формирования логической структуры многофакторной пространственной модели используется математический аппарат теории множеств. Для графической интерпретации результатов применяются методы геомоделирования.

**Результаты:** Предложена методика, основанная на использовании библиотеки функций пространственного влияния и формировании на их основе моделей пространственного влияния.

**Выводы:** В результате применения данной методики в значительной мере повышается конкретность и точность пространственного анализа, а также его практическая ценность. При использовании предлагаемой технологии моделирования может быть определено не только общее состояние территории, но и вклад в него отдельных составляющих (например, энергообеспеченности, транспортной доступности и др.).

**Ключевые слова:** системная технология оценки свойств территории, геомоделирование, пространственный анализ, функции пространственного влияния.

## Structurization and Aggregation in System Analysis of Territory Resources Supply

A.B. Gnatyuk<sup>1</sup>, V.N. Ershov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ivanovo Branch of Vladimir Juridical Institute, Ivanovo, Russian Federation

<sup>2</sup>Kostroma State University, Kostroma, Russian Federation

E-mail: abg-07@mail.ru, yvn@ksu.edu.ru

### Abstract

**Background:** It is necessary to consider a large number of objects and factors and existence of difficult structure of interactions and the interferences between them which have various physical and social and economic nature when administrative decisions on rational placement of the enterprises are accepted. It is connected with the considerable methodical and technological problems. Therefore, the existing techniques consider, as a rule, only some of the most essential factors that do not allow to solve the spatial tasks with sufficient accuracy.

**Materials and methods:** The system technology of determination of territory properties by means of models of spatial influence of objects is applied. The mathematical apparatus of the theory of sets is used for formation of logic structure of multiple-factor spatial model. Geomodelling methods are used for graphic interpretation of results.

**Results:** The technique based on the usage of library of functions of spatial influence and formation on their basis of models of spatial influence is offered.

**Conclusions:** The concretion and accuracy of the spatial analysis, and its practical value considerably increase as a result of application of this technique. It can be defined not only the general condition of the territory, but also a contribution of separate components to resource security of the territory (for example, power security, transport availability, etc.) when using offered technology of modeling.

**Key words:** system technology of an assessment of territory properties, geomodelling, spatial analysis, functions of spatial influence.

При принятии управленческих решений по рациональному размещению предприятий в первую очередь необходимо обеспечить возможность ресурсного обеспечения планируемого производства: обеспеченность электроэнергией, газом, водой; наличие необходимой

транспортной инфраструктуры. Также, принимая во внимание такую системную закономерность, как баланс энтропии, требуется учитывать состояние природной среды (экологию) и ее потенциальные возможности к самовосстановлению. Территориальная система относит-

ся к классу сложных систем ввиду большого количества объектов и факторов, влияющих на принятие решения, и наличия сложной структуры взаимодействий, имеющих различную физическую и социально-экономическую природу. Это диктует необходимость применения системной технологии для оценки свойств территории с позиции определения места размещения предприятий, включающей в себя следующие этапы [1]:

1) структурирование, т.е. представление территориальной системы в виде множества взаимодействующих между собой элементов и осуществление функциональной, компонентной и структурной декомпозиции;

2) анализ (функционально-структурный, морфологический, генетический и др.), в результате которого реализуется формирование детального представления территориальной системы;

3) синтез, с помощью которого, исходя из общесистемной закономерности эмерджентности или целостности, определяются интегральные свойства территории и оцениваются варианты альтернативных решений.

Особенностью рассматриваемой системной задачи является координатная или географическая привязка объектов (элементов) к заданной территории, поэтому в основных методах исследования необходимо использовать геоинформационные технологии.

Современные геоинформационные системы имеют достаточно развитый арсенал стандартных функций пространственного анализа [2]. Однако их применение для решения рассматриваемой задачи связано с большими методическими и технологическими проблемами. Показательным в этом отношении является попытка провести исследование по выявлению факторов и закономерностей размещения предприятий торговли электроникой на территории г. Ижевска [3]. Для определения наилучшего расположения предприятия необходимо учитывать географическое положение участка, его физические характеристики, в том числе доступность объекта; транспортную и социальную инфраструктуру микрорайона. При оценке влияния объектов социальной инфраструктуры на будущий торговый объект необходимо проанализировать соотношение размещения этих объектов с посещением торгового центра. Например, промышленные предприятия могут негативно влиять на посещаемость торгового центра с точки зрения экологии, но их работники являются потенциальными посетителями торгового центра. Неоднозначное влияние на торговлю могут оказывать места отдыха на природе (парки, пляжи), поскольку их посещение зависит от погодных условий и сезонности. Размещение в непосредственной близости от торгового объекта крупных транспортных узлов (ж/д вокзалов, автово-

кзалов и др.), а также остановок общественно-го транспорта имеет позитивное влияние. Однако, учитывая сложность пространственного анализа, были выбраны только три фактора: это платёжеспособность населения, плотность населения в данном микрорайоне города и развитие транспортной сети. В итоге для определения наиболее эффективных мест положения торговых предприятий мы ограничились лишь методами, базирующимися на вычислениях средних плотностей этих трех факторов, что даже в первом приближении не позволило с достаточной точностью решить поставленную задачу.

Отличие предлагаемой методики состоит в использовании *функций пространственного влияния* и формируемых на их основе *моделей пространственного влияния* [2]. Эти функции могут отражать физические процессы и явления или, например, социальные и экономические значения, а также экспертные предпочтения. В случае, если объект точечный, модель пространственного влияния графически представляется в виде возвышенности или впадины. В случае линейного объекта модель представляется в виде хребта или оврага, в случае площадных объектов – в виде плоской возвышенности или впадины.

Универсальность рассмотренной методики очевидна. Задача общей оценки территории в наиболее простом случае заключается в том, чтобы просуммировать в каждой точке факторы влияния от каждого из объектов на этой территории. Данная методика позволяет учесть «в индивидуальном порядке» все значимые для решаемой задачи объекты, используя единую технологию. Таким образом, снимаются методологические и технологические проблемы и ограничения по степени детализации учитываемых объектов и факторов. За счет этого в значительной мере повышается конкретность и точность пространственного анализа, а также его практическая ценность.

Рассмотрим более подробно системную технологию определения свойств территории с помощью моделей пространственного влияния объектов. Для формирования логической структуры многофакторной пространственной модели используется математический аппарат теории множеств.

Пусть задано некоторое конечное множество объектов  $Q = \{q_j\}$ ,  $i \in I$ , где  $I = \{1, 2, \dots, n\}$ ,  $n$  – общее число топологических объектов, принадлежащих исследуемой территории и оказывающих влияние на ее состояние. Цель – из предварительного анализа множества

$$Q = \bigcup_{i=1}^n Q'_i, \quad Q'_i \in Q$$

выделить набор подмножеств  $Q'_i$ , характеризующих исследуемую территорию наиболее полно по каким-либо факторам (загрязнение территории, обеспеченность теплом, уровень

экономического развития, уровень энергообеспеченности и т.п.).

Для проведения первого этапа – структурирования системы – необходимо классифицировать ее элементы. Географические объекты характеризуются одним или более атрибутами, которые определяют, что собой представляет объект, описывают его качественные и количественные абсолютные или относительные характеристики. Значения атрибутов включают категории, которые представляют группы схожих объектов, ранги, структурирующие объекты по порядку, от большего к меньшему, числовые или количественные характеристики, относительные значения, показывающие взаимосвязь между количественными величинами.

Исходя из данного способа структуризации объектов разработана следующая методика проведения декомпозиции. Каждый элемент множества  $Q$  характеризуется рядом качественных и количественных атрибутов, по которым и будем разбивать его на подмножества  $Q'_j$ . Структурируем эти атрибуты следующим образом: подмножество атрибутов топологической однородности  $T$ , характеризующее геометрические (пространственные) свойства объекта; подмножество  $A$ , характеризующее принадлежность объекта к одному рангу или к одной тематической принадлежности; подмножеств  $F_v$ , характеризующее вид функции влияния объекта на территорию; подмножество  $Z$ , определяющее знаковую идентичность, т.е. одинаковость знаков величины положительного или отрицательного влияния, оказываемого объектом на территорию. Рассмотрим подробнее каждый из признаков.

*Топологическая однородность* – это признак, характеризующий объект по тому, как он описывается на цифровой карте, т. е. к какому классу плоских геометрических фигур данный объект может быть отнесен при описании его в цифровой модели ГИС: точка, линия, полигон. Соответственно, по топологической однородности все множество топологических объектов разбиваем на три класса эквивалентности по представителям:  $t_1$  – точечные объекты;  $t_2$  – линейные объекты;  $t_3$  – полигональные объекты: множество точечных объектов  $T_1 = \{q_i \in Q \mid q_i \sim t_1\}$ ; множество линейных объектов  $T_2 = \{q_i \in Q \mid q_i \sim t_2\}$ ; множество полигональных объектов  $T_3 = \{q_i \in Q \mid q_i \sim t_3\}$ . Так как разбиение по данному признаку основано на ограничении, налагаемом технологией ГИС, этот признак имеет наивысший приоритет.

Непосредственное применение предложенной технологии приведет к тому, что каждый из рассматриваемых признаков разбивает множество топологических объектов  $Q$  на классы эквивалентности по представителям. Однако ни один из классов в отдельности, как правило, не является тематическим слоем, а тем более мо-

норельефом. Чтобы получить последнее (монорельефы), необходима последовательная декомпозиция множества объектов по соответствующим признакам (атрибутам) на классы эквивалентности по представителям с учетом расставленных приоритетов.

Декомпозиция по признаку топологической однородности  $T$  формально описывается следующим образом:

$$Q = \bigcup_{j=1}^3 Q_j,$$

где  $Q_j = \{q_i \in Q \mid q_i \sim t_k\}$ ,  $k = 1, 2, 3$ .

Каждое из полученных подмножеств  $Q_j$  декомпозируются на классы на основе признака тематической принадлежности  $A$ :

$$Q_j = \bigcup_{k=1}^{N_j} Q_{j,k},$$

где  $Q_{j,k} = \{f_i \in F \mid f_i \sim t_j^* \text{ и } f_i \sim a_k^*\}$ ;  $N_j$  – число тематических сущностей;  $a_k^*$  – свойство (атрибут), на основе которого и разбиваются множества  $Q_j$ .

Каждое из  $Q_{j,k}$ , в свою очередь, декомпозируется по идентичности (одинаковости) функций пространственного влияния  $F_v$ :

$$Q_{j,k} = \bigcup_{x=1}^{N_{j,k}} Q'_{j,k,x},$$

где  $Q_{j,k,x} = \{q_i \in Q \mid q_i \sim t_j^* \text{ и } q_i \sim a_k^* \text{ и } q_i \sim \varphi_x^*\}$ ;  $N_{j,k}$  – число видов функций влияния.

Далее  $Q_{j,k,x}$  декомпозируется по признаку знаковой идентичности  $Z$ :

$$Q_{j,k,x} = \bigcup_{m=1}^2 Q_{j,k,x,m},$$

где  $Q_{j,k,x,m} = \{q_i \in Q \mid q_i \sim t_j^* \text{ и } q_i \sim a_k^* \text{ и } q_i \sim \varphi_x^* \text{ и } q_i \sim z_m^*\}$ ,  $z_m^*$  – знак, по которому декомпозируются множества  $Q_{j,k}$  на два класса – положительное и отрицательное влияние.

На рисунке представлен описанный алгоритм декомпозиции множества исходных объектов на тематические подмножества, из которых с помощью функций пространственного влияния формируются тематические слои, или монорельефы. Алгоритм является рекурсивным, так как декомпозиция по признакам  $A$  (тематической принадлежности) и  $F_v$  (функциональной идентичности) не всегда является однозначной.

Следующим этапом системного исследования свойств территории является агрегация, в результате которой определяются результирующие интегральные свойства территории. Для этого необходимо определить действие или влияние каждого объекта подмножества  $Q'_{j,k,x,m}$  на прилегающую территорию с помощью функции пространственного влияния:

$$s_{i,j,k,x,m} = f(S_{j,k,x,m}, r_{ij}, \alpha_{ij}),$$

где  $s_{i,j,k,x,m}$  – свойство текущей  $i$ -й точки исследуемой территории или элемента  $w_i$  множества  $W$ , на которое разбивается данная территория, от действия или влияния  $j$ -го объекта;  $S_{j,k,x,m}$  – физически измеряемая или оценочная величина

на (весовой фактор) свойства объекта подмножества  $Q'_{j,k,x,m}$  в точке или точках его пространственного положения;  $r_{ij}$  и  $\alpha_{ij}$  – расстояние и направление между  $i$ -й точкой и  $j$ -м объектом.

Для получения интегрального результата действия объектов подмножества  $Q'_{i,j,k,x,m}$  необходимо просуммировать в каждой  $i$ -й точке величину влияния  $S_{i,j,k,x,m}$  от каждого из объектов, принадлежащих подмножеству  $Q'_{j,k,x,m}$  на этой территории. В результате определяется агрегированная (интегральная) оценка свойства  $i$ -й точки территории:

$$S_{i,j,k,x} = \bigcup_{N_{j,k,x}} S_{i,j,k,x,m}$$

Геоинформационная интерпретация модели, отражающей обобщенное влияние на территорию объектов, принадлежащих к одному рангу, представляет собой монорельеф. Монорельеф по существу является трехмерным координатно-локализованным графиком, который показывает изменение величины влияния определенного фактора на всей протяженности территории.

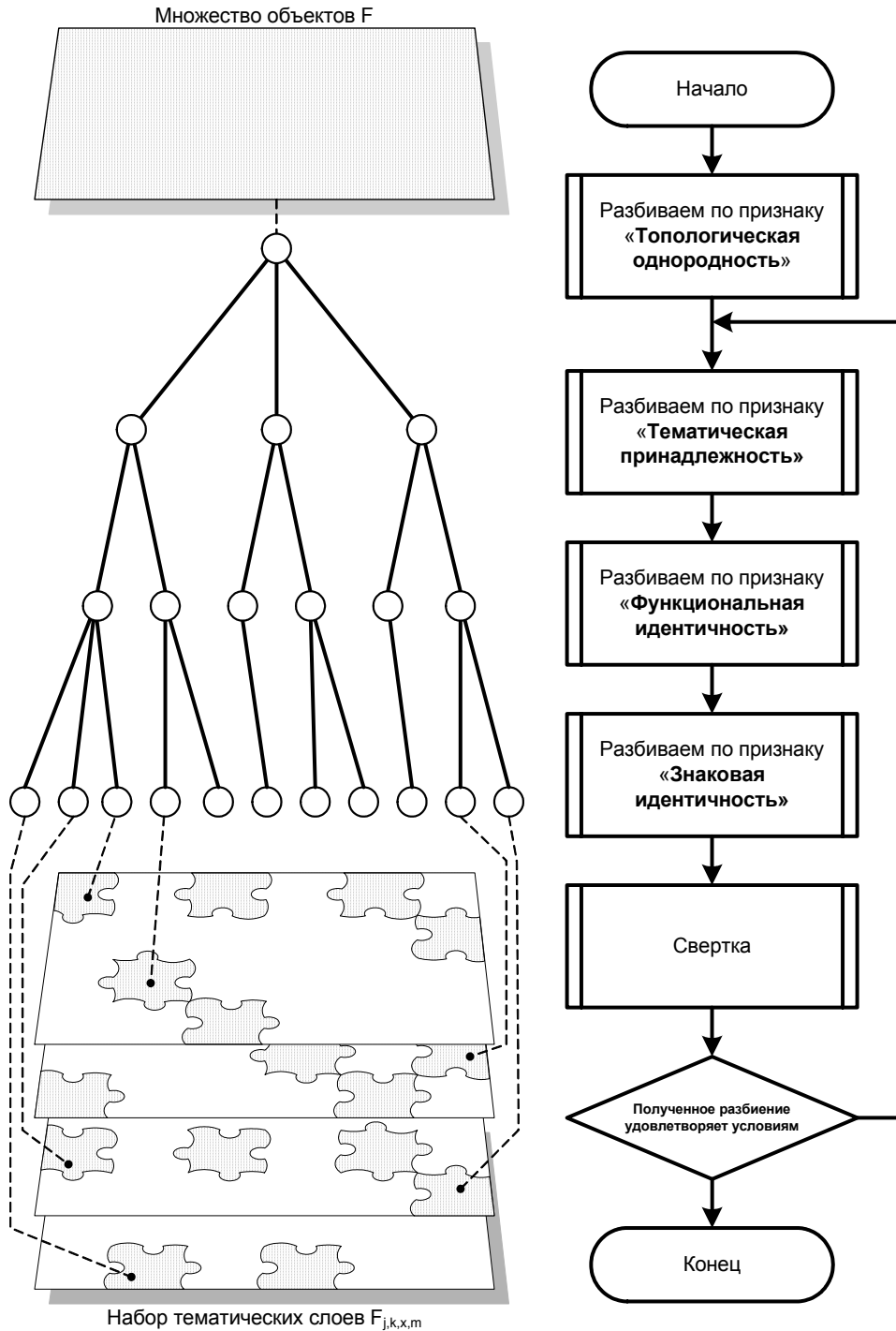


Рис. 1. Декомпозиция множества объектов  $Q$  на подмножества  $Q_{i,j,k,m}$

Для определения общего свойства территории необходимо агрегировать действие отдельных тематических или однофакторных слоев оценки:

$$S_i = f_{\Sigma}(S_{i1}, S_{i2}, \dots, S_{ij}, \dots, S_{iN}),$$

где  $S_{ij} = \sum_{j=1}^N k_j s_{ij}$  – результирующее свойство

элементов  $w_i$ , на которые разбивается исследуемая территория;  $k_j$  – размерный коэффициент (коэффициент значимости  $j$ -го тематического слоя (монорельефа)).

Функция объединения  $f_{\Sigma}$  (суммирования) может включать логические операции, например, при оверлейных построениях. В общем случае функция  $f_{\Sigma}$  является нелинейной в зависимости от величины влияния отдельных объектов.

Графически пространственная модель интегральной оценки представляет собой результирующий суммарный рельеф (полирельеф), представляющий трехмерный координатно-локализованный график плотности свойств территории.

При использовании предлагаемой технологии моделирования может быть определено не только общее состояние территории, но и вклад отдельных составляющих: энерго-

обеспечения, транспортного развития, степени урбанизации и т.п., что позволит получить решение не только по рациональному размещению предприятия, но и по необходимому развитию инфраструктуры.

#### Список литературы

1. **Анфилатов В.С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А.** Системный анализ в управлении. – М.: Финансы и статистика, 2001.
2. **Гнатюк А.Б., Староверов Б.А.** Геоинформационные системы и их применение в управлении территориально распределенными объектами. – Кострома: КГТУ, 2006.
3. **Габдуллин В.М., Кибедин Г.М.** Поиск максимально эффективных средств расположений предприятий // Вестник Удмуртского университета. – 2010. – Вып. 1.

#### References

1. Anfilatov, V.S., Emel'yanov, A.A., Kukushkin, A.A. *Sistemnyy analiz v upravlenii* [System Analysis in Management]. Moscow, Finansy i statistika, 2001.
2. Gnatyuk, A.B., Staroverov, B.A. *Geoinformatsionnye sistemy i ikh primeneniye v upravlenii territorial'no raspredelenymi ob'ektami* [Geoinformation Systems and Their Application in Management of Territorially Distributed Objects]. Kostroma, KGTU, 2006.
3. Gabdullin, V.M., Kibadin, G.M. *Poisk maksimal'no effektivnykh sredstv raspolozheniy predpriyatiy* [Searching of the Most Effective Arrangements of Enterprises]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta*, 2010, issue 1.

*Гнатюк Анна Борисовна,*

Ивановский филиал Владимирского юридического института ФСИН России,  
кандидат технических наук, доцент кафедры гуманитарных и социально-экономических дисциплин,  
e-mail: abg-07@mail.ru

*Ершов Владимир Николаевич,*

Костромской государственный университет имени Н.А. Некрасова,  
кандидат технических наук, проректор по информатизации и инновационному развитию,  
e-mail: yvn@ksu.edu.ru