

Гидрометеорология и экология. 2025. № 78. С. 128—139.
Hydrometeorology and Ecology. 2025;(78):128—139.

ГЕОИНФОРМАТИКА

Научная статья
УДК [528.9:004.9]:001.8
doi: 10.33933/2713-3001-2025-78-128-139

Метод учета имплицитного окружения при проведении ситуационного анализа в ГИС

Денис Федорович Миляков

АО «Научный центр прикладной электродинамики» (НЦ ПЭ), Россия, Санкт-Петербург,
denism@navis.spb.su

Аннотация. В статье рассматривается метод учета пространственно-распределенных имплицитных (неявно заданных) данных при динамическом моделировании пространства с использованием геоинформационных систем. Предлагается достаточно простой метод эластичного послыонного связывания неявных параметров, способных оказать существенное влияние на результат моделирования и снизить воздействие субъективного фактора на эффективность принимаемого решения. Окончательное решение остается за ответственным лицом. Метод применим при наличии избыточных цифровых данных и более полной модели взаимосвязей для анализа геоинформационной обстановки, при этом его использование не требует значительных вычислительных ресурсов ГИС.

Ключевые слова: геоинформационные системы, теория информации, моделирование ситуации, теория принятия решений, топология.

Для цитирования: Миляков Д. Ф. Метод учета имплицитного окружения при проведении ситуационного анализа в ГИС // Гидрометеорология и экология. 2025. № 78. С. 128—139. doi: 10.33933/2713-3001-2025-78-128-139.

GEOINFORMATICS

Original article

Method for taking into account the implicit environment when conducting situational analysis in GIS

Denis F. Milyakov

Scientific Center for Applied Electrodynamics, Russia, St. Petersburg

Summary. When modeling a situation and the dynamics of its development using geographic information systems, the main attention when solving the target problem is paid to spatially distributed explicit parameters, which, as a rule, determine the spatial representation of the development of the situation and its dynamics appropriate recommendations for decision-making. The methodology for taking into account implicit parameters, which are also available in database of geographic information system, either is absent or assigned to

© Миляков Д. Ф., 2025

the decision maker. This article proposes a simple method for elastic layer-by-layer linking of implicit parameters that can have a significant impact on the modeling result and, if not eliminated, then reduce the influence of the subjective factor on the effectiveness of the decision made. The method based of the elasticity function, parameters of which are presented in the matrix form of layer connectivity. Working with matrices and reducing elasticity do not require GIS computing resources. The method is applicable in the presence of redundant digital data and a more complete model of relationships for analysis the geoinformation environment data. The purpose of this modeling method is to reduce the influence of the subjective factor on the effectiveness of the decision being made. At the same time, the decision itself should remain with the responsible person.

Keywords: geoinformation management, information theory, situation modeling, decision theory, topology, linearly connected space.

For citation: Milyakov D. F. Method for taking into account the implicit environment when conducting situational analysis in GIS. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2025;(78):(128—139). doi: 10.33933/2713-3001-2025-78-128-139. (In Russ.).

Введение

Географические информационные системы (ГИС) существуют уже более 30 лет. Возможности ГИС в области пространственного анализа позволяют получать информацию о реальных объектах на поверхности Земли более оперативно и наглядно, а также создать новые данные, когнитивно недоступные прежде [1]. Аналитические возможности ГИС помогают выяснить, чем обусловлено местоположение определенных объектов и какие между ними связи. Методы ГИС анализа позволяют отобрать объекты по совокупности признаков, скомпилировать и визуализировать в виде оверлеев над картой представление того или иного целевого показателя. Обладание этой новой информацией помогает глубже оценить причины выбора местоположения объекта, найти наилучшее решение целевых задач, оперирующих пространственно-распределенными данными, заранее быть готовым к грядущим событиям и условиям.

Параллельно тому, как географические данные становятся более широко доступными, а программное обеспечение ГИС становится более совершенным, эффективность ГИС анализа может быть также существенно повышена за счет совершенствования используемых моделей и методов анализа, всё более приближая ГИС к автоматизированным системам управления.

Для решения задач моделирования с использованием ГИС основное внимание при решении целевой задачи уделяется пространственно-распределенным явным и значимым параметрам, оказывающим решающее влияние на результат моделирования. В зависимости от поставленной задачи и методов ее решения при использовании пространственных данных, которыми обладает избранная для моделирования ГИС, выбирается совокупность анализируемых параметров или признаков, которая наиболее адекватно определяет исход целевой задачи. Такие параметры можно отнести к эксплицитным [2], т. е. явным, понятным, ярко выраженным, имеющим внешнее материальное выражение [3]. Например, для определения зоны подтопления при разливе водоемов эксплицитным будет параметр изобаты близлежащих территорий.

Противоположный эксплицитному параметру имеет смысл имплицитный параметр [2], т. е. не проявляющийся явно; содержащийся скрытно, не обнаруживающийся при поверхностном наблюдении фактор. Данные, которыми наполнена и

оперирует некоторая избранная ГИС, могут иметь различный тип и описываться множеством параметрических величин, главным условием применимости которых является возможность их пространственного распределения, географической привязки к поверхности Земли. Логично предположить, что в зависимости от моделируемой задачи оператор методически определяет, какие данные ГИС являются эксплицитными, при этом другая часть имеющихся в ГИС данных автоматически попадает в противоположную категорию. Полноценный учет имплицитных параметров может быть необоснованно ресурсоемким и избыточным при реализации моделирования в ГИС, однако и полное их игнорирование способно привести к критически негативным последствиям. Данное противоречие преодолевается, как правило, субъективным анализом, иными словами — участием человека. Мы же ставим задачу формализовать учет такого рода признаков именно средствами и методами, присущими ГИС, основу которых составляют электронные картографические системы.

В апреле 2024 г. в г. Орске Оренбургской области произошло одно из самых крупных наводнений за последний век, одной из причин которого считаются обильные снегозапасы по итогам прошедшей зимы. Прорыв дамбы 3 апреля на реке Урал привел к наводнению в городе, равного которому не было около 70 лет. Ранее на этой же реке произошло наводнение в Казахстане, из-за чего властям соседней страны пришлось повысить сброс воды в водохранилищах, что усугубило ситуацию в Оренбуржье. Анализ информационных сообщений о развитии чрезвычайных паводковых ситуаций на территории России в 2024 г. и работы МЧС указывает на то, что роль применяемых ГИС для прогнозирования развития ситуации недостаточна. Очевидно, что при симуляции развития наводнения или паводка рек ГИС хорошо справляется с предсказанием областей подтопления на основе данных о рельефе местности. Однако целевой функцией решаемой задачи прогнозирования в данном случае должна быть безопасность населения и минимизация ущерба инфраструктуры в условиях ограниченности ресурсов и времени. При этом значения таких имплицитных данных, как дорожная, промышленная, социальная инфраструктура, плотность населения, гидрометеорологическая обстановка, объекты особого назначения становятся доминирующими при принятии ситуационных решений, которые пока целиком базируются на субъективном опыте.

Цель работы состоит в представлении метода эластичного послойного связывания неявных параметров, которые способны оказать существенное влияние на результат моделирования и снизить влияние субъективного фактора на эффективность принимаемого решения.

Постановка задач учета имплицитного окружения

В новейшей истории появились технические основы для компьютерной симуляции, учитывающей политические, социальные и экономические параметры среды, основанные на программных продуктах, не использующих технологии ГИС. Мы же ставим задачу формализовать учет такого рода признаков именно средствами и методами, присущими ГИС, основу которых составляют электронные картографические системы.

Сложившимся, устоявшимся и понятным для пользователя элементом компоновки однородных признаков в ГИС является понятие слоев с уже принятым инструментарием работы с ними [4]. Включая или отключая слои признаков, оператор дополняет картографическую основу наборами тех или иных распределенных в пространстве данных, анализ и визуализацию которых ему требуется произвести. По аналогии с географическими признаками профиля высот, дорожной инфраструктуры, спутниковыми снимками местности и т. п. можно таким же образом включать и визуализировать данные социальной, экономической или любой другой сферы деятельности человека, например, плотность населения, многочисленные экономические показатели, результаты социальных опросов и т. п. [5]. Ситуационный анализ и оперативное планирование как отдельный процесс определенно привязаны к картографической основе, поэтому наилучшим образом визуализируются как самостоятельный кластер характерных ему слоев.

Понятно, что в интересах полноценной оценки и эффективного планирования деятельности на ограниченной территории помимо формализованных тактических и технических признаков ограниченных ресурсов, влияние на принимаемые решения оказывают не только топология рельефа местности, гидрометеорологическая обстановка, но и множество компонентов социальной, политической, экономической и даже духовной сфер. Ярким примером такого рода факторов является лояльность населения к институтам исполнительной власти, учет которой часто играет значительную роль, но пока не является предметом цифровизации. Учет влияния такого рода — вопрос решаемый, но для включения его в модель требуется не просто вербальная оценка, а именно оцифровка такого рода признаков. Методический подход к цифровизации подобного рода лингвистических переменных уже практически отрабатывается в теории нечетких множеств [6]. На данном этапе нам не важна академическая классификация всех возможных признаков, но она понадобится в дальнейшем при реализации методов кластеризации (объединении) однотипных слоев признаков в представлении ГИС.

Метод учета имплицитного окружения

Факторный анализ предполагает наличие тесной, математически строгой, функциональной связи между одним или несколькими факторами влияния и анализируемым итоговым показателем. Возникает вопрос, какие имплицитные факторы и зачем следует учитывать при формировании рабочей модели. На существующем уровне ГИС анализа этот вопрос полностью относится к компетенции оператора, который сегодня выполняет несколько итераций моделирования для рассмотрения многофакторной модели, не забывая о наличии имплицитного окружения. С дальнейшим развитием автоматизации ГИС предложенный метод позволит сократить число итераций моделирования.

В новейшей истории появились технические основы для компьютерной симуляции, учитывающей политические, социальные и экономические параметры среды, основанные на программных продуктах, не использующих технологии

ГИС. Мы же ставим задачу формализовать учет такого рода признаков именно средствами и методами, присущими ГИС, основу которых составляют электронные картографические системы.

Сложившимся и понятным для пользователя элементом компоновки однородных признаков в ГИС является понятие слоев с уже принятым инструментарием работы с ними [4]. Включая или отключая слои признаков, оператор дополняет картографическую основу наборами тех или иных распределенных в пространстве данных, анализ и визуализацию которых ему требуется произвести. По аналогии с географическими признаками профиля высот, дорожной инфраструктуры, спутниковыми снимками местности можно таким же образом включать и визуализировать данные социальной, экономической или любой другой сферы деятельности человека, например, плотность населения, многочисленные экономические показатели, результаты социальных опросов и т. п. Ситуационный анализ и оперативное планирование как отдельный процесс определенно привязаны к картографической основе и наилучшим образом визуализируются как самостоятельный кластер характерных ему слоев [7].

В интересах полноценной оценки и эффективного планирования деятельности на ограниченной территории, помимо формализованных тактических и технических признаков ограниченных ресурсов, влияние на принимаемые решения оказывают не только топология рельефа местности, гидрометеорологическая обстановка, но и множество компонентов социальной, политической, экономической и даже духовной сфер.

Для описания методов моделирования ГИС с учетом слоев имплицитных признаков предлагается отойти от полносвязанных методов обработки геопространственных данных слоя и предложить математическую модель эластичной связи, для понимания которой ограничимся рассмотрением примера ниже [4]. Сделаем предположение, что наш экономический кластер состоит из нескольких слоев (рис. 1):

— промышленная инфраструктура (И) — совокупность объектов (здания, сооружения) недвижимого имущества, транспортной и коммунальной инфраструктуры для осуществления деятельности в сфере промышленности;

— производственные мощности (М) — средства производства, представляющие значение как источник пополнения или восстановления ресурсов, потребляемых в процессе конфликта;

— производственные ресурсы (Р) — накопленные или сосредоточенные на определенной территории источники производства (за исключением человеческого ресурса), представляющие интерес для анализа ситуации;

— опасные промышленные объекты (ОО) — объекты промышленной инфраструктуры, при разрушении которых высок риск аварий, опасных для жизни человека;

— объекты сферы распределения (ОР) — объекты недвижимости, определяющие процесс распределения ресурсов по потребителям, например, телевышки, банки, продовольственные и промышленные склады, водонапорные и насосные станции и т. п.;

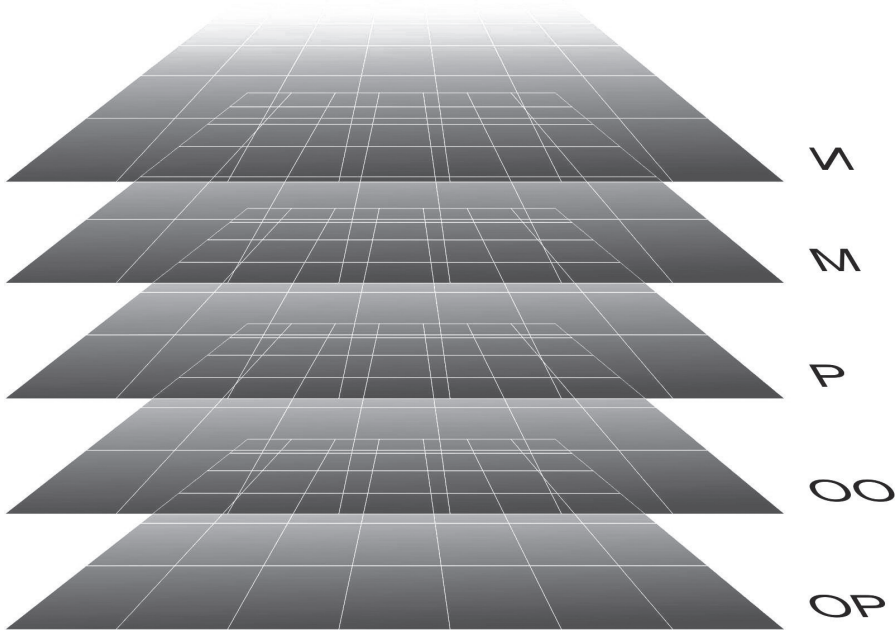


Рис. 1. Слои экономического кластера.

Fig. 1. Layers of an economic cluster.

— объекты сферы потребления (ОП) — в нашем примере считаем объекты недвижимости, выступающие как центры притяжения потребителей, например, магазины, культурные, торговые и развлекательные центры и т. п.

Каждый слой кластера несет информацию об объектах своего назначения, которую можно представить в виде матрицы плотностей распределения целевого параметра (нескольких параметров) [7]. Размерность матрицы плотностей распределения целевого параметра кратна ячейке или единицам оцифровки географической сетки координат, что поддерживает возможность масштабирования и обеспечения единого математического аппарата связанности.

$$\begin{bmatrix} I_{11} & I_{12} & \dots & I_{1n} \\ I_{21} & I_{22} & \dots & I_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ I_{m1} & I_{m2} & \dots & I_{mn} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где I_{mn} — усредненный целевой параметр слоя или вектор параметров для выбранной ячейки географической сетки координат.

Визуализацию распределения плотностей параметров на плоскости выполняют различными методами, например, плотностью окраски областей градиентом или цветовой гаммой в виде изолиний значения параметра (рисунки 2 а, 2 б) и т. п.

В случае визуализации матрицы распределения плотностей параметров удобнее использовать дополнительную сетку, значения параметров которой визуализируются высотой над плоскостью соответствующего уровня (рис. 2 *в*).

Целевой параметр ячейки слоя характеризует некоторый значимый для результирующей функции аргумент, который может быть выражен в абстрактных и достаточно конкретных значениях. Целевой параметр может быть представлен строкой-вектором $I_{mn} = \{I_{mn}, \dots, I_{kn}\}$, иными словами, массивом параметров. Выбор конкретного типа параметра при этом определяется методологией операций в задачах моделирования.

Простым абстрактным территориально связанным целевым параметром I_{mn} для слоя И может являться, например, индекс плотности объектов промышленной инфраструктуры, определяемый в диапазоне от 0 (полного отсутствия объектов) до 100 (максимально возможной плотности объектов) в соответствующей ячейке георегиона.

Аналогичным целевым параметром для остальных слоев кластера примем параметры согласно табл. 1.

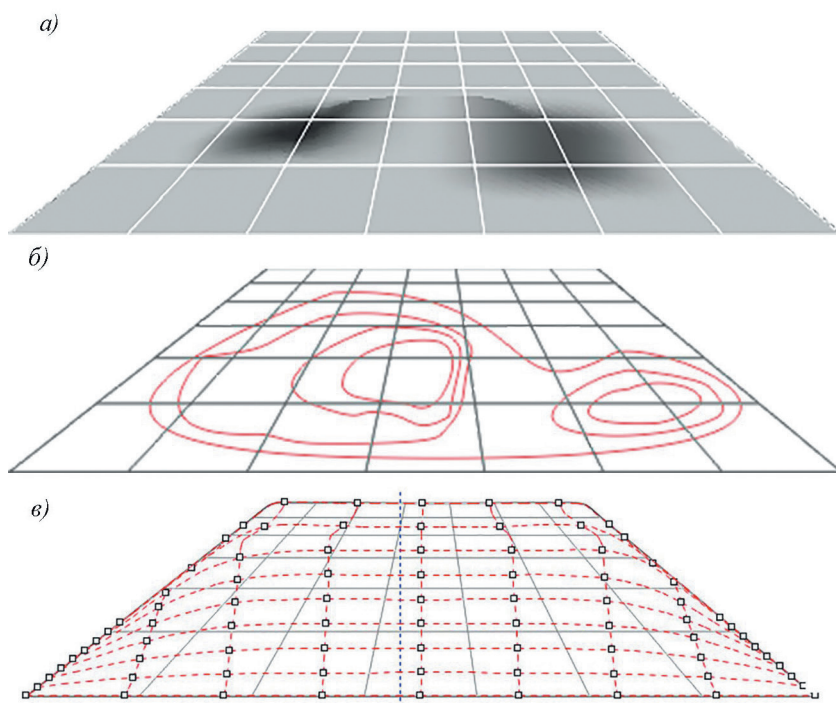


Рис. 2. Визуализация плотностей параметров слоя:
а) градиентом, *б*) изолиниями, *в*) сеткой поверхности.

Fig. 2. Visualization of layer parameter densities:
a) gradient, *b*) isolines, *c*) surface grid.

Таблица 1

Целевые параметры слоев экономического кластера
Target parameters of economic cluster layers

Слой	Размерность	Целевой параметр
промышленная инфраструктура	0—100	индекс плотности объектов промышленной инфраструктуры
производственные мощности	0—100	индекс плотности объектов, обеспечивающих производство и ремонт строительной техники
производственные ресурсы	ед. объема / ед. времени	количество потребляемых ресурсов за единицу времени, массив значений по типу ресурсов: углеводороды, вода, металлы, древесина и т.п.
опасные промышленные объекты	категории от 1—5	наличие категориальных объектов согласно ФЗ от 21.07.1997 №116-ФЗ
объекты сферы распределения	целое число	сумма категорий значимости объектов в ячейке
объекты сферы потребления	целое число	сумма категорий значимости объектов в ячейке

Закономерно, что все слои экономического кластера связаны между собой [8]. Изменение во времени или пространстве (ячейке) целевого параметра одного из слоев очевидно влияет на изменение целевых параметров других слоев. Степень влияния и характер зависимости между слоями при различных размерностях целевых параметров нелинейная и наилучшим образом описывается функцией эластичности. В этом случае для каждой пары слоев корреляционную функцию G целевых параметров для любого элемента матриц ($M_{И}, M_{М}, M_{Р}, M_{ОО}, M_{ОР}$) на момент времени T можно записать упрощенно функциями:

$$\begin{cases} G_M^И(T) = \langle M_{И} [I_{mn}(T)] M_{М} [I_{mn}(T)] \rangle = E_M^И \\ G_P^И(T) = \langle M_{И} [I_{mn}(T)] M_{Р} [I_{mn}(T)] \rangle = E_P^И \\ G_P^M(T) = \langle M_{М} [I_{mn}(T)] M_{Р} [I_{mn}(T)] \rangle = E_P^M \\ \dots \end{cases} \quad (2)$$

где $M_{И} [I_{mn}(T)]$ — значение целевого параметра ячейки I_{mn} слоя И в момент времени T ; E — функция эластичности, определяемая отношением:

$$E_M^И = \frac{\Delta M_{И} [I_{mn}](\text{проценты})}{\Delta M_{М} [I_{mn}](\text{проценты})} = \frac{\Delta M_{И} [I_{mn}]}{M_{И} [I_{mn}]} \cdot \frac{\Delta M_{М} [I_{mn}]}{M_{М} [I_{mn}]} = \frac{\Delta M_{И} [I_{mn}]}{\Delta M_{М} [I_{mn}]} \times \frac{M_{М} [I_{mn}]}{M_{И} [I_{mn}]}, \quad (3)$$

где $\Delta M_{М} [I_{mn}]$ — величина изменения целевого параметра слоя М, $M_{М} [I_{mn}]$ — абсолютное значение целевого параметра ячейки mn слоя М.

Качественная характеристика степени влияния слоев друг на друга в данном случае описывается просто: если модуль эластичности $|E_M^И| = 0$, то изменение параметра в слое М никак не влияет на параметр слоя И, если $1 > \|E_M^И\| < \infty$, то изменение параметра в слое М существенно влияет на параметр слоя И, отрицательная эластичность меняет направление влияния.

Иллюстрация вариантов зависимостей между двумя слоями приведена на рис. 3.

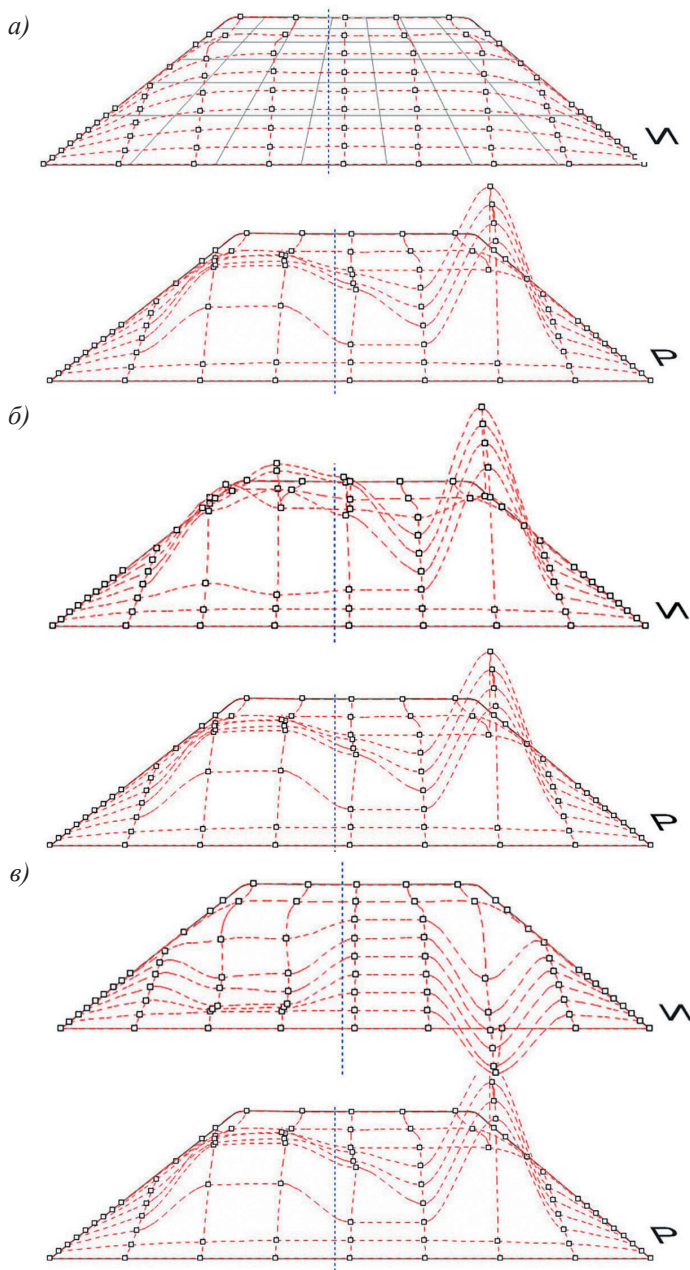


Рис. 3. Иллюстрация зависимости между слоями для различных E :
 вариант а) $E_p^H = 0$, вариант б) $E_p^H \geq 1$, вариант в) $E_p^H \approx -1$.

Fig. 3. Illustration of dependency between layers for different E :
 case а) $E_p^H = 0$, case б) $E_p^H \geq 1$, case в) $E_p^H \approx -1$.

Замечательным свойством такого способа представления зависимости слоев является то обстоятельство, что, если корреляционная функция описывается степенной функцией, то ее значение легко записывается как значение степени аргумента, что удобно для реализации в ГИС:

$$E_x^y = \frac{dy}{y} : \frac{dx}{x} = \frac{dy}{dx} \times \frac{x}{y} = y'(x) \frac{x}{y}.$$

Для $y = x^n$ данная формула примет вид:

$$E_x^y = nx^{n-1} \frac{x}{x^n} = n.$$

Таким образом, данные слоев кластера и зависимость между слоями можно описать достаточно простой для восприятия формой в виде матрицы значений эластичности (рис. 4), где значения эластичностей E могут быть представлены действительными числами.

В рассматриваемом примере экономического кластера видно, что слои И, М, Р связаны более или менее тесной положительной связью, слои ОО, ОР тесной отрицательной связью и т. д. При решении поставленной задачи, например, по обеспечению безопасности территорий георегиона, алгоритм ГИС-анализа должен, по данным значений целевых признаков со слоев, в том числе экономического кластера, определить наиболее уязвимые локации и оценить методы и затраты на компенсацию потенциальных опасностей [7]. Следует понимать, что ситуационный анализ учитывает изменение значений целевых признаков как во времени, так и в пространстве.

Аналогичные рассуждения о связанности справедливы и для информационных слоев в кластерах других сфер деятельности человека. Справедливо, что все возможные слои любых кластеров с тем или иным уровнем связанности зависят друг от друга. При описании всех возможных зависимостей даже простая форма

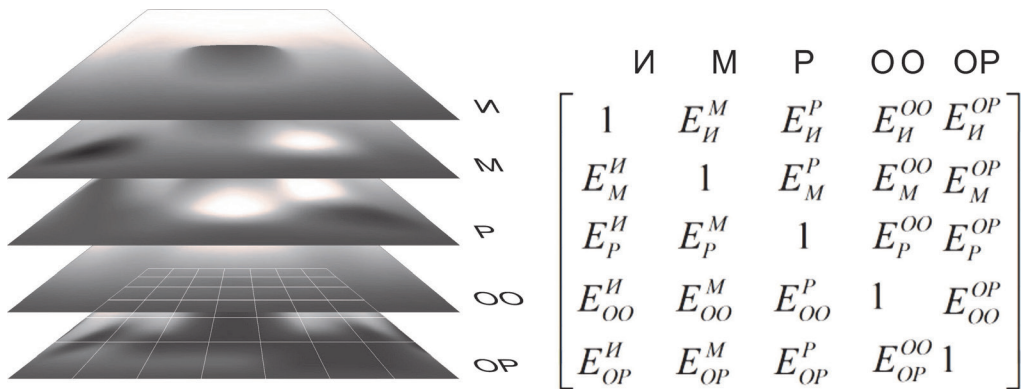


Рис. 4. Представление данных и зависимостей в кластере.

Fig. 4. Representation of data and dependencies in a cluster.

представления данных становится сложной. В общем случае для упрощения системы зависимостей и оперативности решения целесообразно использовать совокупный показатель всего кластера, формируемый по заданной закономерности из территориально связанных целевых параметров слоев, входящих в соответствующий кластер.

Таким образом, логика работы ГИС с данными, как в слоях кластера, так и с совокупностью кластеров, будет заключаться в том, чтобы алгоритмически находить и рекомендовать оператору и лицу, принимающему решения, оптимальную последовательность действий по обеспечению процесса путем разрешения противоречия между затратами на выполнение серии итераций и максимально достигаемой эффективностью на пути решения целевой задачи.

Заключение

При моделировании ситуации и динамики ее развития с использованием ГИС основное внимание при решении целевой задачи уделяется пространственно-распределенным эксплицитным параметрам, которые, как правило, определяют пространственное представление развития ситуации, на основании анализа которых и вырабатываются соответствующие рекомендации для принятия решения. Новизна предлагаемого метода заключается в повышении качества рекомендаций с учетом имплицитных параметров, которые также имеются в базе данных ГИС. Множество имплицитных параметров не используется либо не цифруется, либо требует актуализации, но с развитием технологий появятся в базе данных ГИС. Сегодня же оценка существенности их влияния и необходимость учета отводится субъекту, принимающему решение. В настоящей статье предлагается достаточно простой метод эластичного послойного связывания имплицитных параметров, которые могут иметь значительное влияние на результат моделирования и снизить влияние субъективного фактора на эффективность принимаемого решения.

Список литературы

1. Замятина Н. Ю. Когнитивные пространственные сочетания как предмет географических исследований // Известия РАН. Серия географическая. 2002. № 5. С. 32—37.
2. Поланьи М. Личностное знание: на пути к посткритической философии. М.: Прогресс, 1958. 344 с.
3. Розенталь Д. Э., Теленкова М. А. Словарь-справочник лингвистических терминов: пособие для учителя. Москва: Просвещение, 1985. 399 с.
4. Бутко Е. Я. Геоинформатика как метод познания // Образовательные ресурсы и технологии. 2016. № 5 (17). С. 56—62. DOI: 10.21777/2312-5500-2016-5-56-62.
5. Taylor D. R. F. Cybercartography: Theory and Practice /eds. T. Lauriault. 1st ed. Amsterdam, Boston: Elsevier Science Publ., 2006. 594 p.
6. Флегонтов А. В., Вилков В. Б., Черных А. К. Моделирование задач принятия решений при нечетких исходных данных. Санкт-Петербург: Лань, 2023. 332 с.
7. Розенберг И. Н. Онтологический подход в геоинформатике // Образовательные ресурсы и технологии. 2016. № 5 (17). С. 86—95. DOI: 10.21777/2312-5500-2016-5-86-95.
8. Кудж С. А. О философии геоинформатики // Перспективы науки и образования. 2016. № 6 (24). С. 7—16.

References

1. Zamyatina N. Yu. Cognitive spatial combinations as a subject of geographical research. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya = News of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series*. 2002; (5): (32—37). (In Russ.).
2. Polanyi M. *Lichnostnoye znaniye: na puti k postkriticheskoy filosofii = Personal knowledge: on the way to post-critical philosophy*. Moscow: Progress, 1958: 344 p. (In Russ.).
3. Rosenthal D. E., Telenkova M. A. *Slovar'-spravochnik lingvisticheskikh terminov: posobiye dlya uchitelya = Dictionary-reference book of linguistic terms: a manual for teachers*. Moscow: Education, 1985: 399 p. (In Russ.).
4. Butko E. Ya. Geoinformatics as a method of cognition. *Obrazovatelnie resyrsi I tehnologii = Educational resources and technologies*. 2016; 5(17): (56—62). DOI: 10.21777/2312-5500-2016-5-56-62. (In Russ.).
5. Taylor D. R. F. *Cybercartography: Theory and Practice* / eds. T. Lauriault. 1st ed. Amsterdam, Boston: Elsevier Science Publ., 2006: 594 p.
6. Flegontov A. V., Vilkov V. B., Black A. K. *Modelirovaniye zadach prinyatiya resheniy pri nechetkikh iskhodnykh dannykh*. Modeling of decision-making problems with fuzzy initial data. St. Petersburg: Lan, 2023: 332 p. (In Russ.).
7. Rosenberg I. N. Ontological approach in geoinformatics. *Obrazovatelnie resyrsi I tehnologii = Educational resources and technologies*. 2016; 5(17): (86—95). DOI: 10.21777/2312-5500-2016-5-86-95. (In Russ.).
8. Kudzh S. A. On the philosophy of geoinformatics. *Perspektivi nauki I obrazovaniya = Prospects of Science and Education*. 2016; 6 (24): (7—16).

Информация об авторе

Миляков Денис Федорович, кандидат технических наук, АО «Научный центр прикладной электродинамики» (НЦ ПЭ), Россия, Санкт-Петербург; инженер I категории, denism@navis.spb.su.

Information about author

Denis Milyakov, PhD, Scientific Center for Applied Electrodynamics, Russia, St. Petersburg.

Статья поступила 10.01.2025

Принята после доработки в печать 28.02.2025

The article was received on 10.01.2025

The article was accepted after revision on 28.02.2025