ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ТОПОФУНКЦИЙ В ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Е.Г. ЖИЛЯКОВ[1)]
Б.А. ТАТАРИНОВИЧ[2)]

[1)] Белгородский государственный университет

e-mail: Zhilyakov@bsu.edu.ru

[2)] Харьковский национальный аграрный университет

Рассмотрены вопросы интерполяции пространственных функций от 2, 3 и n переменных градидиентно-статистическим методом, способы и математические действия над топофункциями, применение топофункций для моделирования технических, технологических и экономических показателей в задачах управления территориями.

Ключевые слова: пространственно-нерегулярное расположение точек опробывания, качественные показатели объекта, регулярная сеть геометризации пространственных показателей, плотность расположения узлов, триангуляция, градиентно-статистическая интерполяция, топофункция математические действия, топофункции, изменчивость.

Введение

При решении задач организации и планирования сельскохозяйственного производства на земельных пространственных участках, а также задач землеустройства с использованием ГИС-технологий необходимо провести корректную постановку задачи, а именно, формализовать физический объект в математическую модель, в которой учитываемыми факторами будут геодезические координаты, показатели качества почв, содержание растительности и прочие.

В работах Лисицкого Д.В., Цветкова В.Я., Третяка А.М. Бондаря А.Л., Даценка Л.М. [1-3] и других ученых ставятся задачи по созданию моделей геометризации технико-экономических показателей для планирования и управлениями территориями. Рассматриваемые модели являются линейными или эвристическими, в то время как реальное распределение технико-экономических показателей по пространству анализируемых территорий является более сложным и носит нелинейный и часто дискретный характер.

Моделирование пространственной задачи управления

В данной работе решается задача поиска метода моделирования технических и экономических показателей, пространственно размещенных и достаточно адекватно описывающих реальное распределение. Это было реализовано путем построения пространственной сети, которая носит название сеть геометризации.

В настоящее время широко применяемые графические методы геометризации наглядно формализуют функцию размещения компонента в виде карт размещения показателя [4], линий показателя равных значений (изолиний) и прочее. В этих случаях для построения функции размещения используют эвристические (субъективные) приемы. Они основываются на получении дополнительных элементов построения. При решении указанной задачи вычислительные и графические процессы на компьютерах в большинстве случаев повторяют действия проектировщиков, поэтому этот процесс построения функции размещения должен осуществляться с получением промежуточных элементов (точек, линий), которые в данном рассмотрении и понимаются как узлы формируемой сетки с задаваемой точностью, а процессами графического вывода можно пользоваться только по мере необходимости. Применение вычислительных процедур нахождения интегральных оценок и графических программ для вычерчивания линий одинаковых уровней показателя диктует применение регулярной сетки – такой, чтобы область между узлами образовывала прямоугольник, несмотря на то, что исходные точки, расположенные в характерных местах исследуемой территории, расположены как правило, не регулярно.

За степень нерегулярности расположения исходных точек принимается отношение R/r радиусов сферы (R), которую можно вписать в самую большую из областей в сети опробования, и сферы (r), которую можно поместить между наиболее близко расположенными исходными точками наблюдений.

В качестве регулярного расположение точек наблюдения предлагается применять их расположение в геополе [5] по какому-либо правилу (закону), например, расположение точек наблюдений в точках пересечения трех плоскостей, взятых из следующих совокупностей

$$\begin{matrix} XOY & XZ_1Y & XZ_2Y & XZ_3Y \\ XOZ & XY_1Z & XY_2Z & XY_3Z \\ XOZ & YX_1Z & YX_2Z & YX_3Z \end{matrix}.$$

Для компактности эту запись можно изменить, отметив при этом, что плоскости заменяются парами осей, которые записываются значением координаты в точке пересечения на координатных осях OX, OY, OZ. В этом случае хранение и оперирование с координатами узлов сильно упрощается. Так, значение топофункции [1] F в координатах X_i, Y_j, Z_k запишется F_{ijk}, где i, j, k – номера осей сети.

Степень равномерности расположения осей узлов регулярной сетки измеряется тройкой чисел ρ_x, ρ_y, ρ_z, характеризующих степень равномерности по каждой оси OX, OY, OZ, соответственно

$$\rho_X = \frac{\Delta X_{\max}}{\Delta X_{\min}}; \quad \rho_Y = \frac{\Delta Y_{\max}}{\Delta Y_{\min}}; \quad \rho_Z = \frac{\Delta Z_{\max}}{\Delta Z_{\min}}$$

(здесь индексы «max» и «min» означают соответственно максимальный и минимальный шаги по осям OX, OY, OZ).

Так если, $\rho_x, \rho_y, \rho_z = 1$, то соответствующая сеть точек наблюдений является равномерной и задавать такую сеть можно, указав начальную точку используемой системы координат X_o, Y_o, Z_o (т.е. условное начало координат исследуемой области), величины шагов S_x, S_y, S_z и количество шагов n_x, n_y, n_z по координатным осям.

Рассмотренные свойства расположения точек наблюдений присущи как сетям опробования (наблюдения), так и сеткам построений (моделирования). Взаимодействие этих двух видов сетей заключается в следующем. При наблюдении точки опробования стремятся располагать регулярно, исходя из стратегии разведки, но это не всегда можно осуществить, также дополнительно в процессе наблюдения меняется регулярность сети или берутся дополнительные точки. Координатную сеть для выполнения вычислительных и графических операций на объекте предполагается иметь равномерной. Допустим в результате поворота системы координат можно построить сетку, при которой максимальное число точек N_1 совпало с M_1 узлами сетки построений; тогда оставшееся число точек будет равно $N_2 = N - M_1$, а число узлов – $M_2 = M - M_1$, где N и M соответственно количество узлов сети наблюдения и сетки построений. Чтобы не терять информативность об объекте, необходимо выполнить условие $N_2 \le M_2$, а т.к. $M_1 = N_1$, то, следовательно, $N \le M$, т.е. количество узлов сетки построений должно быть не меньше количества узлов сети опробования. Выбрать расположение M_2 узлов можно по критерию минимума суммы расстояний от исходных точек до выбираемых узлов

$$\sum_{l=1}^{N_2} \sqrt{(X_i - X_l)^2 + (Y_j - Y_l)^2 + (Z_k - Z_l)^2} \rightarrow min, \quad ijk = 1, M_2.$$

Очевидно, что эта оценка для N_1 точек, совпавших с M_1 точками (при условии, что совпадением будем называть бесконечно малое расстояние между точками), будет равна нулю.

Надо заметить, что условие ($N_2 \le M_2$) можно преднамеренно выполнить в случае, когда информация об объекте получена в избыточном количестве точек во всей области или на отдельных участках. В этом случае сеть формируется разряженной относительно сети опробования следующим образом:

1. Берется участок, где плотность точек наблюдения максимальная.
2. На этом участке строится сетка построений.

3. Вычисляются значения показателя в узлах сетки.

4. Сеть разряжается и, начиная с пункта 2, строится новая сетка построений и вычисляются значения в узлах.

5. Сетка разряжается до тех пор, пока значения в узлах разряженной сетки (A_p) будут отклонятся от значений в узлах сетки при максимальной плотности $(A_э)$ не более, чем на величину принятой точности, которая вычисляется как абсолютная, относительная и среднеквадратическая погрешность (Δ, p, δ).

$$\Delta \geq / A_э - A_p /; \quad p \geq \frac{\Delta}{A_э}; \quad \delta \geq \frac{\sqrt{\sum_i^N \Delta_i^2}}{N}.$$

Кроме того, для общей картины величины отклонений можно получить среднее отклонение для всей области, которое вычисляется как:

$$p_{n?} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^{M} p_i .$$

Вышеописанным способом оценивается и выбирается сеть для создания моделей геометризации.

Надо заметить, что задача аналитического моделирования топофункции заключается в том, чтобы по N реализациям топофункции $F(X_i, Y_i, Z_i)$, найти аналитическое выражение функциональной зависимости $F = f(X, Y, Z)$.

Простое решение вопроса построения аналитической модели распределения показателей в пространстве (или построение топографической поверхности) дает непосредственное обобщение линейной интерпретации при помощи определителя матричной записи коэффициентов линейной полной формы степенного многочлена.

С другой стороны линейно-кусочная интерполяция в трехмерном измерении для функции $f(X, Y)$ хорошо известна геодезистам и получила название, отражающее способ ее реализации, – триангуляция. При этом методе исходные точки соединяются таким образом, чтобы пространство было заполнено треугольниками. Вершина каждого треугольника – исходная точка опробования с высотной отметкой. Через три точки проводится плоскость, треугольный участок которой и есть поверхность между данными тремя точками.

Для общих задач распределения компонентов в пространстве получение характеристик показателя между исходными точками опробования с помощью линейной интерполяции имеет смысл рассматривать как 4-мерную задачу. В этом случае строится не поверхность, набранная из треугольников, а поле, образованное тетраэдрами, вершинами которых являются исходные точки, распределение показателя внутри такого тетраэдра линейно, данный процесс называют тетраэдризацией. Рассмотрим процесс триангуляции– тетраэдризации. Так как сетка строится, прежде всего, с целью получения цифровых моделей, то при задании узлов сети на плоскости или в пространстве необходимо найти значения показателя в этих узлах линейным интерполированием при помощи определителя:

$$\begin{vmatrix} f_1 & X_1 & Y_1 & Z_1 \\ f_2 & X_2 & Y_2 & Z_2 \\ f_3 & X_3 & Y_3 & Z_3 \\ f_4 & X_4 & Y_4 & Z_4 \end{vmatrix}.$$

В данном случае такая кусочно-линейная модель обладает громоздкостью, так как в алгоритме надо хранить и анализировать набор кусочно-линейных функций, число которых соответствует порядку исходных точек наблюдения. Поэтому в данной работе реализован градиентно-статистический метод. Рассмотрим способ построения сети геометризации относительно точек наблюдения. При взаимном расположении точки и узла сети геометризации возможны следующие случаи:

1. Исходная точка находится от узла не далее чем на E (E – величина

погрешности измерения по направлениям *OX, OУ, OZ)*.

2. Расстояние от исходной точки до узла сети r удовлетворяет условию $E<r<R$, где R– радиус области, в которой выполняется условие топографичности функций.

3. Исходная точка находится на расстоянии, превышающем R. Значения функции показателя для указанных случаев будут вычисляться следующим образом:

а) значение показателя в узле приравнивается к значению показателя в исходной точке;

б) значения показателя в узле устанавливается при решении модели геометризации;

в) значения показателя в узле не присваивается, т.к. нарушается условие топографичности.

При построении модели геометризации необходимо найти функциональную зависимость $F(x, y, z)$, которая совпадает со всеми исходными точками и одновременно дает значения показателя $F_{ijk}(x_I, y_J, z_K)$ в каждом узле ijk.

Градиентный аспект метода заключается в том, что значения наблюдаемого показателя точек, попавших в окрестность, переносятся в рассматриваемую точку по градиенту этого показателя (в 2-мерном измерении по касательной плоскости в этой точке).

Для того, чтобы найти градиенты в каждой исходной точке, построим для этой точки некоторую окрестность. Допустим, в нее попала точка J. Тогда определим градиенты поля в рассматриваемой точке K, как частные производные по направлениям

$$\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)_{KJ}=\frac{\Delta F}{\Delta x}\;;\;\left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)=\frac{\Delta F}{\Delta y}\;;\;\left(\frac{\partial F}{\partial z}\right)=\frac{\Delta F}{\Delta y}\;.$$

Просмотрев все L точек, попавших в R – окрестность, получим L частных производных по каждому направлению *OX*, *OУ*, *OZ*. Поскольку идея метода статическая, то для этих градиентов надо найти среднее или средневзвешенное значение. Известно положение, что точки J, стоящие ближе к точке *К*, оказывают на неё большое действие. Если точка стоит на границе R-окрестности, то влияние её градиента должно быть нулевое. Если же точка находится на бесконечно малом расстоянии от токи *К*, то градиент точки J приравнивается к градиенту точки *К*. Для получения средневзвешенного градиента, исходя из описанных условий, суммировать частные производные, получаемые от точки J, можно со следующим весовым коэффициентом

$$\frac{(R-r_J)}{\sum_{J=1}^{L}(R-r_J)}\,.$$

Тогда частная производная (например, по направлению *OX*) от влияния всех L точек запишется в следующем виде

$$\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)_{K}=\sum_{J=1}^{L}\frac{\Delta F(R-r_J)}{\Delta x\sum(R-r_J)}\,.$$

Приведенный весовой коэффициент действительно удовлетворяет поставленным условиям:

1. На границе R области весовой коэффициент равен 0, т.к. $r_J=R\;\; и\;\; R-r_J=0$.

2. На бесконечно малом расстоянии от точки *К* весовой коэффициент максимален и равен

$$\frac{R}{\sum_{J=1}^{M}(R-r_J)}, \quad \text{т.к. } r_J=0\,.$$

3. Если точки J находятся на одинаковом расстоянии от точки K, то влияние на точку K от точек J одинаково и сумма весовых коэффициентов должна быть равна 1. Действительно,

$$\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)=\sum_{J=1}^{L}\frac{\Delta F\left(R-r_J\right)}{\Delta x\sum_{J=1}^{L}\left(R-r_J\right)}=\frac{\Delta F}{\Delta x}\cdot\frac{\sum\left(R-r_J\right)}{\sum\left(R-r_J\right)}.$$

Выше приведенный весовой коэффициент предполагает, что влияние каждой точки на рассматриваемую точку линейно, и тогда, значит, градиенты изменяются также линейно, что для физических объектов не характерно.

Если применить зависимость 2-й степени, то весовой коэффициент запишется в виде

$$\frac{\left(R-r_J\right)^2}{\sum\left(R-r_J\right)^2}$$

(легко заметить, что при одинаковом расстоянии точек от узла в числителе, так же как в знаменателе, появится сумма квадратов, что обратит весовой коэффициент в 1), тогда градиенты в точке *К* примут вид:

$$\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)=\sum_{J=1}^{L}\frac{\Delta F_J\left(R-r_J\right)^2}{\Delta x\sum_{J=1}^{L}\left(R-r_J\right)^2};\quad \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)=\sum_{J=1}^{L}\frac{\Delta F_J\left(R-r_J\right)^2}{\Delta y\sum_{J=1}^{L}\left(R-r_J\right)^2};\quad \left(\frac{\partial F}{\partial z}\right)=\sum_{J=1}^{L}\frac{\Delta F_J\left(R-r_J\right)^2}{\Delta z\sum_{J=1}^{L}\left(R-r_J\right)^2}.$$

Надо заметить, что и эти весовые коэффициенты будут удовлетворять перечисленным выше требованиям. Значение показателя в узле сети геометризации *V* будет складываться из значений *М* точек, попавших в *R* -окрестность. Значение показателей в *i*-точке *(i=1, ..., M)* будет переноситься в узел *V* по градиенту поля *i*-точке

$$F_{vi}=P_i+\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)_i\cdot\left(X_V-X_i\right)+\left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)_i\cdot\left(Y_V-Y_i\right)+\left(\frac{\partial F}{\partial z}\right)_i\cdot\left(Z_V-Z_i\right).$$

Переносимые в узел значения необходимо суммировать с весовыми коэффициентами. Чтобы не усложнять метод, возьмём весовые коэффициенты такими же, как и в случае нахождения градиентов. Тогда значение показателя в узле запишется:

$$F_V=\sum F_{Vi}\cdot\frac{\left(R-r_i\right)^2}{\sum\left(R-r_i\right)^2},$$

$$F_V=\sum_{i=1}^{M}\left[P_i+\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)_i\cdot\left(X_V-X_i\right)+\left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)_i\cdot\left(Y_V-Y_i\right)+\left(\frac{\partial F}{\partial z}\right)_i\cdot\left(Z_V-Z_i\right)\right]\cdot\frac{\left(R-r_i\right)^2}{\sum\left(R-r_i\right)^2}.$$

Поскольку метод градиентно-статистический, то величина *R*-связности существенно влияет на значения показателя в узлах сети геометризации. Так, если радиус велик и захватывает большое число исходных точек, то значения показателя усредняется между всеми значениями показателя исходных точек, попавших в *R*-область. Если *R* уменьшать, то возникает опасность, что ни одна точка не попадет в *R*-область и значение в узле будет равным нулю. Поэтому значение *R*-связности должно быть выбрано как некоторая оптимальная величина.

Первым правилом выбора радиуса связности может служить задание радиуса *R* в линейных единицах измерения, величиной, подобранной опытным путем. Для выполнения условия, чтобы выбранный радиус перекрывал любой участок исследуемой области для равномерной сети, он устанавливается равным

$$R=\frac{a\cdot\sqrt{2}}{2},$$

где а – шаг равномерной сети.

Для выполнения условия устранения взаимосвязи значений в соседних узлах (условие неперекрываемости) значение R выбирается равным

$$R=\frac{a}{2}.$$

При таком подходе остаются неохваченные участки, поэтому *R*-область топографичности в виде сферы для каждого узла нужно заменить на *D*-область в виде параллелепипеда (*D=2R*), что сходно с точечной палеткой [4] и среднестатистическим окном размером D.

Вторым правилом выбора радиуса связности является нахождение расстояний от узлов сетки модели до ближайших исходных точек опробования и выбора из этих расстояний наибольшего. В этом случае в R-область любого узла сети попадает не менее одной исходной точки. Таким правилом, очевидно, нужно пользоваться, когда сетка разряжена по сравнению с сетью опробования.

Третьим правилом выбора радиуса связности будем считать переменное его значение, в случаях большой (более 8) неравномерности сети. В этом случае радиус выбирается, исходя из плотности исходных точек на данном участке, путем вычисления значения функции наблюдения по n-ближайшим точкам. В этом случае радиус связности выступает как аргумент от количества точек, которые должны попасть в его сферу. Представление топографической поверхности пространственно-аналитическими и цифровыми моделями со значениями в узлах сетки модели диктует применение аналитических и вычислительных методов. В зависимости от регулярности сети опробования действия над топофункциями могут производиться сразу или после некоторого преобразования, направленного на получение сетки модели, которое идет по следующей схеме: исходные точки – выявление сети опробования – построение сетки модели – нахождение значений в узлах – операции над топофункциями. Кроме того, на выбор преобразования топофункции влияет решение задачи. Так, если необходимо получить карты изолиний и разреза, то оперировать можно значениями топофункции в исходных точек. Если же необходимо находить интегральные оценки топофункции, то тогда необходимо создавать сетку геометризации. Имеется два дополнительных пути, применяемых в специальных случаях:

1) после действия над топофункциями создается сетка модели;
2) действия производятся над топофункциями как с сетью опробования, так и с сеткой модели.

При указанных способах преобразования топофункции необходимо оценивать точность, которая определяется на этапах получения значений показателя в узлах чертежей на графических автоматах.

В условиях развития геоинформационных систем возникает необходимость расширять их направленность не только на совершенствование функций визуализации, построений, конкретных оцениваний, представлений, но и на математические операции с топофункциями, которые описывают рельеф местности, принадлежность участков к категориям, показатели качества почв, различные технико-экономические показатели участков, содержание растительности и т.д.

Операции над топофункциями делятся на алгебраические: сложение, умножение, вычитание, деление, возведение в степень, и математического анализа: дифференцирование, интегрирование.

Указанные математические действия применяются для следующих целей:

1) сложение и вычитание – пересчет абсолютных значений в относительные и наоборот;
2) умножение и деление – масштабирование значений функции;
3) возведение в степень – нахождение квадратов отклонений;
4) дифференцирование – нахождение градиентов функции;
5) интегрирование – нахождение интегральных оценок.

Операция над двумя топофункциями $F_1(X_i, Y_i, Z_i)$ и $F_2(X_i, Y_i, Z_i)$, представленными в узлах сети (опробования или построений), состоит в нахождении третьей топофункции $F_3(X_i, Y_i, Z_i)$ по операциям:

1) $F_3 = F_1 + F_2;$
2) $F_3 = F_1 - F_2;$
3) $F_3 = F_1 * F_2;$
4) $F_3 = F_1 / F_2;$
5) $F_3 = F_1 \uparrow n;$
6) $F`_x = \frac{\partial F}{\partial X}$; $F`_y = \frac{\partial F}{\partial Y}$; $F`_z = \frac{\partial F}{\partial Z}$; $F``_{xy} = \frac{\partial}{\partial X} \frac{\partial F}{\partial Y}$;

7) $I_x = \int\limits_{X_1}^{X_2} F(X)dX$; $I_{xyz} = \int\limits_{X_1}^{X_2}\int\limits_{Y_1}^{Y_2}\int\limits_{Z_2}^{Z_1} F(XYZ)dXdYdZ$.

Дифференцирование рассматривается как нахождение градиентов, Одновременное дифференцирование по 2-м или 3-м переменным, по процессу вычислений не отличается от вышеуказанной операции. Следует только указать, что дифференциал 1-й степени dF(X,Y,Z) используется для прогнозирования изменения характеристик поля и нахождения инвариантов 1-й степени (глобальных и локальных экстремумов по подобластям). Дифференциал второй степени d^2F(X,Y,Z) используется для нахождения инвариантных элементов поверхности (линии и поверхности перегибов топофункции).

Для получения интегральных оценок подсчета запасов взят способ, использующий объемную палетку, где значение точки – есть центр блока со своим средним значением, при этом математическое интегрирование заменяется на численное.

Геометрически-морфологическое прогнозирование в условиях цифровой модели геометризации имеет лишь то различие, что геометрия морфологии не выражается в непрерывных линиях, а отображается дискретно в узлах сети. Среднеквадратическая ошибка отклонения реализации от построенной модели поверхности ищется посредством двух операций над топофункциями: вычитанием и возведением в степень .

Прогнозирование размещения компонента для пространственно-аналитических моделей заключается в следующем:

1) установление закономерности распределения компонента способом сглаживающих поверхностей при построении сферы (круга, окна) для цифровых моделей,

2) прогнозирование с помощью градиента поля заключается в нахождении градиентов функции по нужным направлениям и вычисление значения функции по значениям градиента

$$F_2(X,Y,Z) = F_1(X,Y,Z) + \Delta X\frac{\Delta F}{\Delta X} + \Delta Y\frac{\Delta F}{\Delta Y} + \Delta Z\frac{\Delta F}{\Delta Z}.$$

Коэффициент вариации для топофункции, заданной с помощью цифровой модели, вычисляется следующим образом

$$К_{вар} = \frac{\sum\limits_{i=1}^{N}\left(\frac{1}{N}\sum\limits_{i=1}^{N}F_i - F_j\right)^2}{\frac{1}{N}\sum\limits_{i=1}^{N}F_i} *100\%,$$

где N – количество точек наблюдения.

Коэффициент изменчивости в этом случае вычисляется таким образом

$$К_{изм} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(\left|\frac{\partial F_i}{\partial X}\right| + \left|\frac{\partial F_i}{\partial Y}\right| + \left|\frac{\partial F_i}{\partial Z}\right|\right).$$

В настоящее время указанные функции начали получать свою реализацию в отечественных и некоторых зарубежных ГИС-системах.

Таблица 1

Применение топофункций в ГИС-системах

Показатели	Тип функции	Реализация
Технические:		
– высотные отметки рельефа	Нелинейная, непрерывная	Хорошая, R-постоянная
– физико-технические характеристики почв	Нелинейная, непрерывная	Хорошая R-постоянная
-химико-минералосодержание	Нелинейная, дискретная	Хорошая, R-постоянная
–принадлежность к категориям ведения хозяйства	Дискретная	Хорошая, R-переменная
Технологические		
– биохимическое содержание	Нелинейная, непрерывная	Хорошая, R-постоянная
– урожайность по основным культурам	Нелинейная, дискретная	Хорошая, R-переменная

– содержание гумуса	Нелинейная, непрерывная	Хорошая, R-постоянная
– минеральная составляющая	Нелинейная, непрерывная	Хорошая, R-постоянная
– органическая составляющая	Нелинейная, непрерывная	Хорошая , R-постоянная
Экономические: –		
условная стоимость единицы территории – приведенная стоимость	Линейная, дискретная	Средняя, R-переменная
единицы территории	Линейная, дискретная	Средняя, R-переменная

Выводы

Таким образом, предложенная модель является эффективным инструментом для принятия решений по управлению территориями с использованием технико-экономических показателей разного рода ресурсов, включая земельные, денежные и прочие. Данная модель может быть применена для формирования регулярных баз данных для решения разного рода задач с использованием ГИС-технологий.

Литература

1. Лисицкий, Д.В. Основные принципы цифрового картографирования местности [Текст] / Д.В. Лисицкий. – М.: Недра, 1988.
2. Цветков, В.Я. Геоинформационные системы и технологии [Текст] / В.Я. Цветков. – М.: Финансы и статистика, 1998. – 288 с.
3. Сизов, А.П. Мониторинг городских земель с элементами их охраны [Текст] / А.П. Сизов. – М., 2000. – 156 с.
4. Бондарь, А.Л. Представлення статистичних матеріалів у графічному вигляді та їх картографічна інтерпретація для аналізу [Текст] / А.Л. Бондарь, О.В. Барладин, Л.М Даценко // Матеріали ГІС-конференції. – К: 2003.
5. Шипулін, В.Д. Створення базового набору геопросторових даних [Текст] / В.Д. Шипулін // Матеріали ГІС-конференції. – Ялта: 2006.

APPLICATION OF TOPOFUNCTIONS MODELS IN GEOINFORMATION SYSTEMS

E.G. ZHILYAKOV[1)]
B.**A. TATARINOVICH**[2)]

[1)] Belgorod state university

e-mail: Zhilyakov@bsu.edu.ru

[2)] Kharkov national agrarian university

The questions of interpolation of spatial functions of 2, 3 and n variables by a gradient-statistical method, methods and mathematical actions over topofunctions, application of topofunctions for the simulating of technical, technological and economic indexes in the tasks of territories management are considered.

Keywords: spatially-irregular location of points of testing, object quality indexes, regular network of spatial indexes geometrizing, closeness of knots location, triangulation, gradient-statistical interpolation, mathematical actions, topofunctions, changeability.