

УДК 004(.052.4+.021):912.644.4

Алгулиев Р.М., Оруджов Г.Г., Сабзиев Э.Н., Панахов Н.А., Расулова Н.В., Алиева А.А.

Институт Информационных Технологий НАНА, Баку, Азербайджан
depart7@iit.ab.az

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ОБНАРУЖЕНИЯ И КОРРЕКТИРОВКИ НЕКОТОРЫХ ХАРАКТЕРНЫХ ОШИБОК ВЕКТОРНОЙ КАРТЫ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ

Целью работы является разработка алгоритмов для определения и устранения ошибок и неточностей векторной карты рельефа местности с помощью математических методов. Разработаны алгоритмы, обеспечивающие обнаружение характерных ошибок векторной карты в автоматическом режиме.

Ключевые слова: GIS, алгоритмы, векторная карта, рельеф местности.

Введение

Одним из составных компонентов GIS-продукции является векторная карта рельефа местности, которая на отдельном слое содержит высотные изолинии (горизонталы). Подобная карта обычно создается на основе топографических карт на бумажных носителях, нанесением объектов типа line (polyline) в AutoCAD, ArcView или в других графических редакторах. Однако подобного рода однообразная и трудоемкая операторская работа приводит к многочисленным ошибкам и неточностям, что делает использование этой карты непригодным для решения различных задач, и поэтому подобная карта принимается как первый (грубый) вариант векторной карты местности.

Целями работы являются определение, классификация и устранение ошибок и неточностей векторной карты рельефа местности с помощью математических методов обработки.

Основные понятия и определения

Прежде всего приведем основные понятия и определения объектов, используемые в данной работе.

Изолинией или высотной изолинией называется один отрезок или одна ломаная линия, соответствующая определенному значению высоты. Очевидно, к одной и той же высоте будет относиться много изолиний. Изолинию можно назвать простой, если она состоит только из одного отрезка.

Изолиния может быть замкнутой, когда у нее нет свободного узла. Изолиния называется простой замкнутой, если в каждом узле соединены два отрезка.

Приведем типичные недостатки первого варианта векторной карты:

- повторение отрезков некоторых изолиний (повторяющиеся лишние отрезки) (рис.1а, 1б);
- зарисовка высотных изолиний в виде последовательности отрезков с несовпадающими узлами без пересечения или с простым пересечением (рис.2а, 2б);
- неправильное указание значений высот изолиний;

- пересечение изолиний, соответствующее разным высотам (рис.3);
- более сложные пересечения узловых точек (рис.4, 5, 6);
- отсутствие части некоторых изолиний (рис.7, 8).

Как видно, все выявленные недостатки карты, главным образом, сосредоточены вблизи узловых точек (такие точки называются проблемными узловыми точками).

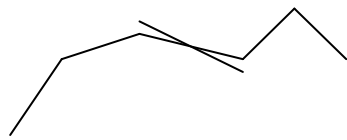


Рис.1а.

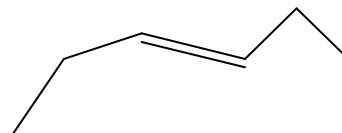


Рис.1б.

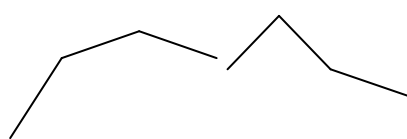


Рис.2а.

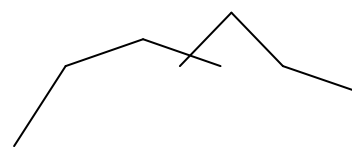


Рис.2б.

С математической точки зрения изолиния – это последовательность двумерных координат узловых точек, соответствующая заданной высоте. Каждая такая линия, участвующая в обработке, может быть представлена в виде следующего набора данных:

$$N, P, H, x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_{M-1}, y_{M-1}, x_M, y_M,$$

где N – порядковый номер изолинии на карте; P – числовой классификатор изолинии, H – значение высоты данной изолинии; $M > 1$ – количество узловых точек изолинии; $(x_k, y_k), k = 1, 2, \dots, M$ – координаты узловых точек в порядке расположения вдоль изолинии. Числовой классификатор P является одним из управляющих параметров процесса обработки и в ходе процесса обработки принимает одно из следующих значений:

$P = M$ – данная изолиния участвует в обработке карты;

$P = 1$ – данная изолиния незамкнута и не участвует в обработке карты;

$P = 0$ – данная изолиния замкнута и не участвует в обработке карты.

Пусть заданы две узловые точки (x', y') , (x'', y'') и некоторое положительное число ε . Будем говорить, что данные узловые точки ε -близки, если выполнено неравенство

$$(x' - x'')^2 + (y' - y'')^2 < \varepsilon.$$

Пусть теперь заданы две изолинии:

$$1, n_1, H, x_1^1, y_1^1, x_2^1, y_2^1, \dots, x_{m_1-1}^1, y_{m_1-1}^1, x_{m_1}^1, y_{m_1}^1,$$

$$2, n_2, H, x_1^2, y_1^2, x_2^2, y_2^2, \dots, x_{m_2-1}^2, y_{m_2-1}^2, x_{m_2}^2, y_{m_2}^2,$$

и некоторое положительное число ε . Будем говорить, что данные изолинии ε -близки, если ε -близка одна из следующих пар узловых точек:

$$\{(x_{m_1}^1, y_{m_1}^1), (x_1^2, y_1^2)\}, \{(x_{m_1}^1, y_{m_1}^1), (x_{m_2}^2, y_{m_2}^2)\}, \{(x_1^1, y_1^1), (y_1^2, y_1^2)\}, \{(x_1^1, y_1^1), (x_{m_2}^2, y_{m_2}^2)\}.$$

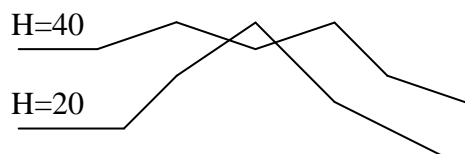


Рис.3.

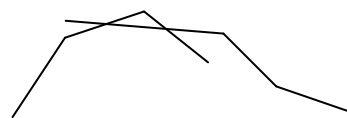


Рис.4.

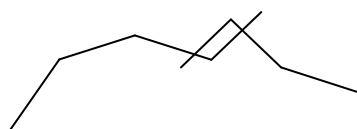


Рис.5.



Рис.6.

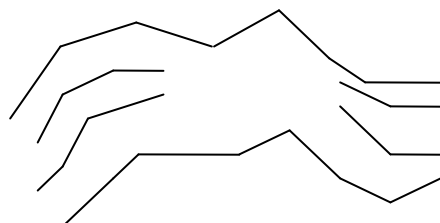


Рис.7.

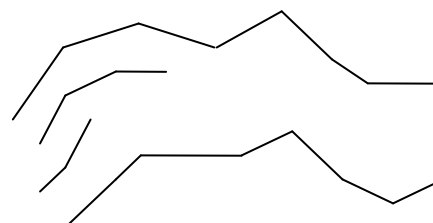


Рис.8.

Объединением ε -близких изолиний называется, в зависимости от узлов близости, соответственно одна из следующих изолиний:

$$1, n_1 + n_2 - 1, H, x_1^1, y_1^1, x_2^1, y_2^1, \dots, x_{m_1-1}^1, y_{m_1-1}^1, x_{m_1}^1, y_{m_1}^1, x_2^2, y_2^2, \dots, x_{m_2-1}^2, y_{m_2-1}^2, x_{m_2}^2, y_{m_2}^2,$$

$$1, n_1 + n_2 - 1, H, x_1^1, y_1^1, x_2^1, y_2^1, \dots, x_{m_1-1}^1, y_{m_1-1}^1, x_{m_1}^1, y_{m_1}^1, x_{m_2-1}^2, y_{m_2-1}^2, \dots, x_2^2, y_2^2, x_1^2, y_1^2,$$

$$1, n_1 + n_2 - 1, H, x_{m_2}^2, y_{m_2}^2, x_{m_2-1}^2, y_{m_2-1}^2, \dots, x_2^2, y_2^2, x_1^1, y_1^1, x_2^1, y_2^1, \dots, x_{m_1-1}^1, y_{m_1-1}^1, x_{m_1}^1, y_{m_1}^1, x_{m_2-1}^2, y_{m_2-1}^2,$$

$$1, n_1 + n_2 - 1, H, x_1^2, y_1^2, x_2^2, y_2^2, \dots, x_{m_2-1}^2, y_{m_2-1}^2, x_1^1, y_1^1, x_2^1, y_2^1, \dots, x_{m_1-1}^1, y_{m_1-1}^1, x_{m_1}^1, y_{m_1}^1.$$

Выявление проблемных узлов и корректировка изолиний

С целью выявления проблемных узлов и корректировки изолиний ниже сформулировано несколько задач и приводится алгоритм их решения [1].

Задача 1. Обнаружение и устранение не совпадающих узловых точек (рис.2а, 2в).

При решении этой задачи осуществляется соединение изолиний с несовпадающими узлами и попутно выявляются возможные неправильно указанные значения высот. Предложен следующий алгоритм, который начинается с первой изолинии и выполняется поочередно для всех последующих:

1. Фиксируется базовая изолиния $j = 1, 2, 3, \dots$.
2. Для разумно подобранной $\varepsilon = \varepsilon_C$ по критерию ε -близости конечных узловых точек данной изолинии устанавливается ее замкнутость. Если изолиния замкнута, то:
 - ее числовому классификатору P_j присваивается значение «0»;
 - координаты одного из этих узлов принимаются за основу, и они отождествляются;
 - осуществляется переход к проверке следующей изолинии, и она фиксируется в качестве базовой.
3. Продолжается последовательное рассмотрение изолиний с номерами $i = j+1, j+2, j+3, \dots$.
4. Если для заданного $\varepsilon = \varepsilon_L$ изолинии j и i ε -близки, но значения высот не совпадают, т.е. $H_j \neq H_i$, то:
 - информация об этом узле выводится в соответствующий информационный файл (HND.txt) для дальнейшего исследования на предмет правильности написанных значений высот;
 - продолжение процесса осуществляется для следующего значения i .
5. Если для $\varepsilon = \varepsilon_L$ изолинии j и i ε -близки и значения высот совпадают, т.е. $H_j = H_i$, то осуществляется дополнительная проверка взаимного расположения примыкающих отрезков. Если примыкающие к соответствующим узлам отрезки имеют не более одного пересечения (случаи, показанные на рисунках 2а, 2б), то:
 - базовая изолиния заменяется их объединением;
 - для числового классификатора P_i устанавливается значение «1»;
 - продолжение процесса осуществляется с п.3.
6. А если примыкающие к соответствующим узлам отрезки имеют более одного пересечения (например, случаи, показанные на рисунках 4, 5, 6), то информация об этом узле выводится в соответствующий информационный файл (VCN.txt) для дальнейшего визуального анализа и принятия решения по устранению ситуации.

Описанный алгоритм выполняется несколько раз с постепенным увеличением контрольных значений ε_C и ε_L , при этом обычно процедуру объединения контролируют просмотром информации об этих узлах, предварительно записывая их в соответствующий файл (PVN.txt).

Задача 2. Обнаружение и классификация свободных узловых точек.

Идеология алгоритма решения данной задачи аналогична предыдущей. Она позволяет оператору рассмотреть и классифицировать узловые точки на экране соответствующего графического редактора. Были рассмотрены следующие варианты:

- узлы, относящиеся к границе карты;
- узлы, относящиеся к разорванным изолиниям, которые следует восстанавливать (случай, соответствующий рис.7);

– узлы, для которых дальнейшая обработка требует дополнительной информации, например, необходима исходная картографическая информация (случай типа рис. 8).

Задача 3. Восстановление отсутствующих частей изолиний.

Исходной информацией для решения этой задачи являются следующие (рис.9):

- огибающие изолинии (γ_1, γ_2);
- некоторое направление DE, на которое однозначно проецируются изолинии γ_1, γ_2
- координаты узловых точек F и G прерванной изолинии δ_1 и δ_2 , относящиеся к одинаковой высоте H .

Огибающие γ_1, γ_2 и точки D, E, которые определяют направление DE, вводятся редактирующим оператором в интерактивном режиме.

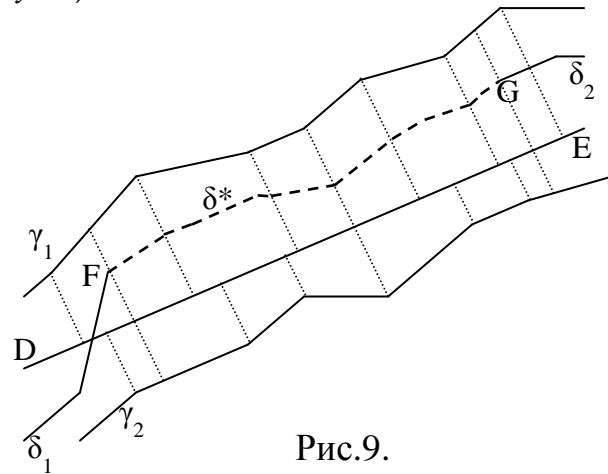


Рис.9.

Алгоритм решения задачи предусматривает осуществление следующих процедур:

1. Определение элементов матрицы преобразования $\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \alpha & \beta \\ -\beta & \alpha \end{bmatrix}$ на основе координат направляющей линии соединяющей точки $D(x_D, y_D)$ и $E(x_E, y_E)$:

$$\alpha = \frac{x_E - x_D}{\sqrt{(x_E - x_D)^2 + (y_E - y_D)^2}}, \quad \beta = \frac{y_E - y_D}{\sqrt{(x_E - x_D)^2 + (y_E - y_D)^2}}.$$

(В дальнейшем координаты точек после преобразования \mathbf{A} будем обозначать соответствующими заглавными буквами, т.е. $\mathbf{A} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix}$).

2. Осуществление \mathbf{A} преобразования всех узловых точек изолиний γ_1, γ_2 и узловых точек $G(x_G, y_G) \in \delta_1$ и $F(x_F, y_F) \in \delta_2$.

3. Упорядочивание последовательности всех пар координат узловых точек в порядке роста первых координат.

В данной последовательности координатам узловой точки $G(X_G, Y_G)$ должно предшествовать, как минимум, по одной узловой точке из каждой огибающей изолинии γ_1, γ_2 . Эта последовательность также должна замыкаться, как минимум, одной узловой точкой из каждой огибающей γ_1, γ_2 , они последуют за узловой точкой $F(X_F, Y_F)$. В предложенном алгоритме крайние «лишние» узловые точки не участвуют. Но а если таковые имеются, они игнорируются, и предполагается, что 3-я точка с начала последовательности соответствует узловой точке G , а 3-я точка с конца – точке F . Для простоты дальнейшего изложения предположим, что полученная последовательность имеет следующий вид:

$$(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), (X_3, Y_3), (X_4, Y_4), \dots, (X_{n-2}, Y_{n-2}), (X_{n-1}, Y_{n-1}), (X_n, Y_n).$$

4. Определение коэффициента удаленности $\lambda(X)$ узловых точек G и F от огибающих изолиний γ_1, γ_2 , вдоль оси DE , как функция аргумента $X \in [X_F, X_G]$. Оно осуществляется следующим образом:

Пусть $\{(X'_1, Y'_1), (X'_2, Y'_2)\}$ и $\{(X''_1, Y''_1), (X''_2, Y''_2)\}$ последовательные узловые точки, которые относятся к изолиниям γ_1 и γ_2 , и при этом выполняются условия

$$X'_1 \leq X_F \leq X'_2 \text{ и } X''_1 \leq X_F \leq X''_2. \text{ Вычислим } \lambda_1 \equiv \lambda(X_F) = \frac{Y'_1 + \frac{Y'_2 - Y'_1}{X'_2 - X'_1}(X_F - X'_1) - Y_F}{Y_F - Y''_1 - \frac{Y''_2 - Y''_1}{X''_2 - X''_1}(X_F - X''_1)}.$$

Заменяя аналогичным образом (X_F, Y_F) на (X_G, Y_G) , вычислим $\lambda_2 \equiv \lambda(X_G)$. Теперь на основании этих значений определяется искомый коэффициент:

$$\lambda(X) = \lambda_1 + \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{X_G - X_F}(X - X_F), \quad X \in [X_F, X_G].$$

5. Вычисление координат узловых точек изолинии, соединяющей δ_1 и δ_2 . Эта процедура осуществляется следующим образом:

Пусть (X', Y') произвольный узел γ_1 и такой, что $X' \in [X_F, X_G]$. Также пусть $(X''_1, Y''_1), (X''_2, Y''_2)$, последовательные узлы γ_2 и такие, что $X' \in [X''_1, X''_2]$. Вычислим

$$Y(X') = \lambda(X') + \frac{\lambda(X') \cdot \left(Y''_1 + (X' - X''_1) \frac{Y''_2 - Y''_1}{X''_2 - X''_1} \right)}{1 + \lambda(X')}. \text{ Аналогично вычисляются } Y(X'') \text{ для}$$

всех узлов $(X''_i, Y''_i) \in \gamma_2$, таких, что $X''_i \in [X_F, X_G]$, $(i = 1, 2)$. Таким образом, получается множество пар (X, Y) , для которых первая координата принадлежит хотя бы к одной из изолиний γ_1, γ_2 в интервале $[X_F, X_G]$.

Заметим, что в случае, когда узловые точки γ_1, γ_2 имеют одинаковое значение X , то соответствующие значения Y , вычисленные по обеим формулам, совпадают. Поэтому, исключая повторяющиеся пары, если таковые имеются, и упорядочивая их в порядке роста первых координат, получаем некоторую последовательность узловых точек $\{(X_k, Y_k)\}_{k=1, 2, \dots, k_0}$, где k_0 – общее количество найденных узлов.

6. Осуществление обратного преобразования координат найденных узловых точек:

$$\begin{pmatrix} x_k \\ y_k \end{pmatrix} = \mathbf{A}^{-1} \begin{pmatrix} X_k \\ Y_k \end{pmatrix}, \quad k = 1, 2, \dots, k_0.$$

Таким образом, определяются координаты узловых точек новой изолинии δ^* .

7. Осуществление последовательных объединений изолиний δ_1, δ^* и δ_2 , что завершает решение задачи 3.

Применение алгоритма задачи 3 создает все предпосылки, чтобы осуществлять выделение всех простых изолиний, для которых $M = 2$. Это позволяет идентифицировать изолинии, относящиеся к случаям, изображенным на рис. 1а и 1б, и удалять их из карты.

Задача 4. Выявление изолиний, имеющих пересечение, относящиеся к разным высотам (рис. 3).

Для решения этой задачи предложен следующий алгоритм.

1. Упорядочить все изолинии в порядке роста высот $H_j \leq H_i, (j < i)$ и заново пронумеровать их. Пусть последовательность всех высот, за исключением повторяющихся, удовлетворяет следующему неравенству $H^1 > H^2 > \dots > H^r$.

2. Проверить на наличие пересечений каждой изолинии, соответствующей H^i с изолиниями, соответствующими H^{i+1} , начиная с изолиний с наибольшей высотой. Это осуществляется следующим образом:

– последовательно рассматриваются все пары узловых точек изолиний H^i и H^{i+1} (соответственно $\{(x_1^i, y_1^i), (x_2^i, y_2^i)\}, \{(x_1^{i+1}, y_1^{i+1}), (x_2^{i+1}, y_2^{i+1})\}$).

– если обнаруживается выполнение одного из нижеперечисленных случаев, констатируется факт пересечения изолиний:

$$(x_1^i = x_2^i = x_1^{i+1} = x_2^{i+1}) \text{ and } ((y_1^{i+1} \in [\min\{y_1^i, y_2^i\}, \max\{y_1^i, y_2^i\}] \text{ or } (y_2^{i+1} \in [\min\{y_1^i, y_2^i\}, \max\{y_1^i, y_2^i\}])));$$

$$(x_1^i = x_2^i) \text{ and } (x_1^{i+1} \neq x_2^{i+1}) \text{ and } \left(y_2^{i+1} + \frac{y_1^{i+1} - y_2^{i+1}}{x_1^{i+1} - x_2^{i+1}} (x_2^i - x_2^{i+1}) \in [\min\{y_1^i, y_2^i\}, \max\{y_1^i, y_2^i\}] \right);$$

$$(x_1^i \neq x_2^i) \text{ and } (x_1^{i+1} = x_2^{i+1}) \text{ and } \left(y_2^i + \frac{y_1^i - y_2^i}{x_1^i - x_2^i} (x_2^{i+1} - x_2^i) \in [\min\{y_1^{i+1}, y_2^{i+1}\}, \max\{y_1^{i+1}, y_2^{i+1}\}] \right);$$

$$(x_1^i \neq x_2^i) \text{ and } (x_1^{i+1} \neq x_2^{i+1}) \text{ and } \left(\frac{y_2^{i+1} - y_2^i + \frac{y_1^i - y_2^i}{x_1^i - x_2^i} x_2^i - \frac{y_1^{i+1} - y_2^{i+1}}{x_1^{i+1} - x_2^{i+1}} x_2^{i+1}}{\frac{y_1^i - y_2^i}{x_1^i - x_2^i} - \frac{y_1^{i+1} - y_2^{i+1}}{x_1^{i+1} - x_2^{i+1}}} \in [\min\{x_1^i, x_2^i\}, \max\{x_1^i, x_2^i\}] \cap [\min\{x_1^{i+1}, x_2^{i+1}\}, \max\{x_1^{i+1}, x_2^{i+1}\}] \right);$$

3. Визуализация полученной информации для дальнейшей обработки.

Результаты применения

На основе предложенных алгоритмов разработаны программные модули (скрипты) на алгоритмическом языке Avenue в среде ArcView 3.2. Результаты моделирования приведены на рис.10, где: а) изолинии с ошибками, б) изолинии, скорректированные с помощью предложенных алгоритмов [2, 3, 4].

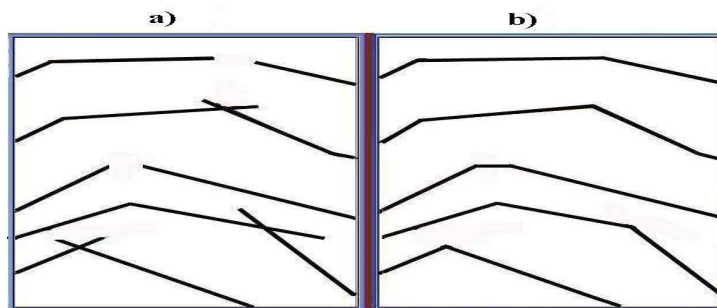


Рис.10.

Разработанные скрипты позволяют обнаруживать в автоматическом режиме допущенные ошибки и неточности, следовательно, заметно повышают эффективность корректировки векторной карты рельефа местности. Следующим

шагом в этом направлении может быть полная автоматизация процесса корректировки.

Литература

1. Беклемишев Д.В. Курс аналитической геометрии и линейной алгебры. М., Наука, 1987, 320 с.
2. Программа для визуализации, запроса и анализа пространственной информации, www.esri.com/software/arcgis/arcview/index.html
3. Using Avenue. Customization and Application Development for ArcView GIS, ESRI, 1996.
4. GeoCommunity – Software, ArcView Scripts and Downloads, <http://software.geocomm.com/scripts/arcview/>.

UOT 004(.052.4+.021):912.644.4

Əliquliyev R.M., Orucov Q.H., Səbzliyev E.N., Pənahov N.Ə., Rəsulova N.V., Əliyeva A.Ə.

AMEA İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan
depart7@iit.ab.az

Yer səthi relyefinin vektor xəritəsinin bəzi xarakterik səhvlərinin aşkarlanması və düzəlişi üçün alqoritmlərin işlənməsi

İşin məqsədi riyazi metodların köməyi ilə yer səthi relyefinin vektor xəritəsində olan səhvlərin təyin edilməsi və düzəlişi üçün alqoritmlərin işlənməsidir. Vektor xəritəsindəki xarakterik səhvlərin avtomatik rejimdə təyin edilməsi üçün alqoritmlər verilmişdir.

Açar sözlər: *CİS, alqoritm, vektor xəritəsi, yer səthi relyefi.*

Alguliyev R.M., Orujov G.H., Sabziev E.N., Panahov N.A., Rasulova N.V., Aliyeva A.A.

Institute of Information Technology ANAS, Baku, Azerbaijan
depart7@iit.ab.az

Development of detecting and updating algorithms of some characteristic errors for a vector map of a lay of land

The purpose of the work is development of algorithms for definition and elimination of errors and discrepancies of a vector map of a lay of land by the mathematical methods of the processing. The algorithms providing detection of characteristic errors of a vector map in an automatic mode are developed.

Key words: *GIS, algorithm, vector map, lay of land.*