

УДК 551.4:528.9

ББК 26.823

П 38

**Плисенко О.А.**

*Старший преподаватель кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления инженерно-физического факультета Адыгейского государственного университета, тел. (8772) 59-39-11, e-mail: plisenko\_olji@fromru.com*

## **Разработка интегрированной экспертной системы для распознавания структурных линий рельефа**

(Рецензирована)

**Аннотация.** Дается краткий обзор технологии разработки интегрированной с геоинформационной системой (ГИС) экспертной системы для предметной области геоморфологического анализа. Рассматривается слабоструктурированная задача распознавания характерных структурных линий поверхности рельефа. Для решения задачи предлагается использовать метод полной интеграции и проектирования системы на основе диаграмм UML. Обосновывается применение описанной технологии и рассматриваются особенности реализации интеграции экспертных систем с ГИС. Приведены примеры построения диаграмм UML, пространства состояний задачи и реализации экспертных правил на языке CLIPS.

**Ключевые слова:** интегрированная экспертная система, геоинформационная система, характерные элементы рельефа, геоморфологический анализ, CLIPS, пространство состояний, классификация элементов рельефа, элементарные поверхности.

**Plisenko O.A.**

*Senior Lecturer of Department of Automated Systems of Processing Information and Control at Engineering-Physics Faculty, Adyghe State University, Maikop, ph. (8772) 59-39-11, e-mail: plisenko\_olji@fromru.com*

## **Development of the integrated expert system for recognition of structural lines of a relief**

**Abstract.** The paper presents the short review on technology of development of the expert system integrated with a geographic information system (GIS) for subject domain of the geomorphological analysis. The semistructured problem related to recognition of characteristic structural lines of the relief surface is considered. To solve this problem we propose to use a method of full integration and a design of system basing on the UML diagrams. Application of the described technology is substantiated; and features of implementation of expert system integration with GIS are considered. Examples are given of creation of the UML diagrams, spaces of problem states and implementation of expert rules in the CLIPS language.

**Keywords:** the integrated expert system, a geographic information system, characteristic elements of a relief, the geomorphological analysis, CLIPS, space of states, classification of elements of a relief, elementary surfaces.

Элементы морфологической структуры, выраженные в рельефе в виде линий, широко распространены и имеют большое значение для анализа поверхности рельефа с помощью цифровых электронных карт и цифровых моделей рельефа. К ним относятся бровки, шовные линии, тальвеги, ребра, гребни, водораздельные линии и берега, линии максимальных и минимальных уклонов. Структурные линии представляют собой геоморфологические границы главных анализируемых единиц поверхности рельефа Земли – элементарных геоморфных поверхностей [1].

Теоретической базой для выделения и классификации структурных линий поверхности рельефа являются методы геоморфологического анализа. Во многих зарубежных работах (например, Jozef Minar, Ian S. Evans [2]) для определения большинства структурных линий (за исключением килевых, которые часто присутствуют на картах явно в виде русел рек, каналов и т.д.) используется интуитивный подход, основанный на визуальном анализе изолинейных карт, профильных материалов и т.п. Такой подход, не обеспеченный теоретическим синтезом, зачастую дает абсолютно разные результаты на одном и том же участке поверхности у разных исследователей [3].

Попытку строгого математического определения элементов поверхности рельефа и минимизации субъективных факторов в процессе их выделения в отечественной геоморфологии предпринял А.Н. Ласточкин, развив общую теорию геосистем в своих работах и создав методику геоморфологического картографирования шельфа и континентального склона. Однако, не смотря на строгую классификацию и определение элементов поверхности рельефа, в том числе и структурных линий, большинство операций по их выделению и типизации выполняется вручную экспертами, имеющими опыт как работы с различными картами, так и работы на местности (выполнения геодезических съемок и т.д.).

Текстологический анализ литературных источников, описывающих данную методику, показал, что для выделения элементов на определенных этапах используются различные современные цифровые материалы, полученные путем компьютерных вычислений (с помощью ГИС и других программных продуктов). Однако универсальной технологии автоматизированного трассирования структурных линий не существует.

Задача выделения всех видов структурных линий согласно методике А.Н. Ласточкина и А.Г. Зинченко с точки зрения ее формализации является средне структурированной. Среди этапов существуют как слабо формализованные, так и этапы, которые полностью можно автоматизировать с помощью вычислительных методов. Кроме того, предметная область включает понятия с размытыми определениями (например, «округлые формы рельефа», «слабо вытянутые формы рельефа» [3] и т.д.), а для выработки окончательного решения о принадлежности элемента к конкретному типу часто используют богатый эмпирический опыт, выраженный в сравнении с подробно описанными, наблюдаемыми на местности элементами рельефа. Выделение структурных линий поверхности рельефа помимо строгого математического описания включает описание методов ручной обработки картографических материалов (например, «применение приема отыскания оси параболы для слабовытянутых округлых форм» [4]). Все эти наблюдения приводят к необходимости решения задачи интеллектуальными методами и методами экспертных систем.

Решение указанной задачи с точки зрения его реализации на ЭВМ требует визуального представления пространственных данных и результатов моделирования, включения сложных вычислительных алгоритмов обработки больших массивов пространственной информации, использования систем управления пространственными базами данных. Таким образом, становится очевидным необходимость разработки интеллектуальной геоинформационной системы с интегрированной экспертной системой.

На сегодняшний день интегрированные интеллектуальные системы представляют собой наиболее активно развивающееся направление искусственного интеллекта. Вопросы проектирования и технология их создания рассматривались в работах как отечественных, так и зарубежных ученых (например, А.И. Эрлиха, А.В. Колесникова, Г.В. Рыбиной, П. Джексона). В результате выделилось отдельное научное направление, обладающее своим теоретическим и методологическим базисом, в рамках которого разработана технология построения интегрированных экспертных систем, позволяющая поддерживать их полный жизненный цикл для отдельных классов решаемых задач [5].

Интегрированные экспертные системы включают как классические компоненты, такие как база знаний и база данных, так и компоненты, характерные для соответствующего класса информационных систем, с которыми производится интеграция. Для решения проблемы их взаимодействия и обеспечения целостности процесса проектирования и разработки вводится концепция интегрированных информационных моделей. Концепция базируется на многоуровневой семантической модели знаний, включающей в себя семантику предметных моделей объектов и задач; семантику их формальных моделей; семантику алгоритмов и программ; семантику связей предметных моделей с формальными моделями и формальных моделей с алгоритмами и программами.

Большое значение при реализации данной концепции имеет степень интеграции. Для целей нашей работы выбран метод полной интеграции, характеризующийся тем, что этапы проектирования интегрированных экспертных систем включаются в полный цикл проектирования всей системы, часто в качестве расширения и дополнения стандартных, характерных в целом для информационных систем. Таким образом, при разработке интегрированной экспертной системы создаются модели предметной области, модели взаимодействия программных компонентов, модели базы данных, модели базы знаний и т.д.

В качестве визуального средства проектирования геоинформационной системы и интегрированной экспертной системы используется унифицированный язык моделирования UML (Unified Modeling Language), представляющий собой систему обозначений, основанную на диаграммах. UML удобен, т.к. он широко распространен в промышленной разработке программного обеспечения в качестве стандартного метода проектирования. UML поддерживает полный цикл проектирования для объектно-ориентированных систем (ООП) [6]. В свою очередь, экспертная система является частью геоинформационной системы, предназначенной для анализа и обработки модели рельефа в 2D и 3D пространствах, разрабатываемой с помощью современных программных средств, ориентированных именно на ООП. Поэтому логичным является подход, представляющий предметную область экспертной системы, базу знаний в свете объектно-ориентированной парадигмы. Это позволяет безболезненно интегрировать экспертную систему в ГИС. Кроме того, преобразование, например, диаграмм состояний прецедентов в продукционные правила типа «ЕСЛИ... ТО...» является интуитивно понятным.

Для формирования базы знаний экспертной системы в основном использовались текстологические методы извлечения знаний. В качестве основных источников были взяты работы А.Н. Ласточкина, работы отечественных геоморфологов в области геоморфологического анализа территории и построения ее оценки, также работы зарубежных авторов.

Рассмотрим основные понятия предметной области. Выделение структурных линий, также как и других структурных элементов поверхности рельефа, основывается на анализе распределения в пространстве основных морфологических параметров, как функций двух плановых координат  $H(x, y)$ . Ниже приведен фрагмент списка основных понятий (онтологий) предметной области, являющийся ключевым для построения экспертной системы (по А.Н. Ласточкину) [3, с. 350].

1). *Основные геоморфологические параметры* – параметры, совокупность которых необходима и достаточна для членения ЗП на морфологические элементы, а также для их строгой и исчерпывающей характеристики:

а). *Абсолютная высота (глубина) ЗП* – непрерывная функция двух плановых координат  $H(x, y)$ ;

б). *Первая производная от высоты (глубины)* –  $H'(x, y)$ . Модуль данной функции используется для оценки уклона поверхностей;

с). *Вторая производная от высоты (глубины) (нормальная или вертикальная кривизна)* –  $H''(x, y)$ . Максимальные значения модуля данной функции фиксируют выпуклые и вогнутые перегибы Земной поверхности в профиле;

д). *Горизонтальная кривизна  $K(r)$  ЗП* – кривизна горизонталей и/или структурных линий. Вычисляется по стандартной формуле кривизны плоской линии (обычно используется плоскость карты). Данный параметр вычисляется для линий, представленных функцией  $y = f(x)$ , где одна плановая координата рассматривается в качестве функций, а другая – в качестве аргумента. Используется для определения границ по-

верхностей и отнесения их к выпуклым, вогнутым, прямолинейным в плане.

2). *Элементарная поверхность (грань)* – главный площадной (в 3D-поверхностный) выделяемый элемент. Является неделимым и однородным по относительному положению по высоте, углам наклона и горизонтальной кривизне. Ее ограничением служат отражающие структуру земной поверхности линейные (структурные линии) и точечные элементы (характерные точки).

3). *Структурные линии (скелетные, инвариантные, характерные, отличительные, ребра)* – линии, трассируемые по точкам с экстремальными и нулевыми значениями основных геоморфологических параметров, а также с простыми разрывами последних и разрывами функций при их стремлении к «+» и «-» бесконечности. Представляют границы основных выделяемых единиц – элементарных поверхностей. Включают 7 типов: гребневые, килевые, максимальных уклонов, минимальных уклонов, выпуклых и вогнутых перегибов, морфоизографы.

4). *Характерные точки (отличительные точки)* – точки пересечения структурных линий, точки с экстремальными значениями  $H(x, y)$  на изометрических положительных и отрицательных формах ЗП (вершины), точки с экстремальными значениями  $H(x, y)$  на положительных и отрицательных изгибах гребневых и килевых линий (вершины ундуляций).

5). *Точки трассировки СЛ* – точки с экстремальными и нулевыми значениями основных геоморфологических параметров, а также с простыми разрывами последних и разрывами функций при их стремлении к «+» и «-» бесконечности.

На основе проведенного текстологического анализа обобщенной методики геоморфологического картографирования, была разработана модель предметной области.

На рисунке 1 представлен фрагмент модели предметной области, реализованный в виде диаграммы классов UML.

Рассмотрим понятие «элементарная поверхность». На диаграмме сущность «элементарная поверхность» изображена в виде класса, объекты которого имеют такие атрибуты как «уклон», «горизонтальная кривизна», «вертикальная кривизна», «форма в профиле», «форма в плане», «тип поверхности», «тип поверхности по кл. Ласточкина». Объекты класса «элементарная поверхность» являются составными. Они включают объекты классов «структурная линия» и «характерная точка», которые геометрически являются границами элементарной поверхности. Для этих объектов используется классификация А.Н. Ласточкина.

Особое значение для построения экспертной системы имеет сущность «точки трассировки СЛ», т.к. именно на основе этих точек выделяются структурные линии и затем элементарные поверхности. Точки трассировки СЛ могут быть получены как непосредственно с электронной карты, так и рассчитаны по ее объектам. Например, водотоки, составляющие речную сеть, это – килевые линии. То есть точки, представляющие в векторном виде водотоки, являются точками трассировки килевой структурной линии; также можно интерпретировать линии обрывов. Точки трассировки таких структурных линий как морфоизографы, склоновые гребневые и килевые линии получим путем математической обработки горизонталей (сначала строим математическую модель горизонтали путем аппроксимации ее сплайном, затем находим точки с максимальной, минимальной и нулевой кривизной).

На диаграмме сущность «точки трассировки линии» представляет собой класс, объекты которого имеют атрибут «тип линии», к которой принадлежит данная точка. Значение данного атрибута определяется на этапе получения данной точки. В результате экспериментов было определено, что существующий список типов точек нужно расширить следующим образом: среди точек перегиба склона нужно выделить точки, в которых форма склона меняется от выпуклой к вогнутой, и точки, в которых от выпуклой

(вогнутой) форма переходит в прямолинейную. Для удобства обработки значения данного атрибута кодируются численными значениями.

Из приведенного фрагмента видно характерное разделение предметной области программной системы на две части: первая описывает понятия предметной области, используемые базой знаний экспертной системы, вторая – понятия, связанные с используемыми моделями и методами ГИС. Так, понятия «элементарная поверхность», «структурная линия», «точка трассировки» и т.п. включают атрибут «геометрия», который представляет собой математическую модель описываемой сущности. Еще одним примером является понятие «водоток», которое включает атрибут «аппроксимация» (аппроксимированная модель 2D кривой линии). Кроме того, включены понятия: «электронная карта», «слой горизонталей», «слой гидрографии» и т.п., описывающие модель компоновки и отображения исходных данных. Данные сущности не используются непосредственно базой знаний, однако являются «поставщиками» исходных данных. Подобная структура предметной области позволяет описать правила применения и взаимосвязь моделей программной системы и базы знаний. Программная интеграция обеспечивает поддержку передачи данных между вычислительными модулями на основе единого коммуникационного интерфейса, также представленного сущностями предметной области.

На рисунке 2 представлена диаграмма видов деятельности, описывающая последовательность решения задачи выделения структурных линий поверхности рельефа с помощью экспертной системы. Из диаграммы видно, что исходными материалами являются слои электронной карты. Именно такой источник данных был выбран по следующим причинам:

- 1) часть объектов на карте без предварительной обработки представляют собой либо характерные точки, либо структурные линии;
- 2) как правило, данные на электронных картах в некоторой степени генерализованы, т.е. очищены от незначительных деталей;
- 3) имеется возможность восстановления и описания исторического рельефа, а следовательно восстановления процесса изменения форм рельефа и определения рельефообразующих процессов.

Кроме того, если необходимо повысить точность или учесть даже незначительные детали поверхности рельефа, достаточно построить в автоматизированном режиме в любой современной ГИС изолинейное представление поверхности по более точным данным, например, полученным со спутника. Ошибки, возникающие в данном случае, соизмеримы с ошибками аппроксимации и лежат в допустимом диапазоне. Значимыми для вычислений являются слои гидрографии, горизонталей, отметок высот, обрывов, осыпей.

Этапы, требующие математических вычислений и позволяющие однозначно определить структурные элементы (например, такие как точки трассировки и характерные точки), вынесены за границы экспертной системы и выполняются в режиме анализа и расчета 2D электронной карты. На вход экспертной системы поступает поле точек. Поле включает рассчитанные и полученные напрямую с электронной карты точки трассировки структурных линий и характерные точки. Для каждой точки с помощью диаграммы Вороного строится список соседних точек. Так как поле точек может быть очень большим и включать много объектов, то для их обработки экспертной системой используется метод «скользящего окна».

То есть последовательно обрабатываются небольшие фрагменты поля точек пока не будет обработано все поле. База знаний экспертной системы должна включать правила, распознающие среди рабочих точек структурные элементы.

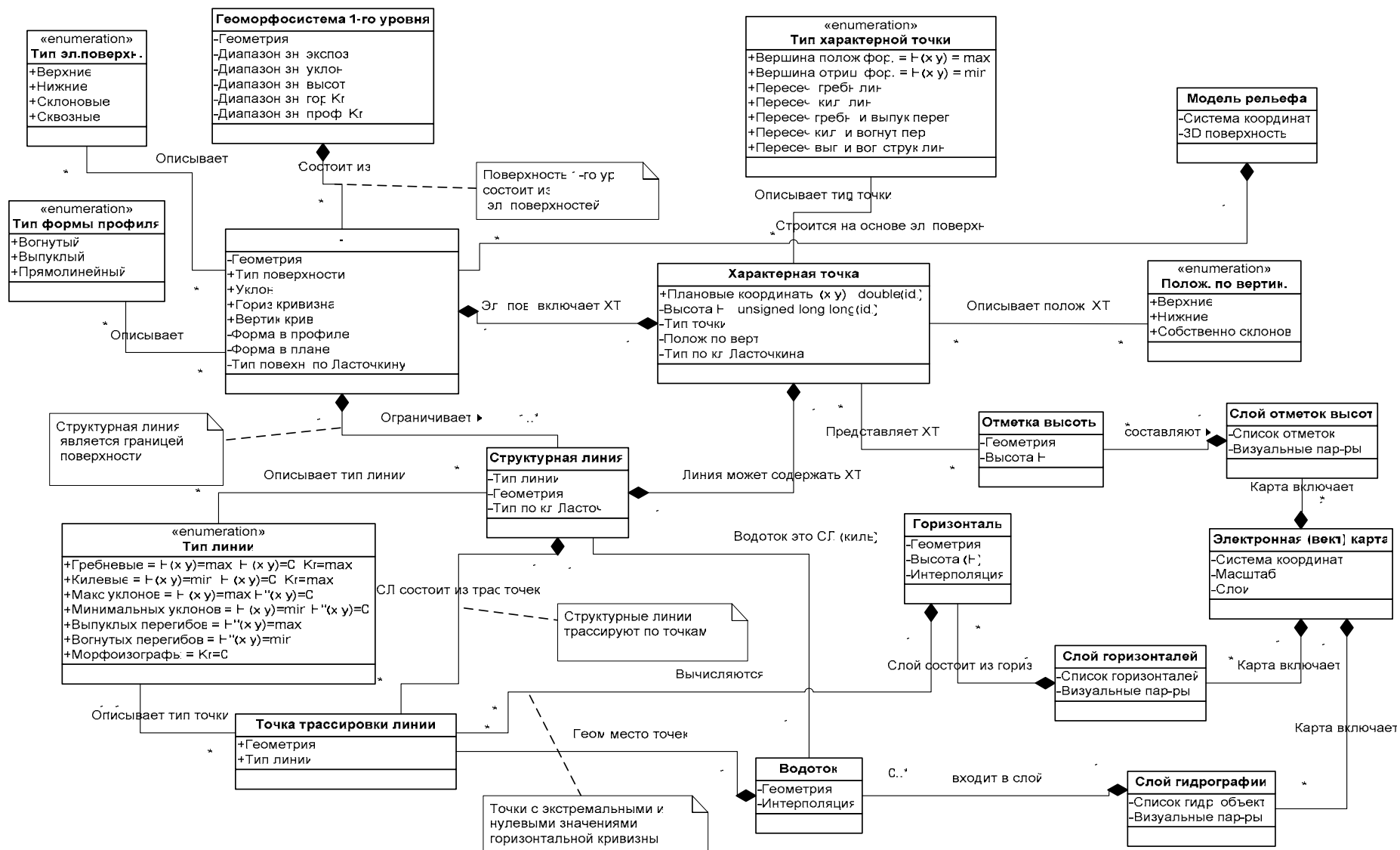


Рис. 1. Фрагмент модели предметной области автоматизированной системы выделения и классификации элементов трехмерной геометрической поверхности рельефа

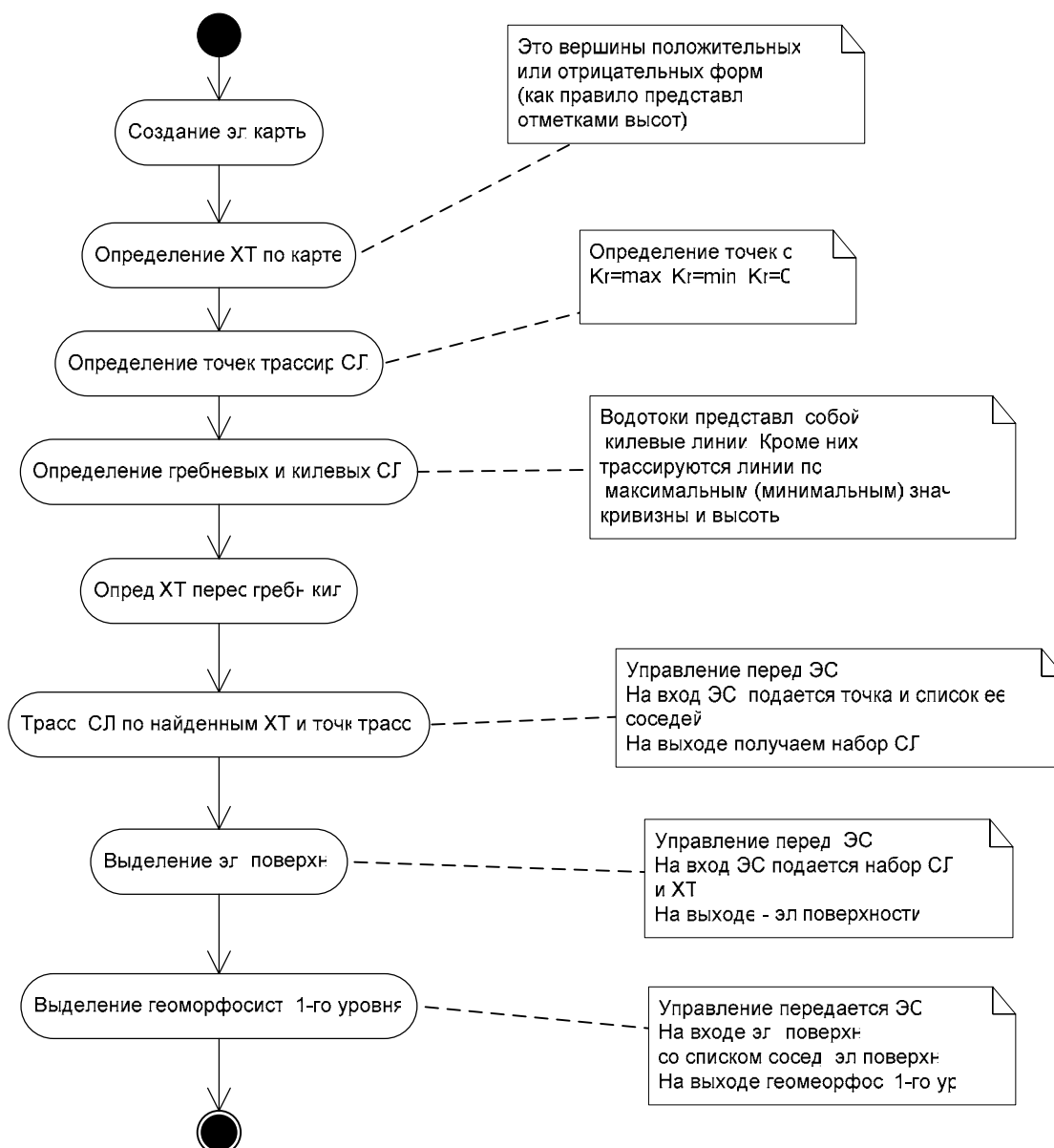


Рис. 2. Диаграмма видов деятельности

Анализируя диаграмму последовательностей, обратим внимание на то, что модель рельефа с ее структурными элементами должна быть сохранена в базе данных для ее последующей аналитической обработки. Таким образом, экспертная система должна возвращать основной системе распознанные элементы. В отличие от классических на данном этапе разрабатываемая экспертная система не включает подсистему объяснений. При дальнейшем развитии интегрированной ГИС предполагается решить данный вопрос.

На следующем этапе с помощью диаграммы состояний UML были проанализированы пространства состояний основных операций экспертной системы для построения набора правил и построения базы знаний.

Рассмотрим фрагмент базы знаний для выделения структурных линий. После выполнения соответствующих этапов вычислений системы набор точек трассировки структурных линий и их отношения соседства графически может быть представлен в виде поля точек и диаграммы Вороного (см. рис. 3), а на рисунке 4 представлено пространство состояний для выделения склоновых структурных линий. В процессе реализации проекта были разработаны базовые схемы пространства состояний для каждого блока правил и первичные алгоритмы дерева вывода.

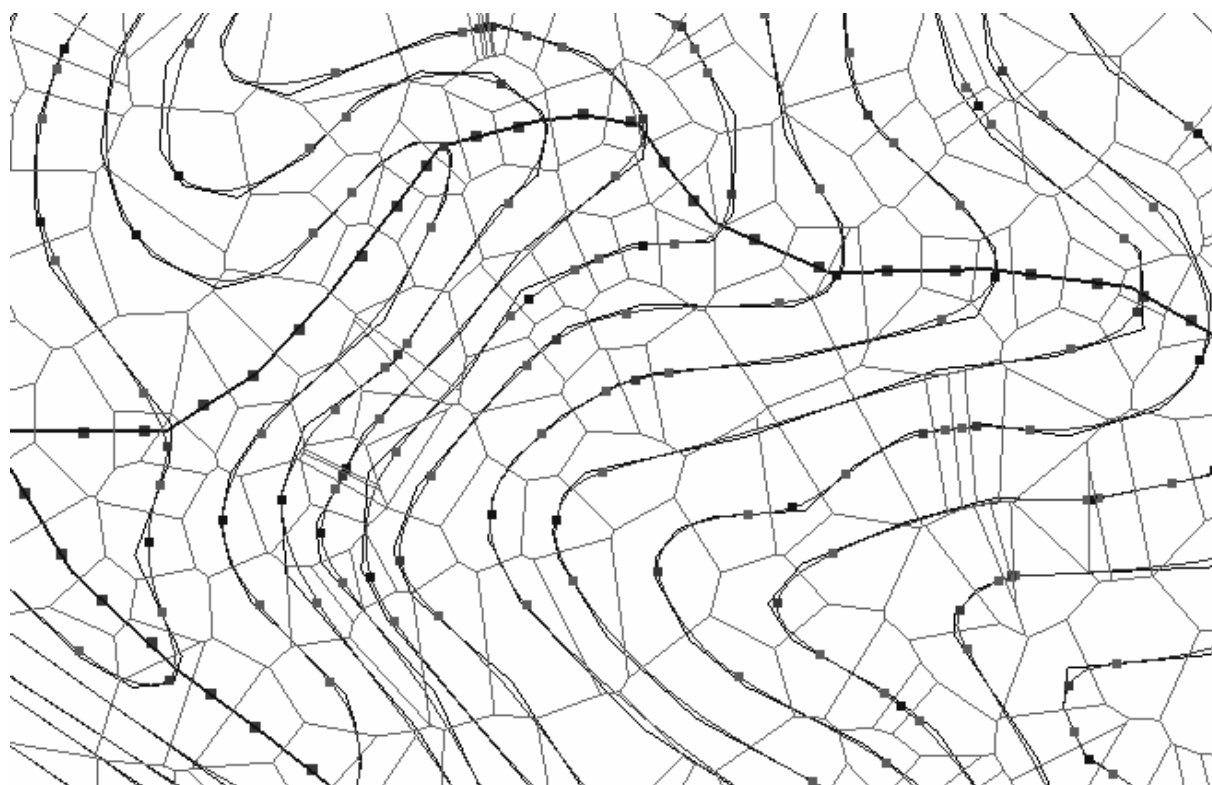


Рис. 3. Поле точек трассировки структурных линий и их отношения соседства, представленные в виде диаграммы Вороного

Полученные диаграммы дают ясное понимание задачи, позволяют проанализировать функционирование создаваемой интегрированной ГИС, обеспечивают стандартизацию представления структуры программы и данных. Создание и модификация подобных диаграмм являются наглядной «двумерной» документацией к решаемой задаче.

Для реализации экспертной системы был выбран язык разработки CLIPS, т.к. он, во-первых, располагает встроенным объектно-ориентированным языком COOL и средствами, позволяющими комбинировать правила и объекты, что соответствует выбранной парадигме проектирования и разработки программной системы в целом; во-вторых, исполняющая система CLIPS может выступать в качестве внедренного приложения, т.е. программа на CLIPS может быть скомпилирована и скомпонована с программой на языке C/C++, которая будет вызывать CLIPS – фрагменты как подпрограммы, что позволяет внедрять функции искусственного интеллекта в компоненты больших программных комплексов.

В настоящее время порождающие правила обычно реализуются в форме правил, манипулирующих с символическими структурами, а не строками символов. В результате алфавит канонической символической системы заменяется словарем символов или атомов и простой грамматикой формирования символических структур. Таким образом, словарь описания символических структур состоит из трех подмножеств:

- $N$  – имен объектов предметной области;
- $P$  – имен свойств, которые рассматриваются в качестве атрибутов объектов;
- $V$  – допустимых значений атрибутов.

Используемая грамматика имеет вид триад «объект»-«атрибут»-«значение». Триада  $(v, \pi, \varpi)$  существует, если  $v \in N$ ,  $\pi \in P$ ,  $\varpi \in V$ . Представленная синтаксическая форма обобщается в том случае, когда нужно для некоторого объекта  $v$  представить  $n$  вариантов пар «атрибут»-«значение»  $(\pi_1, \varpi_1), \dots, (\pi_n, \varpi_n)$ . В таком случае они объединяются в вектор  $(v, \pi_1, \varpi_1, \dots, \pi_n, \varpi_n)$ .



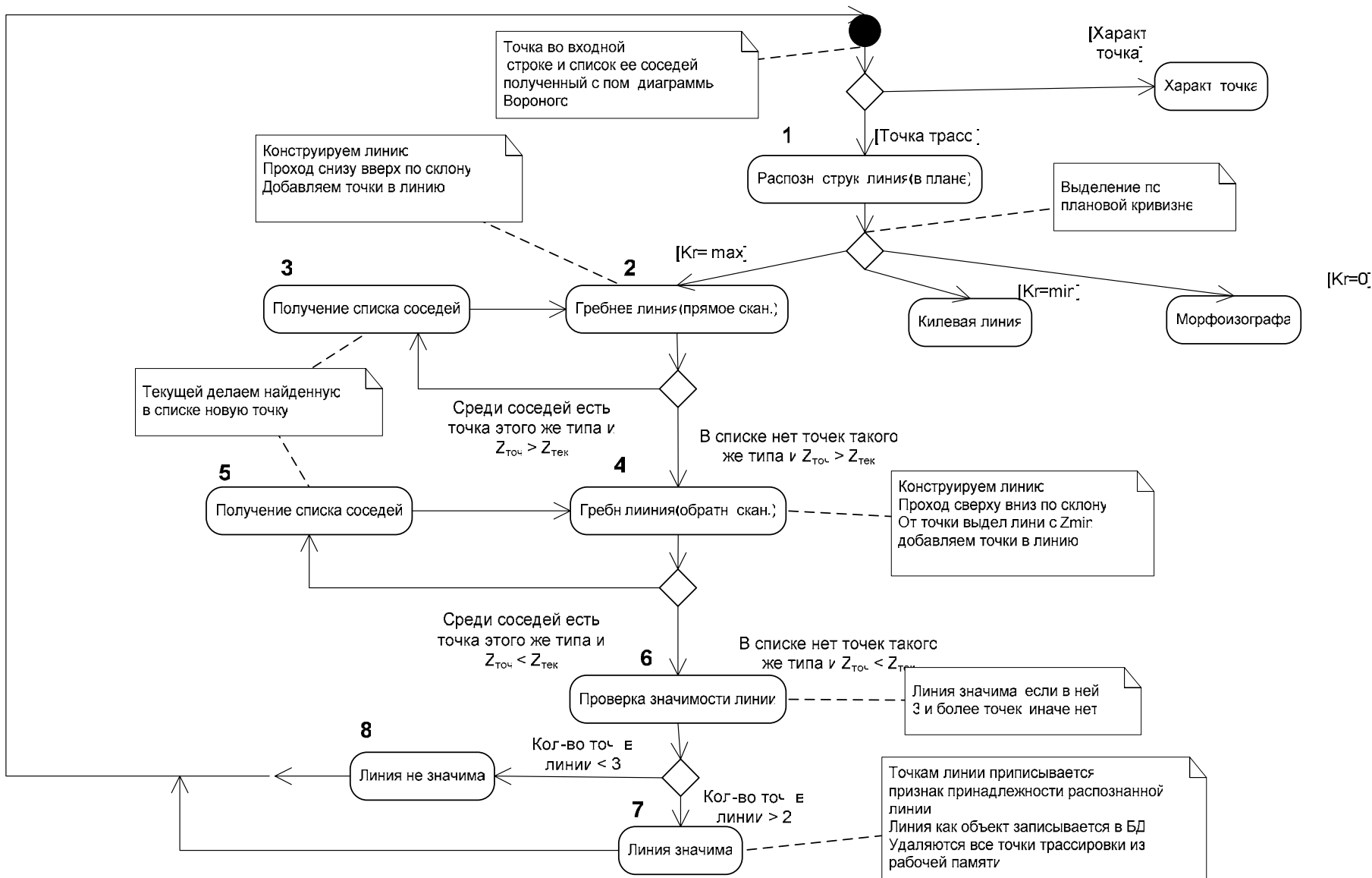


Рис. 4. Пространство состояний для выделения склоновых гребневых линий

Аналогичный синтаксис фактов имеет язык CLIPS. Синтаксическое представление правил в продукционной системе имеет следующий вид:

$$P_1, \dots, P_m \rightarrow Q_1, \dots, Q_n,$$

которое интерпретируется следующим образом:

*ЕСЛИ предпосылки  $P_1$  и ... и  $P_m$  верны, ТО выполнить действия  $Q_1$  и ... и  $Q_n$ .*

Предпосылки представляются в виде вектора «объект»-«атрибут»-«значение». Перечень предпосылок в правиле представляет собой образец вектора, которому должно соответствовать состояние рабочей памяти.

На рисунке 5 приведены правила 1-3 диаграммы пространства состояний, участвующие в цикле распознавания.

```

;=====
; Правила выделения структурных склоновых линий
;=====
(open "expdebug.txt" fdebug "w")

; Получаем новую точку
(defrule MAIN::get-begin-point "In beginning get first point from list"
  (state (action recogn_slop_line) (cicle begin)) ; Если состояние (действие = распознавание структурны
  (recognition_lines (type_object nothing) (cycle begin)) ; и состояние распознав. линий (тип объекта =
  =>
  (bind ?adr (GetNewPoint 1)) ; Вызов ф-ии языка С, добавляющую точку трассировки в рабочую память
  (bind ?adr1 (GetNeighbor ?adr:id) ; Вызов ф-ии языка С, добавляющей соседние точки в рабочую память
  (format fdebug "Point num= %d, type = %d" (send ?adr get-num) (send ?adr get-p_type))
  (modify recognition_lines (cycle continue)
  (modify ?adr (status 0)) ; делаем первую точку активной
)

; Распоз. гребневая линии
(defrule MAIN::recogn_slope_ridge
  (state (action recogn_slop_line) (cycle begin)) ; Если состояние (действие = распознавание структурны
  (recognition_lines (type_object nothing) (cycle begin)) ; и состояние распознав. линий (тип объекта =
  (?ins<- (object (is-a specialpoint) (status 0) (p_type 6) (used 0))) ; есть специальная точка со ста:
  =>
  (make-instance [ridge_line] of Curve (line_type 6) (count 1)) ; Создаем новый объект СЛ
  (modify state (action recogn_slop_line)) ; Модифицируем состояние
  (modify recognition_lines (type_object slope_ridge) (cycle forward))
)

; Прямое сканир. гребневой линии
(defrule MAIN::slope_ridge_scan_fw
  (state (action recogn_slop_line)) ; Если состояние (действие = распознавание структурных линий)
  (recognition_lines (type_object slope_ridge) (or (cycle continue) (cycle forward))))
  (?ins<- (object (is-a specialpoint) (status 0) (p_type 6))) ; есть специальная точка со статусом 0
  (?ins1<- (object (is-a specialpoint) (status 1) (p_type 6) (< point:z ?ins:point:z) (used 0)))
  =>
  (send ?ins set-status 1) ; делаем текущую точку не активной
  (insert$ [ridge_line]:sp_points ?ins) ; вставляем текущ. точку в линию
  (send [ridge_line] set-count (+ [ridge_line]:count 1)) ; увеличиваем счетчик точек
  (send ?ins1 set-status 0) ; делаем соседнюю точку активной
  (do-for-all-instances (?sp) (= ?sp:status 1) (delete_instance ?sp)) ; удаляем все неактивные точки
  (modify recognition_lines (cycle get_neighbor))
)

```

Рис. 5. Определение правил для состояний 1-3 диаграммы пространства состояний на языке CLIPS

По классификации Г.В. Рыбиной, полная интеграция является самым высоким уровнем и заключается в соединении лучших качеств компонентов систем, основанных на знаниях, и информационных систем. Полная интеграция ведет к созданию совершенно новых систем с новыми возможностями, т.к. все компоненты находятся в одной системе с унифицированной структурой для моделирования фактов и правил и однородной обработкой данных и знаний [7, с. 119].

Использование экспертной системы как составной части ГИС для распознавания структурных линий рельефа предполагает, что в состав классических компонентов ГИС интегрируется прежде всего машина логического вывода экспертной системы. При этом наиболее эффективным алгоритмом вывода, учитывающим сложность и объем

пространственных данных, является сетевой алгоритм логического вывода Rete.

Использование ИГИС при геоморфологических исследованиях позволяет решать проблему единообразного подхода к экспертному выделению значимых для анализа элементов поверхности рельефа, максимально исключив субъективные факторы. Кроме того, позволяет объединить различные этапы обработки цифровых пространственных данных и увеличить скорость их обработки.

#### Примечания:

1. Симонов Ю.Г. Морфометрический анализ рельефа. М.; Смоленск: Изд-во СГУ, 1998. 272 с.
2. Рыбина Г.В. Основы построения интеллектуальных систем: учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений, обучающихся по специальности 080801 «Прикладная информатика» и другим экономическим специальностям. М.: Финансы и статистика: ИНФРА-М, 2010. 430 с.
3. Minar J., Evans Ian S. Elementary forms for land surface segmentation: The theoretical basis of terrain analysis and geomorphological mapping // *Geomorphology*. 2008. No. 95. P. 236-259. URL: [www.elsevier.com/locate/geomorph](http://www.elsevier.com/locate/geomorph)
4. Ласточкин А.Н. Системно-морфологическое основание наук о Земле (Геотопология, структурная география и общая теория геосистем). СПб.: Изд-во НИИХ СПбГУ, 2002. 762 с.
5. Зинченко А.Г., Ласточкин А.Н. Методика геоморфологического картографирования шельфа и континентального склона Российской Федерации (применительно к задачам Госгеолкарты-100) / под ред. Б.Г. Лопатина; ЗАО «Геоинформмарк». М., 2001. 34 с.
6. Felfernig A., Friedrich Gerhard E., Jannach D. UML as domain specific language for the construction of knowledge – based configuration systems // *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*. 2000. Vol. 10, No. 4. P. 449-469.
7. Рыбина Г.В. Теория и технология построения интегрированных экспертных систем: монография. М.: Научтехлитиздат, 2008. 482 с.

#### References:

1. Simonov Yu.G. Morphometric analysis of a relief. M.; Smolensk: SSU Publishing House, 1998. 272 pp.
2. Rybina G.V. Foundations of creation of intellectual systems: a manual for students of higher schools trained for specialty 080801 «Applied informatics» and other economic specialties. M.: Finance and Statistics: INFRA-M, 2010. 430 pp.
3. Minar J., Evans Ian S. Elementary forms for land surface segmentation: The theoretical basis of terrain analysis and geomorphological mapping // *Geomorphology*. 2008. No. 95. P. 236-259. URL: [www.elsevier.com/locate/geomorph](http://www.elsevier.com/locate/geomorph)
4. Lastochkin A.N. The system and morphological basis of Earth science (Geotopology, structural geography and general theory of geosystems). SPb.: SPbSU NIIKh Publishing House, 2002. 762 pp.
5. Zinchenko A.G., Lastochkin A.N. Technique of geo-morphological mapping of the shelf and continental slope of the Russian Federation (in relation to problems of the State Geological Map-100) / ed. by B.G. Lopatin; ZAO «Geoinformmark». M., 2001. 34 pp.
6. Felfernig A., Friedrich Gerhard E., Jannach D. UML as domain specific language for the construction of knowledge – based configuration systems // *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*. 2000. Vol. 10, No. 4. P. 449-469.
7. Rybina G.V. Theory and technology of creation of integrated expert systems: a monograph. M.: Nauchtekhlitizdat, 2008. 482 pp.