

О.А. Плисенко¹

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ В ГИС ДЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО АНАЛИЗА РЕЛЬЕФА

Резюме. В статье 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 проектирование системы на основе диаграмм UML. Дается обоснование применения описанной технологии и 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, CLIPS, пространство состояний, структурные элементы рельефа.

Введение. Интеллектуальные, основанные на знаниях методы широко используются в современных геоинформационных системах. Главное преимущество использования таких методов состоит в том, что эвристически обработанная информация, представленная в виде декларативного знания, приводит к меньшим вычислительным и когнитивным требованиям к решению задачи, и существенно сокращает пространство поиска оптимальных решений. Использование экспертных систем интегрированных в ГИС обусловлено с одной стороны, разнообразием и сложностью данных в ГИС, с другой – наличием большого числа экспертных задач при использовании таких систем.

Пространственные аналитические инструменты в большинстве современных промышленных ГИС поддерживают функции выполнения пространственных запросов, пространственный анализ близости, топологический анализ соседства, наложение карт и гео статистический анализ. Кроме того, современные ГИС предлагают инструменты для управления векторными и растровыми базами данных на реляционной и объектно-ориентированной платформах.

Однако если говорить о существующих промышленных ГИС, то можно выделить три главных препятствия объединения систем основанных на знаниях с современными ГИС платформами: наследуемая вычислительная основа на базе булевой логики, ограниченная встроенная аналитическая и моделирующая функциональность, и практическое отсутствие средств представления знаний и алгоритмов их обработки.

В силу перечисленных причин, интегрированные интеллектуальные системы на базе ГИС представляют собой наиболее перспективное направление развития геоинформационных технологий.

Методы объединения интеллектуальных систем с ГИС могут быть классифицированы по степени интеграции: слабосвязанные, сильно связанные и встроенные системы. В слабо связанных системах информацией между ГИС и отдельными основанными на знаниях системами передается через совместное использование файлов уровня приложения. Слабо связанные интегрированные системы имеют один недостаток – скорость передачи данных между модулем экспертной системы и ГИС намного ниже, чем у аналогичных сильно связанных и интегрированных системах.

В сильно связанных системах функции базы знаний встраиваются как закодированные модули в рабочую платформу ГИС, которые могут быть разработаны на языке данной платформы. Пакеты ГИС (например, программное обеспечение ArcGIS), как правило, обеспечи-

¹ Кафедра автоматизированных систем обработки информации и управления инженерно-физического факультета Адыгейского государственного университета; e-mail: plisenko_olji@fromgu.com.

вают собственную среду разработки ArcGIS Engine (на базе языка ArcObjects), представляющую собой набор ГИС-компонентов и средств разработки, позволяющую как создать собственное ГИС-приложение «с нуля», так и добавлять ГИС-функциональность в существующий программный продукт. Для встраивания в само приложение ArcGIS функций и модулей других приложений используется .NET интерфейс и скриптовый язык Python. В качестве примера можно привести основанную на технологии COM экспертную систему для выбора подходящей картографической проекции карты в ArcGIS. Преимущество этого подхода состоит в том, что он эффективно расширяет функциональность ГИС, таким образом, утилиты экспертной системы могут эффективно интегрироваться с интерфейсом пользователя.

Во встроенных системах, ГИС и компоненты интеллектуальных систем связываются с помощью совместно используемой памяти и общего интерфейса. Например, коммерческий пакет IDRISI Andes включает модуль нечеткой классификации, который использует Байесовский вывод и теорию доказательств Демпстер-Шафера для построения требуемых комбинаций модулей.

Интегрированные интеллектуальные системы включают как классические компоненты экспертных систем, такие как база знаний и база данных, так и компоненты, характерные для ГИС. 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.

Целью работы является разработка экспертной системы пространственного анализа рельефа и выделения структурных элементов, таких как структурные линии и элементарные поверхности.

Материалы и методы исследований. 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 разрабатываются модели предметной области, модели взаимодействия программных компонентов, модели базы данных, модели базы знаний и т.д.

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 [Симонов, 1998].

Теоретической базой для выделения и классификации структурных линий поверхности рельефа являются методы геоморфологического анализа. В большинстве зарубежных работ (например, [Minar, Evans, 2008]) 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 [Ласточкин, 2002].

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» [Ласточкин, 2002] 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» [Зинченко, Ласточкин, 2001]). 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.

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). 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 производственные правила типа «ЕСЛИ.. ТО..» является интуитивно понятным [Felfernig et al., 2000].

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.

Для реализации экспертной системы был выбран язык разработки CLIPS так, как 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.

Результаты исследований и их обсуждение. Рассмотрим основные понятия предметной области. Выделение структурных элементов поверхности рельефа, основывается на анализе распределения в пространстве основных морфологических параметров как функций двух плановых координат $H(x,y)$ [Ласточкин, 2002]. К основным понятиям предметной области относятся.

1) *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).

2) *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 перегибов, морфоизографы.

3) *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).

4) *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», так как 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, уже представляют собой килевые линии, т.е. 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», представляющий собой 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.

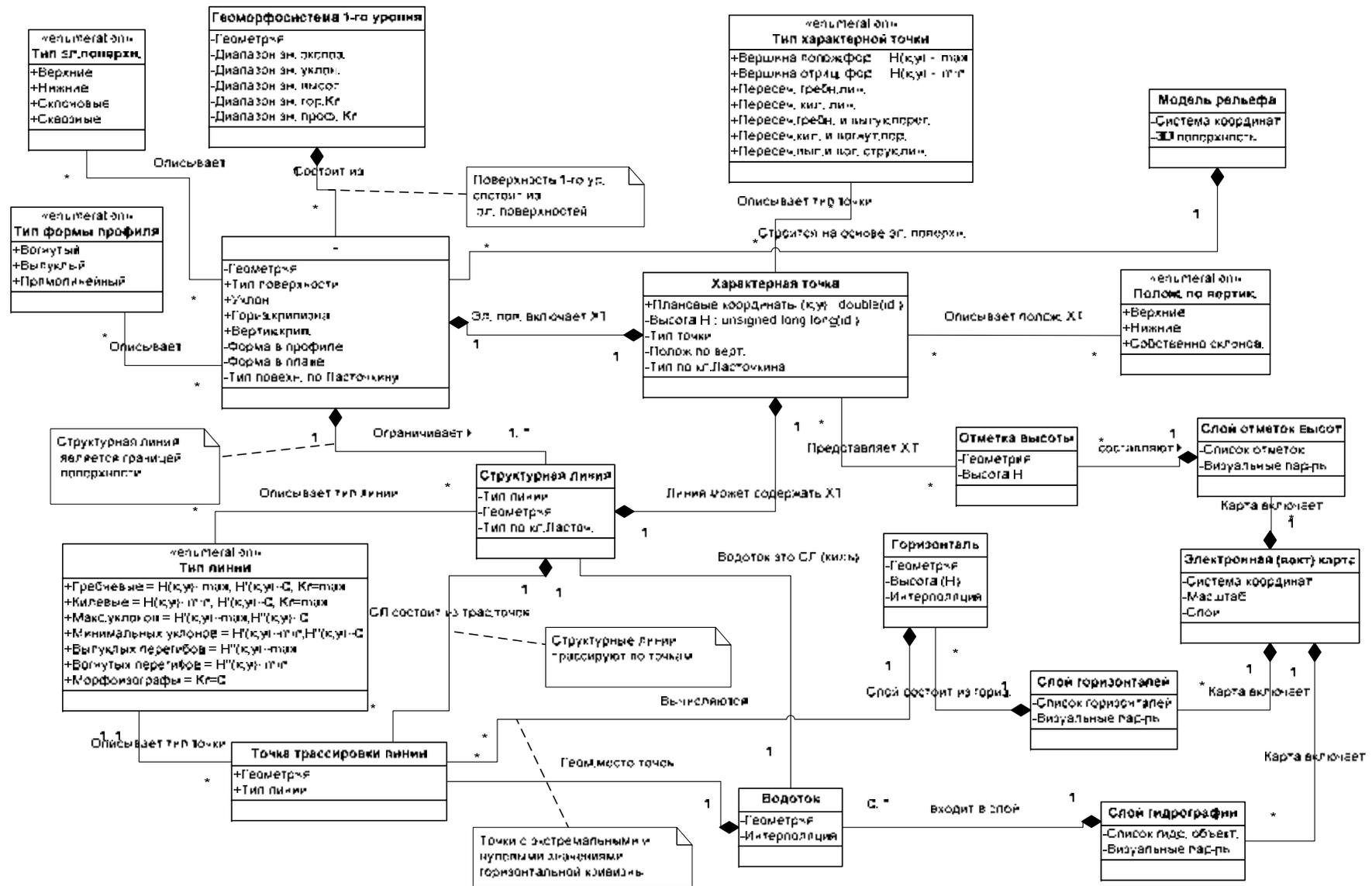


Рис. 1. Фрагмент модели предметной области автоматизированной системы выделения и классификации элементов трехмерной геометрической поверхности рельефа

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 незначачих 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. 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.

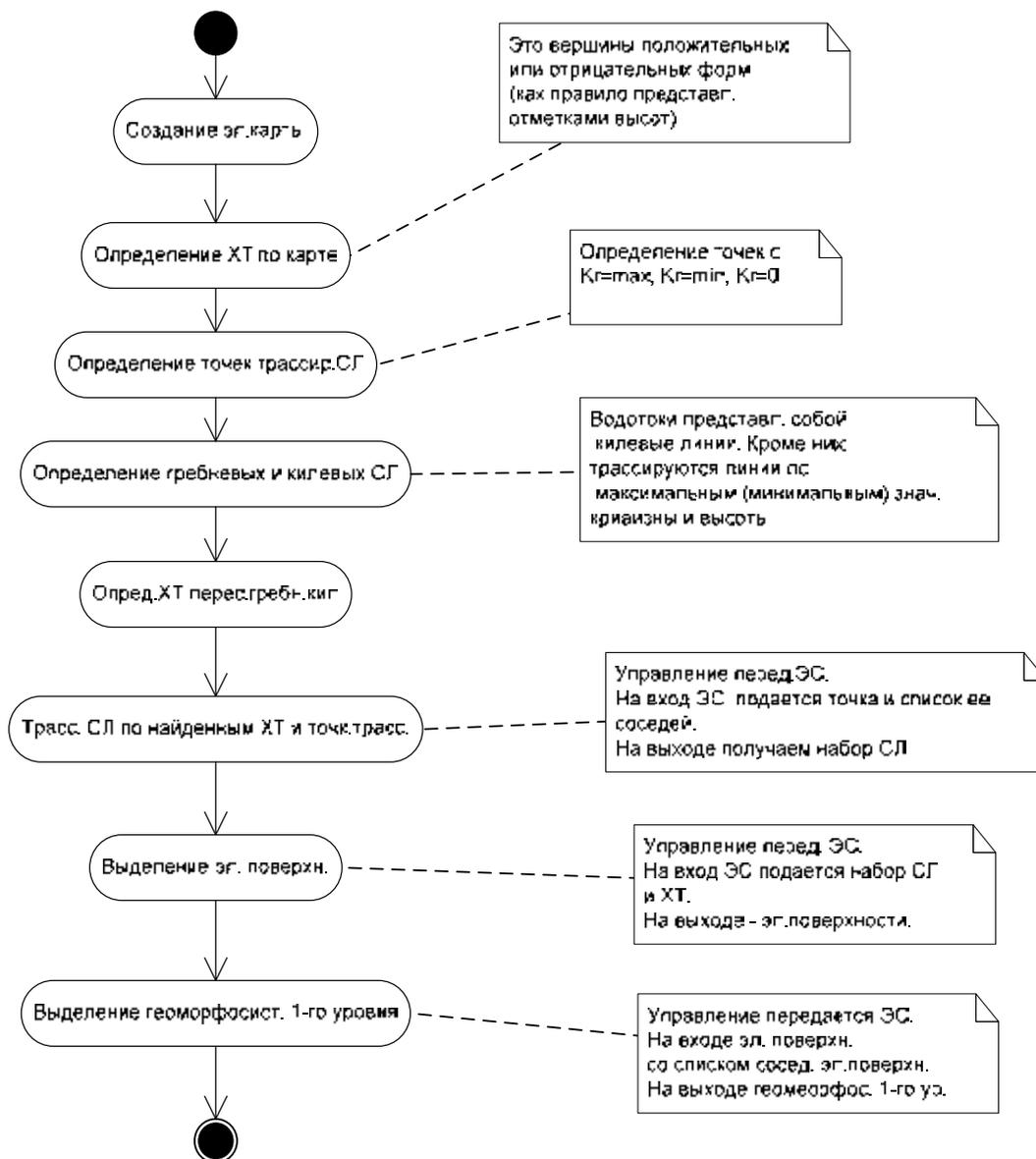


Рис. 2. Диаграмма видов деятельности

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.

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.

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.

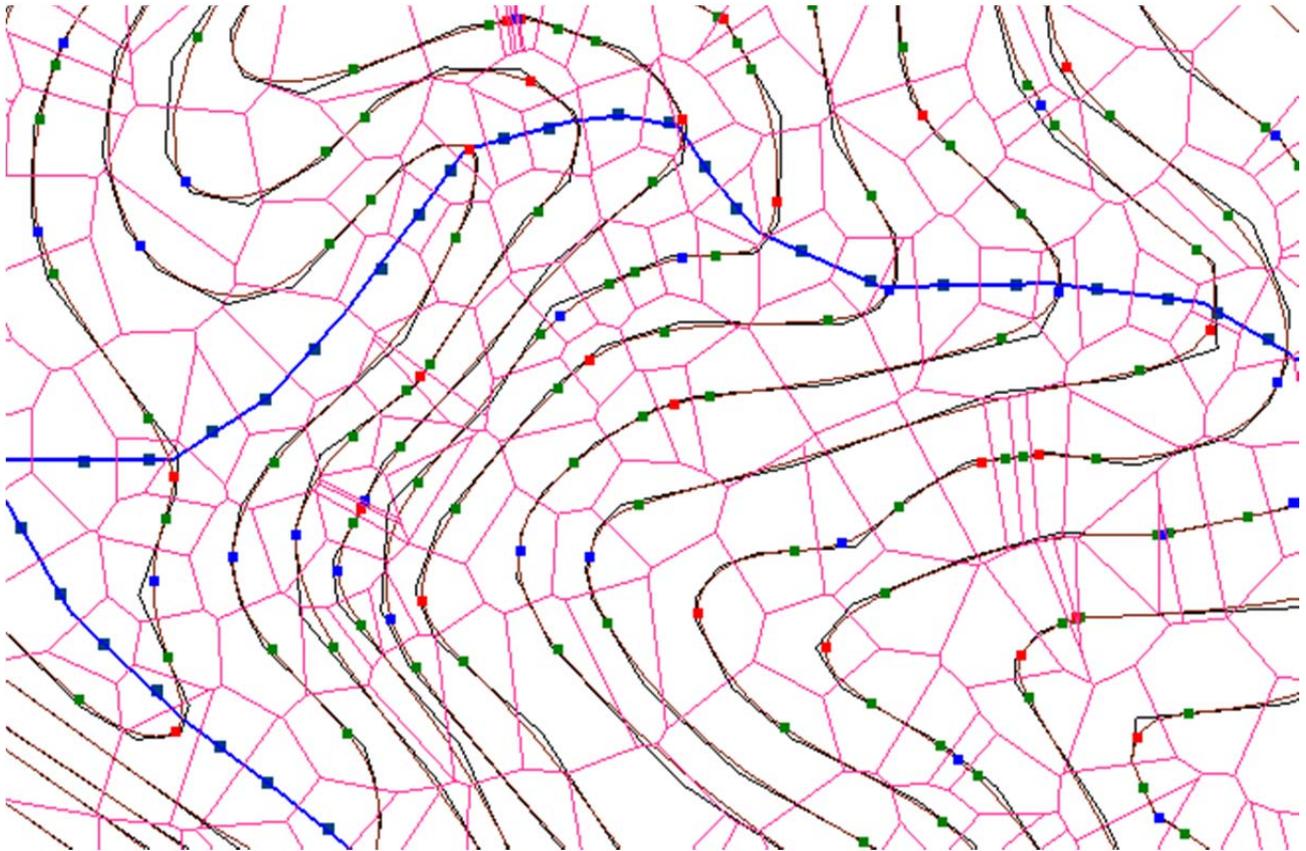


Рис. 3. Поле точек трассировки структурных линий и их отношения соседства, представленные в виде Диаграммы Вороного

Используемая грамматика имеет вид триад «объект»-«атрибут»-«значение». Триада (v, π, ϖ) 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:

$$(v, \pi_1, \varpi_1, \dots, \pi_n, \varpi_n).$$

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.

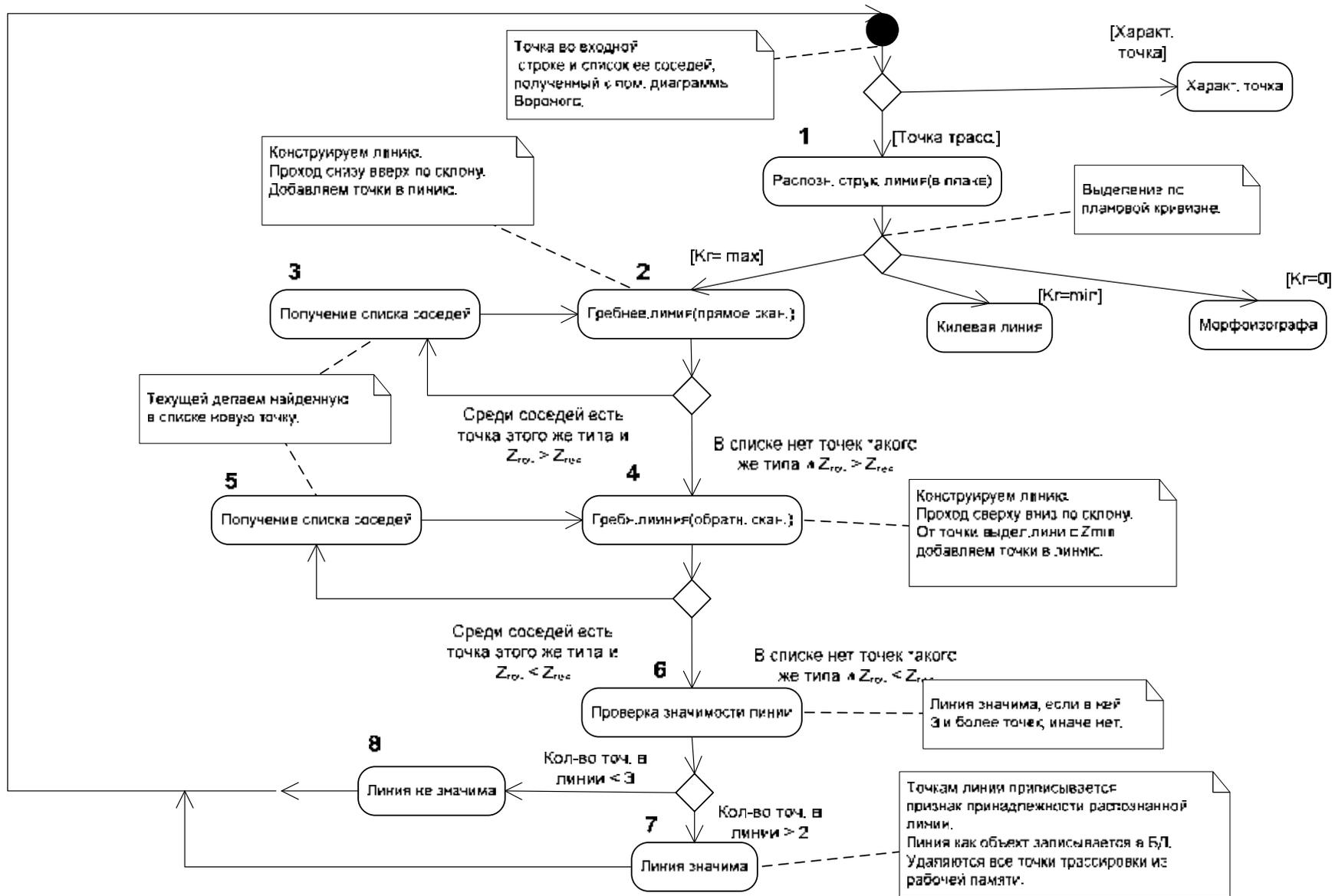


Рис. 4. Пространство состояний для выделения склоновых гребневых линий

```

;=====
; 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) (cycle begin)) ; Если состояние (действие = распознавание структурных
  (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 структурных
  (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

Выводы. 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, так как все компоненты находятся в одной системе с унифицированной структурой для моделирования фактов и правил и однородной обработкой данных и знаний [Рыбина, 2010].

Использование экспертной системы как составной части ГИС для распознавания структурных элементов 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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. С. 34.
2. Ласточкин А.Н. Системно-морфологическое основание наук о Земле (Геотопология, структурная география и общая теория геосистем). СПб.: Изд-во НИИХ СПбГУ, 2002. С. 762.
3. Рыбина Г.В. Теория и технология построения интегрированных экспертных систем: монография. М.: Научтехлитиздат, 2008. С. 482.
4. Симонов Ю.Г. Морфометрический анализ рельефа. Москва-Смоленск: Изд-во СГУ, 1998. С. 272.
5. Alexander Felfernig, Gerhard E. Friedrich, Dietmar Jannach. 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. Pp. 449-469.
6. Jozef Minar, Ian S. Evans. Elementary forms for land surface segmentation: The theoretical basis of terrain analysis and geomorphological mapping / *Geomorphology* 95(2008). Pp. 236–259. URL: www.elsevier.com/locate/geomorph.

О.А. Plisenko¹

USE OF EXPERT SYSTEMS IN GIS FOR THE SPACE ANALYSIS OF THE RELIEF

Abstract. *The article provides a short review of technology of development of the expert system integrated with a geographic information system (GIS) for subject domain of the geomorphological analysis. The semistructured problem of identification of the indicative structural lines of a surface of a relief is considered. To solve the problem, a method of the complete integration and the system projection on the basis of UML diagrams are used. The publication gives grounds for application of the described technology and feature of realization of expert system integration with GIS. Examples of creation of UML diagrams, state space of the problem and implementation of expert rules in the CLIPS language are given.*

Key words: *the integrated expert system, geoinformation system, CLIPS, state space, building blocks of a relief.*

REFERENCES

1. Zinchenko A.G., Lastochkin A.N. Metodika geomorfologicheskogo kartografirovaniya shelfa i kontinentalnogo sklona Rossiyskoy Federatsii (primenitelno k zadacham Gosgeolkarty-100) [Technique of geomorphological mapping of the shelf and continental slope of the Russian Federation (relating to problems of Gosgeolkarty-100)] /pod red. B.G. Lopatina. ZAO «Geoinformmark». M., 2001. 34 p.
2. Lastochkin A.N. Sistemno-morfologicheskoe osnovanie nauk o Zemle (Geotopologiya, strukturnaya geografiya i obschaya teoriya geosistem) [The systemic morphological basis of the Earth's sciences (Geotopology, Structural Geography and the General Theory of Geosystems)]. SPb.: Izd-vo NIIKh SPbGU, 2002. 762 p.
3. Rybina G.V. Teoriya i tekhnologiya postroeniya integrirovannykh ekspertnykh sistem: monografiya [The theory and technology of creation of the integrated expert systems: monograph]. M.: Nauchtekhlitizdat, 2008. 482 p.
4. Simonov Yu.G. Morfometricheskii analiz relyefa [Morphometric analysis of a relief]. Moskva-Smolensk: Izd-vo SGU, 1998. 272 p.

¹ Department of Automated Information Processing Systems and Control of Engineering – Physical Faculty of the Adyghe State University; e-mail: plisenko_olji@fromru.com.

5. Alexander Felfernig, Gerhard E. Friedrich, Dietmar Jannach. 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. Pp. 449-469.

6. Jozef Minar, Ian S. Evans. Elementary forms for land surface segmentation: The theoretical basis of terrain analysis and geomorphological mapping / Geomorphology 95(2008). Pp. 236–259. URL: www.elsevier.com/locate/geomorph.

УДК 551.4

A.I. Zhironov¹, S. F. Boltramovich², M. N. Kalygin³

GEOMORPHOLOGICAL RISKS ASSESSMENT BASED ON SYSTEM-MORPHOLOGICAL APPROACH

Abstract. *Studies of risks remain among the most claimed issues of geology and geomorphology. The system-morphological approach developed by A.N. Lastochkin provides a new promising basis for this. We studied slopes of the ridge Aibga, Western Caucasus, to assess geomorphological risks in the area of construction of the mounting ski facilities for Winter Olympics, 2014. The first step of study is a compilation of an analytical map, which covers all morphological elements of the area. Then we studied current geologic and geomorphological processes and estimated risks associated with them. The last step is the assessment of risks related to certain characteristics of exposed rocks and to possible tectonic movements. These morphological, geological and engineering parameters are combined within an integrated score of geomorphological risks, which is presented on the appropriate map.*

Key words: *System-morphological approach, geomorphic risks, geohazards, assessment, mapping, Aibga Ridge.*

Introduction. It is well known that the assessment of geomorphic risks is an important part of various engineering and environmental studies. Many Russian geomorphologists contributed a lot to the development of geomorphic risks' theory and practice: Yu.P. Seliverstov ([Seliverstov, 1993]; [Likhachyova and Timofeev, 2004]) et al. Geomorphologists from St. Petersburg State University have developed a new system-morphological approach that substantially helps in resolving many engineering-geomorphic issues.

Methods. The system-morphological approach is developing by Alexander Lastochkin [Lastochkin, 1991]. The paradigm is as follows: from the morphological studies to the dynamics of relief. According to this concept, the geomorphic risk is the probability of activation of an adverse geomorphic event, which can harm the economy and population. The geomorphic risks emerge from both geomorphic conditions and morphological parameters. The geomorphic conditions can be divided into: 1) existing topography, 2) climatic and other geographic conditions, 3) endogenous (tectonic and lithological) conditions that determine the probability and intensity of hazardous geomorphic processes. Morphological parameters are responsible for the probability of activation of an adverse geomorphic event. This approach can bring perfect results even in hard-to-reach and geomorphologically complicated areas.

In order to evaluate the geomorphic risks, first you need to compile an analytical map, which comprises all the relief elements: linear (structural lines), point (characteristic points), and areal (elementary

¹ Saint Petersburg State University, Institute of Earth sciences, department of geomorphology, St. Petersburg, 199178, Russia, Professor, Doctor of Education, Candidate of Geographical Sciences; e-mail: zhironov84@mail.ru.

² Saint Petersburg State University, Institute of Earth sciences, department of geomorphology, St. Petersburg, 199178, Russia, Assistant professor, Candidate of Geographical Sciences; e-mail: boltramovich@mail.ru.

³ Saint Petersburg State University, Institute of Earth sciences, department of geomorphology, St. Petersburg, 199178, Russia, Postgraduate student; e-mail: kalyginmisha@yandex.ru.