

ГИСНИ САМООРГАНИЗАЦИИ ГЕОСИСТЕМ

Т.П. Варшанина, О.А. Плисенко, В.П. Зорин, А.А. Солодухин
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Адыгейский государственный университет»
385000, Россия, г. Майкоп, ул. Первомайская, 208, gic-info@yandex.ru

GIS FOR RESEARCH OF GEOSYSTEM SELF-ORGANIZATION

T.P. Varshanina, O.A. Plisenko, V.P. Zorin, A.A. Solodukhin
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Adyghe State University"
385000, Russia, Maikop, Pervomayskaya St., 208, e-mail: gic-info@yandex.ru

Abstract. Based on the author's method of structural mask of geosystem energy fields, a well-structured model of geospace, structurally similar to cosmoplanet energy fields, was created. On the basis of this model, GIS for research of geosystem self-organization, "bottom-up" assembly of natural systems and determination of their integral parameters is elaborated.

В числе первоочередных задач, решение которых приближает переход географии в систему точных наук, называют изучение механизмов самоорганизации географических сложных, нелинейных, динамических систем, исследование динамики их целого, невозпроизводимого через свойства и динамику частей [Дьяконов, 2005]. Определение механизмов, порождающих иерархию природно-территориальных комплексов, открывает перспективы прогнозирования их эволюции и катастрофических событий.

Для решения этих задач предлагается разрабатываемая ГИС научных исследований (ГИСНИ) процессов самоорганизации геосистем, модель данных которой основана на методе структурной маски энергетических географических полей.

Исследование процессов самоорганизации сложной системы в соответствии с теорией динамических систем производится относительно инварианта её структуры, которую определяют динамические переменные – параметры порядка формирования структурной организации системы. В географии сложился подход выделения иерархии объектов физико-географического пространства-времени на основании дискретно-континуальных свойств вещественно-энергетических потоков водных, воздушных, грунтовых и биотических масс в поверхностном слое Земли. Для этого используются многомерные параметрические описания системообразующих вещественных потоков при игнорировании их энергетической составляющей, что исключает возможность моделирования динамических свойств географических систем.

Решение проблемы создания модели географической оболочки как интегральной многомерной системы с сильной нелинейностью, развивающейся по общим законам материального мира, заключается не в создании математического аппарата соответствующей сложности, а в применении универсального принципа эмпирически объективного и логически взаимосвязанного структурирования её геосфер.

Известно, что для успешного моделирования динамических свойств многомерных природных систем необходимо решить две основные и взаимообусловленные задачи:

- разработать системную, «хорошо структурированную» географическую модель на основе фундаментальных законов в приложении к географическим процессам самоорганизации;
- создать математический аппарат достаточно строгого описания сборки природных систем «снизу-вверх» и определения их интегральных параметров.

К постулатам создания хорошо структурированной географической модели отнесены следующие [Варшанина, 2011]:

- соответствие модели иерархии эмпирически объективных географических сущностей;
- отображение в модели параметров порядка самоорганизации (структурообразующих параметров);
- соблюдение структурного подобия географических сущностей/паттернов формирующим энергетическим полям.

Технология создания хорошо структурированной модели геопространства обосновывается логически взаимосвязанными перечисленными далее парадигмами и вытекающими из них следствиями.

Географические системы формируются в результате интерференции эндогенного и экзогенного потоков энергии, формирующей в фокусе земной поверхности реальное геофизическое поле.

Иерархическая структура пространственных географических объектов порождается реальным геофизическим полем и, следовательно, структурно подобна этому полю энергии.

Вследствие того, что структура реального геофизического поля определяет пространственно-временной порядок географических паттернов, напряженность реального геофизического поля принимается параметром порядка географических процессов и систем.

Вследствие того, что значение структурообразующего параметра эмпирически объективных единиц геопространства (например, для структуры рельефа – поле высот; для структуры воздушных течений – поле

температуры) является мерой их параметра порядка – градиентные поля структурообразующих параметров отображают структуру поля энергии, порождающего географические паттерны.

Градиент структурообразующего параметра является мерой параметра порядка географических паттернов (объектов и процессов).

Пространственно-временная структура каждой из трех страт полей энергии, порождающих геообъекты, воспроизводима в результате вычисления пространственно-временного градиентного поля соответствующего структуроформирующего параметра.

Пространственно-временное градиентное поле соответствующего структуроформирующего параметра с одной стороны представляет собой структурную маску порождающего его энергетического поля, с другой – отображает структуру географического объекта.

Пространственно-временная структура поля эндогенной энергии в фокусе земной поверхности воссоздается через наибольшие градиенты мощности слоя земной коры между полибазисными поверхностями рельефа (разностный слой) [Философов, 1959]. Динамика положения полибазисных поверхностей соответствует ритмам энергетического режима тектонических течений. Мощность разностного слоя указывает на скорость вертикальных движений в каждой точке земной поверхности за определенный период геологического времени. Наибольшие градиенты мощности разностного слоя, спроецированного на современное блоковое строение территории, являются интегрированной мерой нескольких параметров. Румб градиента указывает на направление движения иерархии тектонических элементов, величина фиксирует скорость и знак вертикальных и относительную скорость горизонтальных движений в реологических условиях геологической среды. Таким образом, поле наибольшего градиента мощности разностного слоя создает структурную маску тектонических (энергетических) течений земной коры в фокусе земной поверхности [Варшанина, 2011].

Пространственно-временная структура поля потенциальной экзогенной энергии воссоздается в результате перерасчета в рельефе приходящей солнечной радиации, построении её градиентного поля и выявления его структуры. Перерасчет солнечной радиации производится относительно авторской объектно-ориентированной модели классифицированной иерархии элементов (геоморфосистем) трёхмерной геометрической поверхности рельефа, в которой каждая элементарная грань характеризуется комплексом экологически значимых геоморфологических параметров. Расчет наибольшего градиента количества приходящей солнечной радиации относительно иерархии геоморфосистем и единиц физико-географического районирования геокомпонентов и ландшафтов воспроизводит структурную маску поля потенциальной солнечной радиации относительно эмпирически объективных пространственных единиц геосистем.

Проблема построения структурной модели реального геофизического поля сформировавшего эмпирически объективные географические паттерны за характерное для них время решается в результате расчета градиентных полей концентрации гумуса в почвах или значений биопродуктивности относительно иерархии единиц почвенного или ботанико-географического районирования.

Преобразование значения градиентов в универсальные физические величины позволит рассчитывать сравнительные параметры энергетической ёмкости, мощности и насыщенности географических полей, соответствующих иерархии геосистем.

Поля градиентов структуроформирующих параметров строятся в прямоугольной системе координат и выражены в метрической мере, что существенно облегчает интеграцию данных, кроме этого существуют современные методы совмещенного и интегрированного анализа полученных данных методами тензорного с инвариантом мощности, топологического, фрактального и т.д. исчислений.

Разрабатываемая по изложенным принципам модель структурно подобна космопланетарным энергетическим полям и поэтому может быть отнесена к категории хорошо структурированных моделей. Особенностью модели является то, что она позволяет вычислять интегральные параметры ландшафтов, определять закономерности сборки геосистем «снизу-вверх», обеспечивает охват всего многообразия территориальных масштабов межкомпонентных взаимодействий, определение меры параметра порядка на каждом уровне самоорганизации, эффективное прогнозирование с применением современных численных методов.

Возможности модели в области прогнозирования географических процессов продемонстрированы на примере точечного прогнозирования времени наступления и уровня паводков (разрешение на патент, заявка № 2010140576). Мерой параметра порядка синоптических процессов является региональный градиент температуры, который определен предиктором прогноза паводков в точке прогнозирования. Трёхуровневая нейросетевая модель классифицирующая структуру паттерна формирования паводка по ежесуточному ходу за 10-20 лет регионального градиента температуры и уровня воды на гидростях осуществляет точечный прогноз времени наступления (100% оправдываемость) и уровня паводка (погрешность 3-14%).

Для расширения областей применения разрабатываемого метода структурной масеи энергетических географических полей создается ГИС научных исследований (ГИСНИ). Программной платформой ГИСНИ является авторское ядро OpenGISCore (www.sourceforge.net/projects/opengiscore) – средство разработки на C++, предоставляющее поддержку сетевой пространственной СУОРБД (PostgreSQL+PostGIS), сервисы создания кроссплатформенной ГИС. Система включает СУОРБД, поддерживающую пространственно-временную структуру данных, соответствующую логике научных географических представлений, в дальнейшем базы

знаний, соединяющие как формализуемые (логико-лингвистические модели, символьные вычисления), так и неформализуемые (в нейронных сетях) знания; экспертные модели знаний.

Координированной основой структуры данных ГИС является цифровая объектно-ориентированная 3D модель морфологической структуры ландшафта. Ключевым модулем создания 3D модели морфологической структуры ландшафта служит структурно подобная модель трёхмерной геометрической поверхности рельефа.

В реологических условиях геологической среды эндогенное энергетическое поле формирует структурно подобную ему 3D геометрическую поверхность рельефа. Определение иерархии однородных по геоморфным процессам элементов геометрической поверхности рельефа (геоморфосистем) производится для изучения: генезиса геоморфологических процессов, пространственных аспектов взаимодействия с одной стороны между формами рельефа, с другой – между почвами, растительностью, микроклиматом и гидрологическим режимом; построения структурной маски энергетического поля, формирующего страту геоморфосистем.

Элементарные поверхности представляют собой грани рельефа 3П различной степени изогнутости и крутизны, и при конструировании геоморфосистемы выделяются с учетом вертикальной и горизонтальной составляющих по их положению относительно линейных и точечных элементов разных видов (рис. 1). Для изучения и анализа структуры и взаимного положения морфологических элементов используется структурно-координатная сеть, предложенная А.Н. Ласточкиным [Ласточкин, 2002]. Такая сеть обеспечивает универсальность структурного анализа рельефа и повсеместную сравнимость его результатов.

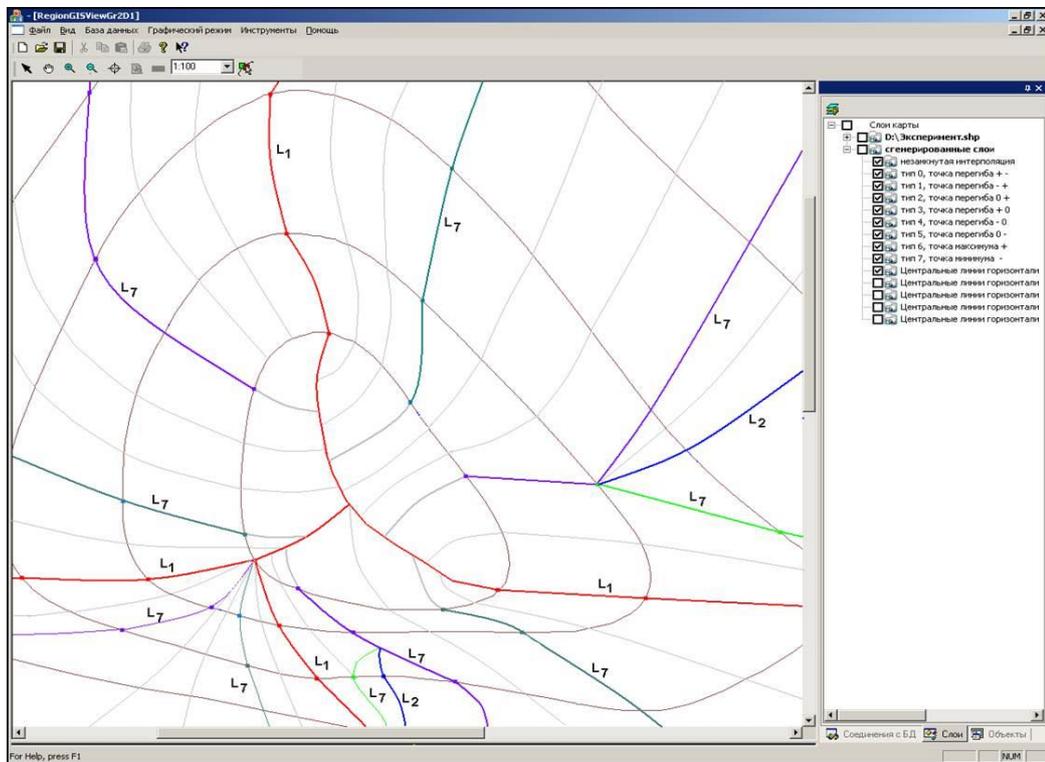


Рис. 1. Автоматизированное выделение характерных линий и точек геометрической поверхности рельефа

Для определения иерархии объектов поверхности рельефа предлагается использовать экспертный классификатор на основе нейронной сети. При проектировании класса элементарной поверхности определяются свойства и методы взаимодействия данного объекта с другими объектами системы. На этом уровне объединяются геометрическая и геоморфологическая концепции элементарной поверхности.

Классификация элементарных поверхностей проводится на основе классификации характерных точек и линий. Важной функциональной возможностью блока моделирования рельефа является классификационный конструктор для моделей поверхностей разных уровней, который позволяет описать и выделить любую поверхность исходя из ее геоморфологических параметров. Классификационный конструктор предоставляет возможность разрабатывать классификацию поверхностей более высоких уровней на базе элементарных и поверхностей более низкого уровня (рис. 2).

На рисунке 2 дерево в левой части окна представляет иерархический список объектов, выделяемых в рельефе начиная с точечных элементов.

В правой части окна показываются сведения о выделенном объекте. Сведения об объекте можно отредактировать, изменив параметр, описание, изображение. Макеты диалогов редактирования показаны на рисунке 3.

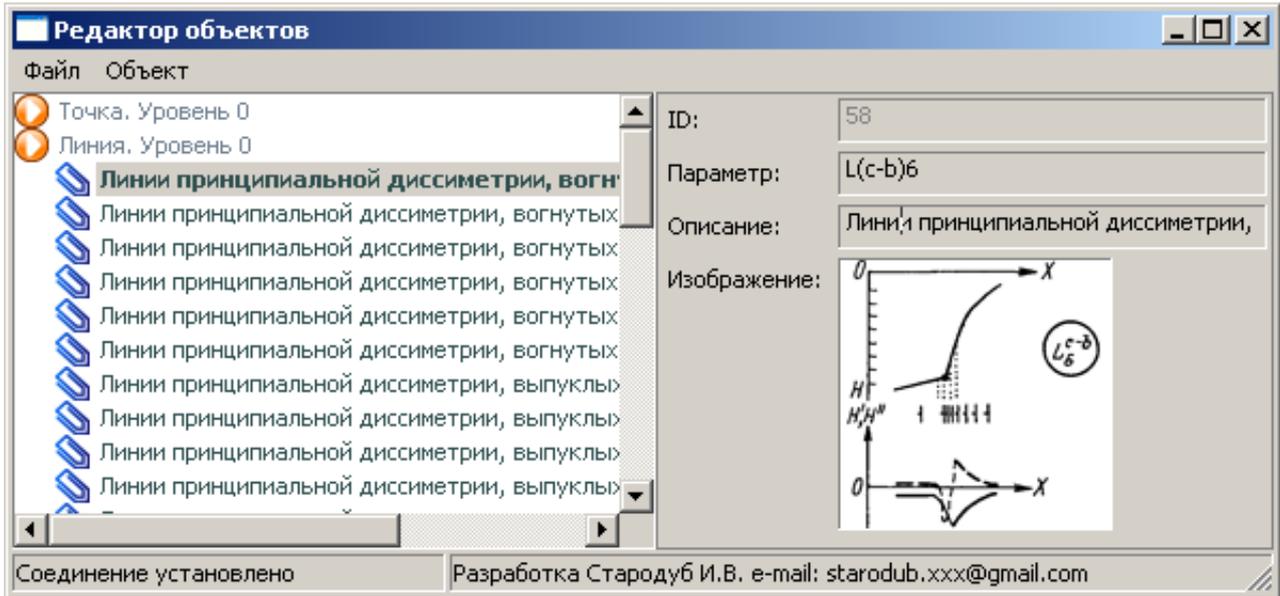


Рис. 2. Макет главного окна классификационного конструктора

После создания описание объекта занимает соответствующее место в дереве объектов слева. Новый объект сразу же становится доступным для построения на его базе более сложных поверхностей.

Для любой поверхности можно вызвать редактор дочерних объектов (рис.4), т.е. указать какие поверхности (для поверхностей 2-го и более уровня) или элементарные объекты – точки и линии (для поверхностей 1-го уровня) входят в состав редактируемого поверхности.

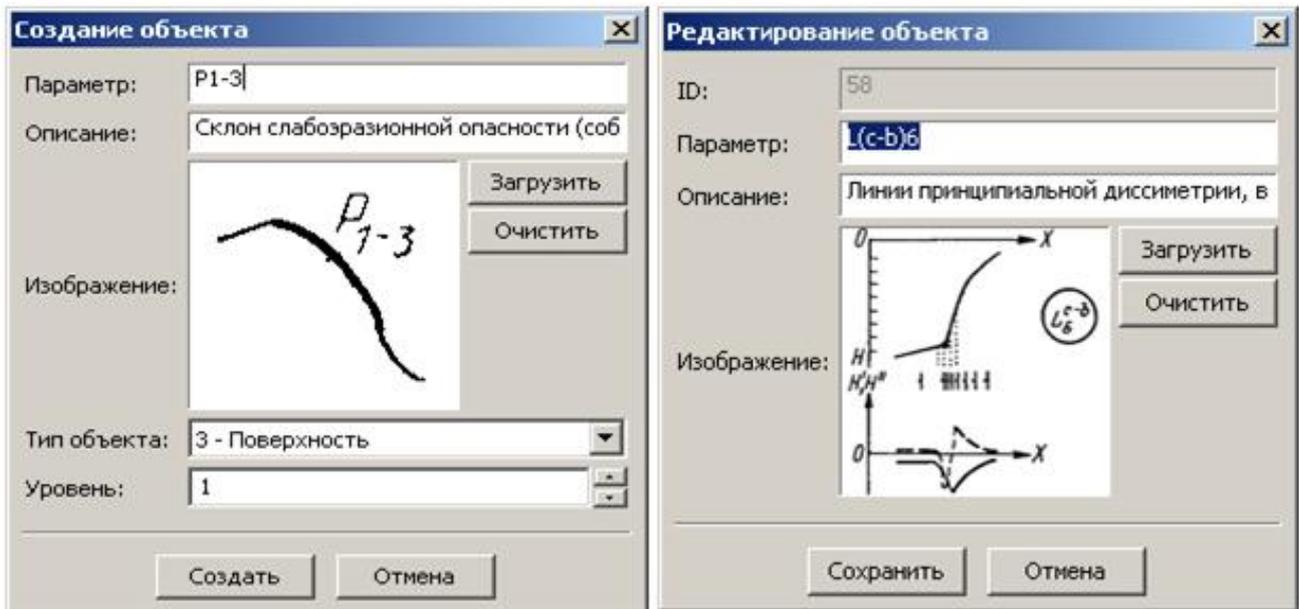


Рис. 3. Макеты диалогов создания и редактирования объекта

Используя классификационный конструктор, можно описать поверхность любого уровня, выделить ее на цифровой модели рельефа, получить ее морфологические характеристики.

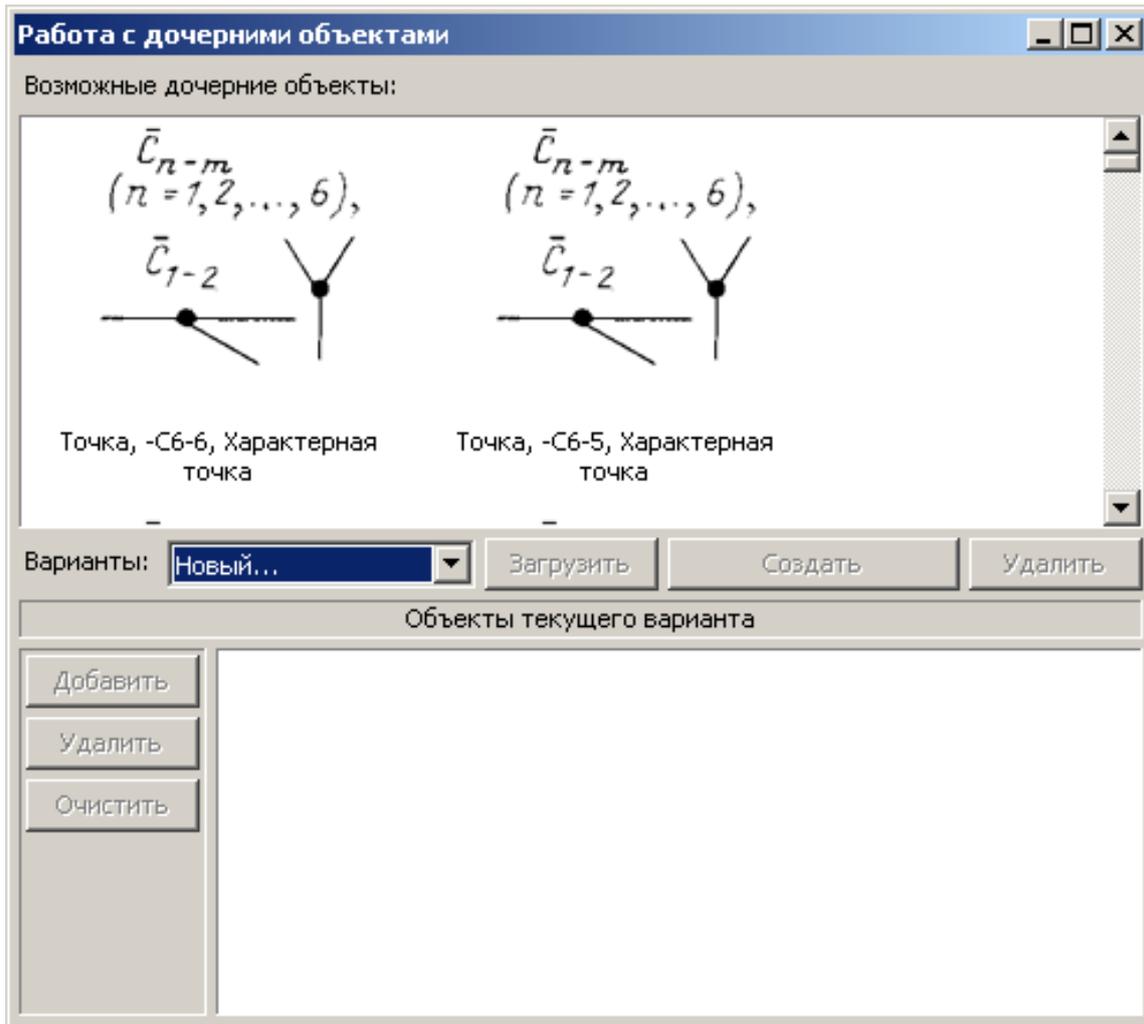


Рис. 4. Редактор объектов геометрической поверхности рельефа

Метод поиска и выделения описанной поверхности на цифровой модели рельефа предлагается реализовать на основе нейросетевой технологии. Нейросетевые алгоритмы позволяют выполнять параллельный поиск сразу по нескольким критериям, что существенно увеличивает скорость обработки запроса. Для реализации поиска описанного объекта предлагается использовать сеть Хемминга, предложенную Р. Липпманом [Lippmann, 1987] и представляющую собой трехслойную рекуррентную структуру.

При построении информационной части цифровой модели рельефа используется объектно-реляционная модель базы данных, т.к. с информационной точки зрения элементарные поверхности представляют собой целостные объекты, обладающие геометрическими, генетическими и топологическими свойствами. Объектно-ориентированная модель данных трёхмерной геометрической поверхности рельефа поддерживает структурно-географический анализ и выделение геоморфосистем по двум взаимосвязанным критериям: строению и составу.

Объединение объектной информационно-математической модели, классификационного конструктора и поиска прототипов на основе нейросетевого алгоритма позволяет разработать экспертный блок моделирования рельефа, который может использоваться в различных задачах статического и динамического исследования территории. Модуль построения структурной 3D геометрической поверхности рельефа помимо возможности применения метода структурной маски энергетических полей геоконпонетов и ландшафтов обеспечивает автоматизированные: выделение иерархии геоморфосистем; интерполяцию и экстраполяцию данных почвенных, геоботанических обследований, данных снегомерных съёмок; построение морфологической структуры ландшафта; определение взаимосвязи геоконпонетов и т.д.

Динамическое моделирование геосистем и исследование процессов их самоорганизации обеспечивает функциональная структура ГИСНИ (рис. 5).

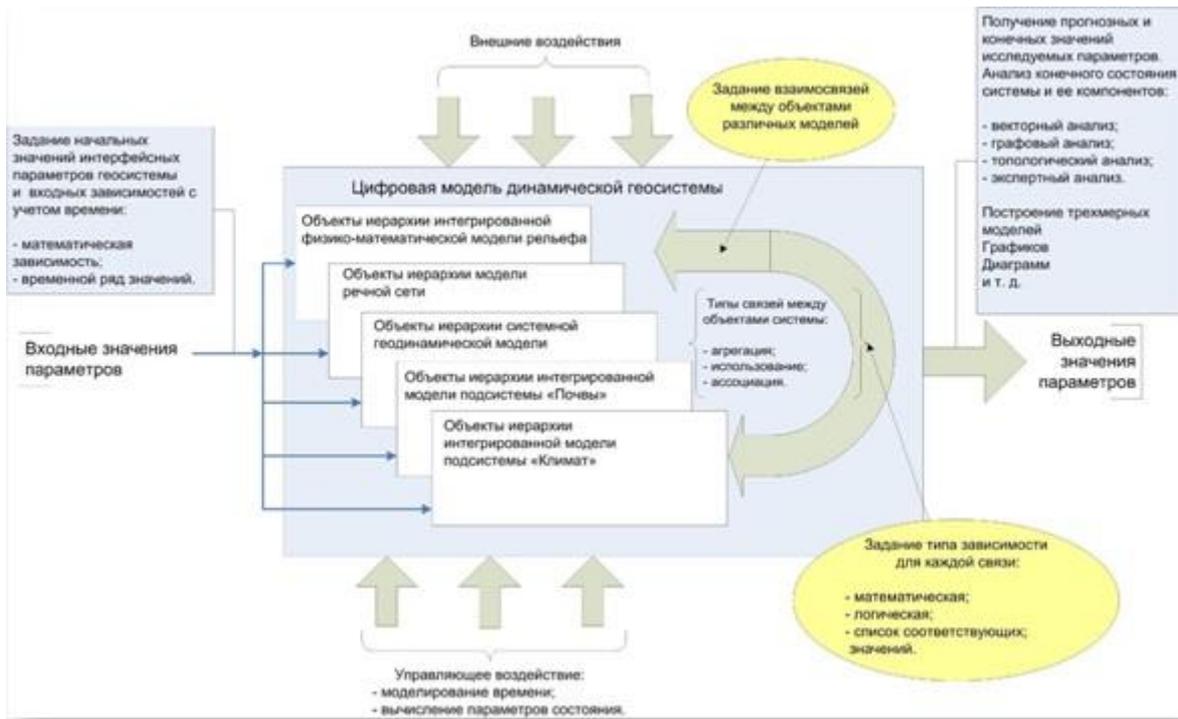


Рис. 5. Структурно-функциональная схема ГИСНИ процессов самоорганизации геосистем

Разрабатываются модули описания динамической системы с помощью функциональных зависимостей, дифференциальных уравнений и систем дифференциальных уравнений и инструментарий для поэлементного анализа и прогнозирования характеристик саморазвивающихся геосистем. Подсистема анализа включает в себя набор модулей, позволяющих получить численные значения меры параметров порядка компонентов геосистемы при заданных входных значениях и определенном внешнем воздействии. Создается модуль получения численных значений свойств геосистемы на основе задания математического описания межэлементных связей. Модуль предназначен для обеспечения исследования процессов самоорганизации геосистем и прогнозирования их свойств.

В целом, хорошо структурированная модель, разработанная на основе метода структурной маски энергетических полей геосистем, оптимальна для логического связывания в координированном поле пирамиды детализации накапливаемых в науках о Земле массивов разнообразных данных, их эффективного анализа, моделирования и прогнозирования на всех масштабных уровнях.

Библиографический список

1. Варшанина Т.П., Плисенко О.А. Интегрированная ГИС региона (на примере Республики Адыгея). Под ред. Б.И. Кочурова. – Москва – Майкоп: Издательский дом «Камертон», 2011. – 360 с.
2. Варшанина Т.П., Плисенко О.А., Солодухин А.А., Коробков В.Н. Структурно-подобная геодинамическая модель Краснодарского края и Республики Адыгея: Под ред. Б.И. Кочурова. – Москва – Майкоп: Издательский дом «Камертон», 2011. – 128 с.
3. Дьяконов К. Н. Базовые концепции ландшафтоведения и их развитие // Вестник Московского университета. Серия 5. География. №1. 2005. с. 4-12.
4. Ласточкин А.Н. Системно-морфологическое основание наук о Земле (Геотопология, структурная география и общая теория геосистем). – СПб.: Издательство НИИХ СПбГУ, 2002. – 762 с.
5. Философов В.П. Применение карт базисной поверхности для выявления современных тектонических движений. / В.П. Философов. – Научный ежегодник за 1955 г. Саратовский университет, геологический факультет, Саратов, 1959. – 215 с.
6. Lippmann R. An introduction to computing with neural nets // IEEE ASSP Magazine, 1987, April. Pp. 4-22.