

УДК 528.9:681.3
ББК 26.17
Ц 75

**Т.П. Варшанина, О.А. Плисенко, А.А. Солодухин, Е.П. Штельмах,
М.Ю. Гетманский, В.П. Зорин**

Основные аспекты построения интегрированной цифровой географической модели и перспективы её применения (Рецензирована)

Аннотация

Разрабатывается системная структурно-функциональная схема географических систем на основе функционально взаимообусловленных эмпирически объективных системно-структурных единиц, способствующая интегральному подходу к исследованию геопространства.

Создается цифровая модель географических систем, обеспечивающая междисциплинарные исследования, применение современных численных методов для решения ключевых проблем географии - разработки алгоритмов процедур пространственно-временного анализа по структурным уровням географических систем и определения пространственно-временной организации процессов их развития.

Ключевые слова: *структурно-функциональная схема геосистем; системно-синергетические исследования геосистем; интерпретация пространственной энергетики природных процессов; геоинформационная система (ГИС) научных исследований.*

**T.P. Varshanina, O.A. Plisenko, A.A. Solodukhin, E.P. Shtelmakh,
M.Yu. Getmansky, V.P. Zorin**

The basic aspects of construction of the integrated digital geographical model and prospects of its application

Abstract

A system structurally functional scheme of geographical systems is developed on the basis of functionally mutually conditioned empirically objective system-structural units, promoting the integrated approach to researches of geospace. The authors create the digital model of geographical systems providing interdisciplinary researches, application of modern numerical methods for the solution of key problems of geography - workings out of algorithms of procedures of the spatial-time analysis by structural levels of geographical systems and definition of the spatial-time organization of processes of their development.

Key words: *a structurally functional scheme of geosystems; system-synergetic researches of geosystems; interpretation of spatial power of natural processes; geoinformation system of scientific researches.*

Несмотря на то что исследования пространственно-временной структуры геосистем являются традиционными в географической науке (Н.А. Солнцев, В.С. Преображенский, А.Г. Исаченко, И.И. Мамай, А.Ю. Ретеюм и многие др.), вопросы иерархии пространственно-временной организации географических систем и строгая алгоритмизация ее моделирования до настоящего времени относятся к актуальным задачам географической науки [1-4]. Традиционно решение обозначенных задач связывают с методами пространственного анализа ландшафтоведения.

Пространственную структуру геосистем исследуют с позиции присущих им фундаментальных свойств мозаичности и ориентированности. Мозаичность представлена иерархией закономерно сочетающихся паттернов ландшафтной организации территории. Ориентированность геосистемной структуры рассматривают в качестве характера размещения паттернов вдоль устойчивых векторов геодинамического поля. Развитие этого направления тесно связано с работами по математической формализации фено-

менологических конструкций пространственно-временной организации природы. Известны работы по картографо-математическому анализу ландшафтной структуры на основе исследования его физиономического рисунка [5]. Для численного автоматизированного анализа текстуры топографических карт и снимков в целях выделения однородных природных территориальных объектов и их компонентов привлекаются современные численные методы, в том числе методы теории нелинейных колебаний [6].

Так, определение пространственной фрактальной ритмики рельефа на основе двухмерного спектрального анализа аэрофотоснимков позволило рассчитать ее размерность, показать, что выявленные иерархические уровни согласны структурам, порожденным нелинейными автоколебаниями [2]. Интерпретация полученных результатов, по мнению авторов, нуждается в привлечении обширной информации по вещественному составу пород, слагающих формы рельефа, геодинамической обстановке, специфике экзогенных процессов, в том числе и в ретроспективе. Таким образом, авторы признают, что исследования с привлечением современных численных методов должны базироваться на системной и структурированной модели изучаемой территории.

Можно сделать вывод, что применение современных численных методов развивается в настоящее время в рамках направления, ориентированного на построение структурно-функциональной схемы геосистем «сверху вниз», т.е. от ландшафта как целостной единицы классификации иерархий геосистем. Такой подход входит в противоречие с общенаучными положениями теории динамических систем как науки о структуре и поведении сложных систем в условиях устойчивой неравновесности.

Принципиальным подходом синергетики является ориентация на сборку эмпирически объективных функционально взаимообусловленных структурных единиц саморазвивающихся систем «снизу вверх» для выявления закономерностей процессов самоорганизации, самоформирования, появления у целого новых свойств [7].

Базируясь на результатах системных исследований, синергетика предъявляет к ним определенные требования. К ключевым принципам синергетики, имеющим значение общего основания для системно-синергетических исследований в географии, следует отнести в первую очередь:

- требование отображения в моделях саморазвивающихся систем функционально взаимообусловленных эмпирически объективных системно-структурных единиц;
- установку на поиск интегральных характеристик целого;
- принцип свертывания сложных моделей саморазвивающихся систем в модели, отражающие параметры порядка самоорганизации;
- установку на моделирование пространственной энергетики процессов.

В предлагаемом варианте фундаментальной 3D/4D географической цифровой модели для геосистемного анализа учитываются традиционные в географии принципы структурирования геопространства суши по его вертикальному и горизонтальному измерениям. Модель обеспечивает возможности создания функционально согласованного структурного каркаса геосистем территории, относительно которого разрабатываются и верифицируются построения разнообразных специализированных моделей геопространства. На каждом уровне детализации или масштабирования континуальное координированное геопространство может отображаться мозаикой вертикальной и горизонтальной иерархии дискретных однозначно трассируемых геообъектов. Выделение геообъектов производится в согласии с формирующими их потоками эндогенной и экзогенной энергии.

Обозначенный подход можно проиллюстрировать на примере системной модели рельефа. Так, поступающие к поверхности Земли потоки эндогенной энергии формируют блоковый «трансформер» земной коры с его вещественным составом. Поверхность рельефа в целом является несущей конструкцией геосистем, корректирующей поступление солнечной радиации на конкретные поверхности, определяя их потенци-

альную энергоёмкость, которая доступна для вычисления. Преобразование солнечной энергии в реальных термодинамических условиях иерархии объектов поверхности рельефа обуславливает формирование всех объектов геосистем и их геокомпонентов. В соответствие с этим, процесс геофизической дифференциации предлагается рассматривать в качестве ведущего системообразующего фактора геосистем, что находит обоснование в ряде известных работ [8]. Формализованное описание пространственной геофизической дифференциации возможно на основании расчетов геофизических полей относительно иерархически и функционально структурированной модели рельефа.

Построение модели рельефа, обеспечивающей выделение иерархических единиц его поверхности, достоверно различающихся по природным экологическим свойствам и потенциальным геофизическим характеристикам, дает возможность сравнения потенциальных и реальных (в термодинамических условиях конкретных геоморфосистем) геофизических полей. Такая дискретизация позволяет строить векторные поля градиентов геофизических полей геосистем, выявлять параметры порядка самоорганизации геосистем и исследовать закономерности сборки их вертикальной и горизонтальной структуры.

Решение обозначенной модели обеспечивается разрабатываемой оригинальной формализованной структурой данных системной модели рельефа [9].

Система вертикальной иерархии объектов рельефа с принадлежащими им параметрическими описаниями, соответствует следующему ряду пространственных единиц: морфоструктура (иерархия тектонических блоков, узлов и линеаментов) – морфоклиматический район (тип экзогенного рельефа) - иерархия объектов поверхности рельефа. Выделение иерархии объектов класса тектонических структур, контролирующего формирование современного рельефа на уровне морфоструктур, производится по методике морфоструктурного районирования (МСР) Е.Я. Ранцман и М.П. Гласко [10], иерархии объектов морфоклиматической системы, контролирующей формирование морфоскульптурного (экзогенного) рельефа, производится по классификации, приведенной В.И. Кружалиным [11]. Выделение иерархии объектов геометрической поверхности рельефа выполняется методом «сферической квадратоангуляции» [12,13]. Типизация структурных линий, характеристических точек и элементарных поверхностей рельефа производится по классификации А.Н. Ласточкина [14].

Базовым слоем системной модели рельефа является геодинамическая модель, обеспечивающая формализованное описание иерархии актуальных тектонических элементов территории и специфики их взаимодействия.

Разработана структура данных, модель данных и технология построения геодинамической актуотектонической модели, завершается разработка соответствующего программного продукта.

Программный модуль обеспечивает автоматизированное:

построение актуотектонической модели территории по методике Е.Я. Ранцман, М.П. Гласко [10];

ранжирование иерархии тектонических элементов по индикационным показателям;

построение полибазисных поверхностей [15];

вычисление мощности разностного слоя между полибазисными и топографической поверхностями;

вычисление направления и величины градиента мощности разностного слоя по тектоническим блокам;

определение направления движения блоков и интенсивности их взаимодействия;

вычисление скорости вертикальных движений блоков;

определение блоков концентраторов тектонических напряжений.

Верификация геодинамической модели, разработанной на примере территории Краснодарского края и Республики Адыгея, показала ее удовлетворительное соответствие с известными представлениями о геодинамической структуре региона [16].

Реализуемый модуль геодинамического анализа территории обеспечивается необходимыми инструментами автоматизированного построения модели, аналитического оперирования и продуцирования данных, т.е. инженерии знаний. Данный модуль иллюстрирует одну из многочисленных возможностей построения специализированных моделей на основании системного параметрического отображения объектов географического пространства.

Векторная пространственная модель тектонических взаимодействий, интерпретирующая их энергетику, является ценным основанием для использования соответствующих моделей теории динамических систем в целях изучения пространственной ритмики тектонических процессов и их прогноза, выявления параметров порядка, определяющих русла контролируемых ими рельефообразующих процессов. Тектоническая составляющая ландшафтов при этом впервые рассматривается как их динамичное основание, т.е. в качестве фактора, пренебрежение которым недопустимо в рамках системной территориальной модели.

Следующий информационный слой рельефа представлен иерархией элементарных единиц геометрической поверхности рельефа, сформированных под воздействием эндогенных процессов и подверженных преобразованию в термодинамических условиях земной поверхности. Разработана структура данных и определена технология реализации модулей классификации и сборки элементарных единиц геометрической поверхности рельефа с их литогенным основанием в единицы иерархии геоморфосистем [17], достоверно различающихся по геофизическим и, соответственно, природным экологическим свойствам.

Комплекс предлагаемых подходов позволяет автоматизировать как процесс построения эмпирически объективной иерархии геоморфосистем, так и вычисление сравнительных геофизических параметров и построение геофизических полей. Автоматизированное определение по иерархии геоморфосистем пространственной ритмики факторов геофизической дифференциации является ценным основанием для использования соответствующих моделей теории динамических систем в целях выявления параметров порядка, определяющих русла контролируемых ими процессов сборки геокомпонентов в геосистемы.

Создается вертикаль следующих функционально согласованных геообъектов с их параметрическим описанием:

- 1) иерархия тектонических элементов с геологическим строением и данными по месту в региональном поле тектонических напряжений;
- 2) иерархия геоморфосистем, формируемых полем тектонических напряжений и преобразуемых экзогенными процессами;
- 3) объекты морфоклиматического районирования.

Разработанная единожды системная интегрированная модель рельефа территории открывает перспективу решения комплекса научных и научно-практических задач, связанных с построением удовлетворяющих требованиям теории динамических систем структурно-функциональных схем геосистем, построения моделей разнообразных процессов и геополей в трехмерном геопространстве и прогноза их развития. В то же время визуализация интегрированной модели рельефа обеспечивает отображение территории как в 2D (картографическом), так и в 3D (цифровые модели местности) вариантах, а также реализацию расчетов для различных проектных решений.

Логическая структура данных цифровой интегрированной модели географических систем отображает геодинамическое единство внутренних и внешних сфер Земли. Иерархическая структура данных всего комплекса геокомпонентов (климатической сис-

темы, почв, гидрографической сети, растительности) строится в соответствии с классификацией формирующих структуру геообъектов факторов. Такая система данных масштабируема и конструктивна, так как ориентирует на понимание генетической природы иерархии [18]. При этом геообъекты климата на региональном уровне дополнительно идентифицированы по однотипным величине и направлению градиентов основных климатоформирующих факторов: температуры и осадков - климатическое поле региона, также как и рельеф, характеризуется на основе отображения пространственной энергетики процессов его формирования.

Каждый геообъект характеризуется параметрами структуроформирующих (инвариантных) факторов, имеющих достоверные различия с аналогичными параметрами других геообъектов того же ранга. Такой подход обеспечивает функционально согласованное структурирование геопространства по его вертикальному и горизонтальному измерениям и предоставляет фактические данные для верификации продуцируемых моделей строения и развития геосистем, построения специализированных моделей. В области классификации иерархических уровней геосистем существует нерешенная проблема строгой алгоритмизации системной упорядоченности вертикальной и горизонтальной структуры. Опыт определения точными численными методами поли- и моносистемной организации ландшафтов [1] на основе инвариантных параметров геокомпонентов показал, что в условиях устойчивой неравновесности эти модели не работают.

Для изучения закономерности сборки геосистем «снизу вверх» необходимо применять эвристические методы, например, ассоциативные комплексированные нейросети и качественные и количественные методы теории динамических систем. Результативность и объективность «сборки» обеспечивается использованием предложенных параметров порядка самоорганизации, в данном случае, потенциальных и реальных геофизических характеристик и их векторных полей.

Потенциальные энергетические характеристики геоморфосистем рассчитываются в авторской программе «San» [19, с. 45-51]. Реальные термодинамические условия каждой геоморфосистемы могут быть интерпретированы через сравнительные оценки величин температуры воздуха, концентрации гумуса в почвах и биопродуктивности природных геосистем и отображены векторными полями градиентов перечисленных величин.

Созданная структурная модель геопространства интегрирует систему функционально взаимообусловленных эмпирически объективных системно-структурных единиц геокомпонентов и геосистем, позволяет отображать пространственную энергетику взаимодействий, как по горизонтали, так и по вертикали трехмерного геопространства, что обеспечивает объективное целеполагание исследований с применением соответствующих моделей теории динамических систем и интерпретацию результатов исследований, обеспеченную доказательной основой. Структурная системная модель геопространства выводит на определение интегральных характеристик целого – параметров порядка процессов самоорганизации и самоформирования геокомпонентов и геосистем, на сборку моделей геосистем «снизу вверх», что дает возможность построения эффективных моделей прогнозов.

Цифровая модель географических систем разрабатывается в виде интегрированного территориального банка данных на примере модельной территории. Система включает систему управления базами данных (СУБД), поддерживающую пространственно-временную структуру данных, соответствующую логике научных географических представлений; полномасштабный ряд цифровых картографических материалов, цифровые модели местности, обеспечивающие трехмерное моделирование геопространства; в дальнейшем базы знаний, соединяющие как формализуемые (логико-лингвистические модели, символные вычисления), так и неформализуемые (в нейронных сетях) знания; экспертные модели знаний.

Платформой для создания системы служат открытое специализированное программное обеспечение, ориентированное на работу с пространственно-временной информацией системой управления объектно-реляционной базой данных (СУОРБД) PostgreSQL+PostGIS и СУОРБД Oracle, включающая специальный модуль для работы с геометрическими объектами Spatial.

Объекты предметной области отображаются в геопространстве с учетом топологических, геометрических и моделируемых семантических особенностей поведения. Для реализации возможности редактирования, анализа географических данных и визуализации построенной модели в центре интеллектуальных геоинформационных технологий Адыгейского госуниверситета разрабатывается программная платформа на базе авторского ядра OpenGISCore (www.sourceforge.net/projects/opengiscore). OpenGISCore является средством разработки на C++, предоставляющим поддержку сетевой пространственной СУОРБД (PostgreSQL+PostGIS) и дружественный графический интерфейс пользователя и другие сервисы, необходимые для создания кросс-платформенной ГИС.

Банк данных, поддерживающий общую концепцию системы, предназначен для хранения информации, организации ее обработки и основывается на системе автономных, но взаимосвязанных геоинформационных моделей подсистем геокомпонентов. Подсистемы представлены иерархией пространственных объектов, относительно которых происходит накопление/мониторинг тематической информации. Картографическая реализация результатов анализа координированных данных осуществляется средствами ГИС.

В процессе функционирования системы все многообразие входных данных – информация об объектах, их характеристиках, о формах и связях между объектами, различные описательные сведения – преобразуется в единую общую модель, хранимую в банке данных, который представляет собой информационное хранилище, отображающее структуру объектов реального мира и их взаимосвязи.

Возможности построения прогнозов на основе цифровой интегрированной модели географических систем

Известно, что природные системы, как открытые системы, находятся в состоянии устойчивой неравновесности, поддерживающей непрерывность взаимообусловленного развития. Если процессы в системе находятся в состоянии близком к равновесному, они протекают в определенном русле, ведомые конкретным числом параметров порядка. В этом случае для описания реальности есть подходящее русло и можно строить достаточно простые предикторы прогноза [7]. Вблизи состояния «неравновесия» флуктуации некоторых параметров системы могут привести ее к падению в точку бифуркации, и система переходит в качественно иное состояние, которое прогнозируется вероятностными моделями.

При прогнозировании того или иного природного процесса возникает проблема выбора предполагаемого сценария его развития. Так, при построении модели прогноза уровней воды на гидропостах Адыгеи были исследованы климатические ситуации, предшествующие паводкам, и в качестве предиктора прогноза была выбрана характеристика энергетического поля синоптической ситуации – региональный градиент температуры [20]. Построение модели прогноза паводков производили исходя из представлений, что атмосфера с ее климатом находится в состоянии близком к равновесному, а региональный градиент температуры является параметром порядка уровней воды на реках. Прогноз строили на платформе трехуровневой нейросети, которая находила зависимость между ежесуточными значениями регионального градиента температуры и

ежесуточными уровнями воды на гидропостах за период естественного изменения климатической системы в 20 лет.

Существует мнение, что нейросетевые модели не могут работать с большими массивами данных [21]. Трехуровневая нейросеть показала, что оптимальная организация поэтапной обработки данных может дать удовлетворительные результаты. На первом уровне произведена обработка данных на предмет выявления кластеров самоподобных ситуаций хода регионального градиента температуры и уровней воды. На следующих уровнях нейросети прогнозируются уровни воды в границах параметров выявленных самоподобных кластеров. В результате впервые был построен краткосрочный прогноз уровней воды (в сантиметрах) на гидропостах с погрешностью 3-14%. Дальность прогноза определяется продолжительностью периода обрабатываемых данных. Исследование подобных зависимостей для определения размаха колебаний предикторов в пределах устойчивого русла процесса перспективно для выявления критичных параметров, обуславливающих переход природного процесса в точку бифуркации.

Другим примером могут служить возможности разрабатываемого модуля автоматизированного построения и анализа системной геодинамической модели на примере территории Краснодарского края и Адыгеи. В качестве индикатора направления и интенсивности исторических трендов движения блоков, применяется величина и румб градиента возрастания/убывания мощности слоя земной коры между базисными и топографической поверхностями за конкретный период геологического времени. Предложенный индикатор отображает энергетику взаимодействия в системе блоковой модели территории. Поля построенных градиентов воссоздают общую картину поля тектонических напряжений региона. Хорошо индицируются тектонические напряжения растяжения и сжатия.

Математические операции с векторами дают представление о характере движения блоков. Воссоздание энергетического поля тектонических напряжений обеспечивает возможности анализа его перманентной изостатической перестройки – процесса, протекающего, по сути, вблизи состояния динамического равновесия, т.е. в определенном русле. Разработка методики выявления полей концентрации тектонических напряжений, верификация их относительно известных сейсмических событий и наблюдений позволит определить предикторы прогноза сейсмических проявлений.

Разрабатываемые модели основаны на представлении о протекании природных процессов вблизи состояния равновесия. Этот этап научного поиска подготавливает основу для исследования энергетических рубежей перехода природных систем из одного качественного состояния в другое.

Описанные модели иллюстрируют перспективность как отображения географической реальности через систему дискретной иерархии объектов на основе классификации эмпирически объективных единиц геопространства, так и способа сжатия информации до параметров порядка, интерпретирующих пространственную энергетику природных процессов.

Таким образом, разрабатывается ГИС нового класса для научных исследований пространственных данных, ядром которой является цифровая модель географических систем, обеспечивающая систематизированное интегрирование координированных геоданных в трехмерном географическом пространстве по его вертикальному и горизонтальному измерениям. Цифровая интегрированная модель географических систем служит для решения базовых проблем географической экодиагностики - разработки алгоритмов процедур пространственно-временного анализа по структурным уровням географических систем и определения пространственно-временной организации процессов их развития.

Создается фундаментальный научный задел, поддерживающий инновационность и конкурентоспособность научных исследований и научно-практических разработок в областях прогноза природных и техногенных опасностей, технологий рационального природопользования и критических технологий оценки ресурсов и прогнозирования состояния литосферы и биосферы.

Постановка решаемой проблемы определяется неотложной необходимостью расширения горизонтов результативности исследований географического пространства, способствующих экономическому развитию страны и регионов, что связано с построением моделей географических систем, обеспечивающих междисциплинарные исследования, а также применение современных методов количественного и качественного анализа теорий динамических систем и катастроф.

Примечания:

1. Коломыц Э.Г. Полиморфизм ландшафтно-зональных систем. Пушкино: ОНТИ ПНЦ РАН. 1998. 311 с.
2. Пузаченко Ю.Г., Алешенко Г.М. Введение в пространственный анализ структуры ландшафта. География, общество, окружающая среда. Т. II. Функционирование и современное состояние ландшафтов. М.: Городец, 2004. С. 36-47.
3. Forman T.T. Land Mosaics. N.Y.: Cambridge Univ. Press, 1997. 632 p.
4. Shugart H. Terrestrial Ecosystems in Changing Environments. N.Y.: Cambridge Univ. Press, 1998. 538 p.
5. Викторов А.С. Математическая морфология ландшафта. М.: ТРАТЕК, 1998. 191 с.
6. Пузаченко Ю.Г., Хорошев А.В., Алешенко Г.М. Анализ организации ландшафта на основе космического снимка // Исследования Земли из космоса. 2003. № 3. С. 63-71.
7. Малинецкий Г.Г. Хаос. Структуры. Вычислительный эксперимент. Введение в нелинейную динамику. М.: Наука, 1997. 256 с.
8. Сысуев В.В. Моделирование геофизической дифференциации геосистем. Введение в пространственный анализ структуры ландшафта. География, общество, окружающая среда. Т. II. Функционирование и современное состояние ландшафтов. М.: Городец, 2004. С. 48-71.
9. Варшанина Т.П. Объектно-ориентированная модель подсистемы рельеф. Отечественная геоморфология: прошлое, настоящее, будущее // Материалы XXX Пленума геоморфологической комиссии РАН. СПб., 2008. С. 108-110.
10. Ранцман Е.Я., Гласко М.П. Морфоструктурные узлы – места экстремальных природных явлений. М.: Медиа-Пресс, 2004. 223 с.
11. Кружалин В.И. Экологическая геоморфология суши. М.: Научный мир, 2001. 176 с.

References:

1. Kolomysh E.G. Polymorphism of landscape-zonal systems. Pushchino: ONTI PNTS of Russian Academy of Sciences. 1998. 311 pp.
2. Puzachenko Yu.G., Aleshchenko G.M. Introduction in the spatial analysis of structure of a landscape. Geography, a society, the environment. Vol. II. Functioning and a current state of landscapes. M.: Gorodets, 2004. P. 36-47.
3. Forman T.T. Land Mosaics. N.Y.: Cambridge Univ. Press, 1997. 632 p.
4. Shugart H. Terrestrial Ecosystems in Changing Environments. N.Y.: Cambridge Univ. Press, 1998. 538 p.
5. Victorov A.S. Mathematical landscape morphology. M.: TRATEK, 1998. 191 pp.
6. Puzachenko Yu.G., Khoroshev A.V., Aleshchenko G.M. Analysis of the organization of a landscape on the basis of a space picture // Researches of the Earth from space. 2003. No. 3. P. 63-71.
7. Malinetsky G.G. Chaos. Structures. Computing experiment. Introduction in nonlinear dynamics. M.: Nauka, 1997. 256 pp.
8. Sysuyev V.V. Modelling of geophysical differentiation of geosystems. Introduction in the spatial analysis of structure of a landscape. Geography, a society, environment. Vol. II. Functioning and a current state of landscapes. M.: Gorodets, 2004. P. 48-71.
9. Varshanina T.P. Object-oriented model of a relief subsystem. Geomorphology of our country: the past, present, future // Materials of XXX Plenum of the Geomorphological Commission of the Russian Academy of Sciences. SPb., 2008. P. 108-110.
10. Rantsman E.Ya., Glasko M.P. Morphostructural knots – places of the extreme natural phenomena. M.: Media Press, 2004. 223 pp.
11. Kruzhalin V.I. Ecological geomorphology of a land. M.: Scientific World, 2001. 176 pp.

12. Варшанина Т.П., Плисенко О.А. Интегрированная геоинформационная цифровая модель «Электронная Земля»: региональный аспект // Системы и средства информатики. М.: ИПИ РАН, 2008. С. 135-161.
13. Плисенко О.А. Цифровая модель местности как основа для вычислительных экспериментов в ГИС // ИнтерКарто/ИнтерГИС 11: устойчивое развитие территорий: Теория ГИС и практический опыт. Ставрополь: Изд-во СГУ, 2005. С. 48-53.
14. Ласточкин А.Н. Системно-морфологическое основание наук о Земле (геотопология, структурная география и общая теория систем). СПб.: Изд-во НИИХ СПбГУ, 2002. 762 с.
15. Философов В.П. Основы морфометрического метода поисков тектонических структур. Саратов: СГУ, 1975. 232 с.
16. Липиенберг Д.А. Картографо-геодинамические модели современных движений морфоструктур Кавказа и Закавказья для разных эпох // Геоморфология. 1997. № 4. С. 15-21.
17. Варшанина Т.П., Стародуб И.В., Плисенко О.А. Методы и алгоритмы нейросетевой классификации и определение прототипов в ГИС. ИнтерКарто / ИнтерГИС 11: устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт. Саратов; Урумчи, 2008. С. 265-268.
18. Дьяконов К.Н., Пузаченко Ю.Г. Теоретические положения и направления исследований современного ландшафтоведения. География, общество, окружающая среда. Функционирование и современное состояние ландшафтов. М.: Городец, 2004. С. 12-36.
19. Варшанина Т.П., Митусов Д.В. Климатические ресурсы ландшафтов Республики Адыгея. Майкоп: Изд-во Адыгейского госуниверситета, 2005. 237 с.
20. Нейросетевая модель прогноза паводков на малых реках Адыгеи / Т.П. Варшанина, Д.В. Митусов, О.А. Плисенко, И.В. Стародуб // Известия РАН. Сер. географическая. 2007. № 6. С. 87-93.
21. Нестационарные структуры и диффузионный хаос / Т.С. Ахромеева, С.П. Курдюмов, Г.Г. Малинецкий, А.А. Самарский. М.: Наука, 1992. 214 с.
12. Varshanina T.P., Plisenko O. A. The integrated geoinformation digital model «Electronic Earth»: regional aspect // Systems and computer science means. M.: IPI of the Russian Academy of Sciences, 2008. P. 135-161.
13. Plisenko O.A. Digital model of district as a basis for computing experiments in GIS // InterKarto / InterGiS 11: Sustainable development of territories: GIS theory and practical experience. Stavropol: SGU Publishing House, 2005. P. 48-53.
14. Lastochkin A.N. The system-morphological foundation of sciences on the Earth (geotopology, structural geography and the general theory of systems). SPb.: St.Petersburg State University NIIH Publishing House, 2002. 762 pp.
15. Filosofov V.P. Bases of the morphometrical method of searches for tectonic structures. Saratov: SGU, 1975. 232 pp.
16. Lipienberg D.A. Mapping-geodynamic models of modern movements of morphostructures of the Caucasus and Transcaucasia for different epochs // Geomorphology. 1997. No. 4. P. 15-21.
17. Varshanina T.P., Starodub I.V., Plisenko O.A. Methods and algorithms of neuron-net classification and definition of prototypes in GIS. InterKarto / InterGIS 11: a sustainable development of territories: GIS theory and practical experience. Saratov; Urumchi, 2008. P. 265-268.
18. Dyakonov K.N., Puzachenko Yu.G. Theoretical propositions and directions of researches of modern landscape science. Geography, a society, the environment. Functioning and a current state of landscapes. M.: Gorodets, 2004. P. 21-36.
19. Varshanina T.P., Mitusov D.V. Climatic resources of landscapes of Adygheya Republic. Maikop: Adyghe State University Publishing House, 2005. 237 pp.
20. A neuro-net forecasting model of high waters on the small rivers of Adygheya / T.P. Varshanina, D.V. Mitusov, O.A. Plisenko, I.V. Starodub // News of the Russian Academy of Sciences. Ser. geographical. 2007. No. 6. P. 87-93.
21. Non-stationary structures and diffusion chaos / T.S. Akhromeeva, S.P. Kurdyumov, G.G. Malinetsky, A.A. Samarsky. M.: Nauka, 1992. 214 pp.