

УДК 528.9 (470.621)
ББК 26.17 (2Рос.Ады)
В 18

Варшанина Т.П.

Кандидат биологических наук, доцент кафедры географии факультета естествознания, зав. центром интеллектуальных геоинформационных технологий Адыгейского государственного университета, Майкоп, тел. (8772) 59-39-44, e-mail: gic-info@yandex.ru

Хунагов Р.Д.

Доктор социологических наук, профессор, научный руководитель центра интеллектуальных геоинформационных технологий, ректор Адыгейского государственного университета, тел. (8772) 59-39-44, e-mail: gic-info@yandex.ru

ГИС научных исследований процессов изменчивости геосистем (Рецензирована)

Аннотация. Разработаны концепция, структурные принципы и методология сущностно-логической (онтологической) модели в ГИС научных исследований пространственно-временной изменчивости геосистем.

Ключевые слова: метод структурной маски энергетических географических полей, пространство состояний геосистем, способ измерения изменчивости геосистем, способ выведения закона изменчивости геосистем, точечное прогнозирование географических процессов, динамическое моделирование географических процессов.

Varshanina T.P.

Candidate of Biology, Associate Professor of Geography Department of Natural Science Faculty, Head of the Center for Intellectual Geoinformation Technologies, Adyghe State University, Maikop, ph. (8772) 59-39-44, e-mail: gic-info@yandex.ru

Khunagov R.D.

Doctor of Sociology, Professor, Supervisor of Investigations of the Center for Intellectual Geoinformation Technologies, Rector of Adyghe State University, Maikop, ph. (8772) 59-39-44, e-mail: gic-info@yandex.ru

GIS of scientific researches of processes of geosystems variability

Abstract. The concept, structural principles and methodology of the intrinsic and logical (ontologic) model in GIS of scientific researches of existential variability of geosystems are developed.

Keywords: method of a structural mask of power geographical fields, space of conditions of geosystems, way of measurement of geosystems variability, way of drawing the law of variability of geosystems, dot forecasting of geographical processes, dynamic modeling of geographical processes.

Введение

Преодоление информационных и методологических барьеров на пути открытия закона пространственно-временной изменчивости географических систем предполагает синтез географических знаний и современных общетеоретических концепций, таких как общая теория систем, системный анализ, теория динамических систем.

При исследовании динамических свойств систем, в данном случае геосистем, предлагается выполнение следующих условий [1]:

1. Выявление структуры системы;
2. Определение пространства ее состояний;
3. Определение формирующих ее структуру факторов;
4. Определение способа измерения изменчивости;
5. Формулирование закона изменчивости.

Выявление структуры геосистем связано с определением универсального фактора, формирующего структуру географического пространства. К универсальному виду взаимодействия в Мире систем различного происхождения и состава относится взаимодействие их энергетических полей. Следовательно, структуроформирующим факто-

ром геосистем является напряженность порождающего энергетического поля. Исходя из этого можно утверждать, что структура географических объектов и процессов подобна структуре космопланетарной системы энергетических полей, интерферирующей в фокусе географической оболочки. Разработан метод структурной маски энергетических географических полей (СМЭП), основанный на решении обратной задачи: восстановление структуры порождающих географические объекты космопланетарных энергетических полей в фокусе земной поверхности через вычисление градиентов, определяющих структуру географических объектов (структурообразующих) параметров [2].

Основная часть

Исследования произведены на примере территории Республики Адыгея, отличающейся горно-равнинным расположением, ландшафтным многообразием, контрастом преимущественно измененной территории равнинной части и лесистой со значительной долей ООПТ – горной.

Метод СМЭП опирается на следующие структурные принципы:

– 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 (объектов и процессов), напряженность «реального» геофизического поля принимается параметром порядка (структуроформирующим параметром) 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 и напряженность поля энергии, порождающего географические паттерны;

– пространственно-временная структура каждой из трех страт полей энергии, порождающих геообъекты, воспроизводима в результате вычисления пространственно-временного градиентного поля соответствующего структурообразующего параметра;

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

Метод СМЭП предназначен для выведения интегральных параметров и ординации иерархии взаимно структурно подобных эмпирически объективных географических единиц и порождающих их энергетических полей. С помощью метода СМЭП разработана методология вычисления структурной маски эндогенного, потенциального экзогенного и «реального» энергетических географических полей [3].

Метод построения структурной маски эндогенного энергетического поля в фокусе земной поверхности

Построение структурной маски эндогенного энергетического поля основано на утверждении о том, что поле тектонических напряжений вблизи земной поверхности создается в результате интерференции в ее фокусе сложной системы энергетических течений в теле Земли [4], а также на парадигме структурного соответствия гипсометрических параметров рельефа и тектонических напряжений в реальной геологической среде с ее реологическими свойствами [5].

Построение векторного пространственно-временного поля, структурно подобного полю тектонических напряжений, производится в соответствии с разработанным В.П. Философовым методом выявления тектонических движений земной коры в результате сравнительного анализа высотного положения базисных поверхностей смежного геологического возраста, построенных относительно тальвегов однопорядковых водотоков. Основан метод на эмпирически установленном В.П. Философовым факте: чем выше порядок долин, тем древнее эти долины, а однопорядковые долины примерно одного геологического возраста [6].

С использованием стандартных ГИС-инструментов строятся растровые карты базисных поверхностей по отметкам высот, расположенных по линии пересечения тальвегов водотоков соответствующего порядка с матрицей высот, корректной относительно гидрологической сети. Высотное положение базисных поверхностей первого и второго порядков приближенно характеризует вертикальные тектонические движения четвертичного времени, третьего порядка – вертикальные тектонические движения у границ плиоцен-четвертичного, а четвертого порядка – плиоценового времени. Высотное положение базисных поверхностей более высоких порядков примерно равняется алгебраической сумме вертикальных тектонических движений за более длительный промежуток времени. Указанная зависимость высотного положения базисных поверхностей от возраста вертикальных тектонических движений установлена В.П. Философовым на основании наблюдений в пределах юго-западной части Оренбургской области [7].

Строятся растровые карты мощности разностного слоя между смежными базисными поверхностями путем вычитания из значения высоты (в метрах) в каждой точке базисной поверхности старшего (третьего, четвертого и т.д.) порядка значение высоты в каждой точке базисной поверхности младшего (второго, третьего и т.д.) порядка. Мощность разностного слоя между базисными поверхностями указывает на смещение местности по вертикали за промежуток времени, прошедший между образованием долин смежных порядков. При этом положительные разности высот между базисными поверхностями соответствуют восходящим тектоническим движениям, а отрицательные – нисходящим. Мощность разностного слоя представляется в виде изолиний одинаковой мощности разностного слоя (изогипсопахит), наложенных на картосхему современного блокового строения территории.

Рассчитывается векторное пространственно-временное поле тектонических напряжений, структурно подобное эндогенному полю энергии в фокусе земной поверхности, исходя из очевидного условия, что граням тектонических блоков, которые испытывают наибольшие тектонические напряжения, принадлежат наибольшие отметки высот. Для этого строится равномерная решетка с постоянным шагом, в каждом узле которой вычисляется наибольший градиент мощности разностного слоя [8]. Вычисляются параметры дифференциации тектонических напряжений в пределах тектонических элементов по значениям величин наибольших градиентов мощности разностного слоя относительно узлов решетки, попадающих в границы каждого тектонического элемента. Относительно геометрического центра блока вычисляется результирующий вектор, являющийся наибольшим градиентом мощности разностного слоя тектонического блока, где величина относительной скорости блока равна модулю градиента, а направление вектора тектонического блока является направлением его движения. На основе сравнительного анализа картосхем полей тектонических напряжений, относящихся к разным периодам геологического времени, прослеживается пространственно-временная динамика структуры эндогенного энергетического поля. В результате перечисленного порядка действий вычисляется дискретно-континуальная пространственно-временная структура эндогенного энергетического поля в фокусе земной поверхности.

Метод построения структурной маски потенциального экзогенного энергетического поля

Поле солнечной радиации у земной поверхности обычно строят относительно 3D геометрической поверхности рельефа, которая эта поле перераспределяет. С одной стороны геометрическая поверхность рельефа структурно подобна эндогенному энергетическому полю, с другой – создает структуру поля потенциальной экзогенной энергии вблизи земной поверхности.

Для решения задачи отображения структуры потенциального экзогенного энергетического поля на всех уровнях дискретизации эмпирически объективных единиц геопространства разрабатывается информационно-математическая 3D модель геометрической поверхности рельефа. Информационно-математическая модель поверхности рельефа создается для автоматизированного выделения элементарных поверхностей по классификации А.Н. Ласточкина [9, 10] построения иерархии поверхностей более высокого уровня, а также для автоматизированной классификации иерархии геоморфосистем.

Укрупненный алгоритм построения информационно-математической модели рельефа включает несколько этапов. Для обеспечения аналитической обработки горизонталей для них строится математическая модель в результате аппроксимации NURBS кривыми 4-го порядка. На следующем этапе авторским алгоритмом производится выделение особых точек рельефа, расположенных на горизонталях, затем с помощью продукционной системы производится построение основных каркасных линий рельефа – гребней и килей. Построенные основные каркасные линии рельефа дополняются линиями выпуклых и вогнутых перегибов склона. На основе полученных структурных линий рельефа с использованием продукционных правил экспертной системы формируются элементарные поверхности рельефа. Для каждой из элементарных поверхностей создается соответствующая структура данных в объектно-реляционной базе данных и строится ее 3D геометрическая модель с помощью аппроксимации каждой элементарной поверхности поверхностью Безье [11].

Основанием для алгоритма автоматизированного выделения поверхностей более высокого уровня – геоморфосистем является утверждение, что «геоморфосистема это участок земной поверхности квазиоднородный по специфике и интенсивности рельефообразующих процессов», следовательно, структурно подобный эндогенному и экзогенному полю энергии. Из этого утверждения следует, что геоморфосистеме соответствует участок геометрической поверхности рельефа, основные геоморфологические параметры которого, описывающие систему элементарных поверхностей, варьируют в некоторых граничных пределах, отличающих одну геоморфосистему от другой. Исходя из этого, справедливым будет заключение о возможности автоматизированного выделения геоморфосистем на основании кластерной группировки основных геоморфологических параметров (абсолютная высота, уклон, вертикальная и горизонтальная кривизна, экспозиция) классифицированных элементарных поверхностей рельефа.

Технология выявления критериев индицирующих границ геоморфосистем по комплексу геоморфологических параметров каждой из элементарных поверхностей, входящих в их состав, основана на статистическом методе группового учета аргументов (МГУА) [12]. МГУА включает алгоритмы нахождения для некоторой элементарной выделенной области функциональной зависимости между аргументами (основными геоморфологическими параметрами) и расчета коэффициента в выбранной математической модели от комплекса аргументов с последующим определением критерия регулярности. Поле рассчитанных критериев кластеризуется на квазиоднородные области – геоморфосистемы. Создание модуля автоматизированного построения структурно подобной модели 3D геометрической поверхности рельефа обеспечивает условия вычисления индикационных параметров напряженности потенциального экзогенного энерге-

тического поля в границах иерархической линейки взаимообусловленных географических объектов.

Для расчета структуры поля приходящей потенциальной экзогенной энергии относительно иерархии географических объектов разработан модуль «San» [13]. Определение суточной суммы прямой радиации, поступающей на поверхность с известными уклоном и экспозицией, производится с заданным временным интервалом. На каждом шаге учитывается высота и азимут Солнца, количество солнечной радиации, падающее на площадку, перпендикулярную солнечным лучам. Вычисление производится на основе аппроксимированной функции, определяющей рассеяние света в атмосфере, таблично заданных функций распределения солнечной энергии в спектре солнечного излучения на внешней границе атмосферы, а также спектра поглощения атмосферы. На основе полученных результатов рассчитывается средняя суточная сумма прямой радиации на заданную поверхность по ее отношению к количеству радиации, поступающей на горизонтальную поверхность. Вычисление прямой солнечной радиации, приходящей к каждой элементарной поверхности, позволяет рассчитать ее наибольший градиент в границах геоморфосистем и, таким образом, восстановить структуру поля потенциальной экзогенной энергии вблизи земной поверхности.

Метод построения структурной маски «реального» геофизического поля в фокусе земной поверхности

Проблема построения структурной модели «реального» геофизического поля, сформировавшего эмпирически объективные географические паттерны за характерное для них время, решается в результате расчета структурно подобных этому полю градиентных полей концентрации гумуса в почвах или значений биопродуктивности относительно иерархии пространственных географических единиц. На настоящее время наиболее доступным решением для расчета структуры «реального» геофизического поля является построение градиентных полей количества биомассы по NDVI по результатам дешифрирования мультиспектральных космоснимков. Методика отрабатывается по мультиспектральному космоснимку высокого пространственного разрешения (5 м) со спутников RapidEye. Съемка произведена в оптимальный период для дешифрирования растительных сообществ. Для обработки данных ДЗЗ использовалось программное обеспечение ENVI 4.5.

Дешифрирование производится в границах ячеек равномерной решетки с постоянным шагом, в каждом узле которой вычисляется наибольший градиент величины биомассы. Полученное поле значений наибольшего градиента величины биомассы накладывается на картосхему геоморфосистем, для каждой из которых рассчитывается наибольший градиент искомой величины. В результате выполнения изложенного порядка действий отображается структура и сравнительная мера напряженности «реального» геофизического поля, т.е. создается его структурная маска.

Способ определения пространства состояний геосистем

Вычисление структуры и сравнительной меры напряженности эндогенного, потенциального экзогенного и «реального» энергетических полей географического пространства относительно взаимно структурно подобной этим полям вертикальной системы геоконпонентов и ландшафтов в целом воссоздает пространство состояний каждой из трех страт полей энергии с определенной закономерностью, формирующей конкретные геообъекты. Вычисление пространства состояний каждой из страт полей энергии в пределах иерархии эмпирически объективных географических единиц позволит параметризовать процесс ординации геообъектов методами статистики, фрактального и топологического анализа.

Способ измерения пространственно-временной изменчивости геосистем

Для определения закономерности взаимообусловленного формирования геобъектов и выведения закона пространственно-временной изменчивости геосистем необходимо преобразовать градиенты структурообразующих параметров, отображающие напряженность структуроформирующих энергетических полей и различающиеся по размерности, в универсальную физическую величину. Преобразование значения вычисленных градиентов в единую единицу измерения позволит определить взаимосвязь экзогенного и эндогенного полей энергии и их вклад в формирование структуры «реального» энергетического поля в каждой точке геопространства, рассчитывать сравнительные параметры энергетической емкости, мощности и насыщенности географических полей, соответствующих иерархии геосистем, вычислить интегральные параметры и вывести закон пространственно-временной изменчивости геосистем.

Обсуждение результатов исследований

Методология создания модели геопространства, структурно подобной энергетическим географическим полям, оперирует индикаторами, считываемыми с информации, заключенной в параметрах географических систем. Этот широко используемый в науках о Земле подход в данном случае позволяет обойти множество информационных и методических барьеров. В первую очередь устраняется избыточность информации и, следовательно, на порядок уменьшается информационный шум. Кроме этого каждый вычисленный индикатор является интегральным, т.к. представляет собой продукт полного комплекса условий порождающей его физической среды, что можно продемонстрировать на примере разработанной по предлагаемой методологии геодинамической модели на территорию неограниченной площади [14].

Так, наибольший градиент мощности разностного слоя является продуктом космопланетарных энергетических взаимодействий в ротационном поле Земли и интегральным показателем сравнительной скорости и направления движения тектонических элементов, их реологических свойств. В поле этого показателя параметрически идентифицируются напряжения сжатия, растяжения и сдвига и обеспечивается возможность расчета их сравнительной величины, поворотного момента тектонического блока и выявление блоков концентраторов тектонических напряжений. Применение этого показателя для исследования и прогнозирования тектоники существенно снижает необходимость широкомасштабных инструментальных геофизических наблюдений, дискретные методы которых не дали пока интегрального эффекта в прогнозировании землетрясений. Упорядочение геофизических наблюдений относительно рассчитанной структурно подобной геодинамической модели перспективно как для фундаментальных исследований в тектонофизике, так и для точечного прогнозирования сейсмических событий. Этот пример демонстрирует то, что предлагаемый подход существенно увеличивает доступность информационного потенциала геопространства и позволяет преодолеть многие методические барьеры.

К достоинству предлагаемой модели относится обеспечение точечного прогнозирования природных процессов. Восстановление структурной маски энергетических географических полей, отвечающих за формирование искомого процесса, позволяет считывать динамику меры их напряженности в каждой точке геопространства, относительно которой становится доступным прогнозирование времени наступления и уровня опасности природных процессов. Примером может служить разработанная на данных малых рек Адыгеи модель точечного прогнозирования времени наступления и уровня паводка (патент № 2480825) затем подтвержденная в результате постпрогноза паводка в г. Крымске [15].

Заключение

Определение пространства состояний эмпирически объективных геокомпонентов и геосистем через параметры, отображающие их энергетические характеристики, позволяет вывести фундаментальные закон изменчивости и закон взаимообусловленного развития (самоорганизации) географических систем. Практическим приложением этих законов является прогнозирование изменения природной среды в зависимости от климатических трендов или антропогенных воздействий, конструирование культурных ландшафтов и точечное прогнозирование полного спектра природных опасностей.

Взаимное структурное подобие вычисляемой иерархии географических объектов и космопланетарных энергетических полей обеспечивает разработку онтологической ГИС-модель географического пространства для органичного интегрирования разнородных данных наук о Земле и междисциплинарных исследований.

Примечания:

1. Левич А.П. Общая теория систем как метатеория теоретического научного знания и темпорологии // *Пространство и время: физическое, психологическое, мифологическое*. М.: КЦ «Новый Акрополь», 2006. С. 70-88.
2. Варшанина Т.П. Разработка хорошо структурированной модели геопространства на основе метода структурной маски энергетических геополей // *Вестник Адыгейского государственного университета. Сер. Естественно-математические и технические науки*. 2012. Вып. 4 (110). С. 176-179. URL: <http://vestnik.adygnet.ru>
3. Варшанина Т.П., Плисенко О.А. Интегрированная ГИС региона (на примере Республики Адыгея). М.; Майкоп: Камертон, 2011. 399 с.
4. Гончаров М.А., Талицкий В.Г., Фролова Н.С. Введение в тектонофизику: учеб. пособие / отв. ред. Н.В. Короноцкий. М.: КДУ, 2005. 496 с.
5. Философов В.П. Применение карт базисной поверхности для выявления современных тектонических движений. Саратов, 1959. 215 с.
6. Философов В.П. Основы морфометрического метода поисков тектонических структур / под ред. проф. А.В. Вострякова. Саратов: Изд-во Саратов. гос. ун-та, 1975. 232 с.
7. Философов В.П. Порядки долин и их использование при геологических исследованиях. Саратов: Изд-во Саратов. гос. у-та, 1959. 256 с.
8. Коробков В.Н., Варшанина Т.П. Построение векторного поля для моделирования пространственно-временной структуры поля тектонических напряжений // *Вестник Адыгейского государственного университета. Сер. Естественно-математические и технические науки*. 2011. Вып. 4 (91). С. 139-145. URL: <http://vestnik.adygnet.ru>
9. Ласточкин А.Н. Системно-морфологическое основание наук о Земле // *Геотопология, структурная география и общая теория геосистем*. СПб.: Изд-во НИИХ СПбГУ, 2002. 762 с.
10. Зинченко А.Г., Ласточкин А.Н. Методика геоморфологического картографирования шельфа и континентального склона Российской Федерации. М., 2001. 38 с.
11. Плисенко О.А. Разработка интегрированной

References:

1. Levich A.P. General theory of systems as metatheory of theoretical scientific knowledge and temporology // *Space and Time: Physical, Psychological and Mythological*. M.: KTs «Novy Akropol», 2006. P. 70-88.
2. Varshanina T.P. Development of well structured model of geospace on the basis of a structural mask method of power geofields // *The Bulletin of the Adyghe State University. Ser. Natural-Mathematical and Technical Sciences*. 2012. Iss. 4 (110). P. 176-179. URL: <http://vestnik.adygnet.ru>
3. Varshanina T.P., Plisenko O.A. The integrated GIS of the region (based on the Republic of Adyghea). M.; Maikop: Kamerton, 2011. 399 pp.
4. Goncharova M.A., Talitskiy V.G., Frolova N.S. Introduction to tectonophysics: a manual / ed.-in-chief N.V. Koronotskiy. M.: KDU, 2005. 496 pp.
5. Filosofov V.P. The use of maps of a basic surface for identification of modern tectonic movements. Saratov, 1959. 215 pp.
6. Filosofov V.P. Foundations of a morphometric method of searches of tectonic structures / ed. by prof. Vostryakov A.V. Saratov: Saratov State University Publishing House, 1975. 232 pp.
7. Filosofov V.P. Orders of valleys and their use in geological researches. Saratov: Saratov State University Publishing House, 1959. 256 pp.
8. Korobkov V.N., Varshanina T.P. Construction of a vector field for modeling a spatiotemporal structure of the tectonic pressure field // *The Bulletin of the Adyghe State University. Ser. Natural-Mathematical and Technical Sciences*. 2011. Iss. 4 (91). P. 139-145. URL: <http://vestnik.adygnet.ru>
9. 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.
10. Zinchenko A.G., Lastochkin A.N. Technique of geo-morphological mapping of the shelf and continental slope of the Russian Federation. M., 2001. 38 pp.
11. Plisenko O.A. Development of the integrated ex-

- экспертной системы для распознавания структурных линий рельефа // Вестник Адыгейского государственного университета. Сер. Естественно-математические и технические науки. 2014. Вып. 4 (147). С. 196-206. URL: <http://vestnik.adygnet.ru>
12. Ивахненко А.Г., Степашко В.С. Помехоустойчивость моделирования. Киев: Наук. думка, 1985. 216 с.
 13. Варшанина Т.П., Митусов Д.В. Климатические ресурсы ландшафтов Республики Адыгея. Майкоп: Изд-во Адыг. гос. ун-та, 2005. 237 с.
 14. Структурно подобная геодинамическая модель Краснодарского края и Республики Адыгея / Т.П. Варшанина, О.А. Плисенко, О.А. Солодухин, В.Н. Коробков. Майкоп; М.: Камертон, 2011. 128 с.
 15. Цифровые модели географических полей для прогнозирования опасных явлений / Т.П. Варшанина, О.А. Плисенко, В.Н. Коробков, С.В. Теплоухов // Геоинформационное картографирование в регионах России: материалы Пятой всерос. науч.-практ. конф. Воронеж: Цифровая полиграфия, 2013. С. 15-22.
12. Ivakhnenko A.G., Stepashko V.S. Noise immunity of modelling. Kiev: Nauk. Dumka, 1985. 216 pp.
 13. Varshanina T.P., Mitusov D.V. Climatic resources of the landscapes of the Republic of Adyghea. Maikop: Adyghe State Un-ty Publishing House, 2005. 237 pp.
 14. Structurally similar geodynamic model of Krasnodar Krai and the Republic of Adyghea / T.P. Varshanina, O.A. Plisenko, O.A. Solodukhin, V.N. Korobkov. Maikop; M.: Kamerton, 2011. 128 pp.
 15. Digital models of geographical fields for forecasting of the dangerous phenomena / T.P. Varshanina, O.A. Plisenko, V.N. Korobkov, S.V. Teploukhov // Geoinformation mapping in the regions of Russia: materials of the Fifth Russian scient. and pract. conf. Voronezh: Digital Polygraphy, 2013. P. 15-22.