

## Пространственно-временная визуализация и перспективы прогнозирования геофизических полей

Т.П. Варшанина  
vtp01@mail.ru

Адыгейский государственный университет, Научно-исследовательский институт комплексных проблем, Центр интеллектуальных геоинформационных технологий, Майкоп, Россия

*Разработка методов визуализации пространственно-временной структуры геофизических полей рассматривается как необходимое основание для создания в рамках проекта «Цифровая Земля» модели глобального геоинформационного пространства, онтологически связывающего все земные сферы и геообъекты в единую саморазвивающуюся систему.*

*Ключевые слова* Метод визуализации геофизических полей, прогнозирование геофизических процессов, глобальная онтологическая ГИС.

## Spatial-temporal visualization and prospects of forecasting geophysical fields

T.P. Varshanina  
vtp01@mail.ru

Adyge State University, the Research Institute of Complex Problems, the Center of Intellectual Geoinformational Technologies, Maykop, Russia

The development of methods for visualization of the space-time structure of geophysical fields is considered as a necessary basis for creating a model of a global geoinformation space within the "Digital Earth" project that ontologically links all terrestrial spheres and geobjects to a single self-developing system.

*Keywords:* Method of visualisation of geophysical fields, forecasting geophysical fields, ontological GIS of global space.

### 1. Введение

В возможности и стратегию развития проекта Цифровая Земля входит формирование глобального геоинформационного пространства, онтологически связывающего все земные сферы и геообъекты в единую систему нашей планеты. Осуществляемая в настоящее время формальная систематизация в ГИС пространственно-временных данных о геосферах и геообъектах производится на единой координатной основе. Методология визуализации многообразных и многомерных пространственно-временных географических данных на этой основе имеет многолетнюю историю становления и продолжает совершенствоваться [5, 6, 8]. Несмотря на это, современные виртуальные модели не обеспечивают отображения системных свойств географического пространства, вычисления интегральных параметров географических систем и входящих в них объектов, параметров их онтогенетической взаимообусловленности. Таким образом, в настоящее время создаётся систематизированный свод многообразных пространственно-временных координированных географических данных, непригодных для системного анализа и успешного их прогнозирования. Не приносят ощутимого успеха в прогнозировании и частные виртуальные модели, основанные на данных инструментального мониторинга параметров геосфер.

Для разработки онтологической классификации географических систем, основанной на параметрах - индикаторах их онтогенетической взаимообусловленности, необходимо опираться на фундаментальные законы современной квантово-полевой картины мира [4], в соответствие с которой все материальные объекты являются порождением взаимодействующих энергетических полей. Структура поля энергии у земной поверхности обусловлена интерференцией волновых, в первую очередь, гравитационных и электромагнитных

воздействий приходящих из космического пространства и из глубин Земли. Сложное взаимодействие воздействий приводит к тому, что в каждый отдельный интервал времени одни и те же составляющие воздействий могут в различной степени или усиливать друг друга или ослаблять. Это является одной из основных причин нелинейности и неопределённости природных процессов.

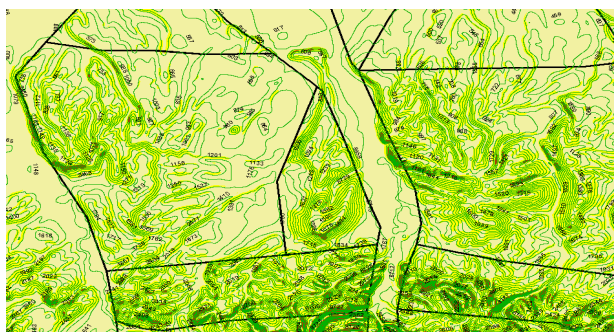
С этих позиций универсальной основой для выявления онтологической структуры всех геопространственных объектов, различающихся по вещественному составу и фазовому состоянию, является порождающая их структура поля энергии. В настоящее время использование этого подхода является единственно возможным путём системного представления глобального геоинформационного пространства Земли. Тот факт, что системообразующие геофизические поля когерентны полному спектру космических и планетарных воздействий, снимает проблему неопределённости при прогнозировании природных процессов.

### 2. Визуализация геофизических полей

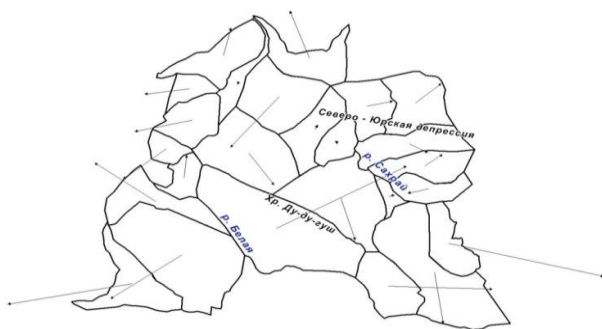
Для перехода от формальной систематизации объектов географического пространства к их онтологической классификации и системному анализу применяются численные эксперименты визуализации геофизических полей на основании информации, заключённой в пространственно-временной структуре земных объектов. В географическом пространстве принято выделять три генеральных геофизических поля: эндогенное – результирующее поле сложной системы энергетических потоков в глубинах Земли; экзогенное, обусловленное, в первую очередь, приходящей солнечной радиацией; «реальное» геофизическое поле, возникающее в результате интерференции энергетических воздействий, приходящих из Космоса и глубин Земли.

Для параметрической визуализации геофизических полей разработан метод структурной маски энергетических географических полей (СМЭП) [1]. Метод обеспечивает визуализацию структурно подобного отображения геофизических полей через градиентные поля параметров, определяющих структуру геобъекта или геосферы, например: для рельефа – это параметры поля высот; для атмосферы – параметры поля температуры.

Так, напряжённость эндогенного геофизического поля в фокусе земной коры отвечает за формирование тектонического рельефа и является его параметром порядка, т.е. динамической переменной, определяющей структурную организацию системы тектонического рельефа и каждый уровень укрупнения и усложнения его структуры. Так как поле высот является структурообразующим параметром тектонического рельефа, то оно служит мерой его параметра порядка. Пространственно-временную динамику отметок высот на территории за предыдущие миллионы лет до настоящего времени характеризует положение потенциальных поверхностей выравнивания, проведённых через тальвеги однопорядковых водотоков. Мощность разностного слоя между смежными поверхностями выравнивания свидетельствует о скорости поднятия/опускания элементарных объёмов геологической среды за период между формированием смежных поверхностей выравнивания определённого геологического возраста. Наибольший градиент мощности разностного слоя характеризует относительную скорость и направление движения элементарных объёмов геологической среды в её реологических условиях.



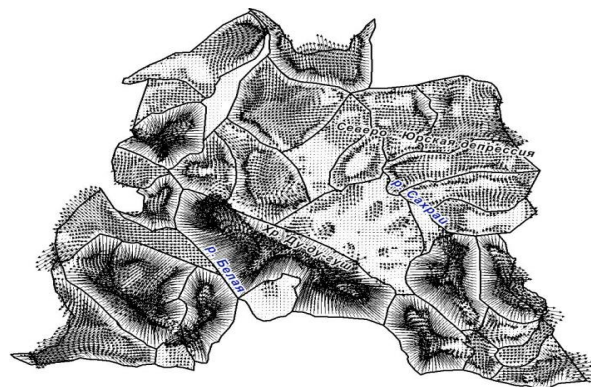
**Рис. 1.** Генеральное поле тектонических напряжений, визуализированное в изогипсопахитах (изолиниях мощности разностного слоя).



**Рис. 2.** Фоновое поле тектонических напряжений, визуализированное результирующими от центра тектонического блока наибольшими градиентами мощности разностного слоя.

Методом СМЭП вычисляется и визуализируется дискретно-континуальные, пространственно-временные иерархические геофизического поля тектонических

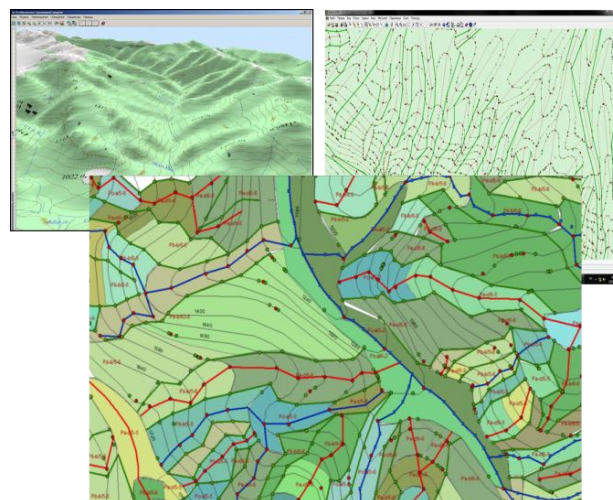
напряжений: континуальное генеральное (рис. 1); дискретное фоновое, движущее тектонические блоки (рис.2); локальное, возникающее при взаимодействии тектонических элементов (рис.3).



**Рис. 3.** Локальное поле тектонических напряжений, визуализированное результирующими наибольшими градиентами мощности разностного слоя относительно узлов равномерной решётки в границах тектонического блока.

Визуализации экзогенного энергетического поля в фокусе земной поверхности предшествует разработка модуля построения структурной 3D геометрической поверхности рельефа, так как геометрическая поверхность рельефа структурно подобная эндогенному полю энергии формирует структурно подобную этой поверхности поле потенциальной экзогенной энергии. Модуль информационно-математической модели рельефа классифицирует его гомоморфные поверхности в результате следующего порядка действий [7]:

- аппроксимация горизонталей NURBS (неоднородный рациональный сплайн) кривыми 4-го порядка;
- выделение авторским алгоритмом особых точек и структурных линий рельефа;
- идентификация с использованием продукционных правил экспертной системы элементарных поверхностей рельефа;
- построение 3D геометрической модели поверхности рельефа с помощью аппроксимации каждой элементарной поверхности поверхностью Безье (рис. 4).



**Рис. 4.** Этапы построения структурной 3D геометрической поверхности рельефа.

Градиентное поле потенциальной экзогенной энергии рассчитывается относительно величины суммарной солнечной радиации, приходящей на каждую гомоморфную единицу структурной 3D геометрической поверхности рельефа, а также в границах их структурной иерархии.

В результате изложенного порядка действий визуализируется отображение онтогенетической связи страт эндогенного и потенциального экзогенного полей энергии, взаимообуславливающих формирование всех объектов геопространства.

При построении структурной маски «реального» геофизического поля в фокусе земной поверхности необходимо учитывать термодинамические особенности поверхности, характеризующие её энергетический потенциал – то, как эта поверхность принимает и расходует энергию. В данном случае индикатором может служить величина биопродуктивности. Таким образом, структура «реального» геофизического поля отображается путём построения градиентных полей интенсивности продуцирования биомассы по результатам дешифрирования мультиспектральных космоснимков по NDVI (нормализованный разностный индекс растительности).

Воссозданные страты геофизических полей:

- с одной стороны представляют собой структурную маску порождающих геообъекты энергетических полей, с другой – отображают структуру географических объектов или процессов;

- когерентны полному спектру космопланетарных энергетических воздействий, что снимает проблему неопределённости при прогнозировании;

- отображают инвариантное пространство состояний своих параметров, отвечающих за формирование геообъектов, в отличие от данных непродолжительных инструментальных наблюдений.

Пространство состояний трёх страт полей энергии, формирующих иерархию географических объектов в их онтогенетической взаимообусловленности и зависимости от воздействий космических и глубин планеты, формализует фундаментальный закон географической изменчивости и иерархической систематизации геообъектов [3].

Создаются условия для разработки глобальной онтологической ГИС, предназначенной для логического связывания в координированном поле наземной, подземной и надземной информации для междисциплинарных исследований саморазвивающейся системы планеты.

Онтологическую связь рассчитанных геофизических полей и географических процессов и поэтому возможность использования параметров геофизических полей в качестве предикторов доказывают разработанные впервые 1) модель точечного прогнозирования времени наступления и уровня паводков [2] и 2) модель точечного прогнозирования землетрясений.

1) Мерой параметра порядка синоптического процесса, отображающего структуру локального энергетического поля приземной атмосферы, служит ежесуточный градиент температуры, рассчитываемый в точке прогнозирования относительно территории равной площади барического образования. Ежесуточный ход градиента температуры приземной атмосферы является интегральным показателем, характеризующим:

- состояние энергетического поля приземной атмосферы в точке прогнозирования;

- ту часть барического образования, которая проходит через точку прогнозирования по параметрам ежесуточного ход градиента за 7-10 дней;

- скорости адвекции и трансформации воздушной массы, состояние подстилающей поверхности по параметрам суточного хода градиента.

Ход регионального градиента температуры позволяет классифицировать выборки, соответствующие типам синоптических ситуаций в точке прогнозирования.

Для уменьшения влияния свойства нелинейности природных процессов точечное прогнозирование паводка осуществляется с помощью математической модели нейронной сети. В модель включается ход параметров ежесуточного регионального градиента температуры за 10-20 лет и соответствующие ему уровни воды на гидрологическом посту.

Трехуровневая нейросетевая модель классифицирует синоптические ситуации в точке прогнозирования по их подобию и преобладанию и даёт точечный прогноз времени наступления и уровня паводка. Способ отработывался на примере четырех малых рек бассейна реки Кубань и показал высокую степень достоверности среднесрочного прогнозирования даты паводка и погрешность прогнозирования уровней от 3 до 14% (рис. 5).

Универсальность способа продемонстрирована на примере постпрогноза катастрофического паводка на р. Адагум в г. Крымск в 2012 (рис.6).

Разработанный способ обеспечивает точечное прогнозирование полного спектра гидрометеорологических явлений, имеющих ряды инструментальных наблюдений. Предполагается, что расчёт генерального геофизического поля приземной атмосферы и исследование его инвариантных состояний позволит идентифицировать вклад локальных антропогенных воздействий различного происхождения на изменение климата.

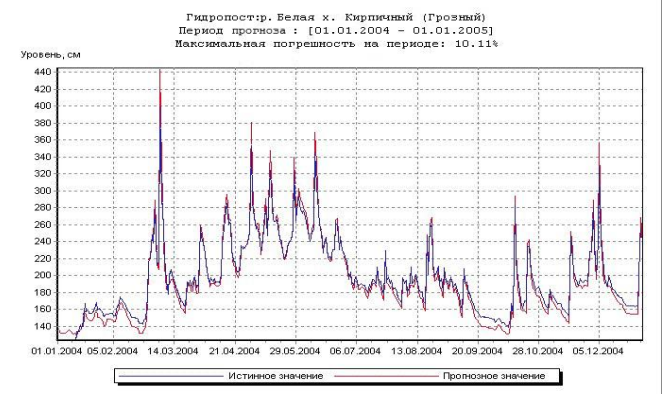


Рис. 5. График постпрогноза уровня подъема воды. Майкоп, р. Белая, 2004 год. Погрешность на периоде – 10,11%.

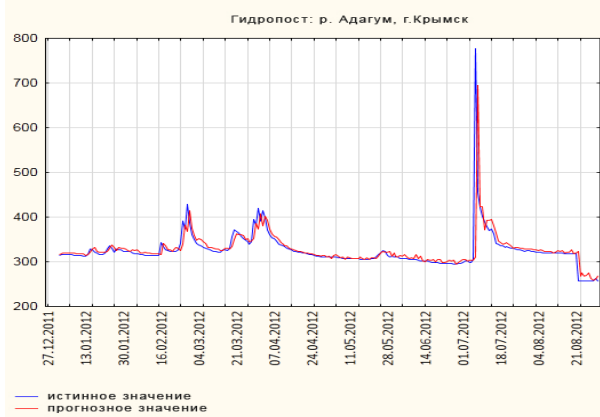
2) Открыты перспективы для точечного прогнозирования землетрясений. Наибольший градиент мощности разностного слоя также является интегральным показателем, характеризующим направление, относительную скорость движения тектонических блоков, их реологические свойства, тип тектонического взаимодействия (напряжения сжатия, растяжения, сдвига) [9].

Расчёт структуры локального энергетического поля тектонических напряжений произведён в макроблоке южной оконечности Скифской плиты. Фоновое значение наибольшего градиента мощности разностного слоя макроблока за четвертичный период выявляет невысокую относительную скорость движения на юго-восток с концентрацией тектонических напряжений в области

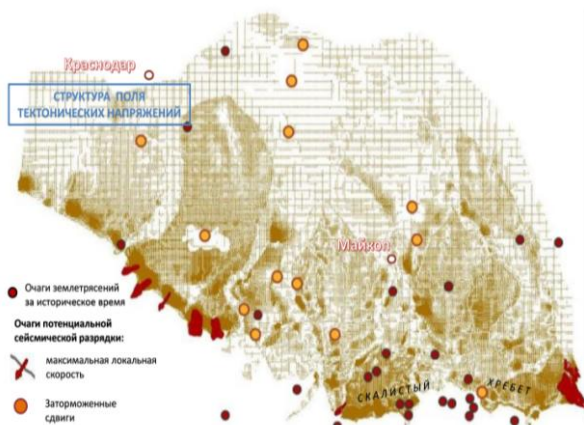


Скалистого хребта. В пределах макроблока за историческое время известно 21 сейсмическое событие магнитудой от 2,0 – 5,0 (рис. 7).

Относительно каждого эпицентра землетрясений вычислен результирующий наибольший градиент мощности разностного слоя – индикатор тектонического напряжения, характеризующий его среднюю величину за четвертичный период (за 2,5 млн. лет). Величина множественной корреляции между результирующими наибольшими градиентами мощности разностного слоя в макроблоке, вычисленными за четвертичный период, и магнитудой землетрясений зафиксированных в 20-ом веке составляет 0,43, в каждом блоке, входящем в макроблок она того же порядка – 0,45 [4, 7].



**Рис. 6.** График постпрогноза уровня подъема воды. Гидропост р. Адагум г. Крымск, 2012 год. Максимальная погрешность на периоде – 14,04%.



**Рис. 7.** Визуализация очагов потенциальной сейсмической разрядки в локальном поле тектонических напряжений.

Таким образом, мониторинг наибольшего градиента мощности разностного слоя, характеризующего напряженность эндогенного геофизического поля в выявленных очагах потенциальной сейсмической разрядки, и магнитуды сейсмических проявлений позволит с помощью эвристических методов осуществлять точное прогнозирование места, времени и магнитуды сейсмического события.

### 3. Заключение

Таким образом, визуализация результатов численного моделирования геофизических полей обеспечивает:

- формализацию фундаментального закона географической изменчивости и иерархической систематизации геобъектов, что открывает перспективы конструирования экологически сбалансированных культурных ландшафтов и прогнозирования развития каждого из них в соответствии с изменяющимися условиями среды;

- условия для разработки глобальной онтологической ГИС в целях междисциплинарных исследований законов саморазвития системы планеты;

- точное прогнозирование полного спектра природных процессов, подтвержденных данными инструментальных наблюдений;

- наполняет новым содержанием проект «Цифровая Земля» для решения стратегически важных проблем в сфере наук о Земле.

### 4. Литература

- [1] Варшанина Т.П. Разработка хорошо структурированной модели геопространства на основе метода структурной маски энергетических геополей. Вестник Адыгейского государственного университета. Серия естественно-математических и технических наук. №4(110). 2012. С. 176-179.
- [2] Варшанина Т.П., Плисенко О.А., Коробков В.Н. Способ прогнозирования времени наступления и уровня паводков. Патент № 2480825, 2013г.
- [3] Варшанина Т.П., Хунагов Р.Д. ГИС научных исследований процессов изменчивости геосистем. Вестник Адыгейского государственного университета. Серия естественно-математических и технических наук. №4(147). 2014. С. 207-214.
- [4] Варшанина Т.П. Общенаучные предпосылки и перспективы прогнозирования геопространственных процессов в интересах устойчивого развития территорий. ИнтерКарто/ИнтерГИС 22. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий в условиях глобальных изменений климата. Т. 1. – М. Издательский дом «Научная библиотека». 2016. С. 3-13.
- [5] Е.Н. Еремченко, В.С. Тикунов. Голографические возможности визуализации в географии. Бюлл. Московского ун-та. Серия географии. 2016. N 2. С. 22-29.
- [6] Косиков А.Г., Ушакова Л.А. Виртуальное моделирование и многомерные географические модели. Успехи современного естествознания. Науки о Земле. №2, 2016. С. 164-169.
- [7] Плисенко О.А. Применение экспертных систем в ГИС для пространственного анализа рельефа. ИнтерКарто/ИнтерГИС 22. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий в условиях глобальных изменений климата. Т. 1. – М. Издательский дом «Научная библиотека». 2016. С. 157-167.
- [8] Тикунов В.С., Еремченко Е.Н. Цифровая земля и картография // Геодезия и картография. 2015. № 11. С. 14–23.
- [9] T. Varshanina, R. Khunagov, O. Plisenko, V. Korobkov, E. Shtelmakh. Modelling the Space-Time Field of Tectonic Stresses in the Area of Unlimited Space for Seismic Safety

Indian Journal of Science and Technology, Vol 8(29),  
DOI: 10.17485/ijst/2015/v8i29/86864, November 2015.

### **Об авторах**

Варшанина Татьяна Павловна, к. биол. наук, доцент кафедры географии Адыгейского государственного университета, заведующая Центром интеллектуальных геоинформационных технологий НИИ комплексных проблем АГУ, директор малого инновационного предприятия 'ГеоВертекс'.  
e-mail vtp01@mail.ru