

НОВЫЕ МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ В ГЕОИНФОРМАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ И АНАЛИЗЕ ДАННЫХ

NEW METHODS AND APPROACHES IN GEOINFORMATION MODELING AND DATA ANALYSIS

УДК 004.9:502

DOI: 10.35595/2414-9179-2022-1-28-508-522

Т.П. Варшанина¹, Р.Д. Хунагов², В.Н. Коробков³

ИНФОРМАТИВНОСТЬ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

АННОТАЦИЯ

Обсуждаются информативные возможности и перспективы применения цифровой природоподобной методологии вычислительной визуализации естественных процессов формирования природных систем на основе предложенного параметра порядка – напряженности интегрального геофизического поля, создаваемого вмещающим структурообразующим космическим пространством. Так как обозначенный параметр порядка определяет структуру и свойства природных систем и процессов, градиент параметра определяющего структуру природного объекта является мерой его параметра порядка и, следовательно, может служить предиктором прогнозирования изменения его свойств и структуры. Декларируемый подход апробирован на примере прогнозирования процесса формирования паводков и процессов визуализации полей тектонических напряжений. Разработаны способ точечного прогнозирования времени наступления и уровня паводка на основе трехуровневой нейросетевой модели и способ векторной пространственно-временной визуализации иерархии полей тектонических напряжений на территорию неограниченной площади. Показано, что вычислительные операции с параметром регионального градиента температуры наряду с интеллектуальными методами прогнозирования, иллюстрируют перспективы точечного средне- и долгосрочного прогнозирования гидрометеорологических процессов, обеспеченных длинными рядами данных инструментальных наблюдений.

¹ Адыгейский государственный университет, НИИ комплексных проблем АГУ, Центр интеллектуальных геоинформационных технологий, ул. Гагарина, 13, 385000 Майкоп, Россия, *e-mail*: vtp01@mail.ru

² Адыгейский государственный университет, НИИ комплексных проблем АГУ, ул. Гагарина, 13, 385000 Майкоп, Россия, *e-mail*: khunagov-rd@mail.ru

³ Адыгейский государственный университет, НИИ комплексных проблем АГУ, Центр интеллектуальных геоинформационных технологий, ул. Гагарина, 13, 385000 Майкоп, Россия, *e-mail*: gic-info@yandex.ru

Вычислительная визуализация генерального, фонового и локального полей тектонических напряжений на территориях неограниченной площади служит источником параметрических данных для геоинформационно-математического моделирования перестройки полей тектонических напряжений в процессах самоорганизации тектоносферы, вычисления положения локусов геодинамической неустойчивости – эпицентров возможных землетрясений, визуализации тектонических течений в земной коре. Мониторинг геофизических данных в локусах геодинамической неустойчивости открывает перспективы точечного прогнозирования землетрясений. Вычисление параметров порядка природных объектов и процессов открывает перспективы их вычислительного моделирования, выведения численных законов их сопряженного развития и масштабного ряда взаимодействия, а также прогнозирования состояния геообъектов и геопроцессов в заданной точке геопространства в условиях нарастания глобальной природной изменчивости.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: природоподобная вычислительная цифровая модель, точечное прогнозирование гидрометеорологических процессов, тектоно-геодинамическая модель, локусы геодинамической неустойчивости

Tatiana P. Varshanina¹, Rashid D. Khunagov², Viktor N. Korobkov³

INFORMATION CONTENT OF GEOINFORMATION COMPUTATIONAL VISUALIZATION OF NATURAL OBJECT FORMATION PROCESSES

ABSTRACT

The paper discusses informative possibilities and prospects of application of digital nature-like methodology for computational visualization of natural processes of natural system formation based on the proposed order parameter – intensity of integral geophysical field created by host structure-forming outer space. Since the designated order parameter defines the structure and properties of natural systems and processes, the gradient of the parameter defining the structure of the natural object is a measure of its order parameter and, therefore, can serve as a predictor of forecasting the change in its properties and structure. The declared approach is tested using an example of forecasting the process of flood formation and processes of visualization of tectonic stress fields. The authors have developed a method of point prediction of the onset time and flood level based on a three-level neural network model and a method of vector space-time visualization of a hierarchy of tectonic stress fields on the territory of an unlimited area. The research shows that computational operations with the parameter of the regional temperature gradient along with intelligent forecasting methods illustrate the prospects of point medium-, long-term forecasting of hydrometeorological processes provided with long rows of instrumental observation data.

Computational visualization of general, background and local fields of tectonic stresses in the territories of unlimited area serves as a source of parametric data for geoinformation-mathematical modeling of tectonic stress field restructuring in processes of tectonosphere self-organization, calculation of position of geodynamic instability loci – epicenters of possible earthquakes, visualization of tectonic currents in the Earth's crust. Monitoring geophysical data at geodynamic instability loci opens up prospects for point prediction of earthquakes.

¹ Adyghe State University, Research Institute of Complex Problems of ASU, Center for Intelligent Geoinformation Technologies, 13 Gagarina St., 385000, Maykop, Russia, *e-mail*: vtp01@mail.ru

² Adyghe State University, Research Institute of Complex Problems of ASU, 13 Gagarina St., 385000, Maykop, Russia, *e-mail*: khunagov-rd@mail.ru

³ Adyghe State University, Research Institute of Complex Problems of ASU, Center for Intelligent Geoinformation Technologies, 13 Gagarina St., 385000, Maykop, Russia, *e-mail*: gic-info@yandex.ru

Calculation of order parameters of natural objects and processes opens up prospects of their computational modeling, derivation of numerical laws of their conjugate development and a scale series of interaction, as well as prediction of the state of geo objects and geo processes at a given geo space point in conditions of increasing global natural variability.

KEYWORDS: nature-like computational digital model, point prediction of hydrometeorological processes, tectonic-geodynamic model, loci of geodynamic instability

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях периода нарастания глобальной природной изменчивости с нелинейной ее реализацией на локальных уровнях, связанной с закономерной динамикой Земли как космического тела, обостряется необходимость поиска новых эффективных подходов цифрового моделирования и прогнозирования природных систем и процессов.

В разрабатываемой природоподобной цифровой модели, описанной в предыдущих публикациях [Варшанина и др., 2017], предложен обобщенный алгоритм вычислительной визуализации (продуцирования информации для визуального и вычислительного анализа) естественных процессов формирования природных систем во вмещающем структурообразующем космическом пространстве [Варшанина, 2012], обладающем, как известно, многообразными изученными и пока дискутируемыми свойствами. Неопределенность системных свойств динамичного и эволюционирующего вмещающего пространства не препятствует выведенному заключению – параметры интегрального геофизического поля, создаваемого вмещающим пространством, определяют структуру и свойства земных объектов, то есть в соответствии с учением о динамических системах являются их параметрами порядка [Малинецкий, 2007; Олемской, 2009]. Таким образом, относительно полного масштабного ряда, или иначе, в «фокусе» каждого квазиднородного геообъекта (гео- – земной, природный), возможна вычислительная структурно-подобная визуализация «напряженности» интегрального геофизического поля, выраженная через градиентное поле структурообразующего параметра геообъекта. Величина градиента структурообразующего параметра геообъекта в каждой его точке является мерой параметра порядка, то есть мерой напряженности интегрального геофизического поля, вмещающего пространства в этой точке.

Унифицированный подход вычисления параметров порядка природных объектов и процессов открывает широкие перспективы их вычислительного моделирования, выведения численных законов их сопряженного развития и масштабного ряда взаимодействия, а также прогнозирования состояния геообъектов и геопроцессов в заданной точке геопространства в условиях нарастания глобальной природной изменчивости.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования производились на примере горно-равнинной территории Республики Адыгея, расположенной на Северо-Западном Кавказе. Применялись методы построения морфометрических карт для геодинамического анализа [Философов, 1975]; построения полибазисных поверхностей (поверхностей выравнивания) [Философов, 1960]; нейросетевая методология прогнозирования [Назаров, Лоскутов, 2003; Осовский, 2002]; метод структурной маски интегральных геофизических полей [Варшанина, 2012].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Примерами успешного применения сформулированного подхода являются способ точечного прогнозирования времени наступления (даты) и уровня выраженности гидрометеорологических событий на примере паводков и способ построения векторного поля тектонических напряжений на территорию неограниченной площади.

В первом случае предиктором обозначен региональный градиент поля среднесуточной температуры приземной атмосферы (энергетического поля приземной атмосферы, обуславливающего формирование барических систем) в точке прогнозирования, сопоставляемый с ежесуточными уровнями воды на гидростоях за 10–20 лет.

Анализ графического отображения годового хода регионального градиента поля среднесуточной температуры приземной атмосферы в точке прогнозирования (далее «градиент температуры») показал различия в годы без экстремальных паводков и в годы их события (рис. 1, 2).

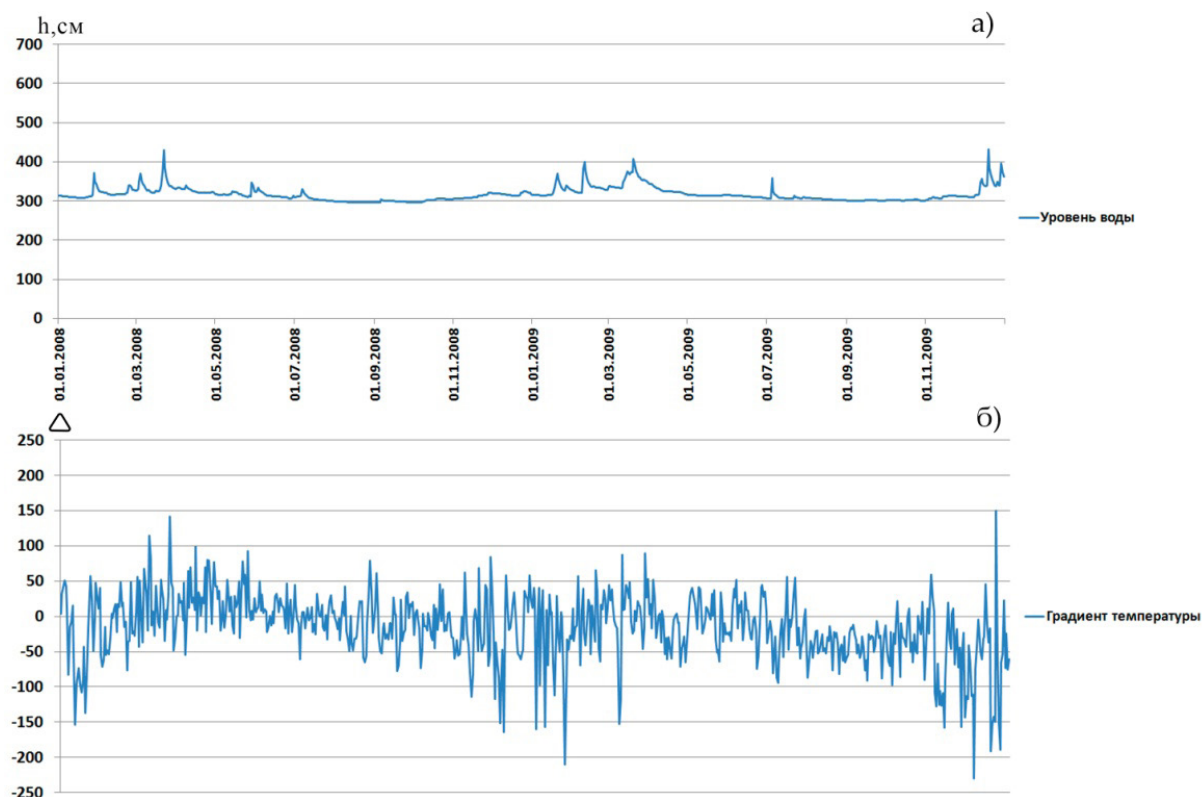


Рис. 1. Гидропост Адагум, г. Крымск. Период с 01.2008 по 12.2009:

- а) ежесуточный ход уровней воды в годы обычных паводков;
 б) ежесуточный ход градиента температуры.

Fig. 1. Adagum gauging station, Krymsk. Period from 01.2008 to 12.2009:

- а) daily flow of water levels during the years of ordinary floods;
 б) daily temperature gradient stroke.

В пункте гидропост Адагум в годы без экстремальных паводков в режиме годового хода градиента температуры кривая графика более выровнена относительно оси X. В годы экстремальных паводков у кривой графика четче выражены волны второго порядка, причем катастрофические паводки приурочены или к границе смены знака волны, или к подошве таких волн и к дате с наиболее низким «отрицательным» значением параметров. Графическая информация свидетельствуют также о том, что в летний период, в августе 2012 года, характерное «возмущение» поля температуры отмечалось за два месяца до катастрофического паводка, а в зимний период 1995 года «возмущение» поля температуры отмечалось за пять месяцев до события.

В связи с высокой степенью нелинейности процесса формирования паводков, связанного с комплексом разнонаправленных факторов (уклоны речного бассейна, инфильтрационная способность почвогрунтов, скорость добегаания и т. д.), постпрогнозирование времени наступления и уровня паводка производилось трехуровневой нейросетью. Настройка трехуровневой нейронной сети выполнялась модулем “Neural Network” программы “STATISTICA” v. 10. Первый уровень нейросети – самоорганизующийся слой Кохонена, входной вектор которого содержит ежедневные за предшествующие 10–20 лет уровни воды и соответствующие им значения градиента температуры. В слое Кохонена выявляются и классифицируются типы хода градиента температуры, определяемые условиями прохождения барического образования через точку прогнозирования, сопо-

ставляемые с уровнями воды на гидропостах по принципам подобия и преобладания. Нам втором уровне, представленном двухслойной персептронной сетью, анализируются аналогичные данные за предшествующие семь дней и осуществляется краткосрочный прогноз.

Тестирование нейросети производилось на четырех малых горно-равнинных реках Адыгеи и реке Адагум прибрежной зоны Черного моря. Прогноз на 2–3 дня показал с высокой степенью точности дату паводка и его уровень в сантиметрах с погрешностью составляющей 3–14 % (рис. 3).

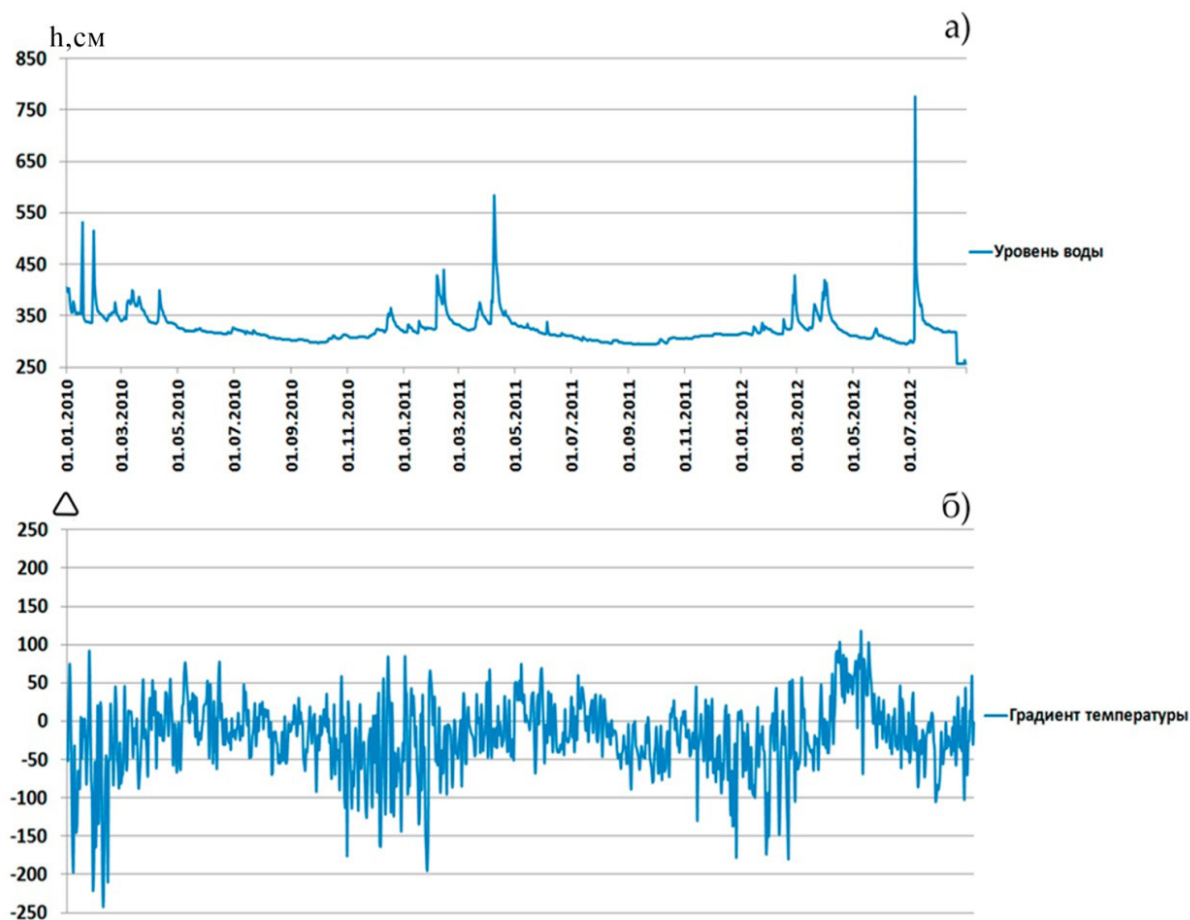


Рис. 2. Гидропост Адагум, г. Крымск. Период с 01.1992 по 12.1995:
 а) ежесуточный ход уровней воды в годы экстремальных паводков;
 б) ежесуточный ход градиента температуры.

Fig. 2. Adagum gauging station, Krymsk. Period from 01.1992 to 12.1995:
 а) daily flow of water levels during years of extreme floods;
 б) daily temperature gradient stroke.

Результаты вычислительных операций с параметрами регионального градиента температуры в точке прогнозирования свидетельствуют об очевидной его связи с уровнями воды в реках в соответствующих этой точке пунктах.

Так, отображение годового хода градиента температуры через его результирующее значение за каждый месяц года и построение роз годового хода результирующего ежемесячного градиента температуры в точке прогнозирования позволяет на визуальном уровне выделить паводочные годы (рис. 4) и, следовательно, открывает возможность воссоздания моделей прогнозирования многолетних сценариев «подготовки» синоптических ситуаций, определяющих паводки.

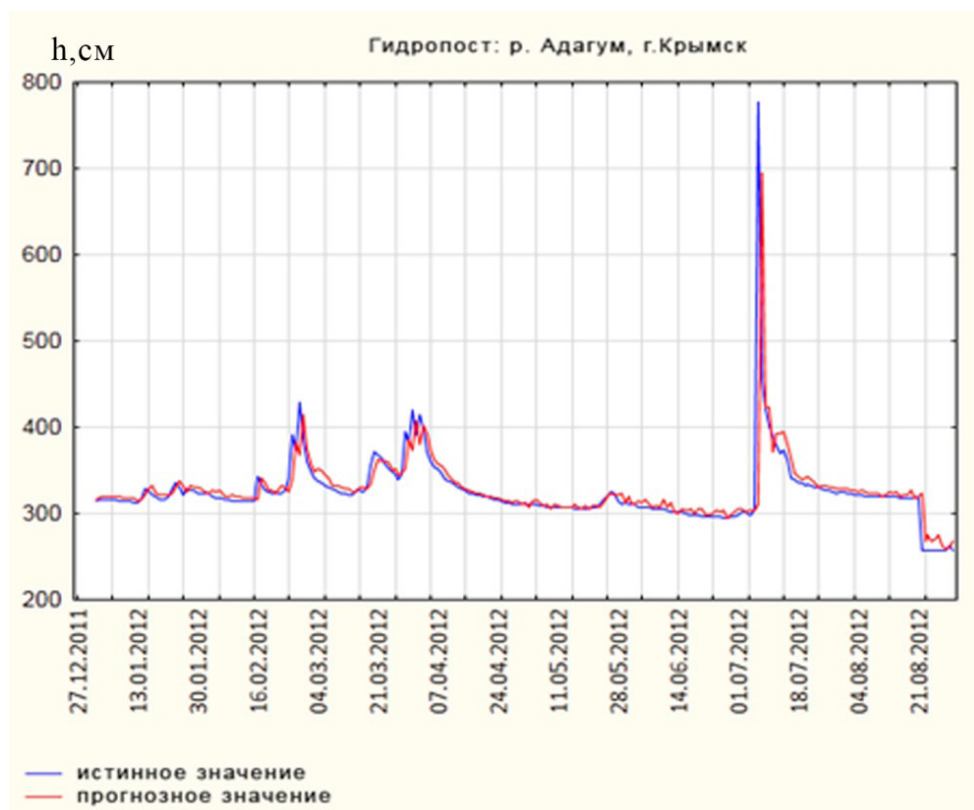
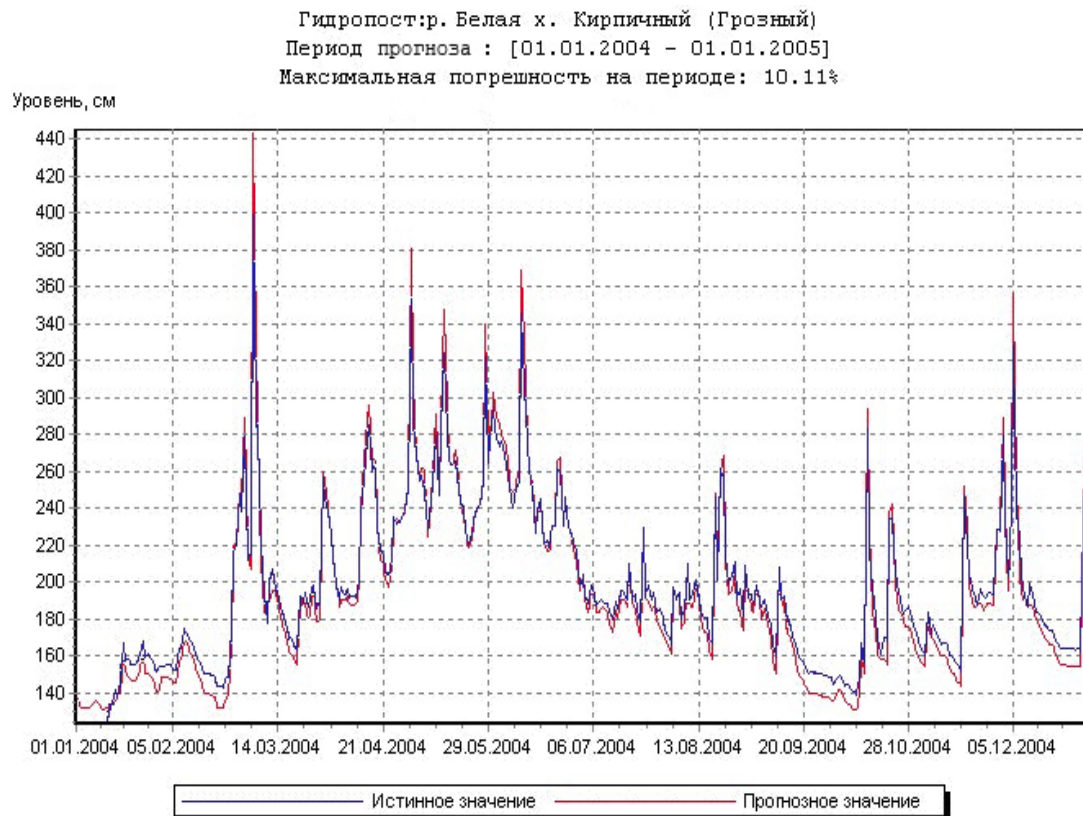


Рис. 3. Постпрогноз уровня подъема воды: а) гидропост х. Кирпичный, р. Белая, 2004 г. Максимальная погрешность на периоде – 10,11%; б) гидропост р. Адагум г. Крымск, 2012 г. Максимальная погрешность на периоде – 14,04 %.

Fig. 3. Post-forecast of the water rise level: a) Kirpichny village gauging station, river Belaya, 2004. The maximum error over the period is 10.11 %; b) Adagum River gauging station, Krymsk, 2012. The maximum error for the period is 14.04 %.

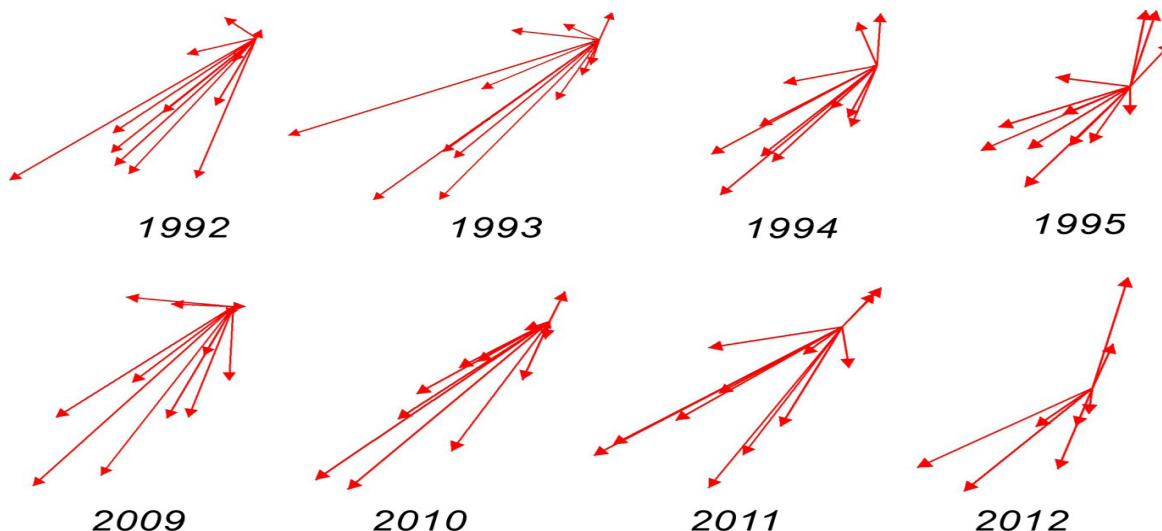


Рис. 4. Розы результирующих ежемесячных градиентов температуры в точке гидропост р. Адагум. Катастрофические паводки в 1995 и 2012 гг.
 Fig. 4. Roses of the resulting monthly temperature gradients at the point of the Adagum River gauging station. Catastrophic floods in 1995 and 2012.

Свидетельством этому служат также результаты сопоставления графика годового хода максимальных уровней на гидропосте р. Адагум с графической визуализацией годового хода результирующего ежемесячного градиента температуры за период с 01.1992 по 08.2012. Выявлены характерные образы графической кривой годового хода результирующего ежемесячного градиента температуры, минимальным отрицательным значениям параметров которой соответствуют высокие паводки (рис. 5).

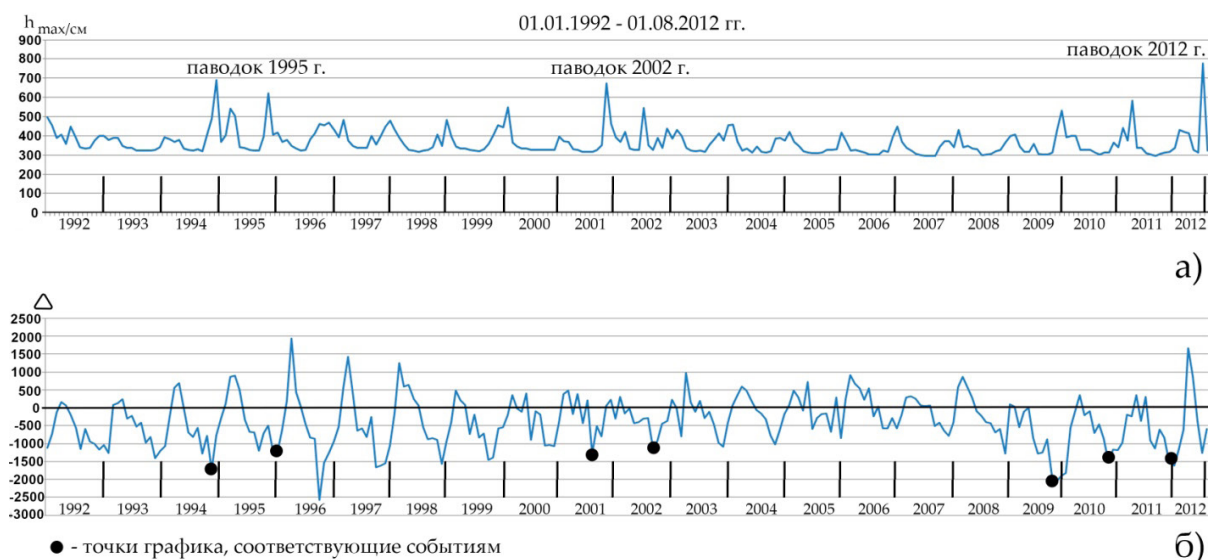


Рис. 5. Гидропост Адагум, г. Крымск. Графическое отображение в прямоугольной системе координат хода ежемесячного результирующего градиента температуры в точке прогнозирования в сопоставлении с ежемесячными максимальными уровнями воды: а) уровни воды; б) градиент температуры.

Fig. 5. Adagum gauging station, Krymsk. Graphical display in a rectangular coordinate system of the course of the monthly resulting temperature gradient at the prediction point in comparison with the monthly maximum water levels: a) water levels; b) temperature gradient.

Проявляемые закономерности свидетельствует о возможности прогнозирования в конкретном пункте на последующий сезон и год времени наступления и уровня как паводка, так и иных гидрометеорологических событий, обеспеченных многолетними инструментальными данными наблюдений.

Есть веские основания предполагать, что дистанционный мониторинг поля температуры на территориях, подверженных опасным гидрометеорологическим процессам, позволит увеличить точность и долгосрочность их прогнозирования.

Разработка вычислительной цифровой модели поля тектонических напряжений строится на тех же принципиальных основаниях, что и в предыдущем варианте. Решается задача вычислительной структурно подобной визуализации порождаемого вмещающим пространством интегрального геофизического поля, формирующего в земной коре поле тектонических напряжений [Варшанина и др., 2011; Varshanina et al., 2020].

Проблема вычислительной фиксации исторической многослойности поля тектонических напряжений была решена саратовским геоморфологом В.П. Философовым [Философов, 1960], разработавшим метод выявления тектонических движений земной коры в результате сравнительного анализа высотного положения базисных поверхностей (поверхностей выравнивания) смежного геологического возраста. В разрабатываемой этим методом цифровой модели поля тектонических напряжений в каждой точке матрицы высот вычисляется толщина слоя земной коры между смежными базисными поверхностями (далее – разностный слой), который испытал вертикальные движения за определенный период геологического времени. Так как структурообразующим параметром рельефа являются отметки высот, следовательно, градиент толщины разностного слоя в каждой точке матрицы высот является мерой напряженности тектонического поля в этой точке в заданный период геологического времени.

Инструментами Quantum GIS (QGIS) 3.16.1 по методу В.П. Философова [Философов, 1975] строится серия исторических моделей остаточного рельефа, воссоздающих четкую картину тектонического строения территории, отображенную сочетанием тектонических блоков, линеаментов и узлов и их динамических изменений за последние несколько миллионов лет (рис. 6). Визуализированные модели находят полное соответствие с современными представлениями о тектоническом строении территории исследования [Андреев и др., 1999].

На основании известного свойства взаимодополняемости вертикальных и горизонтальных движений в земной коре [Гончаров и др., 2005] модуль вектора градиента толщины разностного слоя (далее – градиент) рассматривается в качестве визуализированной относительной скорости движения элементарного объема геологической среды (напряженности тектонического поля), а румб градиента указывает на направление его движения.

Методом скользящего окна с постоянным шагом относительно изогипсопахит разностного слоя автоматизировано вычисляется иерархическая структура тектонических полей территории: генерального, фонового (движущего тектонические блоки) и локального (возникающего в тектонических элементах в результате стесненной деформации) (рис. 7).

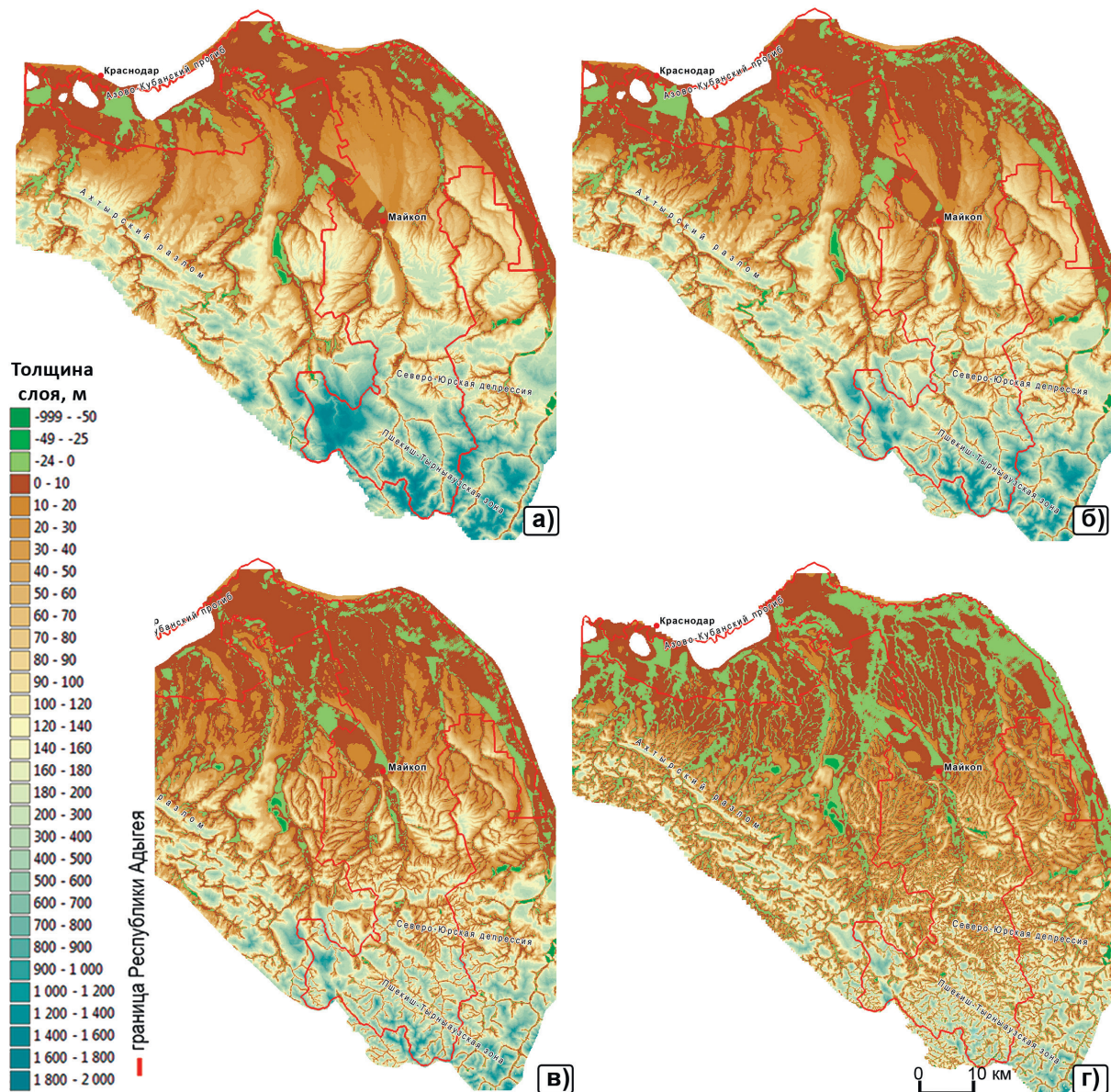


Рис. 6. Остаточный рельеф, отображающий тектоническое строение территории, и толщина разностного слоя, отображающая скорость и направление вертикальных движений: а) в плиоцене – 5 млн лет назад; б) конец плиоцена; в) начало четвертичного периода; г) настоящее время.

Fig. 6. Residual relief representing the tectonic structure of the territory and the thickness of the difference layer representing the velocity and direction of vertical movements: a) in the Pliocene – 5 million years ago; b) the end of the Pliocene; c) the beginning of the Quaternary period; d) present time.

Выполненные модели представляют интерес с точки зрения вычислительного моделирования тектонических деформаций и релаксационных процессов, формирующих поле тектонических напряжений на территориях исследования. Известно, что деформация геологической среды в результате внешних воздействий вызывает перемещения блоков и, в свою очередь, их деформацию. При этом целостность структурированной геологической среды обеспечивается разрешением напряжений, возникающих в генеральном поле крупных тектонических элементов в результате перестройки структурных элементов, входящих в их состав, что доказано в вычислительных и лабораторных экспериментах [Лукиянов, 1991; Талицкий, 2005].

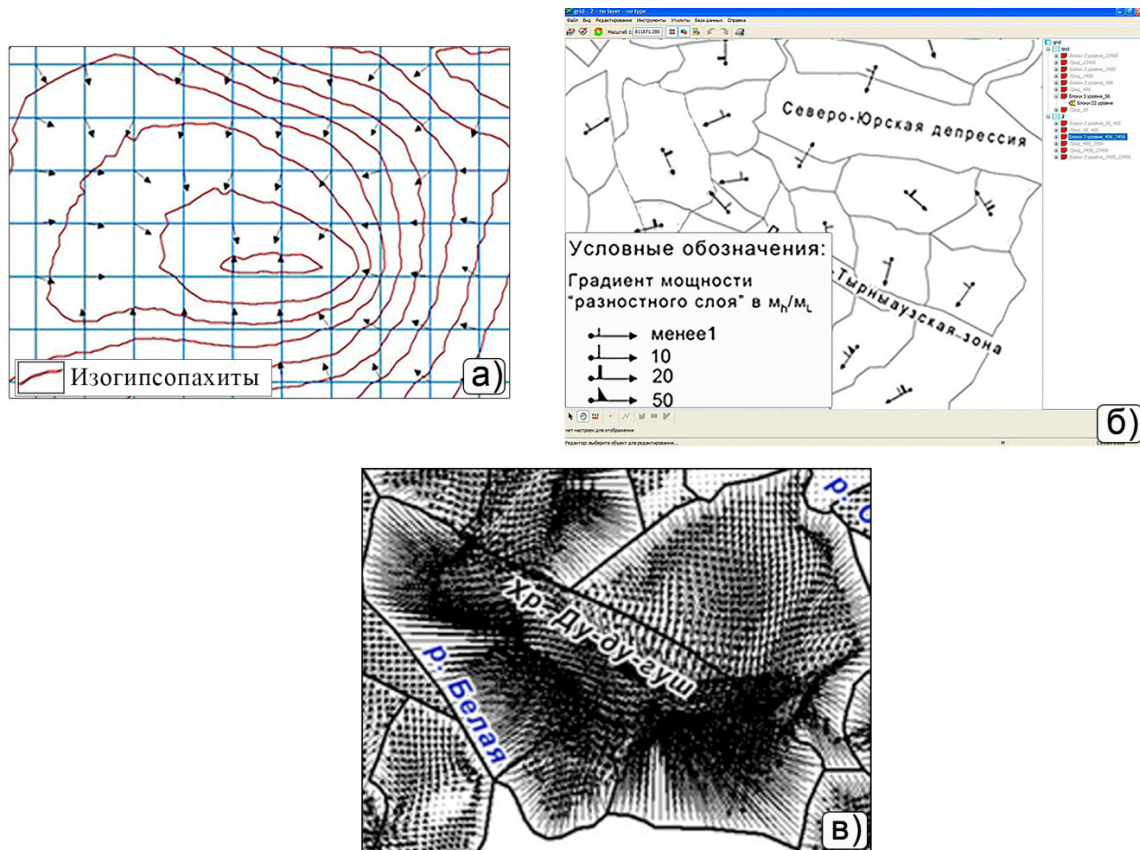


Рис. 7. Иерархия полей тектонических напряжений: а) генеральное (нормированные градиенты толщины разностного слоя); б) фоновое; в) локальное.
 Fig. 7. Hierarchy of tectonic stress fields: a) general (normalized thickness gradients of the difference layer); b) background; c) local.

Полученные розы-диаграммы результирующих по основным и дополнительным румбам градиентов генерального и локального полей тектонических напряжений в морфотипах тектонического рельефа территории исследования свидетельствуют об их приближенном к равновесию (рис. 8, 9), но при этом относительно друг друга антагональному состоянию (рис. 10, 11), что служит материалом для дальнейшего вычислительного моделирования процессов перераспределения тектонических напряжений от структур высших к структурам низших порядков в процессах самоорганизации тектоносферы.

Вычисление локусов с минимальными значениями градиента локального поля тектонических напряжений на территории исследования предположительно позволяет выявлять в нем положение заторможенных сдвигов, локусы максимального значения градиента также указывают на положение очагов потенциальной сейсмической разрядки (рис. 12). Так как существует проблема в точности определения эпицентров землетрясений [Прибылова и др., 2006], а на Северо-Западном Кавказе, к которому относится территория Адыгеи, точность определения составляет ± 50 км [Годзиковская, 2010], это затрудняет вычисление достоверных параметров связи между локусами геодинамической неустойчивости и энергией землетрясения.

Инвентаризация и ранжирование локусов геодинамической неустойчивости в локальном поле тектонических напряжений перспективна с позиции более точного определения координат эпицентров возможных землетрясений и привязки к ним данных геофизического мониторинга для точечного прогнозирования.

Информативность разработанного подхода подчеркивает и выявленная возможность визуализации фрагментов ветвей тектонических течений в земной коре с учетом закономерного изменения вычисленных геодинамических параметров блоков в генеральном поле тектонических напряжений (рис. 13).

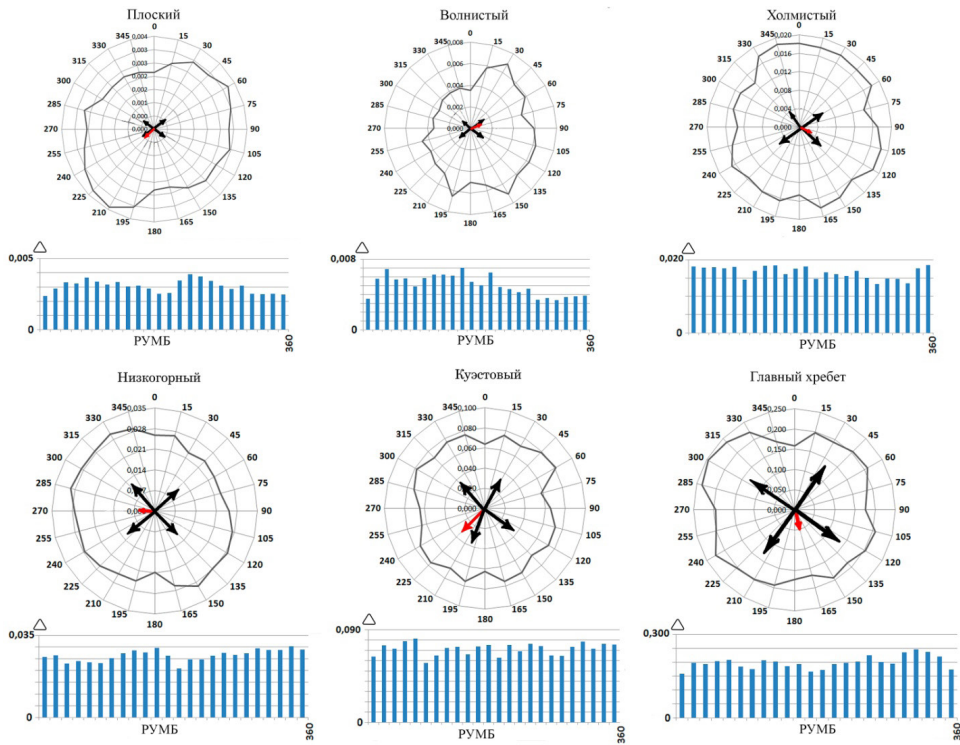


Рис. 8. Розы-диаграммы генерального поля тектонических напряжений в морфотипах тектонического рельефа Адыгеи (красным цветом отмечен результирующий градиент).

Fig. 8. Roses-diagrams of the general field of tectonic stresses in the morphotypes of the tectonic relief of Adyghea (the resulting gradient is marked in red).

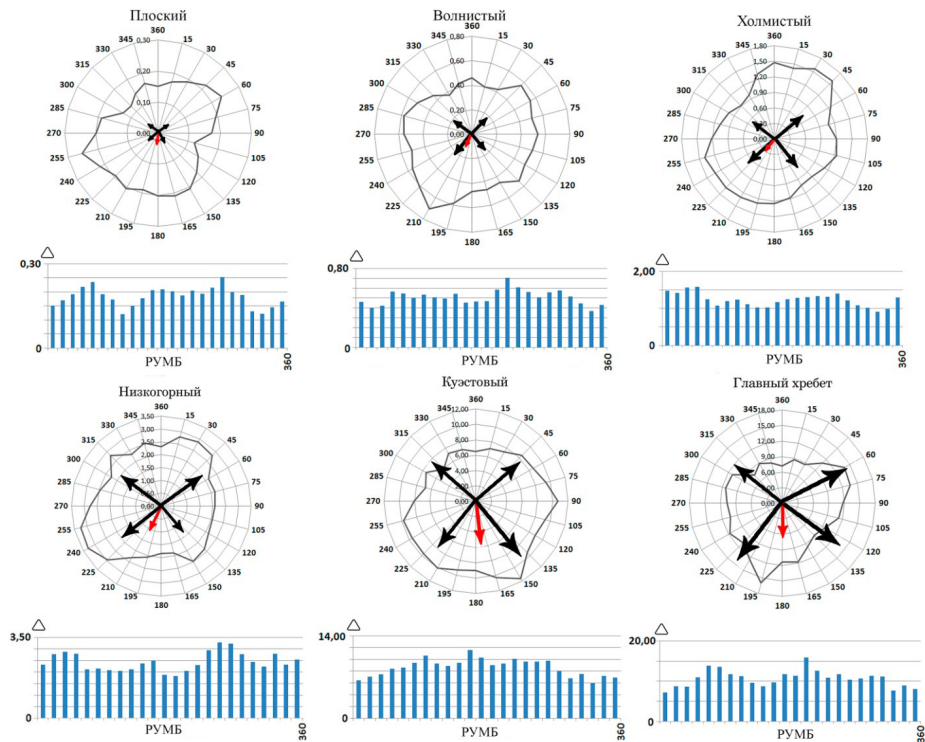


Рис. 9. Роза-диаграмма локального поля тектонических напряжений в морфотипах тектонического рельефа Адыгеи (красным цветом отмечен результирующий градиент).

Fig. 9. Rose-diagram of the local field of tectonic stresses in the morphotypes of the tectonic relief of Adyghea (the resulting gradient is marked in red).

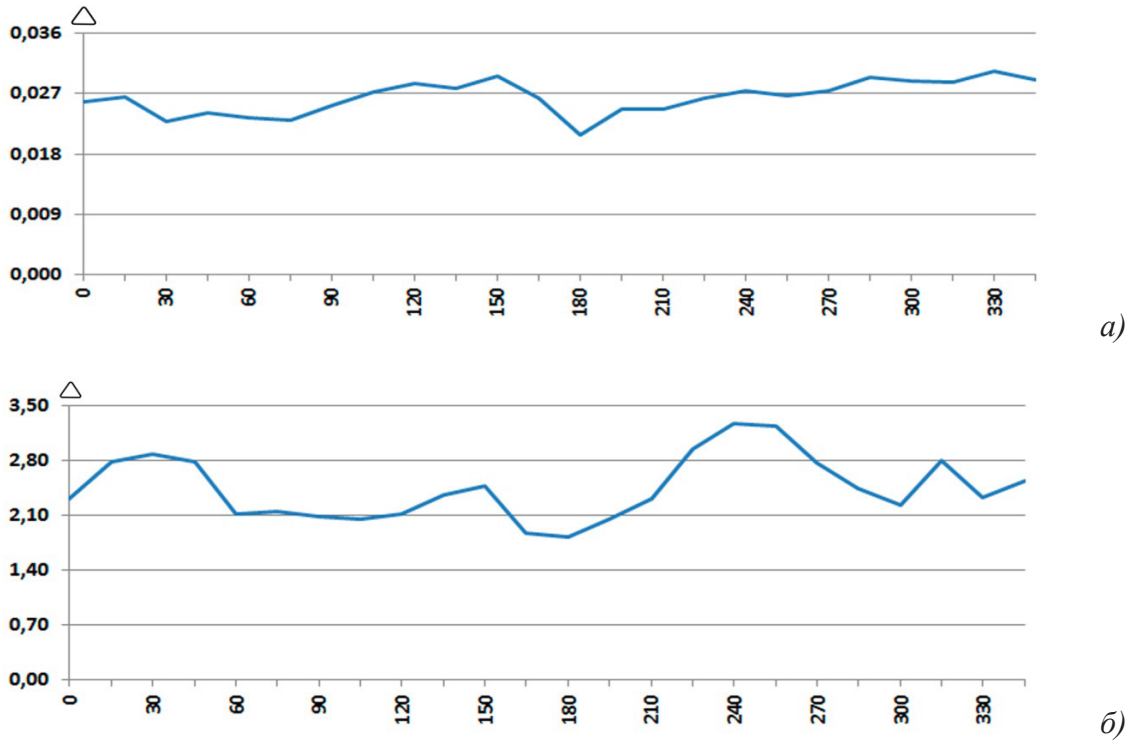


Рис. 10. Низкогорный рельеф. Соотношение по румбам величины модуля градиента: а) генерального, б) локального полей тектонических напряжений.
 Fig. 10. Low mountain relief. Correlation of gradient modulus by points: а) general one, б) local one of tectonic stress fields.

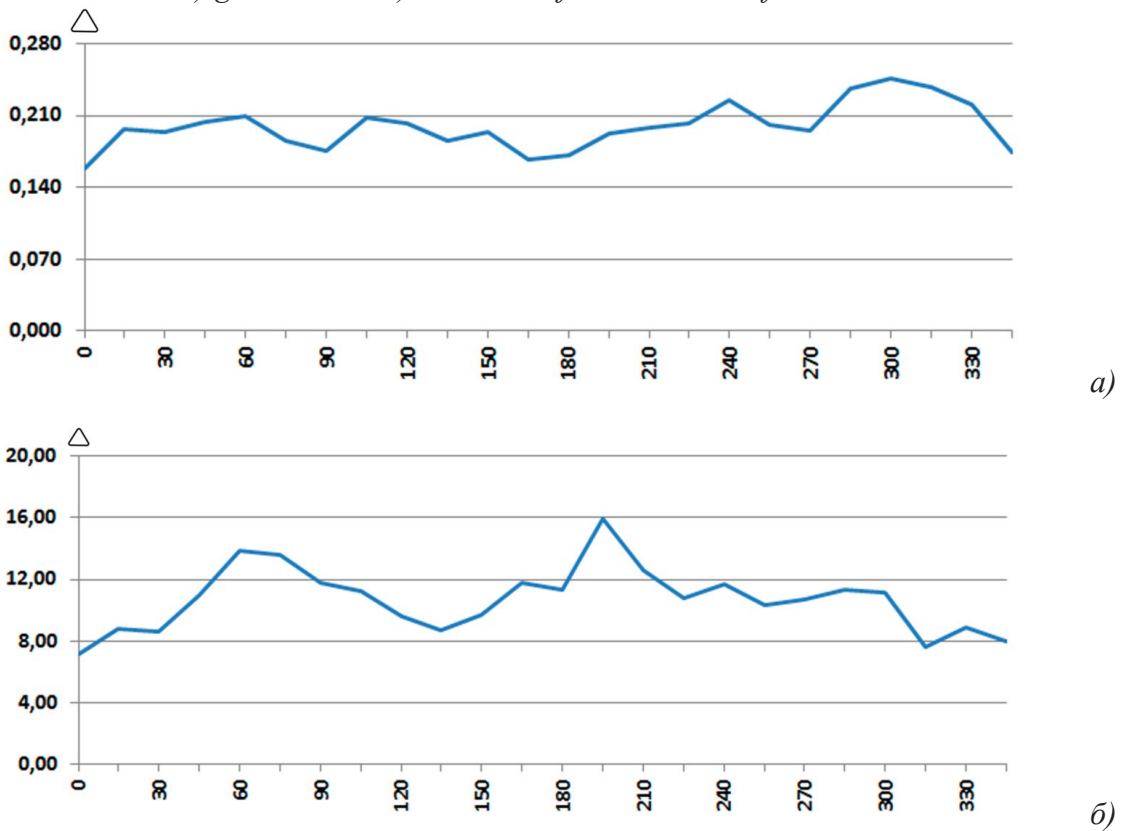


Рис. 11. Зона главного хребта. Соотношение по румбам величины модуля градиента: а) генерального, б) локального полей тектонических напряжений.
 Fig. 11. Main Ridge zone. Correlation of gradient modulus by points: а) general one, б) local one of tectonic stress fields.

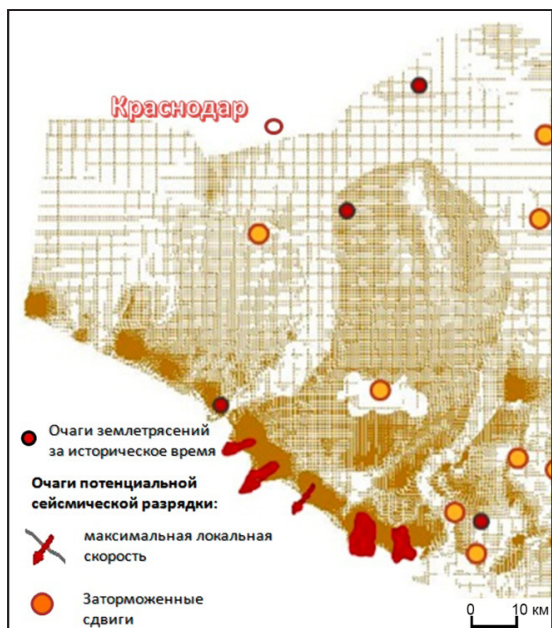


Рис. 12. Локальное поле тектонических напряжений. Очаги геодинамической неустойчивости.
Fig. 12. Local field of tectonic stresses. Foci of geodynamic instability.

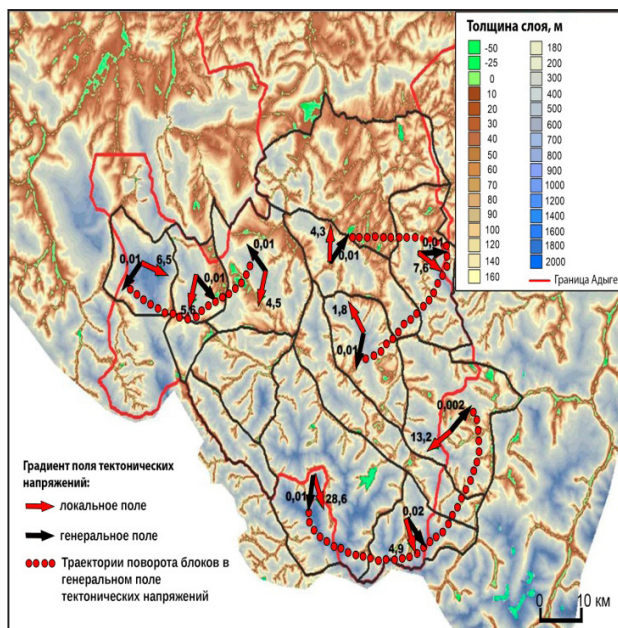


Рис. 13. Визуализация тектонических течений в земной коре.
Fig. 13. Visualization of tectonic currents in the Earth's crust.

ВЫВОДЫ

Разрабатываемая цифровая модель природоподобной вычислительной визуализации структуры и свойств природных объектов и процессов на основе предложенного параметра порядка служит иллюстрацией высокой информативности сформулированного подхода. В частности, открываются перспективы точечного прогнозирования гидрометеорологических процессов различной заблаговременности, а также тектоно-геодинамического моделирования с выделением локусов геодинамической неустойчивости и возможностью точечного прогнозирования землетрясений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев В.К., Баранов Г.И., Греков И.И. и др. Тектоническая карта Северо-Западного Кавказа: Эссентуки, 1999. 104 с.
2. Варшанина Т.П., Плисенко О.А., Солодухин А.А., Коробков В.Н. Структурно подобная геодинамическая модель Краснодарского края и Республики Адыгея. Москва – Майкоп: Издательский дом «Камертон», 2011. 128 с.
3. Варшанина Т.П. Разработка хорошо структурированной модели геопространства на основе метода структурной маски энергетических геополей. Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки, 2012. № 4 (110). С. 176–179.
4. Варшанина Т.П., Плисенко О.А., Коробков В.Н. Методология и научно-практическое значение визуализации интегральных геофизических полей. Электронный журнал МИФИ «Научная визуализация», 2017. Т. 9. № 4. С. 108–117. DOI: 10.26583/sv.9.4.11.
5. Годзиковская А.А. Каталог землетрясений Кавказа, 2010 Электронный ресурс: <http://www.wdcb.ru/sep/seismology/method/Caucasus/index.ru.html> (дата обращения 19.06.2013).
6. Гончаров М.А., Талицкий В.Г., Фролова Н.С. Введение в тектонофизику. М.: Книжный дом «Университет», 2005. 496 с.

7. Лукьянов А.В. Пластические деформации и тектоническое течение в литосфере. М.: Наука, 1991. 144 с.
8. Малинецкий Г.Г. Математические основы синергетики: хаос, структуры, вычислительный эксперимент. М.: Изд-во ЛКИ. 2007.
9. Назаров А.В., Лоскутов А.И. Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем. СПб: Наука и Техника, 2003. 384 с.
10. Олемской А.И. Синергетика сложных систем: феноменология и статистическая теория. М.: URSS. 2009. 378 с.
11. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации. М.: Финансы и статистика, 2002. 344 с.
12. Прибылова Н.Е., Бесстрашнов В.М., Годзиковская А.А. Принадлежит ли очаг землетрясения 23.XI.1899 г. камчатской сейсмоактивной зоне. Вулканология и сейсмология, 2006. № 2. С. 46–54.
13. Талицкий В.Г. Моделирование тектонических деформаций с учетом неоднородностей геологической среды. В кн. «Введение в тектонофизику». М.А.Гончаров и др., М.: Книжный дом «Университет», 2005. С. 204–247.
14. Философов В.П. Краткое руководство по морфометрическому методу поиска тектонических структур. Саратов: Издательство Саратовского университета, 1960. 69 с.
15. Философов В.П. Основы морфометрического метода поисков тектонических структур. Саратов: Издательство Саратовского университета, 1975. 232 с.
16. Varshanina T.P., Korobkov V.N. Spatial-Temporal Geodynamic Model of Adygea. The Republic of Adygea Environment, 2020. P. 85–112. DOI: 10.1007/698_2020_500.

REFERENCES

1. Andreev V.K., Baranov G.I., Grekov I.I. et al. Tectonic map of the Northwestern Caucasus.: Yessentuki. 1999. 104 p. (in Russian).
2. Filosofov V.P. Brief guide to the morphometric method of searching for tectonic structures. Saratov: Publishing House of Saratov University, 1960. 69 p. (in Russian).
3. Filosofov V.P. Fundamentals of the morphometric method of searching for tectonic structures. Saratov: Publishing House of Saratov University, 1975. 232 p. (in Russian).
4. Godzikovskaya A.A. Catalog of earthquakes in the Caucasus, 2010. Web resource: <http://www.wdcb.ru/sep/seismology/method/Caucasus/index.ru.html> (accessed 19.06.2013) (in Russian).
5. Goncharov M.A., Talitsky V.G., Frolova N.S. Introduction to tectonophysics. Moscow: KDU, 2005. 496 p. (in Russian).
6. Lukyanov A.V. Plastic deformations and tectonic flow in the lithosphere. Moscow: Nauka, 1991. 144 p. (in Russian).
7. Malinetsky G.G. Mathematical foundations of synergetics: chaos, structures, computational experiment. Moscow: Publishing house LKI, 2007. (in Russian).
8. Nazarov A.V., Loskutov A.I. Neural network algorithms for forecasting and optimizing systems. St. Petersburg: Science and Technology, 2003. 384 p. (in Russian).
9. Olemskoy A.I. Synergetics of Complex Systems: Phenomenology and Statistical Theory. Moscow: URSS, 2009. 378 p. (in Russian).
10. Osovsky S. Neural networks for information processing. Moscow: Finance and statistics, 2002. 344 p. (in Russian).
11. Pribylova N.E., Besstrashnov V.M., Godzikovskaya A.A. Does the source of the earthquake on November 23, 1899 belong to the Kamchatka seismically active zone? Volcanology and seismology, 2006. No. 2. P. 46–54 (in Russian).
12. Talitsky V.G. Modeling of tectonic deformations taking into account heterogeneities of the geological environment. In the “Introduction to tectonophysics”. M.A. Goncharov et al. Moscow: KDU, 2005. P. 204–247 (in Russian).
13. Varshanina T.P., Korobkov V.N. Spatial-Temporal Geodynamic Model of Adygea. The Republic of Adygea Environment, 2020. P. 85–112. DOI: 10.1007/698_2020_500.

14. *Varshanina T.P., Plisenko O.A., Solodukhin A.A., Korobkov V.N.* Structural-like geodynamic model of the Krasnodar Territory and the Republic of Adygea. Moscow – Maykop: “Kamerton” Publishing House, 2011. 128 p. (in Russian).
 15. *Varshanina T.P.* Development of a well-structured geospace model based on the structural mask method of energy geofields. Bulletin of the Adyghe State University. Series 4: Natural-mathematical and technical sciences, 2012. No. 4 (110). P. 176–179 (in Russian).
 16. *Varshanina T.P., Plisenko O.A., Korobkov V.N.* Methodology and scientific and practical significance of visualization of integral geophysical fields. Electronic journal MEPhI “Scientific visualization”, 2017. V. 9. No. 4. P. 108–117 (in Russian). DOI: 10.26583/sv.9.4.11.
-