

Варшанина Т.П.¹, Шехов З.А.², Иззеддин М.Н.³

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕКТОНИЧЕСКОГО РЕЛЬЕФА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС

АННОТАЦИЯ

Параметрическая структурно подобная визуализация иерархической структуры поля тектонических напряжений решает задачи автоматизированного построения актуотектонических моделей и классификации тектонического рельефа.

Разработанный способ автоматизированного построения системной актуальной геодинамической модели территории базируется на комплексе известных методов [Филосовов, 1975; Варшанина, 2012].

Построение системной геодинамической модели территории Республики Адыгея произведено с помощью геоинформационного модуля.

По серии карт остаточного рельефа произведено автоматизированное выделение иерархической блоковой и линеаментной структуры и выявлены пространственно-временные закономерности тектонических движений территории за предыдущие 5 млн лет.

Методом структурной маски интегральных геофизических полей [Патент РФ № 2641510] разработаны структурно подобные параметрические пространственно-временные модели поля тектонических напряжений территории Адыгеи за плиоцен-четвертичное время.

Исследованы параметры генерального, фонового (движущего тектонические блоки) и локального (формирующегося в результате взаимодействия блоков) полей тектонических напряжений.

Выявлены закономерности пространственной дифференциации параметров генерального поля тектонических напряжений, проявляющиеся в формировании высотных ступеней рельефа: плоской волнистой и холмистой равнин, низкогогорного, среднегорного, высокогорного рельефа.

При общей закономерности нарастания величины параметров тектонического напряжения по направлению к осевой зоне Большого Кавказа отмечается волнообразная повторяемость преимущественных направлений их максимумов. Выявлены закономерности связи пространственной дифференциации параметров генерального поля тектонических напряжений с высотной морфометрией рельефа земной поверхности.

Установлена четкая связь локального поля тектонических напряжений с морфометрией рельефа в среднегорных и высокогорных зонах территории. Разработанная методология позволяет автоматизировать процесс параметрической визуализации и классификации иерархической структуры тектонических полей на территориях неограниченной площади.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: классификация тектонического рельефа, актуотектоническая модель, метод структурной маски интегральных геофизических полей, генеральное поле тектонических напряжений, фоновое поле тектонических напряжений, локальное поле тектонических напряжений.

¹ Адыгейский государственный университет, ул. Первомайская, д. 208, 385000, Майкоп, Россия, *e-mail*: vtp01@mail.ru

² Адыгейский государственный университет, ул. Первомайская, д. 208, 385000, Майкоп, Россия, *e-mail*: gic-info@yandex.ru

³ Адыгейский государственный университет, ул. Первомайская, д. 208, 385000, Майкоп, Россия, *e-mail*: gic-info@yandex.ru

Tatiana P. Varshanina¹, Zaurbiy A. Shekhov², M.N. Izzeddin³

GIS MODEL OF AUTOMATED CLASSIFICATION OF THE TECTONIC RELIEF

ABSTRACT

The parametrical structurally similar visualization of the hierarchical structure of the field of tectonic stress solves the problems of the automated construction of the actuatotectonic models and the classification of the tectonic relief.

The developed method of automated construction of the system actual geodynamic model of the territory is based on a set of known methods [Filosofov, 1960, 1975; Varshanina, 2012].

By means of the structural mask of integral geophysical fields [Patent for invention No 2641510] structurally similar parametric spatio-temporal models of the field of tectonic stress in the territory of Adygheya during the Pliocene-Quaternary time have been developed.

The parameters of the general, background (moving tectonic blocks) and local (formed as a result of the interaction of blocks) fields of tectonic stresses are investigated.

The patterns of spatial differentiation of the parameters of the general field of tectonic stresses are revealed, which are manifested in the formation of high-altitude steps of relief: flat undulating and hilly plains, low-mountain, medium-mountain and high-mountain relief.

A clear connection is established between the local field of tectonic stresses and the relief morphometry in the middle and high-mountain areas of the territory.

The developed methodology allows to automate the process of parametric visualization and classification of the hierarchical structure of tectonic fields in territories of unlimited area.

KEYWORDS: classification of the tectonic relief, the actuatotectonic model, the method of structural mask of integral geophysical fields, the general field of tectonic stresses, the background field of tectonic stresses, the local field of tectonic stresses.

ВВЕДЕНИЕ

В географии имеется многовековой опыт визуализации больших данных о поверхности планеты и методов их аналитической обработки. Этот опыт реализуется в автоматизированных географических системах накопления, анализа, систематизации и пространственной визуализации больших географических данных. К большим относятся и данные, необходимые для построения геодинамических моделей для классификации тектонического рельефа на территориях значительной площади.

Тектонический рельеф относится к области интересов двух отраслевых наук о Земле – географии и геологии. В геологии тектонические объекты – это тела, имеющие единые знаки движения и геологическое строение, определяющие формирование неровностей земной поверхности или ее рельефа. В географии к важнейшему фактору относится энергетика рельефа, т. е. пространственная дифференциация потенциала силы тяжести, с которым связано перераспределение вещества и энергии по земной поверхности и ре-

¹ Adyghe State University, Research Institute of Complex Problems, Pervomayskaya str., 208, 385000, Maikop, Russia, e-mail: vtp01@mail.ru

² Adyghe State University, Research Institute of Complex Problems, Pervomayskaya str., 208, 385000, Maikop, Russia, e-mail: gic-info@yandex.ru

³ Adyghe State University, Research Institute of Complex Problems, Pervomayskaya str., 208, 385000, Maikop, Russia, e-mail: gic-info@yandex.ru

гиональные особенности формирования природных комплексов. В этом случае при классификации тектонических объектов на первый план выступает скорость их современных горизонтальных и вертикальных движений, осуществляемых в реологических условиях геологической среды.

В геотектонике разработаны тектонические карты России, отражающие закономерную ориентацию зон разломов. Эти карты не в полной мере соответствуют реальной геодинамической обстановке на земной поверхности, так как разломы, идентифицируемые методами геологии, различаются по степени активности в настоящее время.

Визуализацию системной геодинамической модели, соответствующей современному полю тектонических напряжений, предлагает метод морфоструктурного районирования (МСР) [Ранцман, Гласко, 2004]. Этим методом по информативным параметрам топографических карт выявляются тектонические элементы: блоки, линеаменты и узлы в их реальных границах, и по формализованным признакам классифицируется иерархия тектонических структур. Метод МСР позволяет строить актуотектоническую модель территории, но не отображает необходимые для географических исследований параметры современных тектонических движений.

Параметрическая структурно подобная визуализация иерархического строения поля тектонических напряжений решает задачи автоматизированного построения актуотектонических моделей и классификации тектонического рельефа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования производились по топографическим картам Краснодарского края и Республики Адыгея масштаба 1 : 200 000.

Разработанный способ автоматизированного построения актуальной геодинамической модели территории базируется на комплексе известных методов:

- морфометрического поиска тектонических структур В.П. Философова [1960, 1975];
- структурной маски интегральных геофизических полей [Варшанина, 2012; Патент РФ № 2641510].

Предложенный В.П. Филосовым морфометрический метод построения полибазисных/вершинных поверхностей позволяет вычислить приближенные относительные амплитуды и направленность новейших тектонических движений, активность геодинамических процессов. Так, серии карт остаточного рельефа отображают пространственно-временную динамику формирования блоковой геодинамической модели территории, структурно подобной эндогенному полю тектонических напряжений. В качестве параметра направления и интенсивности исторических трендов движения блоков применяется величина и румб градиента приращения/убывания мощности слоя земной коры между базисными поверхностями за конкретный период геологического времени. Румб градиента указывает на направление наиболее интенсивного взаимодействия соседних блоков, т. е. на направление движения блока, а скалярная величина градиента отображает тип взаимодействия блоков. Построенные градиентные поля соответствуют структуре эндогенного поля энергии в фокусе земной поверхности, формирующегося в реальной геологической среде с присущими ей реологическими свойствами. Таким образом, создается структурная маска (визуализация) интегрального геофизического поля тектонических напряжений, параметры пространства состояний которого можно использовать для классификации тектонического рельефа.

Построение системной геодинамической модели территории Республики Адыгея произведено с помощью автоматизированного геоинформационного модуля.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Относительно автоматизированно ранжированной гидросети Адыгеи построены полибазисные поверхности (потенциальные поверхности выравнивания) от первого до четвертого порядка, отражающие динамику поверхности рельефа за плиоцен-четвертичное время.

Серия карт остаточного рельефа, представляющего собой мощность слоя между базисными и топографической поверхностями, обеспечивает пространственно-временную визуализацию тектонического строения территории и дифференциации ее вертикальных движений. Эти карты свидетельствуют о том, что на территории Адыгеи 5 млн лет назад в предгорном прогибе, от линеамента долины р. Кубани до Ахтырского разлома и Северо-Юрской депрессии, были сформированы все основные современные тектонические блоки и линеаменты. В северной части макроблока южной оконечности Скифской плиты наблюдались отрицательные вертикальные движения. К югу от предгорного прогиба, в зоне складчатости, скорость положительных вертикальных движений резко увеличивалась, система разломов была слабо выражена (рис. 1, а). За последующий период от плиоцена до четвертичного времени нарастала площадь поверхности, испытывающей опускание, в северной части предгорного прогиба, увеличивалось дробление крупных тектонических блоков и снижалась скорость поднятия в зоне стесненной деформации горного сооружения (рис. 1, б).

Таким образом, осуществлено автоматизированное выделение иерархической системы блоковой и линеamentной структуры и выявлены пространственно-временные закономерности тектонических движений территории.

Методом структурной маски интегральных геофизических полей разработаны структурно подобные параметрические пространственно-временные модели поля тектонических напряжений территории Адыгеи за плиоцен-четвертичное время.

Исследованы параметры генерального, фонового (движущего тектонические блоки) и локального (формирующегося в результате взаимодействия блоков) полей тектонических напряжений.

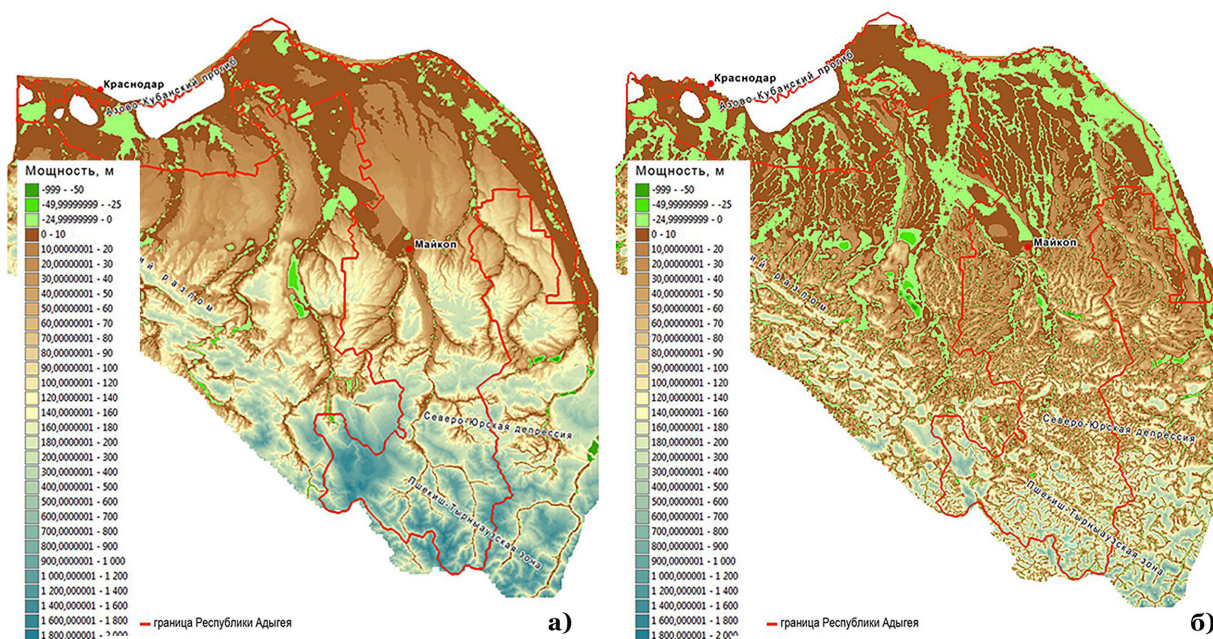


Рис. 1. Остаточный рельеф: а – плиоцен; б – четвертичный период

Fig. 1. Residual relief: а – Pliocene; б – Quaternary period

Пространственная дифференциация параметров генерального поля тектонических напряжений (рис. 2) проявляется в формировании высотных ступеней рельефа (рис. 3). В пределах плоской равнины статистическое распределение по румбам горизонта параметров тектонического напряжения является нормальным симметричным (рис. 4), что, как известно, соответствует зонам устойчивого равновесия, при этом с преобладающим направлением на южные румбы.

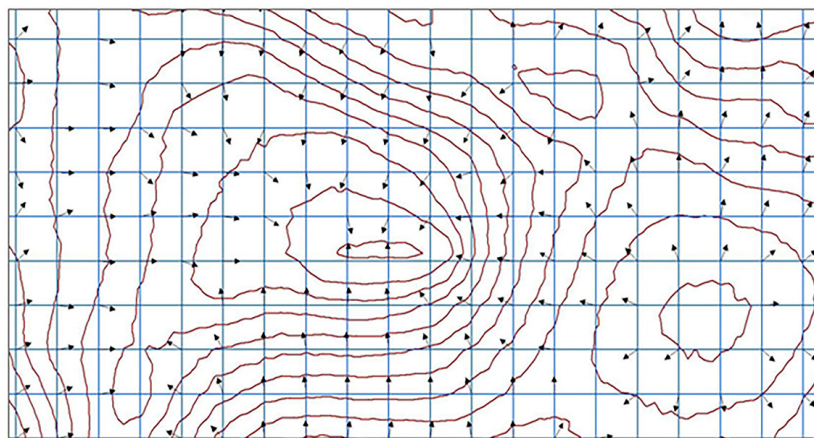


Рис. 2. Матрица нормализованных значений градиента
генерального поля тектонических напряжений
Fig. 2. Matrix of normalized values of the gradient
of the continuum field of tectonic stresses

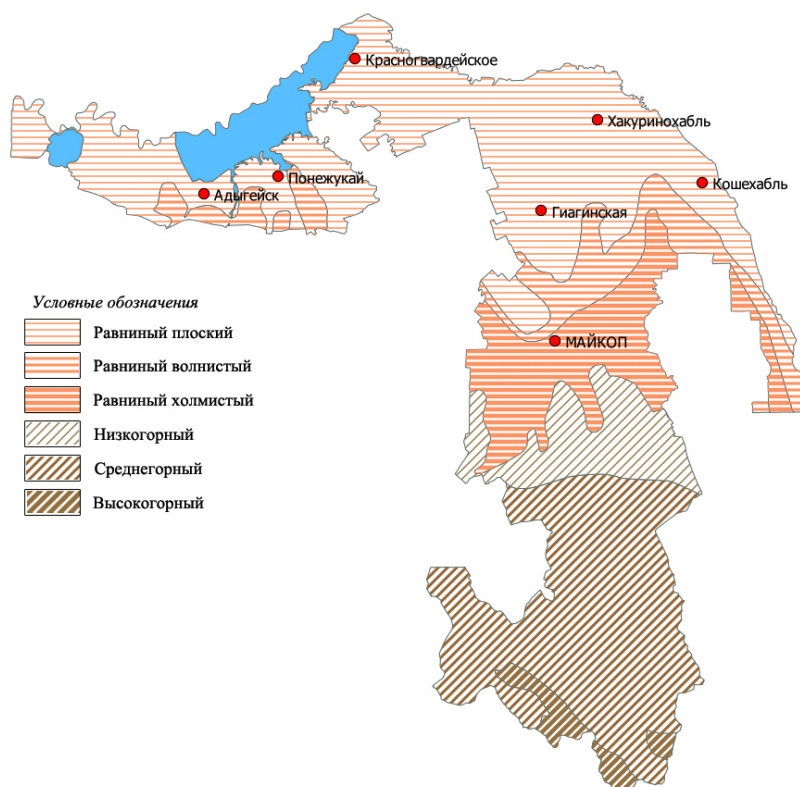


Рис. 3. Морфометрические ступени высот территории Адыгеи
Fig. 3. Morphometric steps of the heights of the territory of Adygeya

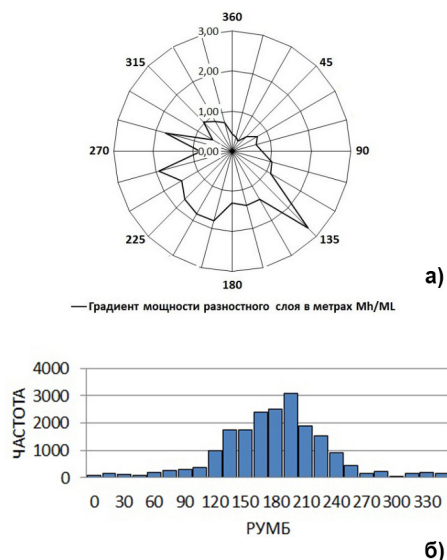


Рис. 4. Плоская равнина:
а – распределение параметров градиента континуального поля тектонических напряжений; б – нормальное мономодальное распределение значений градиента по румбам

Fig. 4. Flat plain:
а – the distribution of the parameters of the gradient of the continuum field of tectonic stresses; б – the normal monomodal distribution of the gradient values over the compass points

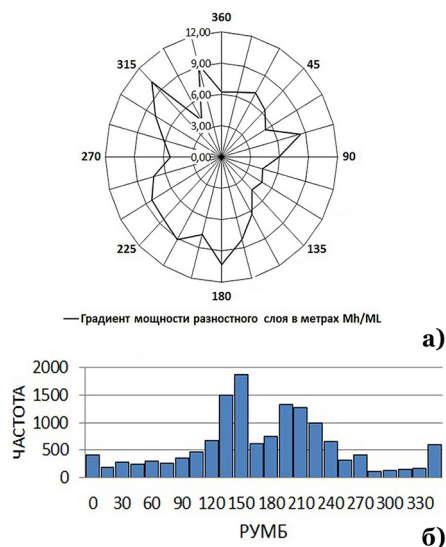


Рис. 6. Холмистая равнина:
а – распределение параметров градиента континуального поля тектонических напряжений; б – бимодальное распределение значений градиента по румбам

Fig. 6. Hilly plain:
а – the distribution of the parameters of the gradient of the continuum field of tectonic stresses; б – bimodal distribution of the gradient values over the compass points of the horizon

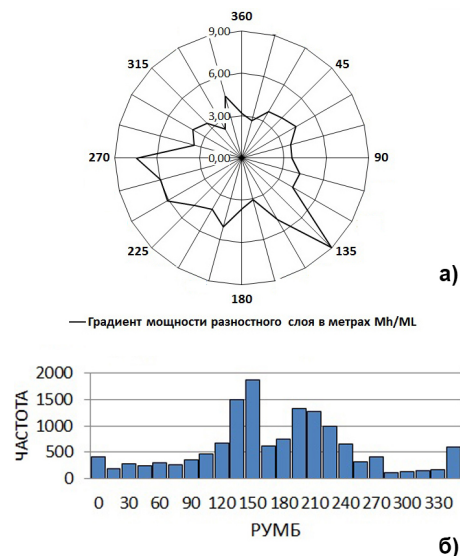


Рис. 5. Волнистая равнина:
а – распределение параметров градиента континуального поля тектонических напряжений относительно румбов горизонта; б – бимодальное распределение значений градиента по румбам

Fig. 5. Undulating plain:
а – the distribution of the parameters of the gradient of the continuum field of tectonic stresses; б – bimodal distribution of the gradient values over the compass points

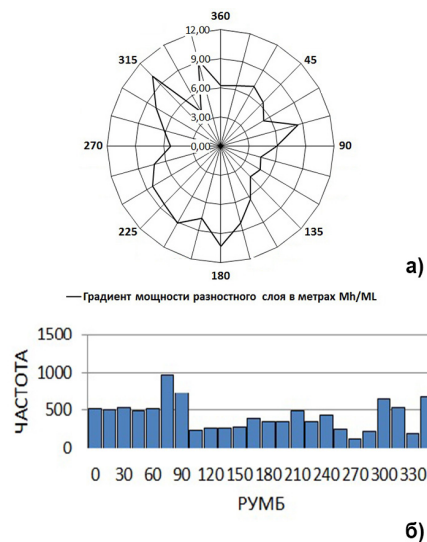


Рис. 7. Низкогорный рельеф:
а – распределение параметров градиента континуального поля тектонических напряжений; б – слабо выраженное полимодальное распределение значений градиента по румбам

Fig. 7. Low-mountain relief:
а – the distribution of the parameters of the gradient of the continual field of tectonic stresses; б – a weakly expressed polymodal distribution of the gradient values over the compass points of the horizon

На волнистой равнине в распределении по румбам горизонта параметров тектонического напряжения выражен его симметричный бимодальный характер с преобладанием восточных и западных румбов (рис. 5), что, по-видимому, связано с поступательным движением в условиях слабой стесненной деформации.

Холмистая равнина характеризуется возрастанием интенсивности тектонического напряжения с сохранением бимодального распределения значения его параметров и с переориентацией румба максимумов на юго-запад и восток (рис. 6). Диаграммы величин параметров тектонического напряжения по румбам сторон света для холмистой и волнистой равнин имеют сходство.

В низкогорьях интенсивность тектонического напряжения продолжает возрастать, отмечается слабо выраженное полимодальное распределение его параметров и резкая переориентация румбов максимумов на север и юг (рис. 7).

В среднегорье интенсивность тектонического напряжения возрастает по всем румбам с некоторым максимумом на север. Распределение значений параметров интенсивности тектонического напряжения – полимодальное (рис. 8).

В области Главного хребта величины параметров тектонического напряжения достигают наибольшего значения при мономодальном распределении частоты их встречаемости и с максимумами, ориентированными на восток, юго-юго-восток и запад, северо-северо-запад (рис. 9).

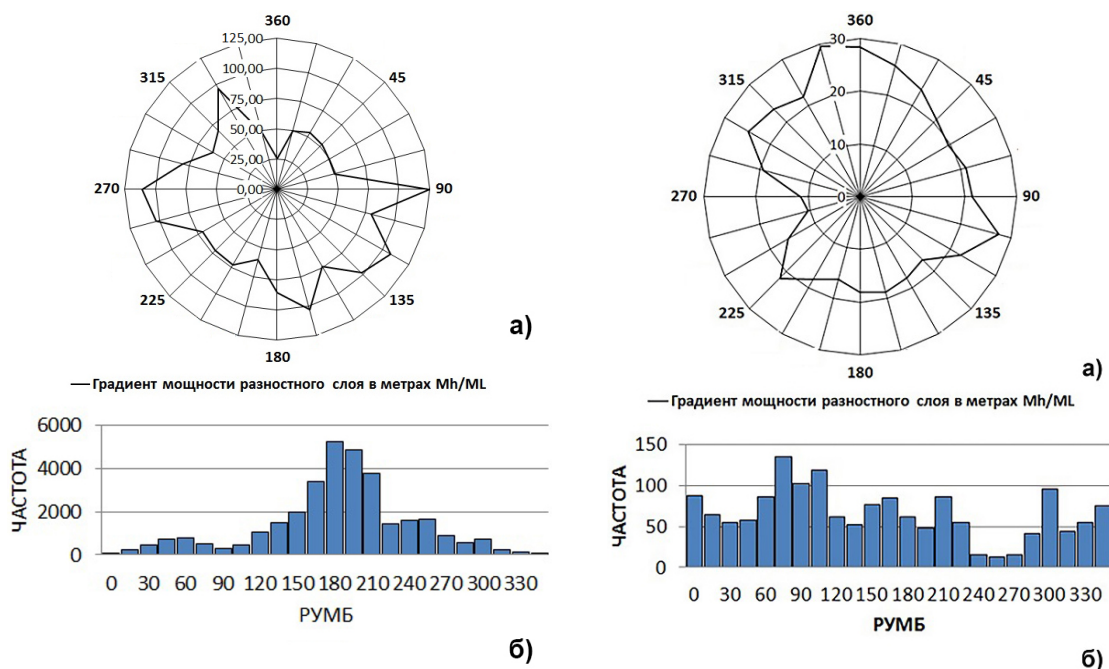


Рис. 8. Среднегорный рельеф:

а – распределение параметров градиента континуального поля тектонических напряжений; б – полимодальное распределение значений градиента по румбам

Fig. 8. Middle-mountain relief:

а – the distribution of parameters of the gradient of the continuum field of tectonic stresses; б – the polymodal distribution of the gradient values over the compass points of the horizon

Рис. 9. Главный хребет:

а – распределение параметров градиента континуального поля тектонических напряжений; б – полимодальное распределение значений градиента по румбам

Fig. 9. High-mountain relief:

а – the distribution of parameters of the gradient of the continuum field of tectonic stresses; б – polymodal distribution of the gradient values over the compass points of the horizon

Таким образом, при общей закономерности нарастания величины параметров тектонического напряжения по направлению к осевой зоне Большого Кавказа отмечается волнообразная повторяемость преимущественных направлений их максимумов. Выявлены закономерности связи пространственной дифференциации параметров континуального поля тектонических напряжений с высотной морфометрией рельефа земной поверхности. Информативна роль континуального поля тектонических напряжений в линеаментах, которое визуализирует в них волны растяжения и сжатия (рис. 10).

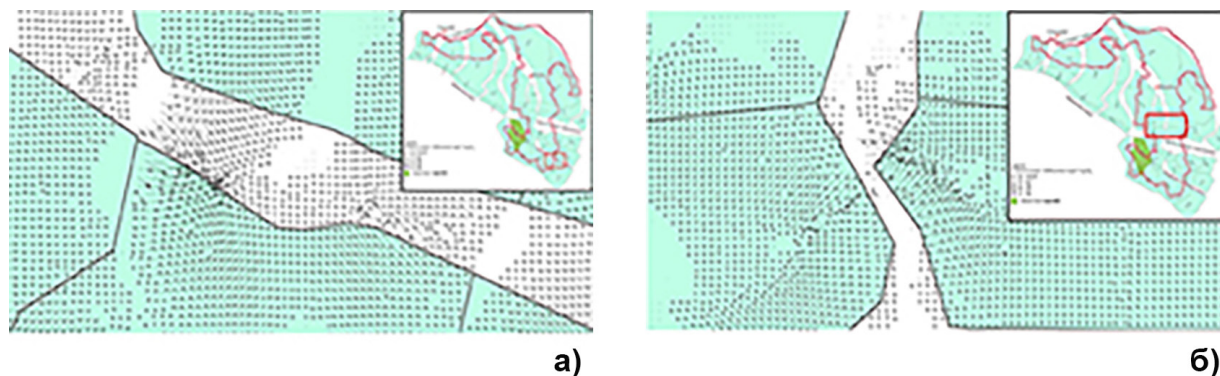


Рис. 10. Дифференциация тектонических напряжений в линеаментах:
а – напряжение сжатия; б – напряжение растяжения
Fig. 10. Differentiation of tectonic stresses in lineaments:
a – tensile stress; b – compressive stress



Рис. 11. Структура фоновое поле тектонических напряжений, движущих тектонические блоки
Fig. 11. Structure of the background field of tectonic stresses, moving tectonic blocks

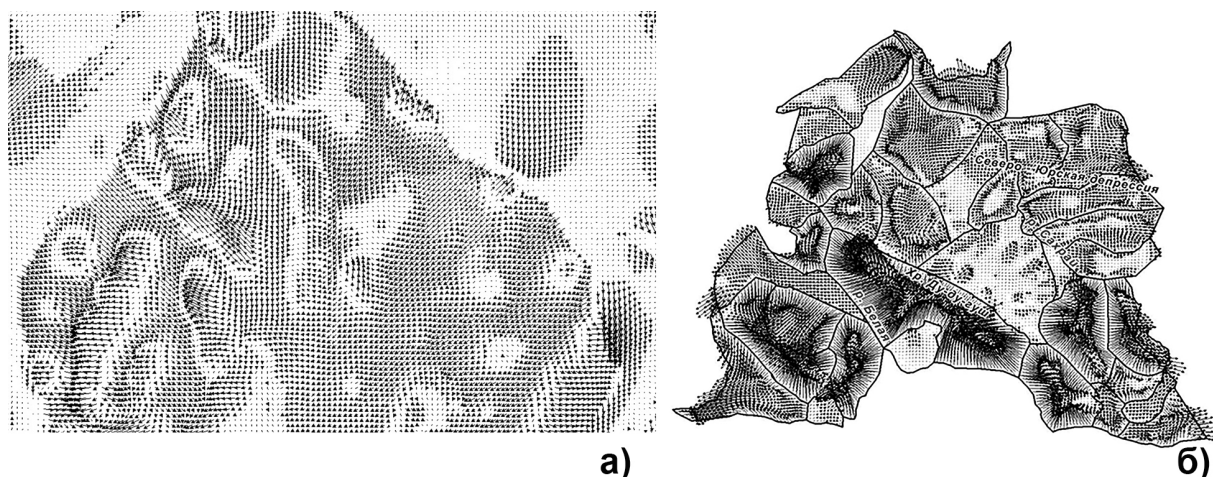


Рис. 12. Структура локального поля тектонических напряжений:
а – низменная равнина; б – среднегорье

Fig. 12. Structure of local and tectonic stresses:
а – land plain; б – the middle mountains

Фоновое поле тектонических напряжений, отображенное результирующими относительно каждого блока наибольшими градиентами мощности разностного слоя, визуализирует направление и относительную скорость движения тектонических блоков и тип их взаимодействия (рис. 11).

В среднегорных и высокогорных зонах исследуемой территории связь локального поля тектонических напряжений с морфометрией рельефа четко прослеживается визуально (рис. 12). Для установления такой связи в равнинно-низкогорной зоне необходимы дополнительные статистические исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная методология, основанная на морфометрическом методе поиска тектонических структур и методе структурной маски интегральных геофизических полей, позволяет автоматизировать процесс параметрической визуализации и классификации иерархической структуры тектонических полей на территориях неограниченной площади.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варшанина Т.П. Разработка хорошо структурированной модели геопространства на основе метода структурной маски энергетических геополей // Вестн. Адыгейского гос. ун-та. Серия естественно-математических и технических наук. 2012. № 4 (110). С. 176–179.
2. Варшанина Т.П., Хунагов Р.Д., Коробков В.Н. Способ построения векторного пространственно-временного поля тектонических напряжений на территорию неограниченной площади. Патент РФ № 2641510.
3. Раницман Е.Я., Гласко М.П. Морфоструктурные узлы – места экстремальных природных явлений. М.: Медиа-ПРЕСС, 2004. 224 с.
4. Философов В.П. Краткое руководство по морфометрическому методу поиска тектонических структур. Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1960. 69 с.
5. Философов В.П. Основы морфометрического метода поисков тектонических структур. Саратов: СГУ, 1975. 232 с.

REFERENCES

1. *Philosopov V.P.* The use of maps of the basal surface to identify modern tectonic movements. Saratov, 1959. 215 p. (in Russian).
2. *Philosopov V.P.* Fundamentals of the morphometric method of tectonic structures identification. Saratov: Publishing House of the Saratov University, 1975. 232 p. (in Russian).
3. *Rantsman E.Ya., Glasko M.P.* The morphostructural nodes – the places of extreme natural phenomena. M.: Media-PRESS, 2004. 224 p. (in Russian).
4. *Varshanina T.P.* Development of a well-structured model of geospace on the basis of a structural mask method of power geofields. Bulletin of Adyghe State University. A series of natural-mathematical and technical sciences. 2012. No 4 (110). P. 176–179 (in Russian).
5. *Varshanina T.P., Khunagov R.D., Korobkov V.N.* Method of constructing a vector space-time field of tectonic stresses on the territory of an unlimited area. Patent for invention No 2641510 (in Russian).