

АНАЛИЗ ОЧАГОВ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРНО ПОДОБНОЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Т.П. Варшанина, В.Н. Коробков

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Адыгейский государственный университет»
Майкоп, Россия, vtp01@mail.ru, gic-info@yandex.ru*

ANALYSIS OF THE CENTERS OF TECTONIC TENSION ON THE BASIS OF STRUCTURALLY SIMILAR GEODYNAMIC MODEL

T.P. Varshanina, V.N. Korobkov

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "AdygheStateUniversity"
Maikop, Russia, vtp01@mail.ru, gic-info@yandex.ru*

Abstract. This work shows that a satisfactory compliance has been obtained between the calculated parameters of structurally similar geodynamic model and instrumental data of monitoring of tectonic and seismic processes. This model is promising for the analysis of geodynamic processes in the unlimited area and for preliminary diagnostics of points of tectonic tension concentration, for their subsequent geophysical remote monitoring and for effective point forecasting seismic hazard.

Keywords: Structurally similar geodynamic model of tectonic stress indicator, the calculation of trends the tectonic movements of the Quaternary period, point earthquake prediction.

Введение. Под алгоритмом прогноза землетрясений понимают последовательность действий выделения признаков индикаторов в геологических и атмосферных геофизических полях и их совмещённого анализа для определения места, силы и времени возникновения землетрясения. В процесс прогнозирования включают данные мониторинга гравиметрических, электротеллурических, геолофофизических и прочих параметров. Из этого следует, что объём этих данных ограничивается длительностью периода инструментальных наблюдений. При этом к основной причине землетрясений относят сложную систему энергетических потоков, циркулирующих в мантии, обуславливающих движение и взаимодействие консолидированных элементов земной коры и по экспериментальным данным отличающихся длительностью ритмов от 1-2 миллиардов лет в мантии до 1–2 миллионов лет в земной коре [4]. Можно предположить, что для успешного прогнозирования землетрясений, полученный за период инструментальных наблюдений объём геофизических данных не может быть статистически репрезентативным.

Единственным способом удлинения периода информационной обеспеченности прогноза землетрясений является раскодирование исторической информации о структуре провоцирующих землетрясения энергетических потоков, заключённой в объектах земной коры. Для этого предлагается метод структурной маски энергетических географических полей [2], на основании которого разработан способ построения структурно подобной пространственно-временной геодинамической модели на территорию неограниченной площади [2]. Геоинформационная реализация разработанного способа позволила воссоздать пространственно-временную последовательность тектонических процессов на модельной территории Адыгеи за плиоцен-четвертичное время, в том числе вычислить за это время динамику направления и относительной скорости движения тектонических элементов и области концентрации тектонических напряжений. В данной статье приведены результаты верификации разработанной модели относительно данных повторного нивелирования и мониторинга сейсмических событий.

Методы. Элементы тектонического строения территории Адыгеи выделялись по алгоритму, предложенному Е.Я. Ранцман и М.П. Гласко [6]. Произведённая затем визуальная верификация полученной по этому методу модели с помощью авторской гравитационно-динамической матрицы высот «Gravity», отображающей реальное блоковое строение территории, и совмещённого анализа соответствия с тектонической картой Северного Кавказа (масштаб 1:1 000 000, 1998 г.), показало полное соответствие смоделированного и реального тектонического строения Адыгеи.

Структура энергетического поля земной коры, продуцирующего положительные/отрицательные движения земной поверхности, воспроизводилась в результате вычисления мощности разностного слоя между базисными поверхностями рельефа, высотное положение которых приближенно соответствует поверхностям выравнивания определённого геологического возраста [7].

Растровые карты базисных поверхностей строились с использованием стандартных ГИС-инструментов по отметкам высот, расположенных по линии пересечения тальвегов водотоков соответствующего порядка с матрицей высот корректной относительно гидрологической сети.

Растровые карты мощности разностного слоя между смежными базисными поверхностями строились путем вычитания из значения высоты (в м) 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. При этом положительные разности высот между смежными базисными поверхностями

ми соответствуют восходящим тектоническим движениям, а отрицательные – нисходящим. Мощность разностного слоя представляется в виде изолиний одинаковой мощности разностного слоя – изогипсопахит.

Векторное пространственно-временное поле структурно подобное полю тектонических напряжений территории строилось в соответствие с очевидным условием, что граням тектонических блоков, которые испытывают наибольшее тектоническое напряжение, принадлежат наибольшие отметки высот. Вследствие этого наибольший градиент мощности разностного слоя между базисными поверхностями использован в качестве параметра, характеризующего относительную скорость и направление исторического движения тектонических элементов земной коры. При этом векторная составляющая наибольшего градиента мощности разностного слоя указывает на направление движения, а величина равна его относительной скорости. Континуальное поле тектонических напряжений вычислялось в узлах решётки с равномерным шагом относительно карты изогипсопахит. Дискретное поле тектонических напряжений относительно тектонических блоков определялось по результирующему вектору, вычисляемому по значениям величин наибольшего градиента мощности разностного слоя относительно узлов решетки, попадающих в границы каждого тектонического блока от точки его геометрического центра.

Пространственно-временная дифференциация тектонических движений территории от плиоцена до четвертичного времени включительно исследовалась по картам остаточного рельефа, характеризующих мощность разностного слоя от последовательной серии базисных до топографической поверхности.

Алгоритмы анализа очагов тектонических напряжений на основе структурно подобной геодинамической модели реализуются на основе программных продуктов PostgreSQLPostGIS в среде разработки Qt 4.8.4 на языке программирования C++.

Результаты и обсуждение. Последовательная серия карт остаточного рельефа на территорию Адыгеи от плиоцена до четвертичного времени включительно отражает общую закономерность нарастания интенсивности стеснённых деформаций от северной равнинной части до осевой зоны Большого Кавказа, выражающейся в прямой связи скорости поднятия со степенью дробления поверхности. В то же время вычисление сравнительной интенсивности как континуального, так и дискретного поля тектонических напряжений свидетельствует о перманентном снижении на всей территории скорости вертикальных движений за этот же период. Выявлены две области концентрации тектонических напряжений: у южной границы Скифской плиты в районе Скалистого хребта и в осевой зоне Большого Кавказа в районе Нагорья Лагонаки. Определены типы тектонического напряжения между блоками и в линеаментах. Напряжение сжатия фиксируется по факту конвергенции наибольшего градиента мощности разностного слоя, напряжение растяжения – по факту дивергенции наибольшего градиента мощности разностного слоя соседних блоков относительно разделяющих блоки разломов.

Верификация разработанной геодинамической модели произведена в результате сравнения пространственной дифференциации скоростей вертикальных тектонических движений на территории исследования, вычисленных с помощью геодинамической модели, с данными повторного нивелирования за период 1925–1992гг [5]. Модельные данные скоростей вертикальных движений тектонических блоков в мм/г за четвертичный период были рассчитаны с учетом продолжительности времени формирования толщ так называемого «остаточного рельефа» от базисной поверхности первого порядка до топографической поверхности. Пространственная дифференциация скоростей вертикальных движений тектонических блоков по инструментальным данным за 20-й в. была представлена grid-поверхностями, разработанными по приведённым Д.А. Лиленбергом картограммам. Вычисление коэффициента корреляции производилось между максимальными и средними значениями скоростей вертикальных движений тектонических блоков, полученными по модельным данным за четвертичный период и инструментальным данным за 20-й в. (табл. 1).

Удовлетворительная степень сопряженности рядов со значениями коэффициента корреляции от 0,70 до 0,78 (при высоком уровне достоверности) обнаружена между средними и максимальными значениями скорости вертикальных движений блоков, определенными с одной стороны инструментальными наблюдениями за 20-ый в., с другой – с помощью индикационного параметра за весь четвертичный период.

Таким образом, пространственная дифференциация вычисленной мощности разностного слоя приближенно отображает преобладающую тенденцию реальных тектонических движений территории за четвертичный период. Имеется основание для заключения о том, что разработанный способ построения пространственно-временной геодинамической модели может служить инструментом для исследования поля тектонических напряжений на территориях неограниченной площади за предыдущие миллионы лет.

Таблица 1

Коэффициент корреляции скорости вертикальных тектонических движений между модельными за четвертичный период и инструментальными данными за 20-й в.

Модельные данные	Инструментальные данные	
	Средние значения	Максимальные значения
Средние значения	0,78 t=8,12%*	
Максимальные значения		0,70 t=8,63%*

Примечание: * – при $t_{табл} = 2,576$

Единственный целостный макроблок на территории исследования, принадлежащий южной оконечности Скифской плиты, ограничен с севера Азово-Кубанским предгорным прогибом, с юга – Ахтырским коро-мантийным разломом и Северо-Юрской депрессией. Результирующий наибольший градиент мощности разностного слоя этого макроблока за четвертичный период выявляет невысокую относительную скорость движения на юго-восток с концентрацией тектонических напряжений в области Скалистого хребта, представляющего собой северный борт Северо-Юрской депрессии (рис. 1). В пределах макроблока за историческое время известно 21 сейсмическое событие магнитудой от 2.0–5,0 [3]. В пределах макроблока относительно каждого эпицентра землетрясений вычислен индикатор тектонического напряжения – результирующий наибольший градиент мощности разностного слоя, характеризующий его величину за четвертичный период. В зоне Скалистого хребта наибольшая величина результирующих относительно эпицентров векторов соответствует преобладающему направлению горизонтального движения макроблока, но присутствуют также эпицентры с противоположно направленными векторами (рис. 2).

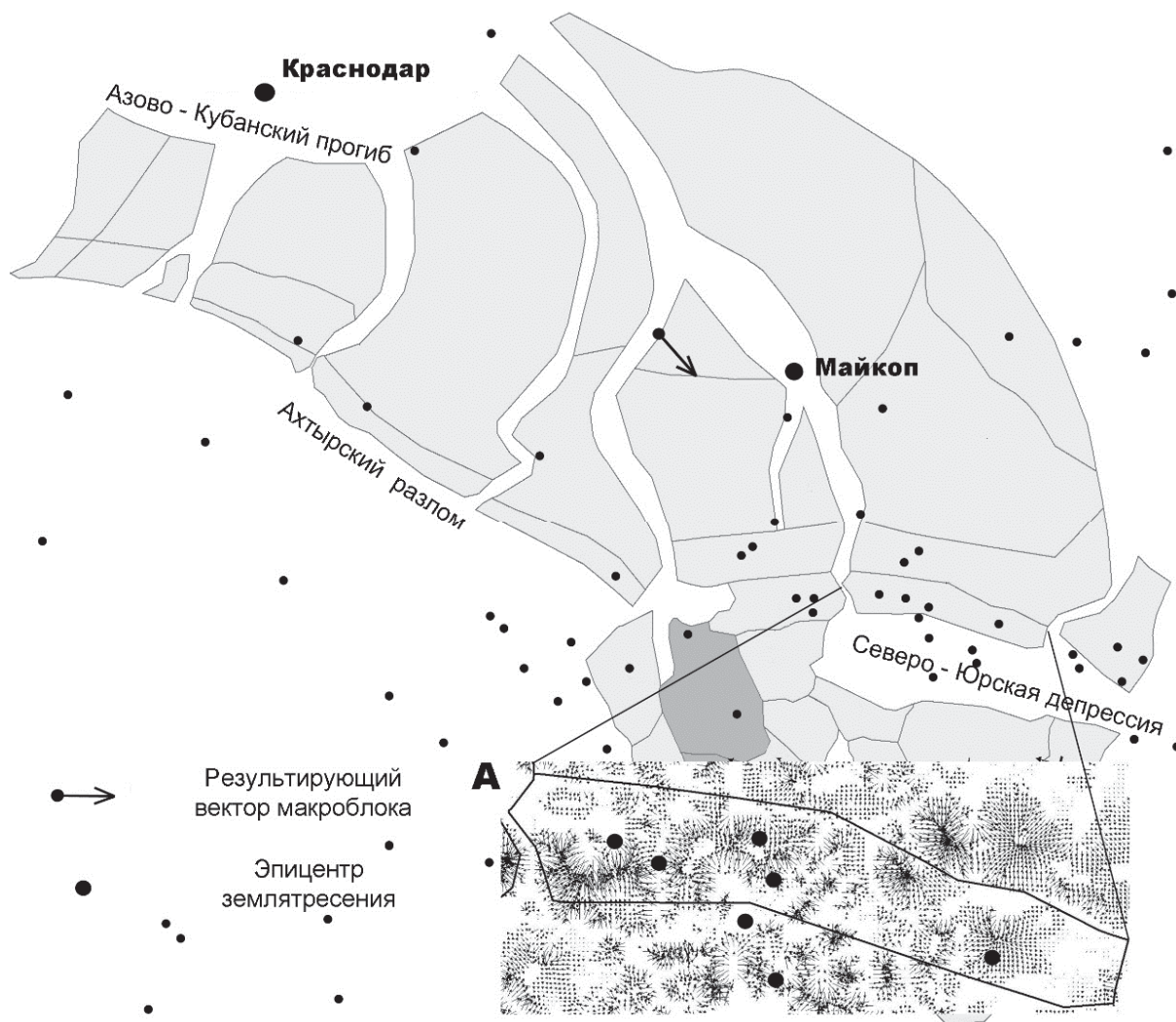


Рис. 1. Направление результирующего наибольшего градиента мощности разностного слоя в макроблоке; А – локализация эпицентров землетрясений в континуальном поле тектонических напряжений в блоке Скалистого хребта

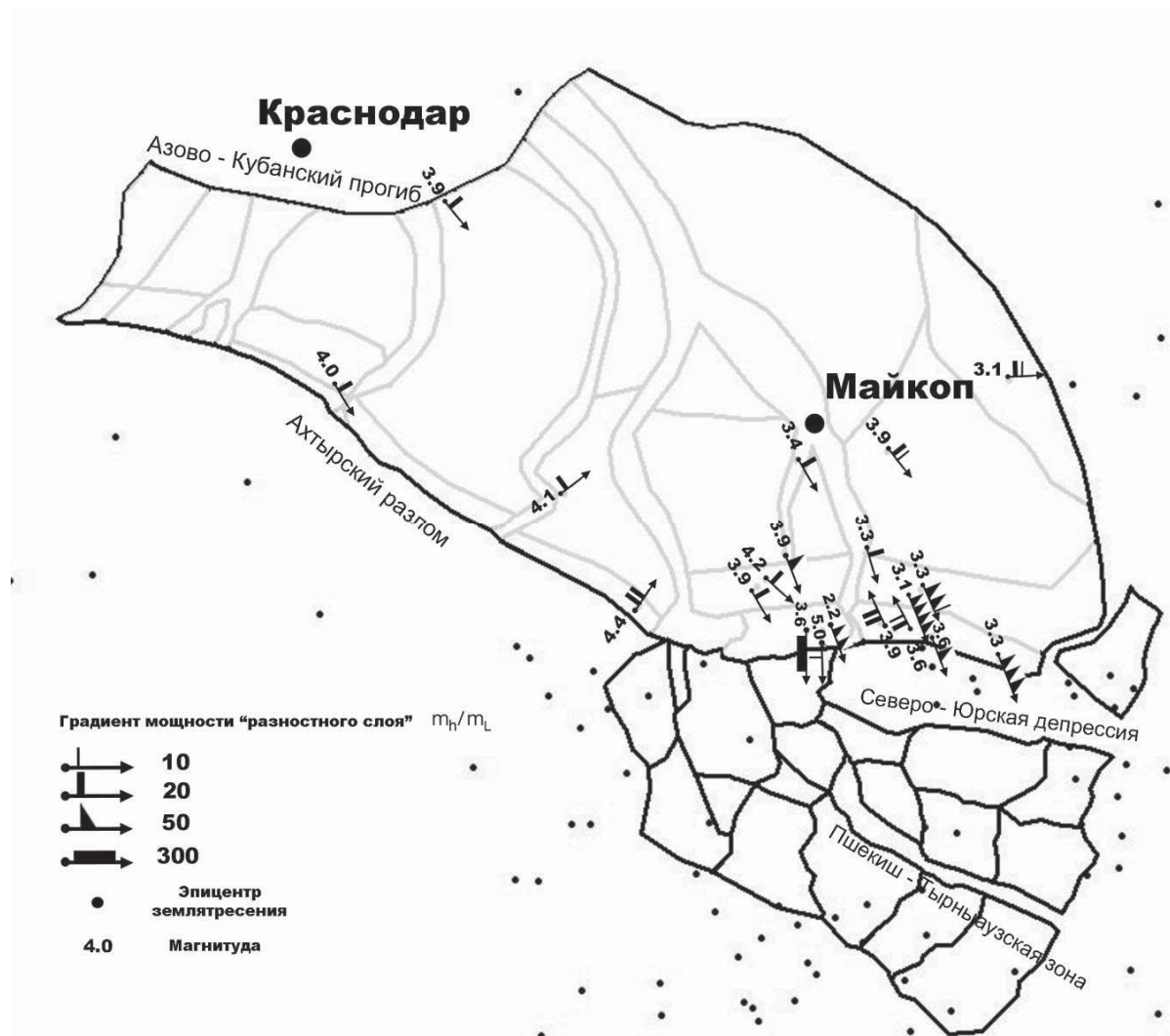


Рис. 2. Результирующие наибольшие градиенты мощности разностного слоя относительно эпицентров землетрясений в макроблоке

Коэффициенты множественной корреляции между магнитудой землетрясений и величиной и направлением результирующей за четвертичный период векторов макроблока относительно эпицентров составил 0.43 (табл. 2). Аналогичный результат получен при расчёте коэффициента множественной корреляции между магнитудой и параметрами результирующих векторов рассчитанных отдельно для каждого блока, входящего в макроблок (рис. 3, табл. 3). Полученное значение коэффициента корреляции свидетельствует о наличии связи между магнитудой сейсмического события и модельными данными в заданной точке. Вероятность оцениваемой связи увеличивается при учёте двух допущений. Во-первых, необходимо принимать во внимание, что рассчитанный наибольший градиент мощности разностного слоя отражает суммарное за весь четвертичный период значение величины тектонического напряжения, динамика которого, как известно, имеет пульсационный характер. Во-вторых, существует возможность того, что привязка некоторых эпицентров в исходных данных может быть приблизительной.

Закономерность связи между магнитудой землетрясений и рассчитываемой в модели величиной индикатора тектонического напряжения указывает на возможность точечного прогнозирования землетрясений, в результате специализированного мониторинга в выявленных очагах концентрации тектонических напряжений.

Для автоматизированного выделения точечных очагов концентрации тектонических напряжений на территориях неограниченной площади разрабатываются алгоритм и модуль автоматизированной классификации структуры векторных полей наибольшего градиента мощности разностного слоя.

Заключение. Удовлетворительное соответствие вычисляемых параметров разработанной геодинамической модели с инструментальными данными мониторинга тектонических и сейсмических процессов свидетельствует о её структурном подобии полю тектонических напряжений территории. Это доказывает перспективность применения метода структурной маски энергетических географических полей для анализа геодинамических процессов на территориях неограниченной площади и для предварительной диагностики точек концентрации тектонических напряжений, с последующим их геофизическим и дистанционным мониторингом и на этой основе эффективным точечным прогнозированием сейсмоопасности.



Рис. 3. Результирующие наибольшие градиенты мощности разностного слоя в каждом блоке, входящем в макроблок, относительно эпицентров землетрясений

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК REFERENCES

1. Варшанина Т.П., Плисенко О.А., Солодухин А.А., Коробков В.Н. Структурно-подобная геодинамическая модель Краснодарского края и Республики Адыгея. // Москва–Майкоп: Изд. Дом «Камертон». 2011. 128 с.
Varshanina T.P., Plisenko O.A., Soloduhin A.A., Korobkov V.N. Strukturno-podobnaja geodinamicheskaja model' Krasnodarskogo kraja i Respubliki Adygeja. [Structurally similar geodynamic model of the Krasnodar Territory and the Republic of Adygea] // Moskva–Majkop: Izd. Dom «Kamerton». 2011. 128 s. (in Russian).
2. Варшанина Т.П., Хунагов Р.Д. ГИС научных исследования процессов изменчивости геосистем. // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия «Естественно-математические и технические науки». – Майкоп. 2014. – Вып. 4 (147). С. 207–214.
Varshanina T.P., Hunago vR.D. GIS nauchnyh issledovanija processov izmenchivosti geosistem. // Vestnik Adygejskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija «Estestvenno-matematicheskie i tehnicheckie nauki» [GIS research process variability Geosystems]. – Majkop. 2014. – Vyp. 4 (147). S. 207–214. (in Russian).
3. Годзиловская А.А. Каталог землетрясений Кавказа с древнейших времен по 2000 г. URL: <http://zeus.wdcb.ru/wdcb/sep/caucasus>.
Godzikovskaja A.A. Katalog zemletrjasenij Kavkaza s drevnejshih vremen po 2000 g. [Catalog of earthquakes Caucasus since ancient times to 2000 year] URL: <http://zeus.wdcb.ru/wdcb/sep/caucasus>. (in Russian).
4. Гончаров М.А., Талицкий В.Г., Фролова Н.С. Введение в тектонофизику. – М.: Изд-во КДУ. 2005. 496 с.
Goncharov M.A., Talickij V.G., Frolova N.S. Vvedenie v tektonofiziku. [Introduction to tectonophysics] – M.: Izd-vo KDU. 2005. 496s. (in Russian).
5. Лилиенберг Д.А. Картографо-геодинамические модели современных движений морфоструктур

Кавказа и Закавказья для разных эпох // Геоморфология. 1997. – Вып.4. С. 63–75.

Lilienberg D.A. Kartografo-geodinamicheskie modeli sovremennyh dvizhenij morfostruktur Kavkaza i Zakavkaz'ja dlja raznyh jepoh [Cartography and geodynamic models of modern movements morfostructures Caucasus and Transcaucasia for different ages]// Geomorfologija. 1997. – Вып.4. С. 63–75. (in Russian).

6. *Ранцман Е.Я., Гласко М.П.* Морфоструктурные узлы – места экстремальных природных явлений // М.: Медиа-Пресс. 2004. 224 с.

Rancman E.Ja., Glasko M.P. Morfostrukturnye uzly – mesta jekstremal'nyh prirodnyh javlenij. [Morphostructural nodes – places of extreme natural phenomena]//М.: Media-Press. 2004. 224 s. (in Russian).

7. *Философов В.П.* Краткое руководство по морфометрическому методу поиска тектонических структур. // Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1960. – 93 с.

Filosofov V.P. Kratkoe rukovodstvo po morfometricheskomu metodu poiska tektonicheskikh struktur. [Quick guide to search morphometric method of tectonic structures] // Saratov: Izd-vo Saratovskogo un-ta, 1960. – 93 s. (in Russian).

Таблица 2

Оценка корреляции между магнитудой и параметрами результирующего вектора индикатора тектонических напряжений в макроблоке

ID	Магнитуда	Величина градиента	X_DELTA	Y_DELTA
9	4,10	24,11	19,53	14,14
20	3,90	27,12	17,15	-21,01
30	3,90	20,84	10,69	-17,89
31	4,20	13,35	9,72	-9,15
34	3,90	50,34	15,49	-47,89
35	3,60	276,41	39,09	-273,63
36	5,00	7,95	1,56	-7,79
70	2,20	98,83	16,93	-97,37
71	3,90	34,28	-13,69	31,43
72	3,60	27,57	-11,67	24,97
85	3,40	13,01	6,35	-11,35
87	3,30	16,06	4,50	-15,42
89	3,30	112,62	46,61	-102,52
90	3,10	178,72	65,58	-166,25
100	4,40	33,43	17,43	28,52
105	3,60	42,63	15,15	-39,85
108	3,10	24,43	24,34	2,08
112	4,00	15,87	8,47	-13,42
119	3,30	147,52	80,06	-123,91
129	3,90	27,82	16,47	-22,43

	X_DELTA	Y_DELTA	Магнитуда
X_DELTA	1,000000	-0,711361	-0,366683
Y_DELTA	-0,711361	1,000000	0,420580
Магнитуда	-0,366683	0,420580	1,000000
YX1	-0,366683		
YX2	0,420580		
X1X2	-0,711361	Множественная корреляция 0,431405429	

Оценка корреляции между магнитудой и параметрами результирующего вектора индикатора тектонических напряжений в блоках, входящих в макроблок

ID	Магнитуда	Величина градиента	X_DELTA	Y_DELTA
9	4,10	13,72	-5,50	12,56
20	3,90	13,66	0,37	-13,65
30	3,90	16,22	4,39	-15,62
31	4,20	13,96	3,18	-13,60
34	3,90	20,99	8,82	-19,05
35	3,60	98,48	38,03	-90,84
36	5,00	8,34	-8,05	2,18
70	2,20	30,24	11,21	-28,09
71	3,90	29,84	23,54	18,34
72	3,60	21,75	12,02	18,12
85	3,40	8,98	-0,94	-8,93
87	3,30	6,08	4,20	-4,40
89	3,30	71,13	-22,52	-67,47
90	3,10	115,64	-25,53	-112,79
100	4,40	21,02	-11,72	17,45
105	3,60	23,46	-6,11	-22,65
108	3,10	11,61	10,89	4,02
112	4,00	12,02	-0,86	-11,99
119	3,30	90,10	19,39	-87,99
129	3,90	19,26	-9,68	-16,65

	X_DELTA	Y_DELTA	Магнитуда
X_DELTA	1,000000	0,030812	-0,155555
Y_DELTA	0,030812	1,000000	0,421183
Магнитуда	-0,155555	0,421183	1,000000
YX1	-0,155555		
YX2	0,421183		
X1X2	0,030812	Множественная корреляция 0,45367972	