

УДК 551.243(571.65)

## ПОЛЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В СТРУКТУРАХ ОСНОВАНИЯ ОХОТСКО-ЧУКОТСКОГО ВУЛКАНОГЕННОГО ПОЯСА (Северное Приохотье)

*М. Н. Кондратьев, В. Н. Смирнов*

*Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н. А. Шило ДВО РАН,  
г. Магадан*

E-mail: mkondratyev85@mail.ru; smirnov@neisri.ru

Приведены новые данные о полях тектонических напряжений в мезозойских складчатых структурах основания Охотско-Чукотского вулканогенного пояса в верховьях р. Армань. На основе анализа тектонической трещиноватости показано, что формирование трещинной структуры происходило в условиях поля напряжений, относящегося к сбросо-сдвиговому типу с осью растяжения, ориентированной в субмеридиональном направлении. Полученные данные хорошо согласуются с неотектонической структурой территории. Показана также наиболее вероятная ориентировка главных осей напряжений для предшествовавшего этапу деформаций.

**Ключевые слова:** тектоническая трещиноватость, тектонические напряжения, разломы, тройственный парагенезис, этапы деформаций.

### ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА РАЙОНА

Исследованный район расположен в верховье р. Армань в зоне сочленения мезозойских складчатых структур и Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП) и приурочен к юго-восточному флангу Аян-Юрхского антиклинория (рис. 1). По данным геологического картирования (Государственная..., 1992), в строении рассматриваемой территории выделяются два структурных яруса. Нижний представлен согласно залегающими осадочными формациями пермского, триасового и юрского возраста. Ими образована крупная брахиантиклинальная складка, ориентированная в северо-восточном направлении. В широком пологом своде складки обнажены пермские отложения, крылья брахиантиклинали сложены триасовыми и юрскими отложениями и осложнены складками второго порядка. Верхний структурный ярус, с угловым несогласием залегающий на складчатых образованиях Аян-Юрхского антиклинория, образован вулканитами ОЧВП. Он состоит из разнообразных по составу (от риолитов до андезитов и базальтов) эффузивов альбсеноманского возраста, которыми сформированы вулканотектонические депрессии, выполненные вулканогенными и вулканогенно-осадочными отложениями и субвулканическими телами различного состава. Разрез вулканитов в депрессиях венчается покровами плато-базальтов, которые, по современным данным, имеют кампанский возраст (Акинин, Миллер, 2011).

Широко распространены разрывные нарушения, среди которых преобладают разломы северо-восточ-

ного и субширотного простираний, реже встречаются разломы северо-западного направления. Их роль в геологической структуре различна. Они пересекают выступы мезозойского складчатого основания, контролируют положение вулканических депрессий, размещение отдельных тел гранитоидов и субвулканических интрузий преимущественно кислого состава, участвуют в формировании границ кайнозойских наложенных впадин. Разломы большей частью вертикальны, перемещения по ним, по геологическим признакам, достигают нескольких сот метров. С разломами северо-восточного и северо-западного простираний связаны пространственное размещение и особенности строения вулканотектонических депрессий, которые с юга наложены на структуры Аян-Юрхского антиклинория. Помимо крутых или вертикальных разрывных нарушений выделяются надвиги. Один из них, установленный в междуречье Игандя – Магадавен, находится на участке проведенных работ. Ориентировка надвиговой зоны северо-западная, поверхность сместителя наклонена к северо-востоку, углы ее наклона вблизи поверхности 30–60° (Государственная..., 1992).

Многие разломы отчетливо выражены в неотектонической структуре района. Они пересекают вулканотектонические депрессии, определяют контуры неотектонических впадин и формируют в целом блоковую структуру рельефа земной поверхности.

Таким образом, на рассматриваемой территории складчатые структуры основания, сформировавшиеся в условиях регионального сжатия северо-западной ориентировки, пережили три этапа тектонических деформаций, следы которых запечатлены в геологической структуре и в тектонической трещино-

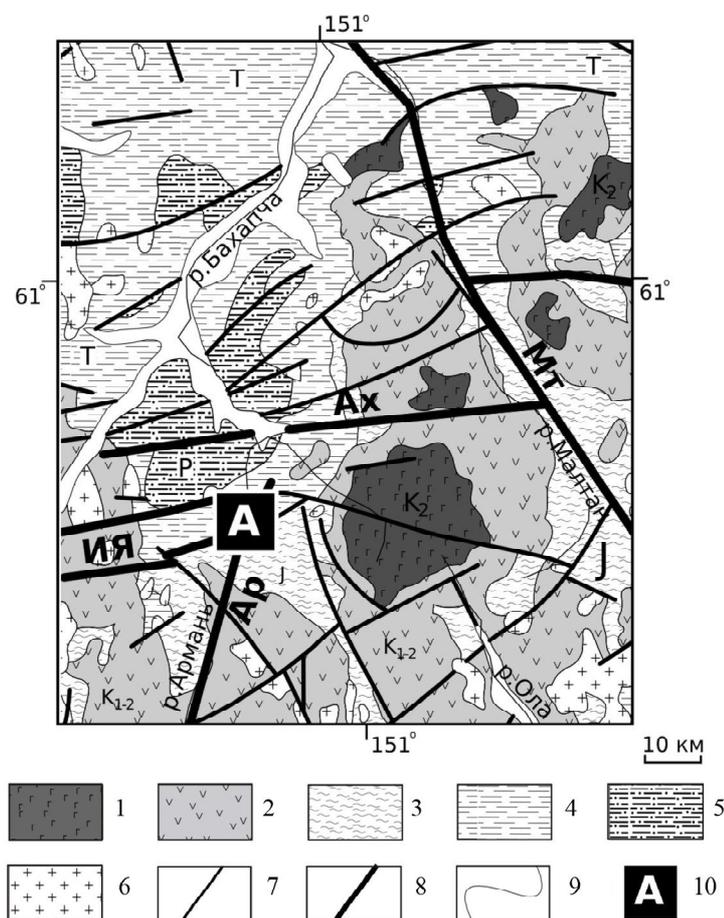


Рис. 1. Геологическое строение района (Геологическая..., 1992, с небольшими изменениями): 1, 2 – вулканические образования Охотско-Чукотского вулканогенного пояса: 1 – базальты, андезиты (кампан, по: Акинин, Миллер, 2011); 2 – андезиты, дациты, риолиты их туфы (альб-сеноман); 3–5 – осадочные формации Аян-Юрхского антиклинория: 3, 4 – алевролиты, аргиллиты, песчаники, межпластовые тела базальтов юрского (3) и триасового (4) возраста; 5 – глинистые и песчано-глинистые сланцы, известняки, туфопесчаники пермского возраста; 6 – поздне меловые интрузии гранитоидов; 7 – разрывные нарушения; 8 – крупные неотектонические разломы (Ах – Ахчанский, Ар – Арманский, ИЯ – Иня-Ямский, МТ – Малтанский); 9 – геологические границы; 10 – участок работ в верховье р. Армань

Fig. 1. Geological structure of the area (Геологическая..., 1992, with minor changes): 1, 2 – volcanic formations of the Okhotsk-Chukchy volcanic belt: 1 – basalts, andesites (Акинин, Миллер, 2011), 2 – andesite, dacite, rhyolite and its tufts (Albian-Cenomanian); 3–5 – sedimentary formations of Ayan-Yuryakh anticlinorium: 3, 4 – siltstone, mudstone, sandstone, basalt body of Jurassic (3) and Triassic (4) age; 5 – clayey and sandy shales, limestones, sandstones of Permian age; 6 – Late Cretaceous granitoid intrusions; 7 – faults; 8 – major neotectonic faults (AX – Ahchansky, AP – Arman, IYA – Yin-Yama, MT – Maltansky); 9 – geological boundaries; 10 – area of works in the upper reaches of the Arman River

ватости горных пород. Первый этап – позднеюрский – это образование брахиформной складчатости, связанной с нею сети соскладчатых разломов и кливажных структур. В это время были активизированы крупные разломы северо-западного простирания, разделяющие основные структурные элементы Яно-

Колымской складчатой системы. Второй этап, начавшийся в альбе, знаменует резкую смену геодинамической обстановки: начались мощные тектоно-магматические процессы, обусловившие формирование структуры ОЧВП. Они сопровождалась образованием крупных магмоподводящих разломов северо-восточного и субмеридионального простирания. Эти процессы, очевидно, в существенной мере отразились в виде наложенных тектонических деформаций в структуре нижнего яруса.

В дальнейшем в неоген-четвертичное время нижний и верхний структурные ярусы были подвергнуты неотектонической активизации, в ходе которой был частично унаследован структурный план мезозой и ОЧВП, но также возникли и новообразованные структурные элементы, в основном в виде сети разломов, которая определила план блоковой структуры, неотектонических поднятий и межгорных впадин. Среди крупнейших неотектонических разрывных нарушений выделяются возрожденные разломы мезозой северо-западного простирания, а также унаследованные разломы ОЧВП субмеридионального и северо-восточного простирания. Новообразованными, возникшими на неотектоническом этапе, являются крупные разломы субширотного простирания (Смирнов, 2000).

## ФАКТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ ИХ ОБРАБОТКИ

В верхнем течении р. Армань на юго-восточном крыле упомянутой выше брахиантиклинали в зоне динамического влияния Иня-Ямского неотектонического разлома субширотного простирания были выполнены массовые замеры элементов залегания тектонической трещиноватости в 27 точках (рис. 2,а). В каждой точке сделано в среднем по 100 замеров, на основании которых построены матрицы плотности трещиноватости. Реконструкцию полей напряжений в точках проводили в соответствии с современными методическими разработками. По методу П. Н. Николаева (1982) выявляли сопряженные максимумы, по которым с помощью метода М. В. Гзовского (1975) осуществлялось восстановление положения осей главных нормальных напряжений. В трех точках сопряженные максимумы на диаграммах не были проявлены. По методу, предложенному К. Ж. Семиным (2005), на диаграммах матриц трещиноватости для каждой точки были выделены тройственные паразенезисы, которые по степени подобия разделили на четыре группы. Результаты интерпретации матриц трещиноватости представлены в таблице и на рис. 2.

**Результаты анализа тектонической трещиноватости в верховьях р. Армань****The results of the analysis of tectonic fractures in the upper reaches of the Arman River**

Индекс точки	Ориентация осей главных напряжений (азимут направления оси / угол падения), градусы	
	Ось растяжения	Ось сжатия
GSKV-03	349 / 08	080 / 00
GSKV-2	279 / 05	011 / 26
GSKV1	216 / 31	313 / 10
armn-01	357 / 27	266 / 01
armn-02	169 / 16	261 / 07
armn-03	187 / 14	088 / 31
armn-04	309 / 07	108 / 81
armn-05	139 / 23	257 / 48
armn-06	031 / 18	133 / 33
armn-07	073 / 08	341 / 18
armn-08	275 / 04	008 / 36
armn-09	102 / 08	193 / 03
armn-10	043 / 07	305 / 49
armn-11	273 / 14	012 / 33
armn-12	Не установлено	
armn-13	То же	
armn-14	358 / 31	258 / 16
armn-15	302 / 26	033 / 02
armn-16	065 / 02	334 / 21
armn-17	292 / 03	200 / 32
armn-18	215 / 30	119 / 10
armn-19	359 / 08	099 / 51
armn-20	035 / 11	128 / 14
armn-21	289 / 05	021 / 21
armn-22	359 / 62	146 / 23
armn-23	Не установлено	
armn-24	177 / 52	269 / 01
armn-25	177 / 13	087 / 03
armn-26	262 / 26	171 / 02
armn-27	261 / 18	351 / 00

**ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ**

На рис. 2,б показано распределение векторов главных нормальных напряжений на исследованной площади. Большинство векторов сил сжатия и растяжения имеет пологий угол падения до 30°, следовательно, поле напряжений относится к сдвиговому типу. При этом по направлению векторов главных нормальных напряжений можно выделить ряд обособленных блоков. Трещинная сеть большинства изученных пунктов образовалась под воздействием сил сжатия, ориентированных субширотно, и сил растяжения, направленных, соответственно, субмеридионально. Ориентировка векторов выдержана на всей площади выделенного блока. На северном и южном флангах выделяются обособленные блоки с субмеридиональным направлением сил сжатия. В отличие от центрального блока ориентировка векто-

ров в южном и северном блоке не выдержана и варьирует в пределах 30–40°.

В восточной части выделяется блок, в пределах которого трещинная сеть сформировалась под воздействием сил сжатия, направленных в субмеридиональном направлении. Векторы сил сжатия и растяжения в этом блоке также отличаются невыдержанными направлениями.

На каждой диаграмме плотности трещиноватости были выделены тройственные парагенезисы. Пункты наблюдений со сходной ориентировкой тройственного парагенезиса объединены в три группы. Несмотря на то что объединение в группы проводили исключительно по близости ориентировки самого парагенезиса, а не по близости друг к другу самих пунктов, пункты со схожей ориентировкой тройственного парагенезиса оказались рядом. На рис. 2,б показано положение тройственного парагенезиса разной ориентировки на исследованной территории. Пункты, располагающиеся в пределах выделенного выше центрального блока, характеризуются единой ориентацией тройственного парагенезиса. Северный и южный блоки также отличаются присущей только им ориентацией тройственного парагенезиса. В то же время в центральном блоке разные пункты наблюдений имеют ориентировку, совпадающую как с центральным блоком, так и с южным и северным блоками.

Для пунктов структурно-кинематических наблюдений был рассчитан показатель относительной интенсивности напряжений  $I$  (см. рис. 2,в). В пределах исследованной территории этот показатель варьирует в диапазоне от 3 до 10. При этом значения относительной интенсивности напряжений для пунктов, расположенных в центральном блоке, в основном располагаются в интервале от 3 до 5, в то время как интенсивность напряжений для восточного, северного и южного блоков характеризуется повышенными значениями – 6–10.

Отметим, что границы между некоторыми выделенными блоками пространственно совпадают с неотектоническими разломами. Так, граница между северным и центральным блоками пространственно совпадает с кулисой Инья-Ямского субширотного регионального разлома.

Приведенные результаты анализа массовых замеров элементов залегания тектонической трещиноватости, а также аналогичный комплекс работ, выполненный нами ранее в зоне влияния Хетинского активного разлома (Смирнов, Кондратьев, 2011), позволяют заключить, что в целом поле напряжений складчатой структуры основания ОЧВП относится к сдвиговому типу с осью сжатия, ориентированной субширотно.

В работе Д. Хиндл с соавторами (Hindle et al., 2009) обсуждается деформация северо-западного сегмента Охотской плиты и приводятся параметры деформации, полученные на основе данных GPS наблюдений, анализа сейсмического режима территории и геологических данных. Осью укорочения для деформации Охотской плиты ориентирована в диа-

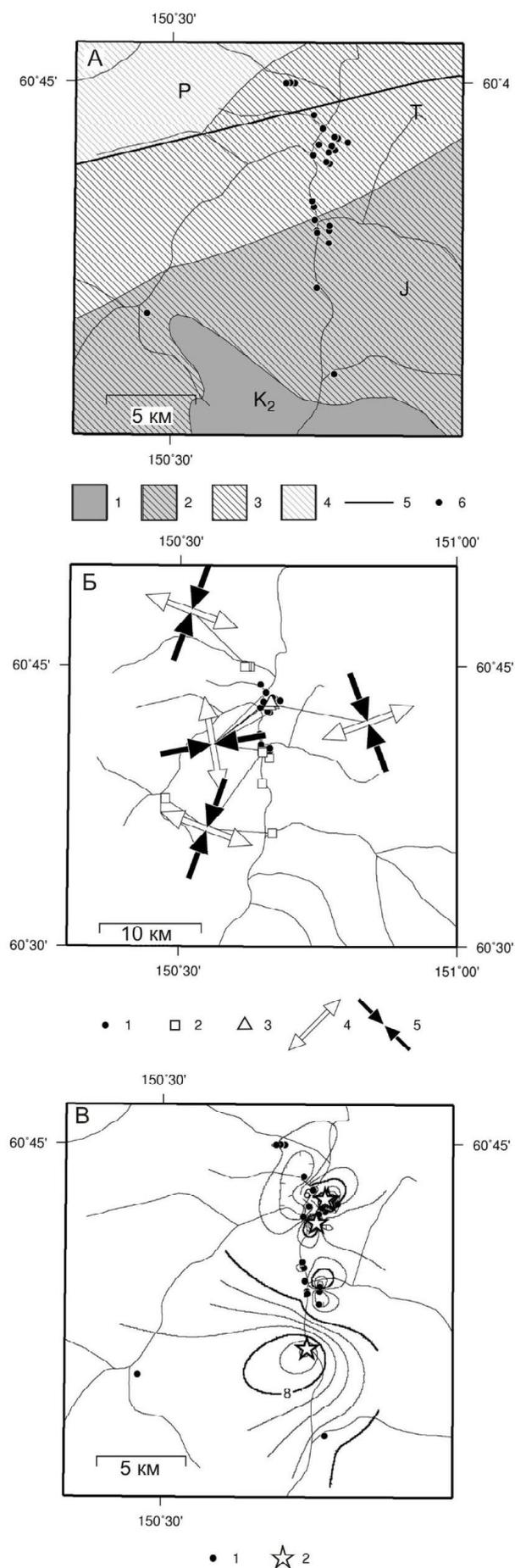


Рис. 2. Схема геологического строения участка работ (А), реконструированные направления осей сжатия и растяжения (Б), относительная интенсивность напряжений (В). А – 1 – вулканисты ОЧВП; 2–4 – осадочные толщи складчатого основания пояса: юрского (2), триасового (3), пермского (4) возраста; 5 – неотектонический разлом; 6 – точки наблюдений. Б – 1–3 – пункты наблюдений со схожими направлениями осей главных напряжений; 4 – направление оси растяжения; 5 – направление оси сжатия. В – относительная интенсивность поля напряжений. Темным цветом показаны пункты со значением относительной интенсивности 6–10, светлым – с интенсивностью 3–5. Пункты с аномально высокими значениями относительной интенсивности показаны звездочками

Fig. 2. Geological structure of the area (A), the reconstructed direction of the axes of compression and tension (Б), the relative intensity of stress in sites (B). А – 1 – volcanites of the Okhotsko-Chukotskiy volcanic belt; 2–4 – sedimentary strata of the folded basement zone: Jurassic (2), Triassic (3), Perm (4) age; 5 – neotectonic fault; 6 – sites of observations. Б – 1–3 – points of observation with similar directions of principal stress axes; 4 – direction of the axis of tension; 5 – direction of the axis of compression. В – the relative intensity of the stress field. Dark color shows spots with the relative intensity value of 6–10; light, the intensity of 3–5. Spots with anomalously high values of the relative intensities are marked with asterisks

пазоне 80–85°, что, по мнению авторов, вызвано сближением Евразийской и Северо-Американской плит. Подобный характер деформации, как считают Д. Хиндл с соавторами, оставался стабильным, начиная с миоцена и до настоящего времени, поскольку кинематика региональных левосторонних сдвигов (Улахан, Чай-Юрьинский), вдоль которых происходит разрядка напряжений, в течение этого времени оставалась неизменной.

Как видно, направление осей напряжений в складчатых структурах основания ОЧВП, приведенное в настоящей работе, в целом согласуется с ориентировкой эллипсоида деформации, полученной на основе сейсмологических данных и GPS мониторинга.

Установлены также пункты, не согласующиеся с такими данными. Можно предположить, что в них запечатлены следы поля напряжений более ранних этапов, предшествовавших установившемуся в настоящее время этапу сжатия в субширотном направлении. Геологическим свидетельством этого этапа является наличие брахисинклинальной складчатости с простираем осей складок 300–320°, наблюдаемых в отложениях арманской свиты, а также наличие зон разрывных нарушений надвигового типа северо-западного простираения (310–320°) в бас. р. Армань (Осипов, 1975). А. П. Осипов связывает такие нарушения с поздне меловой тектонической активизацией. Следы этого этапа деформации мы нашли (Кондратьев, 2009) в бас. р. Мадагавен вблизи надвига северо-западного простираения в 10 км к югу от Арманского участка, описываемого в настоящей работе. Анализ милонитизи-

рованных зеркал скольжения с бороздами в среднеюрских песчаниках показал, что ось сжатия направлена под углом 45°.

Таким образом, установленные неоднородности поля напряжений в верховье р. Армань отражают разные этапы деформации и в этом смысле коррелируются с данными, полученными нами ранее на участке «Хета», расположенном восточнее, в аналогичной геолого-структурной обстановке (Смирнов, Кондратьев, 2011). Наблюдаемое новейшее сжатие в субширотном направлении фиксируется в большинстве пунктов структурно-геологических наблюдений. Следы предшествующего ему этапа деформации с осью сжатия север-северо-восточного направления найдены в центральном блоке на участке «Хета», а также в северном, южном и восточном блоках на участке «Армань». Время активизации этого этапа деформации относится к периоду формирования Охотско-Чукотского вулканогенного пояса.

#### ЛИТЕРАТУРА

Акинин В. В., Миллер Э. Л. Эволюция известково-щелочных магм Охотско-Чукотского вулканогенного пояса // Петрология. – 2011. – Т. 19, № 3. – С. 249–290.

Гзовский М. В. Основы тектонофизики. – М.: Недра, 1975. – 536 с.

Государственная геологическая карта (новая серия) м-ба 1:1 000 000. Листы О-56; Р-56, -57 / сост. В. Г. Корольков. – Л.: ВСЕГЕИ, 1992.

Кондратьев М. Н. Геокинематический анализ активных разломов северного Приохотья // Строение литосферы и геодинамика: материалы XXIII Всерос. молодеж. конф. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2009. – С. 33–34.

Николаев П. Н. Методика тектоно-динамического анализа. – М.: Недра, 1982. – 295 с.

Осипов А. П. Позднемезозойское тектоно-магматическое развитие западной части Охотско-Колымского водораздела. – Новосибирск: Наука, 1975. – 159 с.

Семинский К. Ж. Картирование разломно-блоковой структуры земной коры на современном этапе развития тектонофизики // Геофиз. журнал. – 2005. – Т. 27, № 1. – С. 85–96.

Смирнов В. Н., Кондратьев М. Н. Поле напряжений и внутренняя структура Хетинского активного разлома // Вестник СВНЦ ДВО РАН. – 2011. – № 4. – С. 65–72.

Смирнов В. Н. Северо-Восток Евразии // Новейшая тектоника, геодинамика и сейсмичность Северной Евразии / под ред. А. Ф. Грачева. – М.: ГЕОС, 2000. – С. 120–135.

Hindle D., Fujita K., Mackey K. Deformation of the Northwestern Okhotsk Plate: How is it happening? // Geology, geophysics and tectonics of Northeastern Russia: a tribute to Leonid Parfenov. SMSPS. – 2009. – Vol. 4. – P. 147–156.

Поступила в редакцию 25.06.2013 г.

## TECTONIC STRESS FIELDS IN THE BASEMENT STRUCTURES OF THE OKHOTSK-CHUKOTKA VOLCANOGENIC BELT (Northern Priokhotye)

*M. N. Kondratyev, V. N. Smirnov*

New data on the tectonic stress fields in the Mesozoic folded structures of the Okhotsk-Chukotka volcanic belt basement in the upper Arman River are presented. Based on the analysis of tectonic fractures the formation of fracture is shown to have occurred in the structure of the stress field related to the strike-shear type with the axis of extension oriented in the submeridional direction. The data obtained are in good concordance with the neotectonic structure of the territory. Also, the most probable orientation of the principal stress axes for the preceding stage of deformation is shown.

**Key words:** tectonic fracturing, tectonic stresses, faults, triple paragenesis, deformation stages.