

УДК 551.243(571.65)

ПОЛЕ НАПРЯЖЕНИЙ И ВНУТРЕННЯЯ СТРУКТУРА ЗОНЫ ХЕТИНСКОГО АКТИВНОГО РАЗЛОМА

В. Н. Смирнов, М. Н. Кондратьев

*Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН, г. Магадан
E-mail: mkondratyev85@mail.ru*

Представлены новые данные о строении Хетинского активного разлома, расположенного между Малтанским и Умарским разломами в долине р. Хета, о его внутренней структуре и поле напряжений. Показано, что поле напряжений зоны Хетинского активного разлома, в котором происходило формирование его трещинной структуры, относится к сбросо-сдвиговому типу. При этом ось растяжения ориентирована в субмеридиональном направлении. Кинематика Хетинского разлома характеризуется как левый сбросо-сдвиг. Внутренняя структура Хетинского разлома обладает неоднородностью во внутренней части, проявленной в изменении ориентации осей главных напряжений, а также в ориентации структурного парагенезиса.

Ключевые слова: активный разлом, поле напряжений, внутренняя структура зоны разлома, тектоническая трещиноватость, Хетинский разлом.

ВВЕДЕНИЕ

Исследованная территория расположена в бассейне р. Малтан (правый приток р. Бохапча). В тектоническом плане она охватывает зону сочленения Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП) и Яно-Колымской складчатой системы. По данным геологического картирования (Геологическая..., 1979; Государственная..., 1992) и материалам геологоразведочных работ, в строении территории можно выделить четыре структурных яруса, разделенных резкими угловыми несогласиями (рис. 1). Нижний ярус сложен осадочными отложениями верхней перми, триаса, нижней и средней юры. В его структуре выделяются широкие антиклинальные и синклинальные складки, имеющие большей частью северо-западную ориентировку, реже – северо-восточную и субширотную. Углы падения крыльев складок варьируют от 30 до 70°.

На нем с угловым несогласием залегает вулканогенно-осадочная толща позднеюрско-ранне-мелового возраста, в составе которой выделяются две свиты: одна осадочная, угленосная, другая – вулканогенная (андезиты, базальты, их туфы). В них установлены значительные деформации с углами падения слоев 30–60°. Наиболее крутые дислокации приурочены к зонам разрывных нарушений.

Выше, также с угловым несогласием, залегают сложные вулканогенные комплексы ОЧВП. Нижняя часть этого яруса образована мощными вулканическими покровами среднего и кислого состава, с большими объемами туфогенных пород альб-сеноманского возраста. Верхняя часть яру-

са резко отличается от нижней как составом, так и формой залегания. Она представлена главным образом субгоризонтально залегающими покровами базальтов, образующими обширные плато, которыми увенчаны горные сооружения района. Предполагается, что они слагают вулканотектонические структуры проседания, наложенные на нижнюю часть вулканогенной толщи. В этих структурах отмечается центриклинальное залегание покровов с углами падения 10–15°.

Самый верхний ярус представлен неоген-четвертичными континентальными осадками различного генезиса, которые выполняют межгорные впадины и речные долины.

Рассматриваемая территория в целом имеет блоковое строение, обусловленное широким развитием разломов с различной глубиной заложения и разным возрастом. Главными разрывными нарушениями района являются Умарский и Малтанский глубинные разломы северо-западного простирания, заложение которых произошло еще в палеозое. Эти разломы существенно влияли на формирование складчатой и вулканоплутоногенной структуры района с конца юры вплоть до конца мела. Умарский разлом разделяет крупные блоки земной коры с различной амплитудой вертикальных движений на орогенном этапе. Малтанский разлом является магмоконтролирующим: к нему приурочено большое количество мелких интрузивных, гипабиссальных и субвулканических тел разного геологического возраста – от сенона до палеогена. Расположенный между ними Асанский разлом северо-восточного простирания контролирует размещение поздне-меловых гранитных интрузий. Широко распространены линейные и

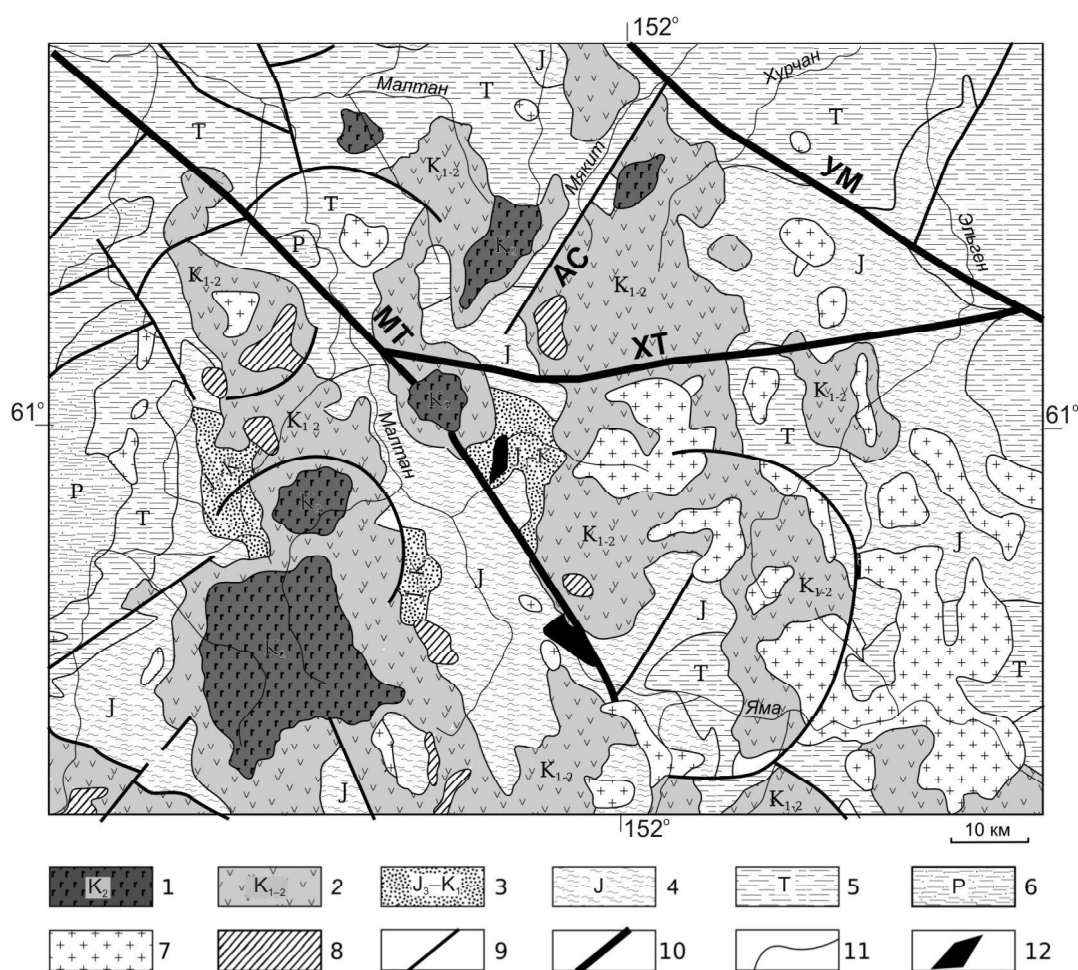


Рис. 1. Геологическое строение района работ (по Государственная..., 1992): 1 – мыгдыкитская свита верхнего мела (базальты, андезиты и их туфы); 2 – вулканиды нижнего – верхнего мела (андезиты, базальты, риолиты, дациты и их туфы, туфопесчаники); 3 – хасынская свита верхней горы – нижнего мела (алевролиты, песчаники, конгломераты, углисто-глинистые сланцы); 4 – терригенные отложения юрского возраста (алевролиты, аргиллиты, песчаники, базальты и их туфы); 5 – терригенные отложения триасового возраста (алевролиты, аргиллиты, песчаники, андезиты, базальты и их туфы); 6 – терригенные отложения пермского возраста (глинистые, песчано-глинистые сланцы, известняки, туфопесчаники); 7 – позднемеловые граниты; 8 – позднемеловые субвулканические риолиты; 9 – разломы; 10 – разломы, упомянутые в тексте (МТ – Малтанский, ХТ – Хетинский, УМ – Умарский, АС – Асанский); 11 – геологические границы; 12 – впадины, выполненные кайнозойскими отложениями

Fig. 1. Schematized geology of the study area (according Государственная..., 1992): 1 – the Upper Cretaceous Mygdykit Suite (basalts, andesites and their tuffs); 2 – the Lower-Upper Cretaceous volcanics (andesites, basalts, rhyolites, dacites and their tuffs, sandstones); 3 – the Upper Jurassic – Lower Cretaceous Khasyn Suite (siltstones, sandstones, conglomerates, coaly shales); 4 – the Jurassic terrigenous rocks (siltstones, argillites, sandstones, basalts and their tuffs); 5 – the Triassic terrigenous rocks (siltstones, argillites, sandstones, andesites, basalts and their tuffs); 6 – the Permian terrigenous rocks (shales, sandy shales, limestones, tuffstones); 7 – the Late Cretaceous granites; 8 – the Late Cretaceous subvolcanic rhyolites; 9 – faults; 10 – discussed faults (MT – Maltan, XT – Khetinsky, UM – Umar, AC – Asansky); 11 – geologic bounds; 12 – depressions infilled with the Cenozoic sediments

дуговые разломы 2-го и 3-го порядка, которыми определяется положение соответствующих вулканотектонических и блоковых структур.

Умарский и Малтанский разломы обладают признаками активности в течение новейшего этапа. Они ограничивают Майманджинский хребет с юго-запада и северо-востока, определяя в целом удлиненную морфоструктуру хребта, вытянутого в северо-западном направлении и возвышающегося над сопредельными горными сооружениями. Для первого из них установлены при-

знаки левосдвиговой кинематики. По-видимому, на неотектоническом этапе в результате сдвиговых движений вдоль этих разломов как реакция на возникшие напряжения в земной коре образовался расположенный между ними Хетинский разлом субширотного простирания. С новейшей активизацией указанных разломов связывается возникновение межгорных впадин (Смирнов, 2002).

Таким образом, в течение длительного времени территория находится в зоне динамического влияния крупных разломов северо-западного про-

стирания – Малтанского и Умарского, которые играют важную роль в геологической структуре и активизированы на неотектоническом этапе. Указанные особенности геологического строения района позволяют ориентировать анализ тектонической трещиноватости на выявление полей напряжений, возникавших на разных этапах тектонического развития района: позднеюрско-раннемеловом, альб-сеноманском, туронском (?) и неотектоническом. Следует отметить, что изученность современного поля напряжений на описываемой территории очень слабая. Это обусловлено в первую очередь тем, что происходившие здесь землетрясения имеют низкий энергетический класс, а редкая сеть сейсмостанций не позволяет получить достоверные данные для анализа механизмов очагов землетрясений. В связи с этим была предпринята попытка охарактеризовать поле напряжений геолого-структурными методами.

ФАКТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ ИХ ОБРАБОТКИ

Хетинский разлом трассируется в субширотном направлении через долину р. Хета от р. Малтан на западе до р. Эльген на востоке на расстоянии около 90 км. Он пересекает породы основания пермско-юрского возраста и наложенные на него вулканогенные образования ОЧВП, а также отчетливо проявлен в неотектонической структуре района в виде кулисной системы разрывов, с которой связаны долина р. Хета и сквозные долины, соединяющие бассейны рр. Хета и Талая.

В зоне динамического влияния Хетинского разлома мы выполнили массовые замеры элементов залегания тектонической трещиноватости в 12 точках (рис. 2, а). В каждой точке сделано в среднем по 100 замеров, на основании которых построены матрицы плотности трещиноватости.

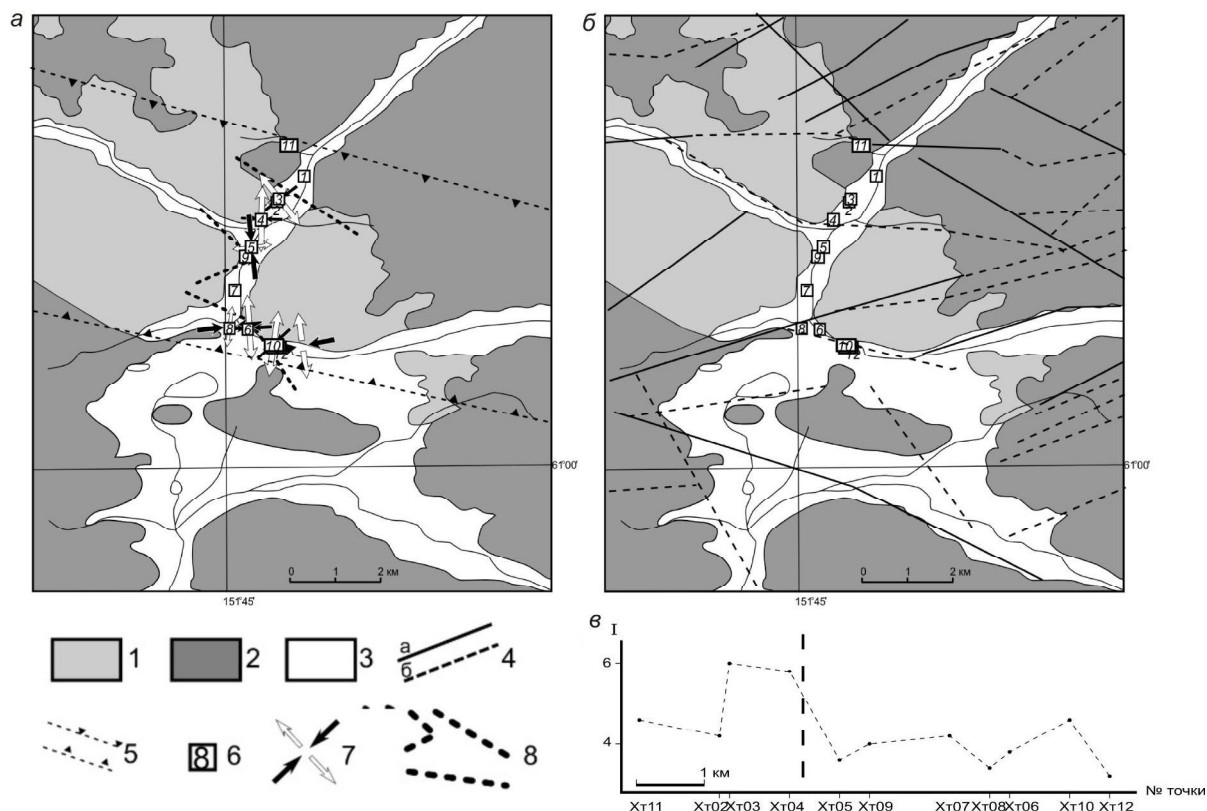


Рис. 2. Восстановленные направления осей сжатия и растяжения (а), схема разломно-блокового строения территории (б) и вариации значений относительной интенсивности поля напряжений вкрест простирания Хетинского разлома (в): 1 – структуры Яно-Колымской складчатой системы (J_{1-2}); 2 – эффузивы среднего и кислого состава Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (K_2); 3 – четвертичные отложения; 4 – тектонические трещины-линеаменты: а – уверенно дешифрованные, б – неясно дешифрованные; 5 – зона Хетинского активного разлома; 6 – пункты наблюдений тектонической трещиноватости; 7 – реконструированные направления осей растяжения и сжатия; 8 – предполагаемые границы областей с подобной ориентировкой тройственных парагенезисов. На рис. 2, в пунктирной линией показано положение плоскости разлома

Fig. 2. Reconstructed compression and extension axes (а), schematized fault-block structure of the study area (б) and varying relative stress field intensity across the Khetinsky Fault strike (в): 1 – the Yana-Kolymian Folded System (J_{1-2}); 2 – intermediate and felsic effusive rocks of the Okhotian-Chukotian Volcanic Belt (K_2); 3 – the Quaternary rocks; 4 – tectonic fractures and lineaments: а – reliable interpretation, б – a non-reliable interpretation; 5 – the Khetinsky Active Fault area; 6 – tectonic fracturing observation sites; 7 – reconstructed extension and compression axes; 8 – the assumed bounds of areas having the same triple paragenesis trends. The fault plane is indicated by a dotted line on Fig. 2, в

Результаты кинематического анализа тектонической трещиноватости в зоне Хетинского разлома
The kinematic study results for the Khetinsky Fault tectonic fracturing

Индекс точки	Приуроченность к структурному ярусу	Группа	Ориентация осей главных напряжений (азимут направления оси, угол падения), град.		
			σ_1	σ_2	σ_3
Хт02	Нижний	1	156, 02	064, 41	249, 48
Хт03	Нижний	1	180, 00	270, 63	090, 26
Хт04	Нижний	1	004, 10	268, 29	112, 58
Хт05	Нижний	1	245, 61	090, 26	354, 10
Хт06	Нижний	2	351, 20	239, 44	098, 38
Хт07	Нижний	1	Не установлено		
Хт08	Верхний	2	018, 46	155, 34	262, 22
Хт09	Нижний	4	Не установлено		
Хт10	Нижний	1	017, 07	108, 03	220, 81
Хт11	Верхний	3	Не установлено		
Хт12	Нижний	1	352, 16	231, 59	090, 24

Реконструкцию полей напряжений в точках проводили в соответствии с методическими разработками П. Н. Николаева и М. В. Гзовского. По методу П. Н. Николаева (1992) выявлялись 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 авторами (Семинский, 2005), на диаграммах матриц трещиноватости каждой точки выделили тройственные парагенезисы, которые по степени подобия разделили на четыре группы. Результаты интерпретации матриц трещиноватости представлены в таблице и на рис. 2,а.

Основываясь на цифровой модели рельефа ASTER GDEM (<http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/index.jsp>) и карте склонов, построенной по этой модели, а также на данных спутниковых снимков, полученных с wms-сервера <http://onearth.jpl.nasa.gov>, построили карту разломно-блокового строения территории (см. рис. 2,б). Для ее построения были выделены все линейные элементы, наблюдаемые в рельефе (как собственно в рельефе, так и в углах склона) или на снимках. После этого данные дешифрирования совместили и на результирующую карту вынесли разломы, уверенно дешифрированные или неясно дешифрированные. К уверенно дешифрированным разломам относились только разломы, прослеживаемые на всех трех картах; к неясно дешифрированным – прослеживаемые только на двух или одной карте, но лежащие на продолжении уверенно дешифрированного разлома.

Основанием для построения такой карты послужило предположение о том, что в зависимости от степени активности разлома он может быть

по-разному проявлен в рельефе, и, как следствие, такой разлом может быть виден только на космических снимках или на картах склонов рельефа. Разлом, активизировавшийся в новейшее время, часто уверенно выделяется как на картах рельефа, так и на космических снимках.

Построенная в результате карта разломно-блокового строения имеет топооснову масштаба 1:100 000.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате анализа тектонической трещиноватости в обнажениях горных пород в зоне динамического влияния Хетинского активного разлома, а также дешифрирования аэрофотоснимков, топографических карт и трехмерных моделей рельефа построена карта разломно-блокового строения (см. рис. 2,б) территории и полей напряжений (см. рис. 2,а).

На карте разломно-блокового строения проявляется преимущественное субширотное направление дешифрированных на территории разломов. На розе-диаграмме простирания разрывных нарушений видно, что, кроме субширотного максимума, проявляется и северо-западный максимум, сочленяющийся под углом около 30° с широтными разломами. Разломы северо-западного простирания отражают главенствующее в этом районе простирание разрывных структур 1-го порядка: Малтанского и Умарского глубинных разломов. Примечательно, что практически все разломы северо-западного простирания, выделенные на картах, относятся к категории уверенно дешифрируемых. В то же время линейные элементы субширотного простирания группируются в пояса, состоящие из кулисно расположенных уверенно дешифрированных разломов, между которыми выделяются серии разломов, проявленных только на карте склонов. Вероятно, такое строение широтных зон разломов отражает их неравномерную активизацию на новейшем этапе и, как следствие, различную выраженность в структуре рельефа.

В обнажениях нижнего структурного яруса хорошо выражены сопряженные системы трещиноватости (рис. 3), которые также проявляются на диаграммах плотности трещиноватости в виде максимумов, смещенных навстречу друг другу.

Кроме этого, в обнажениях присутствует подчиненная система трещиноватости. На рис. 4 показана система эшелонированных трещин, интерпретируемая как сколы Риделя.

Хт02

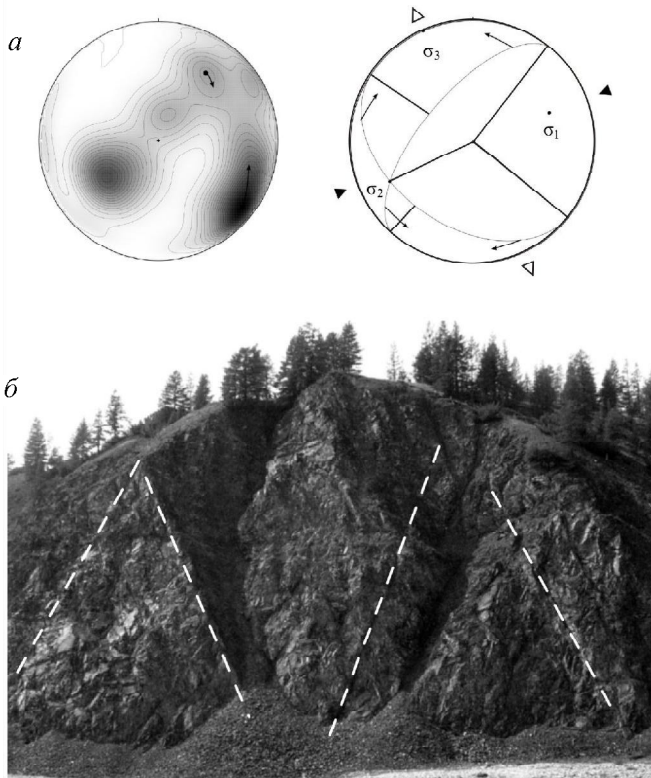


Рис. 3. Обнажение юрских алевролитов (нижний структурный ярус): а – сопряженные системы трещин, проявленные в обнажении пункта Хт02; б – диаграмма плотности трещиноватости и реконструированное поле напряжений пункта. Проекция верхней полусферы (стрелками на диаграммах показаны направления разбросов максимумов трещиноватости. σ_1 – ось сжатия, σ_2 – промежуточная ось, σ_3 – ось растяжения)

Fig. 3. Outcropping siltstones of the Jurassic (the lower structural layer): а – conjugated fracturing exposed at Хт02 site; б – the fracturing density diagram and reconstructed stress field for the site. The upper hemisphere projection (Scattering directions of fracturing maxima are shown by arrows. σ_1 is the compression axis, σ_2 is the intermediate axis, σ_3 is the extension axis)

Хт 03

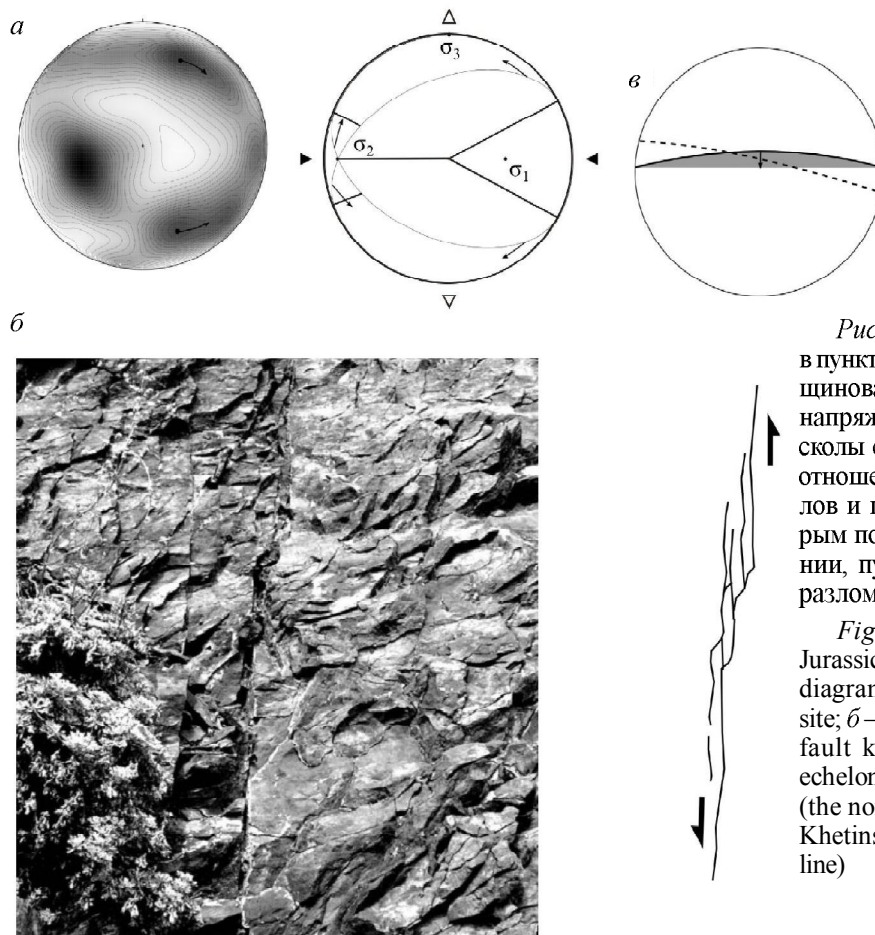


Рис. 4. Обнажение юрских алевролитов в пункте Хт03: а – диаграмма плотности трещиноватости и реконструированное поле напряжений пункта; б – кулисообразные сколы сбросовой кинематики; в – взаимоотношения залеганий кулисообразных сколов и плоскости Хетинского разлома (серым показана плоскость сброса в обнажении, пунктиром – плоскость Хетинского разлома)

Fig. 4. Outcropping siltstones of the Jurassic at Хт03 site: а – the fracturing density diagram and reconstructed stress field for the site; б – en echelon shearing indicating normal fault kinematics; в – relationships of en echelon shears and the Khetinsky Fault plane (the normal fault plane is shown in gray, the Khetinsky Fault plane is indicated by a dotted line)

ХТ04

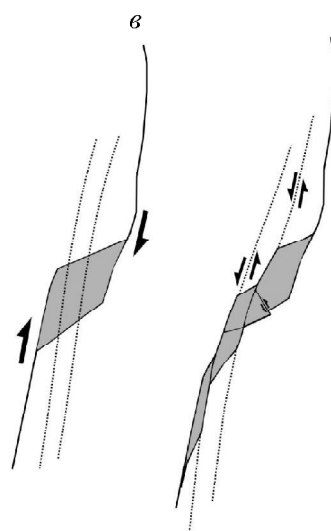
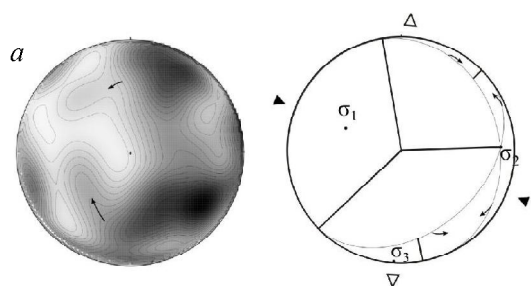


Рис. 5. Кварцевый прожилок в обнажении в пункте ХТ04: а – диаграмма плотности трещиноватости и реконструированное поле напряжений пункта; б – кварцевый прожилок; в – предположительный ход деформации

Fig. 5. Quartz veinlet at ХТ04 site: а – the fracturing density diagram and reconstructed stress field for the site; б – quartz veinlet; в – assumed deformation process

ХТ10

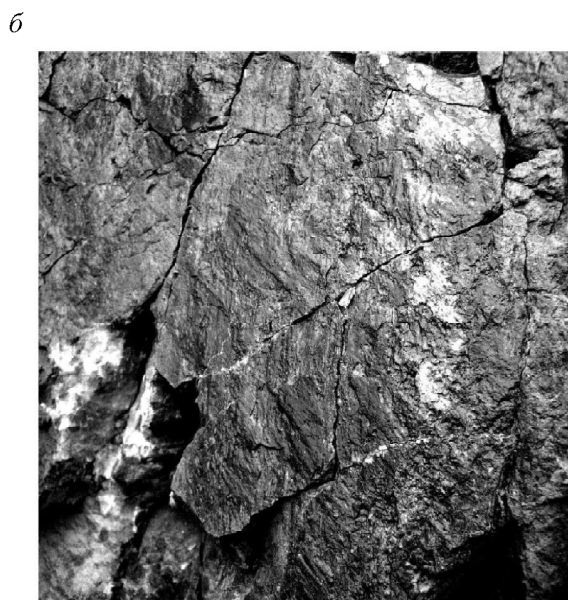
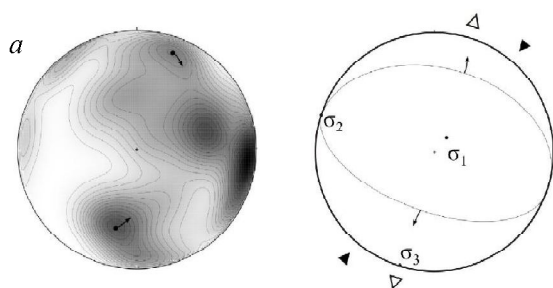


Рис. 6. Зеркало скольжения с бороздами направленными в разные стороны, пункт ХТ10: а – диаграмма плотности трещиноватости и реконструированное поле напряжений пункта; б – зеркало скольжения (белым показаны борозды скольжения двух направлений – на плоскости трещины и кальцитовом прожилке)

Fig. 6. Slickenside lineations with differently oriented fracturing at ХТ10 site: а – the fracturing density diagram and reconstructed stress field for the site; б – slickenside lineations (slickenside directions over a fracture surface and a calcite veinlet are shown in white)

Установленная кинематика этой системы отвечает сбросу. Примечательно, что простирание этой системы трещиноватости сходно с простиранием Хетинского разлома, отличаясь от него на 10–20° в различных обнажениях.

В одном из обнажений был обнаружен кварцевый прожилок (рис. 5). Характер взаимоотношений контактов прожилка со вмещающими породами и сколовыми трещинами позволяет представить сам прожилок как мостиковую структуру растяжения, смещенную образовавшимися впоследствии сколовыми трещинами сбросовой кинематики. Примечательно, что в результате изменения ориентировки оси напряжений направление движения по плоскости примерно одного и того же залегания изменилось на противоположное.

Свидетельством изменчивости поля напряжений в исследуемом районе являются также обнаруженные в некоторых обнажениях зеркала скольжения, запечатлевшие в себе движения по этим плоскостям. Направление движения устанавливалось по бороздам скольжения, причем местами на одной и той же плоскости скольжения присутствуют борозды в разных направлениях: борозды скольжения на поверхности кальцитового прожилка и борозды скольжения на поверхности самой трещины (рис. 6). Угол между бороздами скольжения на плоскости зеркала составляет 30–35°.

На стереограммах плотности трещиноватости по методу, описанному К. Ж. Семинским (2005), были выделены тройки взаимно перпендикулярных систем трещиноватости (структурных парагенезисов), объединенные по пространственной ориентировке в 4 группы. На рис. 2,а показано положение выделенных групп. Принадлежность точки к той или иной группе совпадает с позицией этой точки в структурном ярусе. Вместе с тем в центральной части (в точке Хт09) присутствует парагенезис, ориентация которого отличается от остальных парагенезисов нижнего структурного яруса. Обращает на себя внимание и то, что на диаграмме плотности трещиноватости этой точки сопряженные максимумы проявлены не были.

Для каждой тройки-системы трещин был рассчитан показатель относительной интенсивности поля напряжений I по методике, предложенной в работе (Семинский, 2003). Изменение показателя I вкрест простирания Хетинского разлома показано на рис. 2,в. Максимум интенсивности смещен на север относительно положения магистрального сместителя. В то же время на крыльях разлома наблюдаются небольшие увеличения значения показателя I .

Совокупность стресс-тензоров, полученных в окрестностях Хетинского разлома, позволяет оценить кинематику разлома как сбросовую с незначительной левосдвиговой компонентой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные данные показывают, что поле напряжений зоны Хетинского активного разлома, в котором происходило формирование его трещинной структуры, относится к сдвиговому типу. При этом ось растяжения ориентирована в субмеридиональном направлении. Следует также отметить, что в основной массе пунктов наблюдений угол наклона оси сжатия варьирует от 22 до 81°, что говорит о наличии сбросовой компоненты в общем поле напряжений. Так, в пункте Хт10 наблюдается обстановка чистого сброса. В целом, учитывая ориентировку плоскости разлома относительно осей главных нормальных напряжений, кинематику Хетинского разлома можно охарактеризовать как левый сбросо-сдвиг.

Установленные ориентировки осей главных нормальных напряжений соответствуют кинематике региональных разломов северо-западного простирания – Умарского и Малтанского и кинематике Иня-Ямского субширотного разлома, установленной по геолого-структурным данным. Растяжение территории в направлении север – юг также проявлено в широком развитии к югу от изученной территории кайнозойских впадин субширотного простирания. Таким образом, в поле напряжений на всей площади территории Приохотья не наблюдается значительных вариаций и развитие тектонических структур в кайнозойское время проходило в единой геодинамической обстановке.

Указанные проявления тектонической активности территории на неотектоническом этапе на изученной площади, а также выводы о поле напряжений, полученные в работе (Имаев, 2000), позволяют предположить, что существенную роль в формировании тектонических структур данной территории на кайнозойском этапе играли обстановки сбросо-сдвига с ориентацией оси растяжения в субмеридиональном направлении.

Вместе с тем на определенном этапе тектонического развития территории, предшествовавшего кайнозойскому, по-видимому, имели место обстановки сжатия в направлении север – юг. Это проявлено в изменении ориентации осей главных напряжений, а также в ориентации структурного парагенезиса во внутренней части разломной зоны.

ЛИТЕРАТУРА

Геологическая карта СССР масштаба 1 : 200 000. Лист Р-56-XXVI : объяснит. записка / под ред. Г. Н. Чертовских, В. Т. Шейкашова. – Магадан, 1979. – 92 с.

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

Государственная геологическая карта (нов. сер.) масштаба 1 : 1 000 000. О-56; Р-56, -57 / под ред. В. Г. Кольцова. – Росгеолком, 1992.

Имаев В. С., Имаева Л. П., Козьмин Б. М. Сейсмоструктура Якутии. – М. : ГЕОС, 2000. – 226 с.

Николаев П. Н. Методика тектонодинамического анализа. – М. : Недра, 1992. – 295 с.

Семинский К. Ж. Внутренняя структура континентальных разломных зон. Тектонофизический аспект. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2003. – 244 с.

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

Смирнов В. Н. Северо-Восток Евразии // Новейшая тектоника, геодинамика и сейсмичность Северной Евразии / под ред. А. Ф. Грачева. – М. : ГЕОС, 2002. – С. 120–135.

Смирнов В. Н., Левашова С. В. Особенности морфоструктуры и неотектоники Приохотья по данным дешифрирования космических снимков // Четвертичный период Северо-Востока Азии : сб. науч. тр. – Магадан : СВКНИИ ДВО АН СССР, 1987. – С. 96–109.

Поступила в редакцию 12.08.2010 г.

THE STRESS FIELD AND INNER STRUCTURES OF THE KHETINSKY ACTIVE FAULT AREA

V. N. Smirnov, M. N. Kondratyev

This paper contains new data about the structural pattern of the Khetinsky Active Fault located in the Kheta R. valley between Malan and Umar faults, also on its inner structures and stress field. Fractured structures of the Khetinsky Active Fault are shown to have been forming within the stress field of strike-slip fault type. The extension axis has a submeridional strike. By its kinematics, the Khetinsky Fault is a normal left-lateral fault structure. A non-uniform character of the Khetinsky Fault inner structures manifests itself in differently oriented principal stress axes and in its structural paragenesis trends.

Key words: active fault, stress field, fault inner structures, tectonic fracturing, Khetinsky Active Fault.