

ЛИТЕРАТУРА

1. Борняков С.А. Тектонофизический анализ процесса формирования трансформной зоны упруго-вязкой модели. В кн.: Проблемы разломной тектоники. Новосибирск: Наука, Сиб. отд. 1981. С. 26-44.
2. Гольдин С.В. Дилатансия, переупаковка и землетрясения // Физика Земли. 2004. № 10. С. 37-54.
3. Ениколопан Н.С., Мхитрян А.А., Карагезян А.С., Хзарджян А.А. Критические явления при взрыве твердых веществ при высоком давлении // ДАН СССР. 1987. Т. 29, № 3. С. 887-890.
4. Коржинский Д.С. Теоретические основы анализа парагенезисов минералов. М.: 1973. 288 с.
5. Осокина Д.Н. Взаимосвязь смещений по разрывам с тектоническими полями напряжений и некоторые вопросы разрыва горного массива // Поля напряжений и деформаций в земной коре. М.: Наука. 1987. С. 120-135.
6. Осокина Д.Н., Фридман В.Н. Исследование закономерностей строения поля напряжений в окрестностях сдвигового разрыва с трением между берегами // Поля напряжений и деформаций в земной коре. М.: Наука. 1987. С. 74-119.
7. Паталаха Е.И., Лукиенко А.И., Дербенев В.А. Тектонофации мезозоны. Изд. Наука Каз. ССР. Алма-Ата. 1987. 181 с.
8. Поспелов Г.С. Диспергиты и автодиспергация как важная проблема физики лито-петро- тектогенеза. Геология и геофизика. 1972. № 12. С. 53-73.
9. Ребецкий Ю.Л. От анализа тектонических напряжений к новой модели очага землетрясения // «Сейсмические исследования земной коры». Сборник трудов Международной научной конференции. г. Новосибирск. Академгородок. 23-25 ноября 2004. Новосибирск: Изд. СО РАН. 2004. С. 250-256.
10. Ребецкий Ю.Л. Дилатансия, поровое давление флюида и новые данные о прочности горных массивов в естественном залегании. Сб. Флюид и Геодинамика. М.: Наука. 2006. С. 120-146.
11. Ребецкий Ю.Л. Тектонические напряжения и прочность горных массивов. М.: Изд. Наука. 2007. 406 с.
12. Ребецкий Ю.Л., Маринин А.В. Поле тектонических напряжений до Суматра-Андаманского землетрясения 26.12.2004. Модель метастабильного состояния горных пород // Геология геофизика. 2006. Т. 47. № 11. С. 1192-1206.
13. Семинский К. Ж. Внутренняя структура континентальных разломных зон. Тектонофизический аспект. Новосибирск: Изд. СО РАН, фил. ГЕОС. 2003. 241 с.
14. Стоянов С.С. Механизм деформирования разрывных зон. М.: Недра, 1979. 144 с.
15. Чиков Б.М., Каргаполов С.А., Ушаков Г.Д. Экспериментальное стресс-преобразование пироксенита // Геология и геофизика. 1989. № 6. С. 75-79.
16. Шерман С.И., Борняков С.А., Буддо В.Ю. Области динамического влияния разломов. Новосибирск: Наука, Сиб. Отд. 1983. 112 с.
17. Byerlee J.D. Friction of Rocks // Pure and applied geophysics. 1978. Vol. 116. P. 615-626.
18. Chinnery M.A. The deformation of the ground around surface fault // Bul. Seism. Soc. Am. 1961. Vol. 51, N 3. P. 355-372.
19. Terzaghi K. Theoretical soil mechanics. Wiley. New York. 1943. 506 p.

СОВРЕМЕННОЕ ПОЛЕ НАПРЯЖЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ

Ребецкий Ю.Л.¹, Сычева Н.А.²¹Институт физики Земли РАН, г. Москва, reb@ifz.ru²Научная станция РАН «Бишкек», г. Бишкек, Киргизия, nelya@gdirc.ru

В самое последнее время для ряда сейсмоактивных регионов получены данные о параметрах напряженного состояния земной коры с использованием метода катакластического анализа (МКА) механизмов очагов землетрясений [1]. Было установлено различие не только характера ориентации осей главных напряжений для участков близки границ литосферных плит и для внутриплитовых областей, но и различие в уровне действующих там напряжений. Однако этот результат мог рассматриваться как исключительный, поскольку реконструкция для внутриплитовой области была выполнена только для одного Алтае-Саянского внутриплитового орогена [2]. Поэтому было выжно получить подтверждение указанной выше закономерности и для других участков повышенной внутриплитовой сейсмичности. С этой целью нами была выполнена реконструкция напряженного состояния земной коры центрального Тянь-Шаня на основе сейсмологических данных о механизмах очагов землетрясений, полученных для сети KNET в период времени с 02.02.1999 по 30.12.2007 [3]. Каталог сети KNET содержал 805 событий с магнитудами от 1.1 до 5.4. Реконструкция напряжений выполнялась по сетке $0.05^{\circ} \times 0.05^{\circ}$ в латеральном направлении и 5 км по глубине. Получены данные о параметрах напряжений для 283, 384, 328 и 176 доменов для глубин 5, 10, 15 и 20 км соответственно.

По результатам реконструкции установлено, что погружение осей максимального сжатия направлено в основном на север – северо-запад (рис. 1, а). При этом существуют области, где эти оси имеют субвертикальное направление, что отвечает режиму горизонтального растяжения (рис. 1, б). Большая часть региона имеет режим горизонтального сдвига при достаточно широком представителе режима горизонтального сжатия. Касательные напряжения на горизонтальных площадках, характеризующие направление воздействия со стороны мантии на земную кору, имеют достаточно мозаичное распределение в отличие от того, что наблюдается для зон субдукции [2]. Около 90% действующих касательных напряжений взаимно компенсированы.

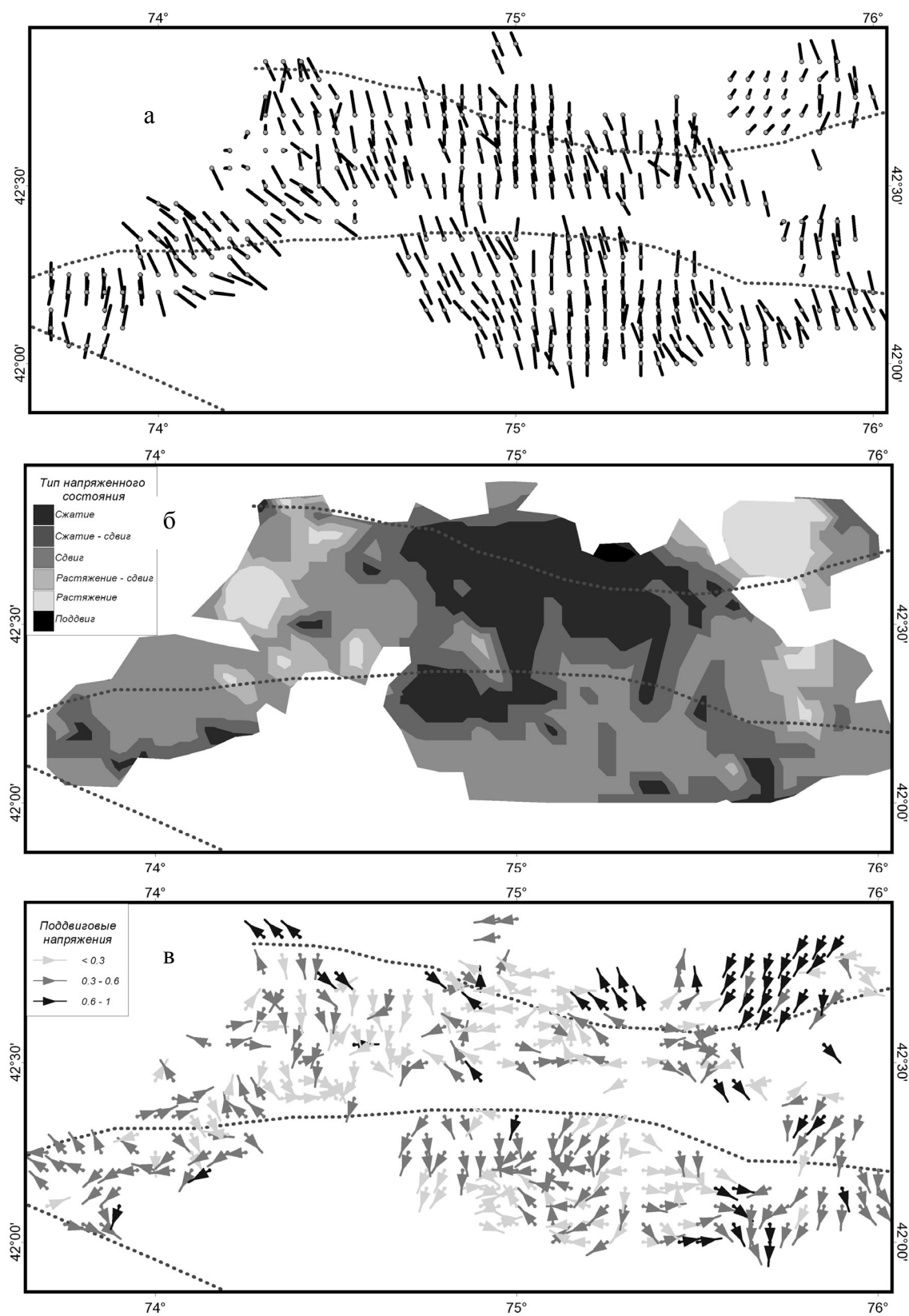


Рис. 1. Проекция осей максимального сжатия (а), построенных в направлении их погружения из центра доменов, для которых выполнена реконструкция, тип напряженного состояния (б) и ориентация и интенсивность подсдвиговых касательных напряжений на горизонтальных площадках с нормалью, направленной к центру Земли (в) для слоя земной коры на глубине 10 км

Подобный характер распределения касательных напряжений определяет небольшое влияние мантии на кору исследуемого региона, по крайней мере, за счет латерального ее смещения. Некомпенсированные касательные напряжения, действующие в направлении на юг, составляют около 8%, а в направлении на запад – около 2% от общей их интенсивности, что можно комментировать как реактивную реакцию со стороны мантии на медленное смещение коры в направлении на север – северо-восток, проявляющуюся на фоне более интенсивного, но мозаичного по направлению воздействия со стороны мантии. Такой характер фонового воздействия говорит о независимости этих касательных напряжений от боковых источников.

Для определения абсолютных значений напряжений нами использовались данные о сброшенных напряжениях ($\Delta\tau_n = 22$ МПа) одного из наиболее сильных землетрясений $M_w = 5.1$, произошедшего 06.06.2007 на глубине 12 км. В рамках алгоритма МКА была рассчитана величина эффективного внутреннего сцепления массивов горных пород: $\tau_f = 17$ МПа [2]. Это значение почти вдвое превосходит значение внутреннего сцепления, полученного для земной коры Алтае-Саян ($\tau_f = 6$ МПа) на основании данных о сброшенных напряжениях в очаге Чуйского землетрясения 2003 г ($M_w = 7.3$) [2]. Подобное различие связано с разным масштабом осреднения параметров напряженного состояния. Для Алтая и Саян этот масштаб, определяемые магнитудным диапазоном землетрясений, используемых для реконструкции, составлял 30-40 км, а для центрального Тянь-Шаня около 5-10 км.

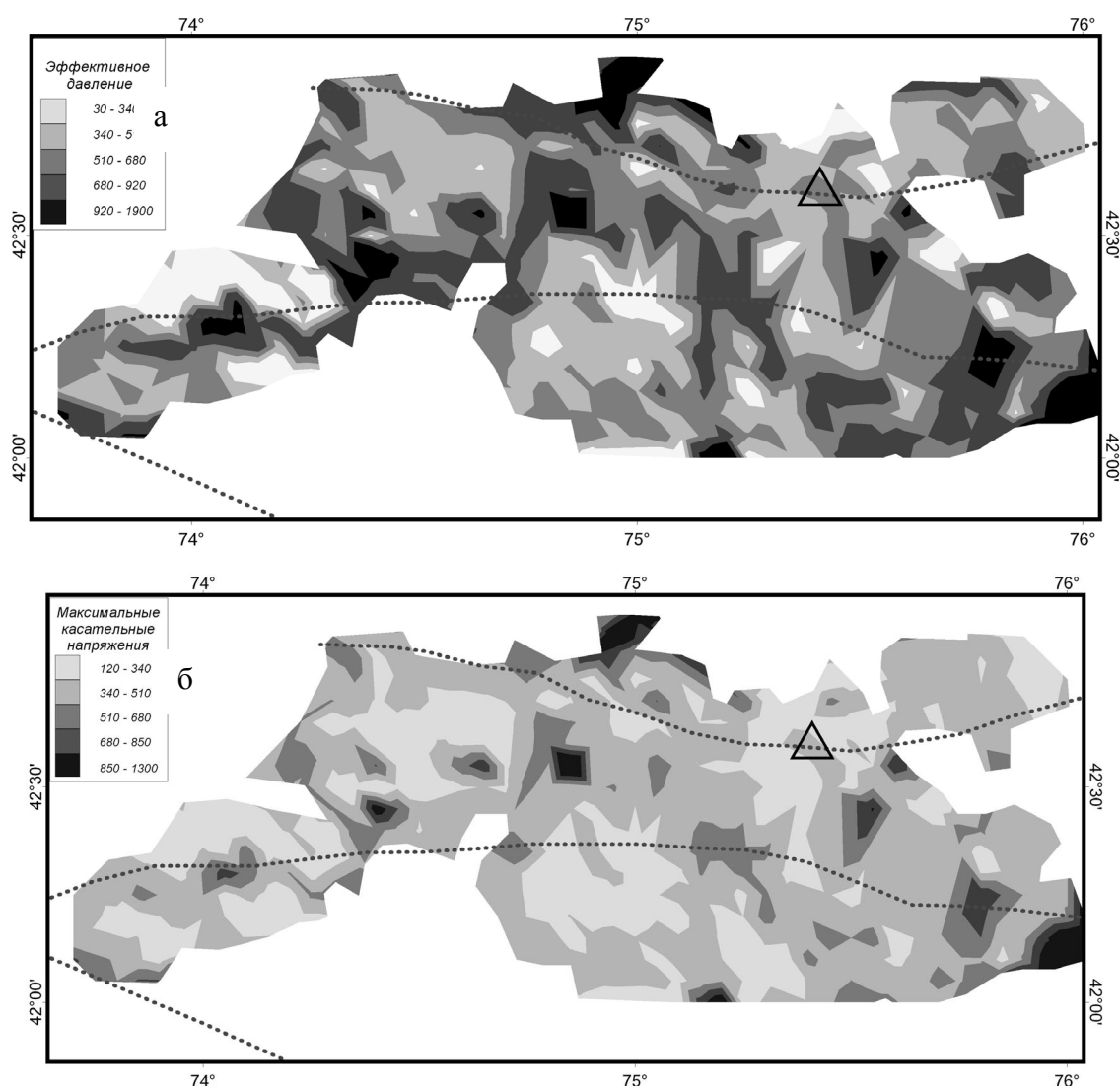


Рис. 2. Касательные напряжения (а) и эффективное всестороннее давление (б) в барах для слоя земной коры на глубине 10 км. Треугольник – эпицентр землетрясения, произошедшего 06.06.2007

На рис. 2 представлено распределение максимальных касательных напряжений τ и эффективного давления p^* (давление в горных породах минус флюидное давление в трещинно-поровом пространстве). Эти две характери-

стики напряженного состояния взаимосвязаны (связь вытекает из закона Кулона-Мора). В доменах с повышенным значением τ также повышенные значения p^* . Значения максимальных касательных напряжений находятся в диапазоне от 120 бар (12 МПа) до 1300 бар (130 МПа) при среднем значении 400 бар. Этот уровень напряжений в 4-6 раз выше уровня напряжений, полученного для субдукционных областей и границ литосферных плит [1, 4]. Отметим, что землетрясение, на основе которого определено значение эффективного сцепления, приходится на домены с невысоким уровнем значений τ и p^* , что отвечает концепции, развиваемой в работе [5, 6], определяющей области среднего уровня напряжений как наиболее опасные для хрупкого разрушения крупного масштаба.

Анализ всестороннего давления в горных породах, который в соответствии с алгоритмом МКА [1] может быть выполнен при использовании данных о рельефе дневной поверхности, показал, что отношение p/p_{lt} изменяется в диапазоне 0.778-1.206 при среднем значении 1.02 (рис. 3). В северной части Центрального Тянь-Шаня выделяется обширная область наибольших значений этого отношения, а в восточном и западном сегменте существуют две области пониженных значений. На рис. 4 показан характер взаимосвязи отношения p/p_{lt} и уровня максимальных касательных напряжений. Видна симметрия в разбросе значений p/p_{lt} , что определяет взаимноуравновешенность областей положительного и отрицательного значений всестороннего надлитостатического давления.

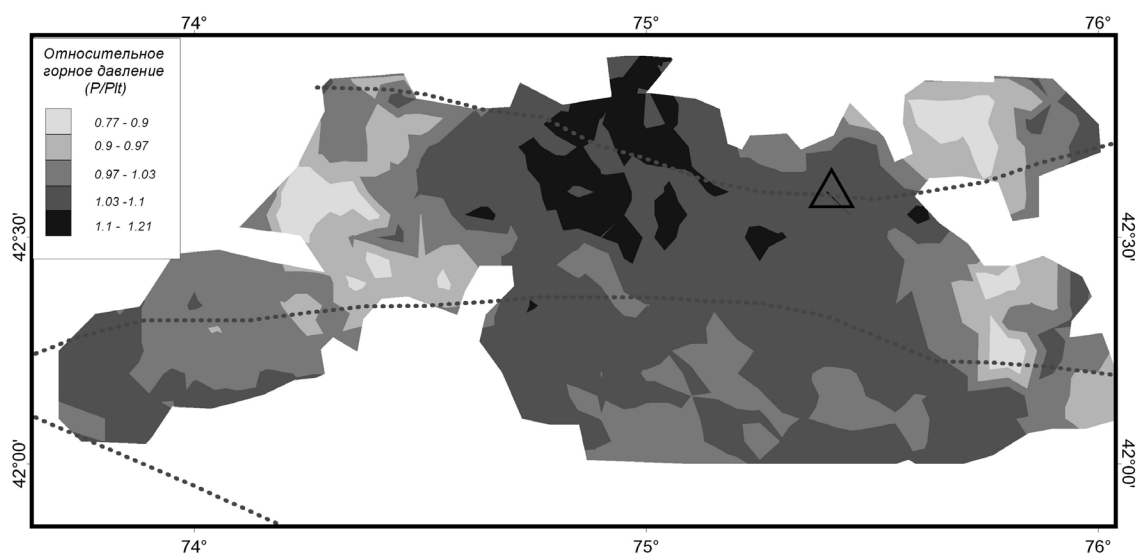


Рис. 3. Относительное всестороннее давления p/p_{lt} для слоя земной коры на глубине 10 км

Малое отклонение среднего значения от единицы показывает, что основной вклад в напряженное состояние региона оказывают внутрикоровые неоднородности. Влияние бокового давления на напряженное состояние можно оценить в 5%. Вместе с воздействием касательных напряжений на подошву коры общее влияние внешних факторов оценивается в 10-15%. Работа поддержана РФФИ 06-05-64410, 07-05-64998 и программой ОНЗ РАН №6.

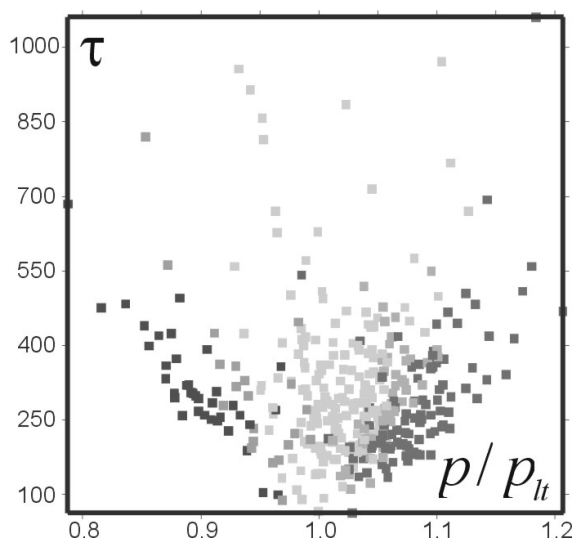


Рис. 4. Взаимосвязь отношения p/p_{lt} с интенсивностью максимальных касательных напряжений (в барах) для слоя земной коры на глубине 10 км.

Оттенки серого цвета определяют разный тип напряженного состояния в доменах, для которых получены данные о напряжениях. Большим значениям p/p_{lt} отвечают в основном области горизонтального сжатия, а меньшим – области горизонтального растяжения. Для областей, где отношение p/p_{lt} близко к единице тип напряженного состояния горизонтальный сдвиг

ЛИТЕРАТУРА

1. Ребецкий Ю.Л. Тектонические напряжения и прочность горных массивов. М.: Изд. Наука. 2007. 406 с.
2. Ребецкий Ю.Л., Кучай О.А., Маринин А.В. Напряженное состояние земной коры Алтая и Саян до Чуйского землетрясения 2003 г. // Проблемы современной сейсмологии и геодинамики Центральной Азии. Материалы Всероссийского совещания с международным участием. 18-24 сентября 2007 г. Иркутск ИЗК СО РАН. Иркутск. Изд. ИЗК СО РАН. 2007. С. 106-111.
3. Сычева Н.А., Аладьев А.В., Мухамадиева В.А., Юнга С.Л. Изучение фокальных механизмов очагов по данным сети KNET // Геодинамика и геоэкологические проблемы высокогорных регионов. М.: 2003. С. 241-253.
4. Hardebeck J. L., Hauksson E. Crustal stress field in southern California and its implications for fault mechanics // J. Geophys. Res. 2001. V. 106, N B10. P. 21859–21882.
5. Ребецкий Ю.Л. Напряженное состояние, благоприятное для крупномасштабного хрупкого разрушения горных пород // Доклады РАН. 2007. Т 416, № 5. С. 106-109.
6. Ребецкий Ю.Л. Тектонические напряжения и области триггерного механизма возникновения землетрясений // Физическая мезомеханика. 2007. Т 1. № 10. С. 25-37.

ГЕОДИНАМИКА, СЕЙСМОТЕКТОНИКА И СОВРЕМЕННЫЙ ВУЛКАНИЗМ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА

Рогожин Е.А., Собисевич А.Л., Нечаев Ю.В., Собисевич Л.Е., Овсяченко А.Н.

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, alex@ifz.ru

Центральный сектор альпийской горно-складчатой системы Большого Кавказа характеризуется сложным сочетанием активных разломов разных структурных направлений. В районе спящих, но не потухших вулканов Эльбрус и Казбек пересекаются разрывные нарушения кавказской ЗСЗ и транскавказской СЮ ориентировок.

Геодинамическая позиция вулкана Эльбрус в пределах Транскавказского поднятия рассмотрена в связи с развитием вулканических процессов в данном регионе и возможностью возобновления вулканической деятельности. Для всестороннего изучения геолого-геофизических и тепловых процессов в районе вулканической постройки необходимо иметь достоверную информацию об основных параметрах магматического очага и магматической камеры.

В докладе приведены результаты обработки космических снимков по специализированной технологии, позволяющей переходить от структуры поверхностных линейментов к анализу поля тектонической раздробленности литосферы и получать независимую информацию об особенностях глубинного строения исследуемой территории. Построена трёхмерная модель тектонической раздробленности литосферы в районе вулкана Эльбрус и выделено две области аномально пониженных значений поля тектонической раздробленности, отождествляемые с глубинным магматическим очагом и близповерхностной магматической камерой.

Выполнен сравнительный анализ полученных результатов с данными площадной микрогравитационной съёмки, профильных исследований методом магнитотеллурического зондирования, а также с данными о локальных температурных аномалиях в районе вулкана Эльбрус.

Центральный сектор Большого Кавказа крайне сейсмоактивен. В 1991 г. Здесь произошло сильнейшее Рачинское землетрясение с $M=7.2$. В зонах разломов обоих структурных направлений обнаружены палеосейсмодислокации сильнейших землетрясений голоценового возраста. Установлен современный сейсмический режим региона. Сейсмические и вулканические активизации не совпадают по времени проявления.

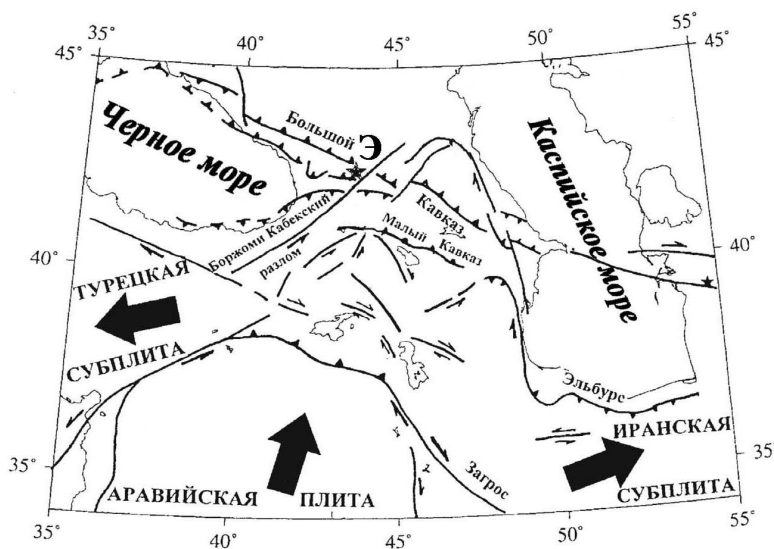


Рис. 1. Геодинамическая позиция вулкана Эльбрус в системе Кавказской части Альпийско-Гималайского складчатого пояса