

УДК 539.3;551.24;681.3 (575.2) (04)

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
В ИЗУЧЕНИИ ФОКАЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ ОЧАГОВ
ПО ДАННЫМ СЕТИ KNET**

Н.А. Сычева – ст. преподаватель

A catalog of focal mechanisms, which includes more than 600 solutions, was created using KNET network data for a period of 1994–2002. A method of seismotectonic deformation was used for analysis of the catalog. The maps of pressure orientations and main axes of tension were built. Statistical analysis of a number of mechanisms comprised major massifs of input data, processing of which takes enormous computer time. The proposed information technology allows reducing computer time.

Представления о природе действующих в недрах Земли сил получили развитие во многих разделах наук о Земле. Не будет преувеличением отметить, что данные по механизму очагов землетрясений поставляют едва ли не основную информацию о напряженном состоянии земных недр. Получение новых данных о механизмах землетрясений обеспечивает возможность дальнейшего более подробного исследования ключевых проблем геодинамики, определяющих сейсмическую опасность территории Центрального Тянь-Шаня. Эти данные представляют несомненный интерес для изучения напряженно-деформированного состояния земной коры. Необходимость исследований в этом направлении обусловлена рядом практических задач по оценке сейсмической опасности мест проектируемого строительства гидротехнических, промышленных и гражданских сооружений.

Сейсмотектонические деформации (СТД) – термин, введенный в середине 70-х годов, получил распространение в качестве обозначения способа описания деформации того или иного сейсмического объема как результат совокупности подвижек в очагах землетрясений. Каждая из подвижек рассматривается как де-

формация на микроуровне, а результат их сложения (сейсмотектоническая деформация) характеризует макродеформацию изучаемого объема. Определенные варианты тектонофизической интерпретации механизмов очагов позволяют подойти к проблеме определения направленности современного сейсмотектонического деформационного процесса. Основным приемом исследования являются здесь статистические операции над тензорами, описывающими механизм очага землетрясения [1].

Целью данной работы является обработка и анализ сейсмологических данных для изучения движений поверхности и деформаций земной коры на территории Центрального Тянь-Шаня, охваченной наблюдениями сейсмологической сети KNET, на основе анализа современных сейсмологических материалов по механизмам очагов землетрясений. Проведение настоящей работы ассоциировалось с осуществлением следующих этапов: формирование необходимых потоков входных данных и выходной информации; верификация выходных данных; оптимизация выходной информации; классификация фокальных механизмов; построений осей сжатия и растяжения фокальных механизмов с привязкой их к топографиче-

ской основе. Каждый из этих этапов связан с обработкой больших массивов данных, что повлекло за собой решение еще одной задачи – автоматизация расчета фокальных механизмов. Эта задача была успешно решена созданием собственных программ и управляющих скриптов, позволяющих осуществлять обработку в пакетном режиме в операционной системе UNIX. В результате выполненного комплекса исследований составлен сводный каталог определений фокальных механизмов исследуемой территории, проведены оценочные расчеты СТД. Проведенная унификация собранной информации позволяет рассчитывать на ее дальнейшее использование при изучении движений поверхности и деформации коры на территории Центрального Тянь-Шаня.

Кыргызская сейсмологическая сеть KNET. В конце 1991г. на территории Бишкекского геодинимического полигона была установлена сеть из десяти автоматических телеметрических широкополосных станций STS-2 (рис. 1).

С 1 июля 1998 г. сейсмологическая сеть KNET начала работать в режиме реального времени. Данные с KNET через радиоканал

одновременно поступают на Научную станцию ОИВТРАН и далее в сейсмологический центр IRIS. Передача сейсмологических данных через океан стала возможной благодаря организации канала Internet при поддержке фонда CRDF.

Блок-схема сбора и передачи данных от станций сети до конечного пользователя представлена на рис. 2. Цифрами обозначены пункты установки сейсмографов, данные с которых по радиоканалу поступают на ретрансляторы, а далее на концентратор (DC), отправляющий полученные пакеты на центральную машину сбора данных, установленную на станции Чумыш (СНМ). Далее эти пакеты записываются в кольцевой буфер. Его закольцованность обеспечивает длительное хранение информации. Размерность кольцевого буфера зависит от ресурсов компьютера. На компьютерах KIS, KNET и IRIS выполняется процесс реального времени, который запускает ряд программ по автоматической передаче и обработке данных и созданию базы данных в формате CSS3.0. Эти программы входят в состав лицензионного пакета ANTELOPE.

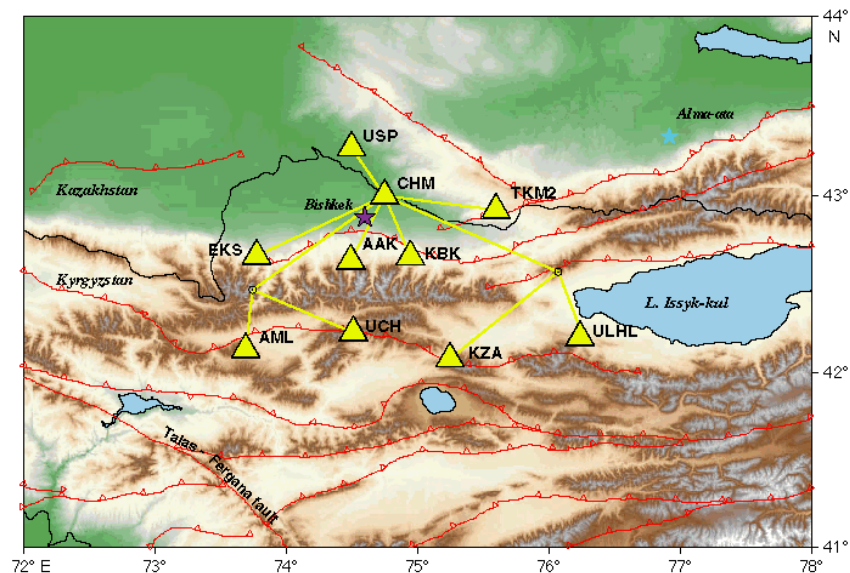


Рис. 1. Кыргызская сейсмологическая сеть KNET: треугольники – местоположение станций, кружки – ретрансляторы – промежуточные точки передачи данных, СНМ – центр сбора данных со всех станций.

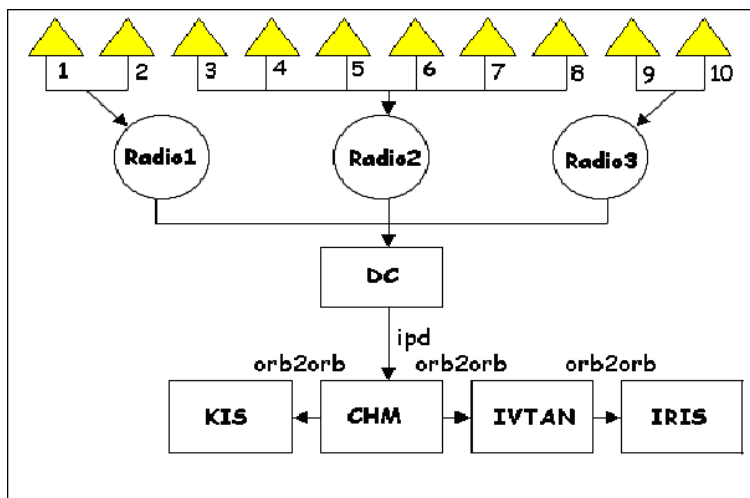


Рис. 2. Блок-схема организации сбора и передачи данных сети KNET: orb2orb – процесс, который обеспечивает передачу данных с одного кольцевого буфера в другой по IP адресу.

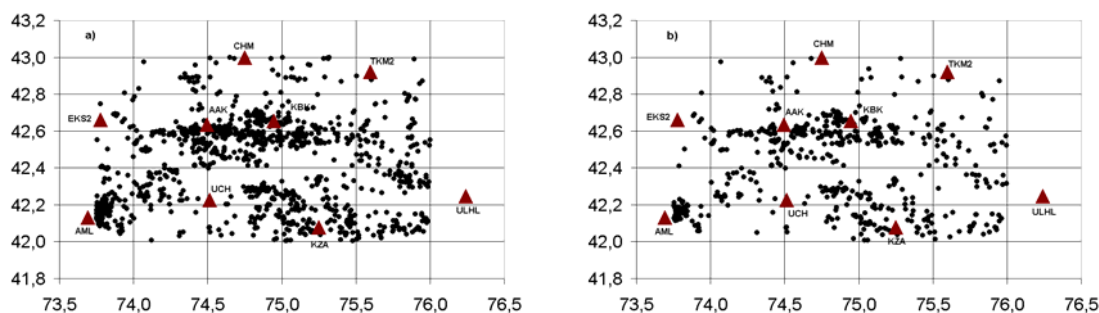


Рис. 3. Сейсмические события внутри сети KNET: а – исследуемые события, б – события, для которых были получены решения фокальных механизмов.

Методика расчета фокальных механизмов и построения карт СТД. Расчет СТД включает следующие этапы: подготовка входных данных; расчет фокальных механизмов; построение графических решений; расчет ориентации осей сжатия и растяжения; создание каталога фокальных механизмов; вычисление узловых точек для расчета СТД; расчет среднего механизма по каждой узловой точке; расчет направленности вида СТД; картирование сейсмотектонической деформации.

Подготовка данных и расчет фокальных механизмов. Как было указано выше, для исследования использованы данные, полученные сейсмологической сетью KNET. Для анализа взят каталог сейсмических событий за 1994–2002 гг., полученный по данным этой се-

ти. Исследуемый каталог содержит параметры гипоцентра 3930 сейсмических событий, из которых 1229 попадает на исследуемую территорию (внутри сети KNET). Приложение EXCEL позволило построить расположение в пространстве станций сети KNET, 1229 исследуемых событий в целом и расположение 606 событий, для которых были получены решения фокальных механизмов (рис. 3).

Для расчета фокальных механизмов была использована программа определения фокального механизма землетрясения FPFIT Паула Ресенберга и Давида Опенхеймера [3]. В качестве входных данных эта программа использует выходной ARC-файл (файл архива фаз) программы HYPOCENTER и файл управления, позволяющий настраивать значения парамет-

ров расчета, например, количество зарегистрированных фаз. Поскольку сеть включает 10 станций, то для исследования желательно выбрать события, которые были зарегистрированы не менее чем семью станциями (программа допускает не менее пяти).

В результате работы программы FPFIT были получены решения для 606 сейсмических событий из 1229 анализируемых, что составляет 50% всех событий. Ограничение на количество зарегистрированных фаз не позволило получить решения для оставшихся событий.

Построение графических решений. Плоскость разрыва в очаге, которая характеризуется азимутом простирания, углом падения и углом скольжения, вычисляются программой FPFIT (рис. 4).

В наиболее традиционном представлении фокальный механизм и модель сейсмического

разрыва определяется посредством задания нодальных плоскостей наблюдаемой полярности Р-волн, излучаемых от гипоцентра. При этом гипоцентр окружается гипотетической сферой произвольного радиуса. Две нодальные линии делят диаграмму механизма на четыре сектора чередующегося сжатия и расширения Р-волны. При этом сектор сжатия на диаграмме обычно показывается как затененная область. Получить такое графическое представление решения фокального механизма позволяет программа FPLOT [4]. Некоторые из полученных графических решений представлены на рис. 5, что позволяет визуально определить тип подвижки по разлому. Создание каталога фокальных механизмов предполагает определение ориентации главных осей сжатия (Р) и растяжения (Т).

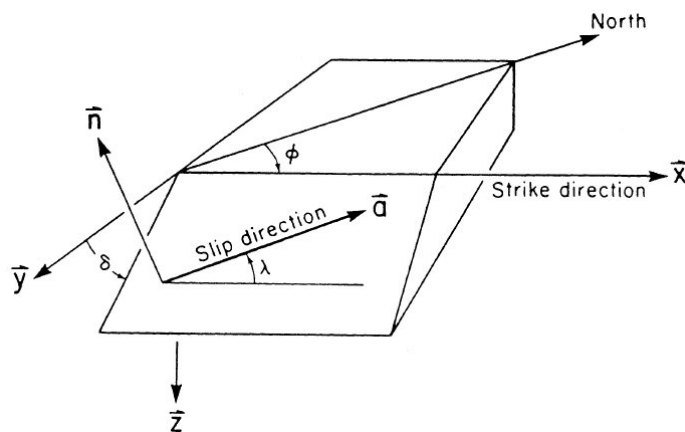


Рис. 4. Углы плоскости разрыва: ϕ – угол по простиранию, δ – угол по падению, λ – угол скольжения.

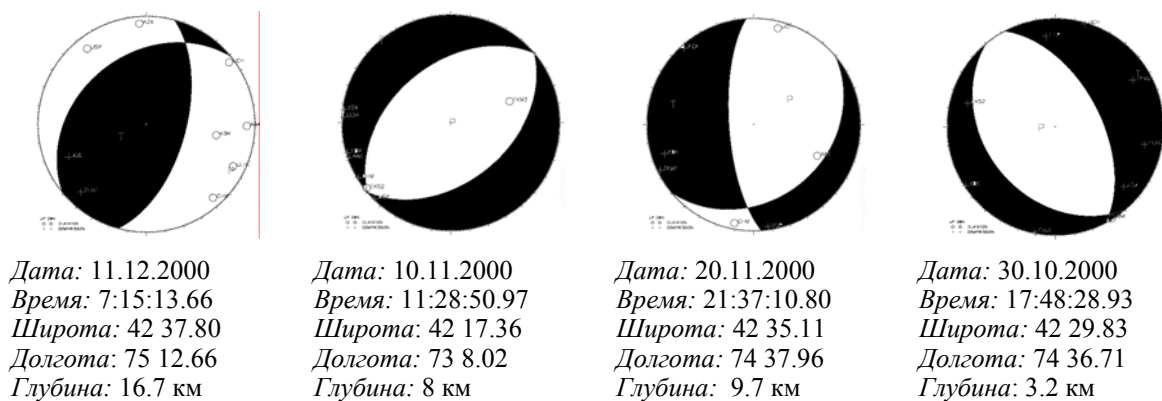


Рис. 5. Примеры графических решений фокальных механизмов.

Создание каталога фокальных механизмов. Программа MAKE-KATALOG [4] позволяет пересчитать углы, характеризующие плоскость разрыва, в параметры ориентации главных осей. В результате был составлен каталог фокальных механизмов, который в дополнение к параметрам гипоцентра содержит еще и параметры главных осей сжатия и растяжения по каждому исследуемому событию.

Как было отмечено выше, для расчета фокальных механизмов был использован пакетный режим обработки, который позволил автоматизировать процесс получения решений. Управление пакетным режимом обработки осуществляется скриптами, реализованными на языке CSH (операционной системы UNIX). Скрипты позволяют не только выполнять команды операционной системы, но вызывать другие программы, которые готовят априорные данные для программ FPFIT и FPLOT и вызывают выполнение этих программ.

Результатом работы скриптов является получение каталога фокальных механизмов, который включает не только параметры гипоцентра, но и параметры ориентации главных осей Р (сжатия) и Т (растяжения), которые характеризуются углом выхода и азимутом.

Полученные нами решения фокальных механизмов позволили построить карты проекций осей сжатия и растяжения на горизонтальную плоскость (рис. 6).

Из рис. 6 видно, что основная масса осей сжатия (Р) имеет северо-западную направленность, а оси растяжения (Т) – северо-восточную ориентацию, что согласуется с ранее по-

лученными результатами [5]. Построение таких карт осуществлялось авторской программой SEIS, которая не только строит сейсмическое событие на карте, но и отображает проекцию осей сжатия и растяжения.

Разбиение территории на узловые точки. При проведении расчетов направленности сейсмотектонических деформаций посредством осреднения исходных данных геоструктурная область подразделяется на элементарные подобласти с размером порядка 1,3 дугового градуса, центры которых размещаются в узлах специально выбранной сетки (возможен вариант и равномерной сетки). В пределах таких ячеек осреднение содержит в большинстве случаев достаточно представительное число определений механизма землетрясений.

Расчет STD. Расчет сейсмотектонической деформации реализуется в пределах каждой ячейки через определение средневзвешенной матрицы как суммы матриц индивидуальных механизмов. При этом расчет среднего механизма связан с определением меры упорядоченности совокупности разрывных деформаций и определением весового коэффициента индивидуальной матрицы в процедуре расчетов матрицы среднего механизма. Расчет направленности и вида сейсмотектонической деформации позволяет уже реализовать построение карт STD. Специальные программные модули STD и ANGLES дают возможность реализовать необходимые вычисления и получить результат, который может быть представлен на карте.

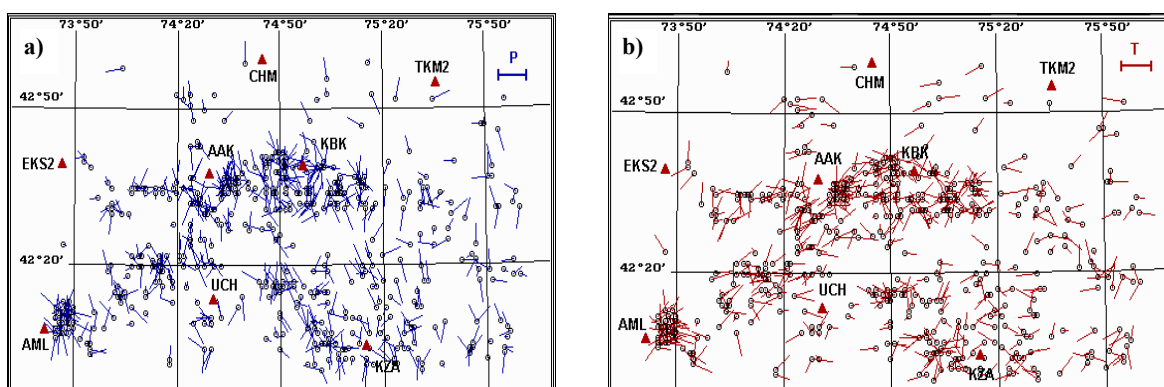


Рис. 6. Проекция осей сжатия и растяжения фокальных решений на горизонтальную поверхность: а – сжатие, б – растяжение.

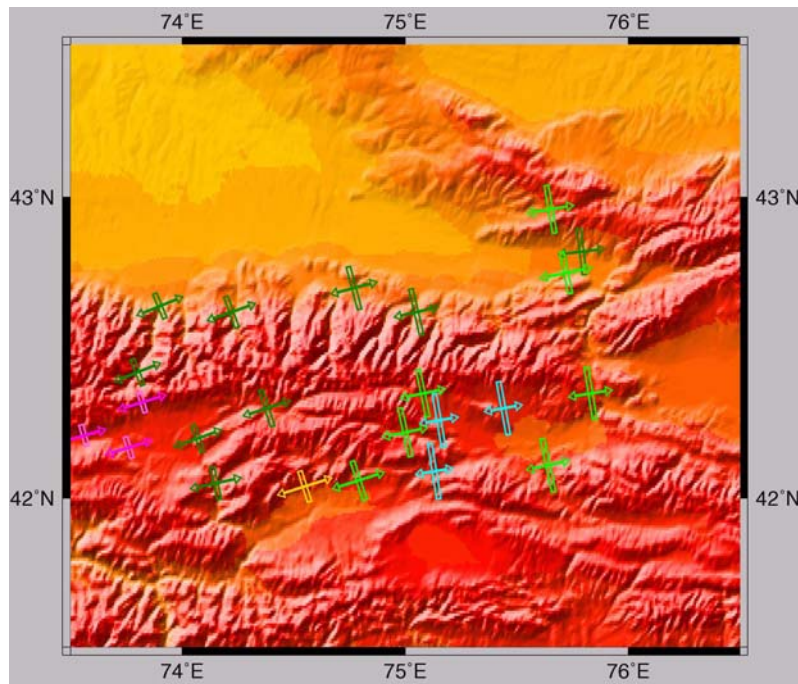


Рис. 7. Пример расчета STD.

Картирование результатов. В результате статистической обработки решений для фокальных механизмов, полученных по данным KNET, была построена карта сейсмотектонических деформаций – STD (рис.7). Картирование реализовано средствами GMT-пакета в операционной системе UNIX с использованием детальной топографической базы данных.

В результате экспериментов была отлажена методика подготовки входных данных для расчета фокальных механизмов на базе данных сети KNET, реализован алгоритм расчета фокальных механизмов в пакетном режиме и выбора решения из нескольких вариантов. Создание каталога фокальных механизмов на основе этих решений позволило реализовать на практике методику построения карт сейсмотектонических деформаций.

Разработка методики расчетов, которая была выполнена в результате этой работы, позволит в дальнейшем ускорить процесс получения необходимых данных при поступлении нового массива данных.

Литература

1. Юнга С.Л. Методы и результаты изучения сейсмотектонических деформаций. – М.: Наука, 1990. – 191 с.
2. Barry R. Lienert, E. Berg and L. Neil Frazer. Hypocenter: An Earthquake Location Method Using Centered, Scaled, and Adaptively Damped Least Squares // Bulletin of the Seismological Society of America. – Vol.76. – No.3. – P. 771–783. – June 1986.
3. Paul A. Reasenber and David Oppenheimer FPFIT, FPLOT and FPPAGE: Fortran computer programs for calculating and displaying earthquake fault-plane solutions. U.S. Geological Survey 345 Middlefield Road Menlo Park, California Open-File Report No/ 85–739.
4. Антекман Ж.Я., Захарова А.И., Кронрод Т.Л., Чепкунас Л.С. Представление данных о механизме очагов землетрясений. Введение международного формата // Землетрясения в СССР в 1985 г. – М.: Наука, 1988. – С. 11–15.