

**МЕДЛЕННЫЕ ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ В ЛИТОСФЕРЕ: ФИКСИРОВАНИЕ,  
ПАРАМЕТРЫ, ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ (ЦЕНТРАЛЬНАЯ АЗИЯ)**

*Е.А. Горбунова, С.И. Шерман*

*Институт земной коры СО РАН, ул. Лермонтова, 128, г. Иркутск, 664033; e-mail: [smallwizard@mail.ru](mailto:smallwizard@mail.ru)*

Поступила в редакцию 12 октября 2010 г.

Предложены методы фиксирования деформационных волн и оценки их фазовых (векторных) скоростей по мониторингу землетрясений в областях активного динамического влияния (ОАДВ) разрывов. Проведена классификация активных разломов Центральной Азии по векторным скоростям деформационных волн. На основе комплексных параметров активных в реальное время разломов и векторных скоростей деформационных волн проведено геодинамическое районирование Центральной Азии. Оно открывает новые возможности более широкого изучения геодинамических характеристик обширных тектонически активных в кайнозойское внутриконтинентальных структур.

**Ключевые слова:** активные разломы, сейсмичность, землетрясения, деформационные волны, геодинамические зоны, геодинамический анализ, Центральная Азия.

**СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ**

Публикации о наличии деформационных волн в литосфере Земли насчитывают почти сорокалетнюю историю [2–5, 11, 21, 19, 23 и др.]. Понятие о них введено в литературу сейсмологами для объяснения пространственно-временной периодичности возникновения землетрясений. Заключение о наличии деформационных волн строилось на основе последовательного пространственно-временного возникновения очагов преимущественно сильных землетрясений в определенной сейсмической зоне [15, 17 и др.]. Во многих случаях одновременно оценивались и скорости распространения волн.

Обобщение публикаций на эту тему позволило прийти к заключению о характерных скоростях подобных деформационных волн в пределах  $10\div 100$  км/год [2]. При этом каждая из приведенных в цитированной работе сейсмических зон характеризуется определенной скоростью волн. Детальное изучение этого вопроса на примере Байкальской рифтовой системы позволило выделить группы деформационных волн, отличающиеся своими параметрами, в том числе и значениями скоростей, которые изменялись от  $\sim 7$  до  $\sim 100$  км/год [16, 20–22]. Прямыми инструментальными методами наблюдений волны не фиксируются, а вариации скоростей не позволяют надежно использовать их при сейсмологических прогнозах и более широких геодинамических пост-

роениях. По этим, главным образом, причинам до сих пор не введен в геодинамический анализ этот существенный параметр, отражающий одно из современных геофизических полей.

Разработки по созданию тектонофизической модели континентальной сейсмической зоны [22] дают основание вновь вернуться к проблеме деформационных волн. Толчком явились наблюдения о последовательности разрастания разрывов при активизациях разломов. В этом отношении богатый фактический материал дали проведенные в последние годы обобщения по расположению максимальных амплитуд смещений по простиранию разрывов и эпицентров землетрясений. Kim Y.-S. и Choi J.-H. [25] показали, что положение максимальных смещений в сейсмоактивных разломах по отношению к эпицентрам основных толчков не совпадает с локализацией последних, а располагается в некотором удалении по простиранию активного разрыва (рис. 1). В цитируемой работе дана модель прорастания разрывов при их активизации преимущественно в одном направлении. Параллельно Kim Y.-S. и Choi J.-H. отмечают тенденцию в направлении расположения последующих очагов землетрясений в областях динамического влияния контролируемых их разломов.

С этими данными корреспондируют результаты исследований А.А. Добрыниной и В.А. Санькова [8]. Ими показано, что в целом во времени рост разрывов по простиранию происходит преимущественно в од-

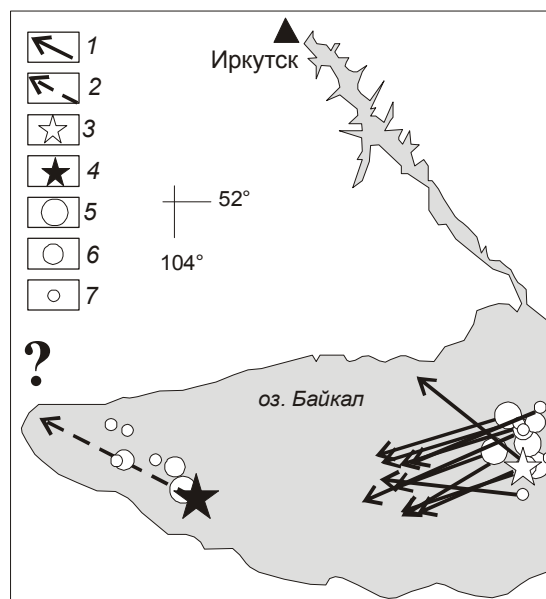


**Рис. 1.** Расположение главных очагов землетрясений и максимальных амплитуд горизонтальных смещений по простиранию активных разломов [25].

1 – главный толчок, 2 – максимальное смещение.

ном из направлений, которое во многих случаях указывает зону будущего землетрясения. Авторами проведен анализ разрастания разрывов в афтершоковой последовательности после Южно-Байкальского землетрясения 25.02.1999 г. с  $K=14.6$  [8]. Практически во всех случаях разрывы в очагах распространялись в юго-западном направлении, на котором через девять лет, 27.08.2008 г., произошло новое землетрясение с  $K=15.2$  (рис. 2). Однонаправленность вспарывания разрывов в очагах землетрясений служит еще одним доказательством существования векторной тенденции в процессе сейсмической активизации разрывов и возникновении в зонах их динамического влияния землетрясений.

Во многих случаях активизацию разрывов связывают с вариациями регионального поля напряжений. Однако активизацию разрывов, стимулирующую сейсмический процесс, чаще всего, нельзя рассматривать как следствие изменений регионального поля напряжений. Сейсмический процесс анализируется в реальном времени, а воздействующее на него региональное поле напряжений изменяется как минимум на три-четыре временных порядка медленнее. Данный факт говорит о том, что источником активизации разрывов и нарушения метастабильного состояния разломно-блоковой среды хрупкой части литосферы нельзя считать вариации поля напряжений. Наиболее правдоподобно допустить, что одним из триггерных источников фиксируемой тенденции разрастания разрывов и временной последовательности формирования в них очагов землетрясений могут быть деформационные волны, методические приемы фиксации которых необходимо дополнительно проработать.



**Рис. 2.** Направление вспарывания в очагах землетрясений Байкальской рифтовой системы, по [8].

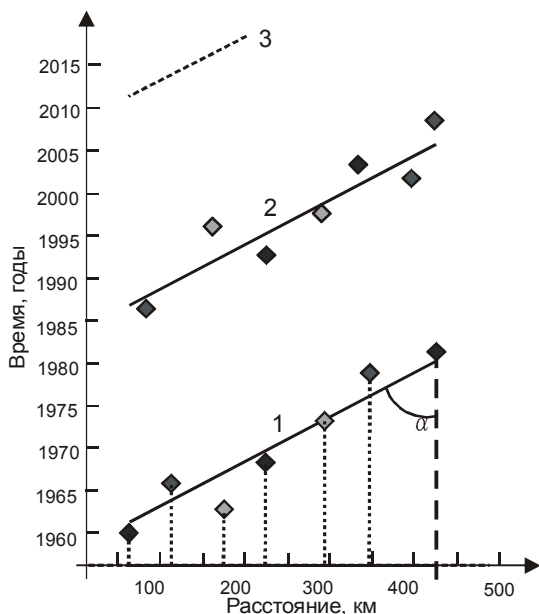
1–2 – направления распространения разрывов в очагах рассчитанные (1) и предполагаемые (2); 3 – Южно-Байкальское землетрясение 25.02.1999 г. ( $K=14.6$ ); 4 – землетрясение 27.08.2008 г. ( $K=15.2$ ); 5–7 – землетрясения с классами: 5 – 13, 6 – 12, 7 – 10–11.

#### МЕТОДЫ ФИКСИРОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ВОЛН И ОЦЕНКИ ИХ ПАРАМЕТРОВ

Деформационные волны нарушают метастабильное состояние разломной зоны и стимулируют возникновение в ней подвижек и сейсмических событий, которые, скорее всего, возбуждаются при прохождении “ударного” фронта волны. Доказательством справедливости такого предположения могут служить векторные направленности миграций очагов землетрясений в зонах активизирующихся разломов, ранее использованный для более широких областей в [5 и др.]. Для выяснения тенденций векторной направленности возбуждений по наиболее сейсмически активным разломам Центральной Азии был использован сейсмический мониторинг. Для каждого разрыва по землетрясениям, попадающим в область его активного динамического влияния [18], были построены индивидуальные графики в системе декартовых координат “место-время”. По оси абсцисс откладывались длины разломов и по их простиранию местоположения очагов землетрясений, на оси ординат – время этих событий (рис. 3). Преимущественно последовательное “возникновение” очагов в интервалах короткого реального времени (месяцы, годы) отражает движение некоего фронта возбуждения, нарушающего неустойчивое динамическое со-

стояние разломной зоны. Для многих сейсмоактивных разломов подобные нарушения динамического равновесия фиксируются много раз в течение непродолжительных временных интервалов. Наиболее вероятной причиной подобной нестабильности крыльев разломов в короткопериодные интервалы времени можно считать деформационные волны, к которым неоднократно по разным причинам обращались в геологической и сейсмологической практике [11–15, 17, 23, 24].

По физическому смыслу приведенный график (рис. 3) отражает два новых дополнительных параметра сейсмоактивных разломов: (1) наклон его линии тренда воспроизводит вектор пространственно-временного появления очагов землетрясений вдоль простирания разрыва – с его левого фланга на правый или наоборот; (2) тангенс  $\alpha$  угла наклона линии графика к оси ординат отражает средние скорости миграции эпицентров землетрясений, или, другими словами, распространения деформационной волны, стимулирующей возникновение очагов землетрясений. Каждая последующая, расположенная выше по оси ординат наклонная линия графика отражает наступление очередного периода и нового фронта де-



**Рис. 3.** Методика построения графика для определения вектора миграции очагов землетрясений по простиранию разлома и оценки средней векторной скорости деформационной волны их возбуждения.

На оси абсцисс жирной линией показана длина активированной части разлома, пунктирной – его полная длина. Квадратиками показаны сейсмические события в соответствии с их локализацией на разломе и временем свершения события. Цифры у трендов – временная последовательность прохождения фронтов деформационных волн.

формационной волны вдоль линии разрыва. Очередные последующие фронты волн фиксируются новыми линиями графика, субпараллельными первой и отстоящими от нее по оси ординат на величины среднего характерного времени возникновения сейсмических событий – периодов деформационных волн. Обработка конкретного фактического материала по каждому активному разлому позволяет нам получить на графиках “наглядную” фиксацию фазовой скорости [16] и вектора распространения медленной деформационной волны, а также оценивать другие ее параметры по уравнению, связывающему длины волн  $\lambda$ , их средние скорости  $V$  и характерное время возникновения событий  $t$  [21]:

$$\lambda = Vt.$$

Параметры деформационных волн – длина, скорость и период – определяют примерную локализацию очагов землетрясений в областях динамического влияния активных разломов.

#### ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ВЫЯВЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ВОЗБУЖДЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ОБЛАСТЯХ ДИНАМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ РАЗЛОМОВ

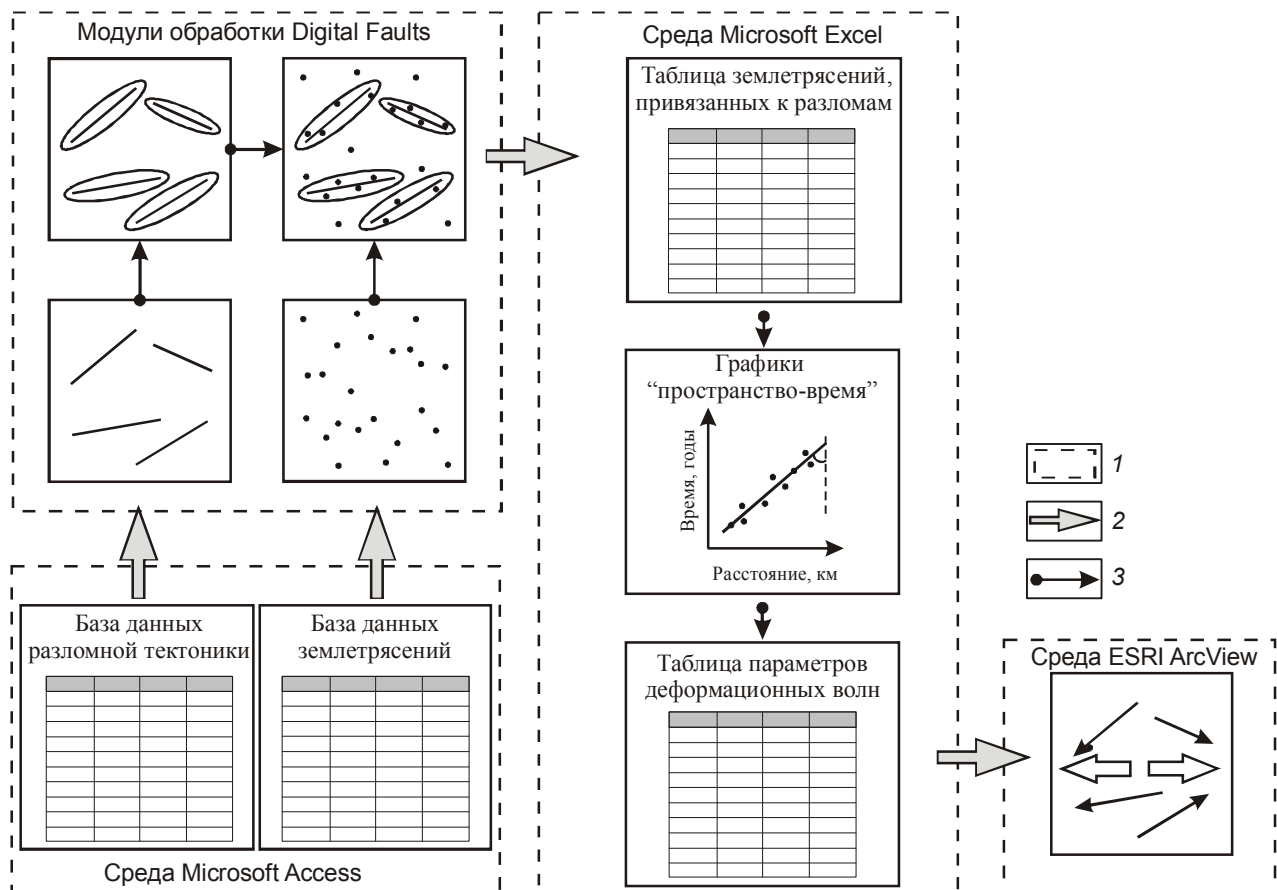
Цифровые базы данных (БД) по разломной тектонике и сейсмичности Центральной Азии насчитывают огромное количество информации. Обработка исходного материала без привлечения современных ГИС-технологий представляет собой достаточно трудоемкий процесс, требующий больших временных затрат. Для выявления тенденций или бесспорных направлений возбуждения очагов землетрясений в областях динамического влияния разломов и оценки параметров деформационных волн была создана узкоспециализированная геоинформационная система (ГИС) Digital Faults. Ее программная реализация позволила автоматизировать решение следующих задач: (1) импорт необходимой информации из БД по разломной тектонике, определение длины разломов и ширины их области активного динамического влияния (ОАДВ); (2) импорт необходимой информации из БД землетрясений, оценка местоположения сейсмических событий в ОАДВ конкретных разрывов; (3) экспорт и сохранение полученных материалов в виде таблиц и графиков “место-время”, характеризующих конкретные разломы; (4) оценка достоверности линий регрессий на графиках и определение параметров деформационных волн.

Основная схема работы программы представлена в виде информационного потока на рис. 4. ГИС Digital Faults объединяет в единую систему три программных пакета, необходимых для решения постав-

ленной задачи: MS Access, MS Excel и ESRI ArcView. Каждый пакет представляет собой уникальную информационную среду как совокупность программных средств хранения, обработки и передачи информации. Под управлением ГИС Digital Faults исходные данные по разломной тектонике и сейсмичности на разных этапах обработки меняют свой формат в соответствии с требованиями той или иной среды, необходимой для решения текущей задачи.

Исходная информация по разломной тектонике и сейсмичности представлена в виде таблиц БД MS Access (\*.mdb). Каждая таблица БД содержит две взаимосвязанные составляющие объектов исследования, без которых невозможно решение поставленной задачи: позиционную и непозиционную (атрибутивную) [6, 7]. Позиционная составляющая характеризует положение объектов на местности в географических координатах. К атрибутивной информации относятся другие непозиционные данные, включающие качественную характеристику объектов. Например,

для сейсмических событий в данной работе важной атрибутивной информацией являются дата возникновения землетрясений и их энергетический класс. Также к важной атрибутивной информации исследуемых объектов можно отнести их уникальный идентификатор, позволяющий четко отделять позиционные и атрибутивные данные одного объекта от другого в таблицах БД. Доступ из программы Digital Faults к содержимому таблиц и выборка необходимых данных по условиям пользователя осуществляется с использованием технологии ADO (ActiveX Data Object) и команд языка запросов SQL. При этом запрашиваемая из таблиц БД информация поступает в память компьютера, преобразуясь согласно формату внутренней структуры Digital Faults. Структура данных ГИС построена на принципах объектно-ориентированного программирования, с точки зрения которого любая информация представляет собой объект, имеющий определенное функциональное назначение в конкретной предметной области [1]. Свойства этого



**Рис. 4.** Основная схема работы программы Digital Faults, представленная в виде информационного потока.

1 – границы отдельной информационно-программной среды, находящейся под управлением Digital Faults; 2 – переход информации из одной среды в другую с преобразованием формата представления данных согласно установленной внутренней структуре конечной среды; 3 – преобразование информации и/или получение новых расчетных статистических, графических и иных данных в рамках одной среды.

объекта, способ его представления в памяти компьютера и методы работы с ним описаны на языке программирования в виде так называемого класса (прототипа). При этом в ходе работы программы по конкретному классу, как по образцу представления и обработки данных, может быть создано несколько подобных друг другу объектов. Классы организованы в виде древовидной иерархической структуры: более сложные классы включают в себя более простые. Объекты, созданные по структуре данных, описанной на программном языке, имеют определенные свойства, методы обработки информации и взаимодействуют между собой. Так в Digital Faults существует класс, с помощью которого таблица БД разломов представляется в памяти Digital Faults в виде единой совокупности (слоя) разломов. Разломы из таблицы БД в свою очередь тоже представляют собой отдельные объекты, образующие собственный класс, входящий в состав вышеописанного класса. Формируется и ранжируется определенная группа классов. Аналогично, пространственно-атрибутивная информация о разломах также представляется в виде набора объектов, ранжируемых в свои иерархические группы классов в соответствии с длинами разломов и другими их признаками. Аналогичной классовой структурой описана и совокупность землетрясений. Несмотря на достаточно сложную программную реализацию, подобное представление данных в памяти Digital Faults облегчает управление большим количеством разнообразной информации по разломной тектонике и сейсмичности, предотвращает смешение данных и упрощает поиск необходимых материалов и их обработку. После импорта исходной информации из БД и представление ее в виде внутренней структуры памяти ГИС Digital Faults происходит вычисление параметров разломов по средствам разработанных алгоритмов, представленных в виде модулей обработки Digital Faults. Полученные параметры разломов представляются в виде их атрибутивной информации и сохраняются на соответствующем уровне структуры данных ГИС. Дальнейшая оценка сейсмической активности разрывов базируется на предварительном определении землетрясений, попадающих в границы ОАДВ конкретных разломов. Для этого Digital Faults трансформирует ОАДВ каждого дизъюнктива в простые геометрические фигуры – окружности в точках перегиба разлома и прямоугольники на прямых участках, – для которых с помощью методов аналитической геометрии проводит отбор землетрясений. В конечном результате для каждого разлома накапливается набор сейсмических событий, который сохраняется в структуре данных ГИС как атрибутивная информация разрыва. На следующем этапе работы программы происходит переход информации из па-

мяти компьютера в среду MS Excel (\*.xls), где атрибутивная информация разломов и взаимосвязанные с разломной тектоникой сейсмические события представляются в виде таблиц. По ним для каждого разлома Digital Faults в среде MS Excel автоматически создается графики “место-время” и проводит их регрессионный анализ с оценкой скорости и направления пространственно-временного распространения возбуждений и возникновения очагов землетрясений по простиранию разломов. Оцененные параметры деформационных волн сохраняются в рабочей книге в виде результирующей таблицы. Доступ к MS Excel, работа с данными и построение графиков осуществляются на основе технологии СОМ (Component Object Model) [9]. Полученные расчетные данные в формате MS Excel и пространственная информация о местоположении разломов и очагов землетрясений в формате MS Access при необходимости с помощью программы Digital Faults можно представить в виде шейп-файлов (\*.shp) и использовать при составлении карт распространения деформационных волн вдоль линий разломов в среде ESRI ArcView.

#### **КЛАССИФИКАЦИЯ РАЗЛОМОВ ПО ВЕКТОРНЫМ СКОРОСТЯМ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ВОЛН И ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ЗОНЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ**

По разработанной ГИС Digital Faults изучены основные разломы Центральной Азии, оценены векторные скорости деформационных волн и другие параметры разрывов (табл. 1, рис. 5). Они дали основание для выделения четырех групп разломов, три из которых подразделяются на подгруппы по направлениям векторов деформационных волн (рис. 6). Каждая группа разломов “откликается” на определенные волны с фиксированными скоростями их распространения, а подгруппы разломов – на их (скоростей) различные векторы. По такому комплексному признаку проведено геодинамическое районирование территории на три геодинамические зоны: Байкальскую, Северо-Монгольскую и Гоби-Алтайскую (рис. 6). Для каждой из геодинамических зон характерны свои векторы скоростей деформационных волн и параметры активных разломов. В свою очередь геодинамические зоны систематизируются по группам, для каждой из которых характерны свои числовые характеристики векторных скоростей и средних длин активных разломов. В первой и четвертой группах в целом для всей Центральной Азии превалирует вектор активизации с востока на запад, в третьей – наоборот. Исключение в первой и третьей группах составляет восточная часть Северо-Монгольской геодинамической зоны, где вектор скорости имеет противоположное направление в сравнении с направле-

нием движения деформационных волн в окружающей территории. Вторая группа разломов имеет более сложную схему превалирующих векторов активизации разломов (рис. 6б). Важно обратить внимание на общее для всей территории структурное обстоятельство: в каждой из трех геодинамических зон выделяется меридиональная граница смены векторов активизации, которая проходит примерно по 100–102° в.д. Кроме того, в Байкальской геодинамической зоне можно предположить наличие еще двух границ, проходящих по 110° в.д. и по 117° в.д. Как видно из таблицы, наибольшие скорости деформационных волн характерны для первой группы разломов, а наименьшие – для четвертой. При этом в каждой геодинамической зоне с увеличением средней длины разломов группы повышается средняя фазовая скорость активизации. Источники волн корреспондируют с известными представлениями об их зарождении в “подвижных” блоковых струк-

Таблица. Характеристика геодинамических зон Центральной Азии по параметрам деформационных волн и активных разломов.

| Геодинамические зоны | Средняя фазовая скорость деформационных волн (км/год) и характерная средняя длина разломов (км) |                     |                      |
|----------------------|---|---------------------|----------------------|
|                      | Байкальская   | Северо-Монгольская  | Гоби-Алтайская       |
| I                    | 51 ± 7<br>296 ± 139   | 32 ± 1<br>416 ± 208 | 46 ± 12<br>656 ± 427 |
| II                   | 22 ± 2<br>255 ± 67  | 19 ± 3<br>268 ± 130 | 20 ± 3<br>417 ± 180  |
| III                  | 12 ± 1<br>199 ± 32  | 11 ± 1<br>266 ± 93  | 11 ± 2<br>386 ± 136  |
| IV                   | 5 ± 1<br>170 ± 24   | 5 ± 1<br>185 ± 84   | 3 ± 2<br>216 ± 31    |

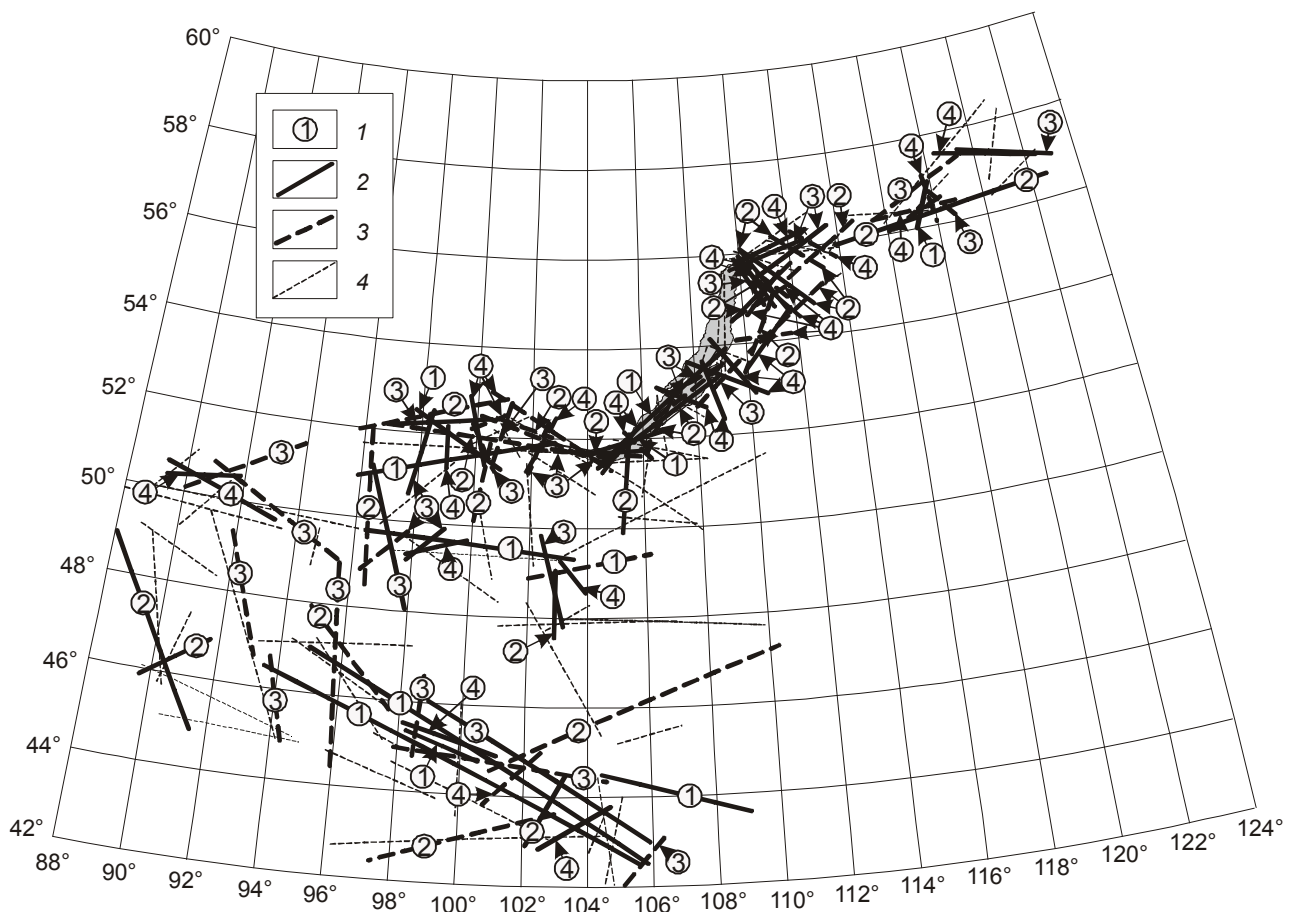
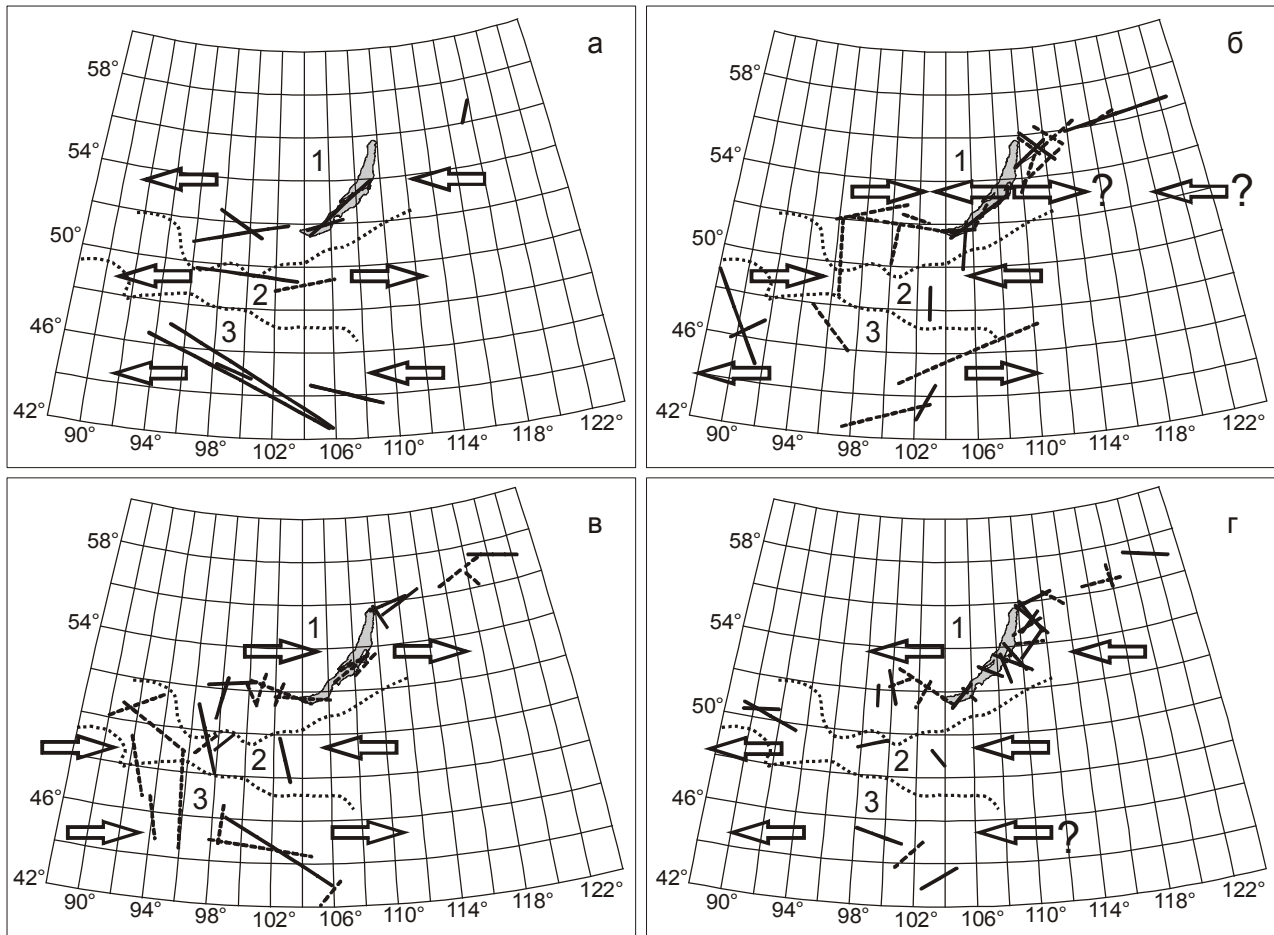


Рис. 5. Активные разломы Центральной Азии и их группировка по параметрам современной активизации.

1 – номера групп разломов, соответствующие таблице (римские цифры); 2–3 – разломы с преобладающими векторами движения деформационных волн с востока на запад (2) и с запада на восток (3); 4 – неактивные разломы с неопределенными параметрами активизации.





**Рис. 6.** Геодинамическое районирование Центральной Азии по параметрам деформационных волн и активных разломов.

Геодинамические зоны: 1 – Байкальская; 2 – Северо-Монгольская; 3 – Гоби-Алтайская; Ориентировка векторов в группах геодинамических зон: а – в первой; б – во второй; в – в третьей; г – в четвертой.

Пунктирная линия – вектор активизации разломов направлен с запада на восток; сплошная линия – вектор активизации разломов направлен с востока на запад. Стрелки – примерное направление фронта деформационных волн.

турах хрупкой части литосферы, лежащей на вязком астеносферном слое [12–14]. Направления усредненных векторных скоростей согласуются с преобладающими типами полей напряжений для территории Центральной Азии [10].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Деформационные волны по принятым критериям их выделения и анализа можно рассматривать как ведущий фактор активизаций разломов в короткопериодные интервалы реального времени и как триггерный механизм возбуждения в ОАДВ разломов очагов землетрясений. Изложенные в статье ссылки на публикации объясняют источник зарождения деформационных волн в литосфере, а приведенные методические приемы по фиксации деформационных волн, оценках их скорост-

ных и векторных параметров, выполненных по мониторингу сейсмических событий в ОАДВ разломов, могут рассматриваться и как аргумент наличия волновых механизмов нарушения метастабильного состояния разломно-блоковой среды литосферы, и как один из вероятных триггерных механизмов возбуждения очагов землетрясений в активных разломах геодинамических зон, примером которых может служить Центральная Азия. Более того, геодинамическое районирование территории Центральной Азии на основе комплексных параметров активных в реальное время разломов и векторных скоростей деформационных волн открывает новые возможности более широкого изучения геодинамических характеристик обширных тектонически активных в кайнозое внутриконтинентальных структур.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят А.В. Викулина за советы и замечания, учтенные при редактировании рукописи.

Исследования выполнены при поддержке: Госконтрактов: 02.740.11.0446 и 14.740.11.0411; Комплексного интеграционного проекта СО РАН № 61; Программы Президиума РАН 16.8; Программы ОНЗ РАН 7.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буч Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование [пер. с англ.] / Г. Буч. 2-е изд. М.; СПб.: БИНОМ: Нев. диалект, 2001. 558 с.
2. Быков В.Г. Деформационные волны Земли: концепция, наблюдения и модели // Геология и геофизика. 2005. Т. 46, № 11. С. 1176–1190.
3. Викулин А.В., Иванчин А.Г. Ротационная модель сейсмического процесса // Тихоокеан. геология. 1998. Т. 17, № 6. С. 95–103.
4. Викулин А.В. Физика Земли и геодинамика. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамГУ им. Витуса-Беринга, 2009. 463 с.
5. Вилькович Е.В., Губерман Ш.А., Кейлис-Борок В.И. Волны тектонических деформаций на крупных разломах // ДАН СССР. 1974. Т. 219, № 1. С. 77–80.
6. Географические информационные системы. Основы [пер. с англ.] / ДеМерс Майкл Н. М.: Дата+, 1999. 489 с.
7. Геоинформатика: Учеб. для студ. вузов / Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарёв, В.С. Тикунов и др.; Под ред. В.С. Тикунова. М.: Изд. центр "Академия", 2005. 480 с.
8. Добрынина А.А., Саньков В.А. Направление вспарывания в очагах землетрясений как показатель распространения деструктивного процесса (на примере Байкальской рифтовой системы) // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещ. Иркутск, 2008. Т. 1. С. 110–112.
9. Корняков В.Н. Программирование документов и приложений MS Office в Delphi. СПб.: БВХ-Петербург, 2005. 496 с.
10. Леви К.Г., Шерман С.И., Саньков В.А. Современная геодинамика Азии: карта, принципы составления, геодинамический анализ // Геотектоника. 2009. № 2. С. 78–93.
11. Маламуд А.С., Николаевский В.Н. Циклы землетрясений и тектонические волны. Душанбе: Изд-во "Дониш", 1989. 144 с.
12. Невский М.В. Сверхдлиннопериодные волны деформации на активных разломах и сейсмичность // Геофизика на рубеже веков. М.: ОИФЗ, 1999. С.124–139.
13. Николаевский В.Н., Рамазанов Т.К. Генерация и распространение тектонических волн вдоль глубинных разломов // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1986. № 10. С. 3–13.
14. Николаевский В.Н. Упруго-вязкие модели тектонических и сейсмических волн в литосфере // Физика Земли. 2008. № 6. С. 92–96.
15. Никонов А.А. Миграция сильных землетрясений вдоль основных зон разломов Средней Азии // ДАН СССР. 1975. Т. 255, № 2. С. 306–309.
16. Справочник по физике: Формулы, таблицы, схемы / Под ред. Х. Штёкера. М.: Техносфера, 2009. 1264 с.
17. Уломов В.И. Волны сейсмогеодинамической активизации и долгосрочный прогноз землетрясений // Физика Земли. 1993. С. 43–53.
18. Шерман С.И., Борняков С.А., Буддо В.Ю. Области динамического влияния разломов. Новосибирск: Наука, СО, 1983. 101 с.
19. Шерман С.И., Сорокин А.П., Савитский В.А. Новые методы классификации сейсмоактивных разломов литосферы по индексу сейсмичности // Докл. РАН. 2005. Т. 401, № 3. С. 395–398.
20. Шерман С.И. Новые данные о закономерностях активизации разломов в Байкальской рифтовой системе и на сопредельной территории // ДАН. 2007. Т. 415, № 1. С.110–114.
21. Шерман С.И., Горбунова Е.А. Волновая природа активизации разломов Центральной Азии на базе сейсмического мониторинга // Физическая мезомеханика. 2008. Т.11, № 1. С. 115–122.
22. Шерман С.И. Тектонофизическая модель сейсмической зоны: опыт разработки на примере Байкальской рифтовой системы // Физика Земли. 2009. № 11. С. 8–21.
23. Gershenzon N. I., Bykov V. G., Vambakidis G. Strain waves, earthquakes, slow earthquakes, and afterslip in the framework of the Frenkel-Kontorova model // The American Physical Society, PHYSICAL REVIEW E 79, 056601. 2009. P. 056601–056613.
24. Kasahara K. Migration of crustal deformation // Tectonophysics. 1979. V. 52. P. 329–341.
25. Kim Y.-S., Choi J.-H. Fault propagation, displacement and damage zones // Conference Commemorating the 1957 Gobi-Altay Earthquake. Ulaanbaatar, Mongolia, 2007. P. 81–86.

Рекомендована к печати Т.К. Злобиным

*E.A. Gorbunova, S.I. Sherman*

### Slow deformation waves in the lithosphere: Fixation, parameters, and geodynamic analysis (Central Asia)

Methods are offered to fix deformation waves and their phase (vector) velocities assessment from monitoring of earthquakes in the areas of active dynamic effect of the rupture. Active faults of Central Asia were classified from vector velocities of deformation waves. On the basis of the complex parameters of active at present faults and vector velocities, geodynamic zoning of Central Asia has been accomplished. This opens up new possibilities to detail study of geodynamic parameters of extensive tectonically active in the Cenozoic intracontinental structures.

**Key words:** active faults, seismicity, earthquakes, deformation waves, geodynamic zones, geodynamic analysis, Central Asia.