

На правах рукописи

Баяраа Гангаадорж

СЕЙСМИЧНОСТЬ МОНГОЛИИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

25.00.10 – геофизика,
геофизические методы поисков полезных ископаемых

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Иркутск–2010

Работа выполнена в Исследовательском центре астрономии и геофизики Монгольской академии наук, (Research Center of Astronomy and Geophysics of Mongolian Academy of sciences, RCAG MAS)

Научные руководители:

доктор геолого-минералогических наук

Потапов Владимир Антонович (ИЗК СО РАН, г. Иркутск);

доктор геолого-минералогических наук

Ключевский Анатолий Васильевич (ИЗК СО РАН, г. Иркутск)

Официальные оппоненты:

доктор геолого-минералогических наук, профессор

Дмитриев Александр Георгиевич (ИрГТУ, г. Иркутск)

доктор физико-математических наук, профессор

Иванов Федор Илларионович (ИГУ, г. Иркутск)

Ведущая организация: Геологический институт БНЦ СО РАН (г. Улан-Удэ)

Защита состоится 15 февраля 2010 г. в 9 часов на заседании диссертационного совета Д 003.022.02 в конференц-зале Института земной коры СО РАН по адресу: 664033, Иркутск-33, ул. Лермонтова, 128.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Иркутского научного центра СО РАН в здании Института земной коры СО РАН.

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять по указанному адресу ученому секретарю совета
канд. геол.-мин. наук Меньшагину Юрию Витальевичу, E-mail: men@crust.irk.ru

Автореферат разослан “____” января 2010 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

канд. геол.-мин. наук

Меньшагин Ю.В.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы. Диссертация направлена на разработку новых подходов и дальнейшее развитие известных способов исследования пространственно-энергетической структуры и динамики сейсмичности на четырех уровнях пространственной организации литосферы Монголо-Байкальского региона (МБР). Задачи диссертации определены фундаментальными проблемами современной геодинамики МБР и актуальностью обеспечения сейсмической безопасности на территории Монголии.

Значительная часть Монголии расположена в высокосейсмичных областях Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП) и подвержена частым и сильным землетрясениям. Только в XX веке здесь произошло более 60 землетрясений с магнитудой $M > 5.5$ (интенсивностью от 7 до 11–12 баллов). Среди них десятки землетрясений вызвали крупные нарушения земной поверхности, а сейсмические катастрофы с магнитудой $M > 8$ (Болнайское, 1905, Фуюнское, 1931 и Гоби-Алтайское, 1957 годов) сопровождались сеймотектоническими деформациями протяженностью до нескольких сотен километров. Поэтому изучение сейсмичности Монголии и сопредельных территорий относится к фундаментальной научной проблеме современной геодинамики ЦАСП и имеет важное прикладное значение. Современные представления о сейсмичности как сложном явлении деформирования иерархически построенной структурно-неоднородной неустойчивой дискретной геофизической среды в феноменологической модели стационарного сейсмического процесса (Садовский и др., 1987) формируют понятие о стохастическом характере распределений напряжений и деформаций в литосфере (International..., 2002). В рамках этих фундаментальных представлений поставлена задача изучения и описания сейсмичности на четырех уровнях ее пространственной организации методами статистического анализа параметров толчков в представительном диапазоне энергетических классов землетрясений. Предполагается, что выявленные на этих уровнях закономерности пространственно-временной и энергетической структуры сейсмичности дадут возможность уточнения оценки и моделирования сейсмического процесса для решения основных проблем обеспечения сейсмической безопасности исследуемых территорий и понимания фундаментальных закономерностей геодинамической эволюции МБР.

Цель исследований. Развитие и применение методов статистического анализа пространственно-временной и энергетической структуры сейсмичности для установления основных параметров и закономерностей сейсмичности на четырех уровнях пространственной организации литосферы. Выявление и идентификация геолого-геофизических структур и геодинамических явлений в литосфере региона, влияние которых нашло отражение в пространственно-временных вариациях сейсмичности, для развития феноменологической модели стационарного сейсмического процесса и уточнения представлений о современной геодинамике МБР.

Основные задачи исследований:

1) развить методы статистического анализа изучения пространственно-временной и энергетической структуры сейсмичности на четырех уровнях пространственной организации литосферы МБР и разработать способы геофизической и геодинамической интерпретации результатов, полученных по данным о землетрясениях Монголии;

2) установить критерии и параметры пространственно-временных и энергетических вариаций сейсмичности на четырех иерархических уровнях литосферы МБР с целью развития феноменологической модели стационарного сейсмического процесса для решения проблем сейсмической безопасности и уточнения представлений о современной геодинамике региона.

Фактический материал, методы исследования и аппаратура. Основой диссертации являются параметры почти 63300 землетрясений, зарегистрированных с 1964 по 2000 гг. в пределах Монголии ($\varphi=42^\circ-53^\circ$ с.ш., $\lambda=87^\circ-120^\circ$ в.д.) и юга Байкальского региона ($\varphi=48^\circ-53^\circ$ с.ш., $\lambda=96^\circ-113^\circ$ в.д.). Сейсмичность юга Байкальского региона и Монголии исследована по совместным материалам Байкальского филиала (БФ) ГС СО РАН и сети сейсмических станций Монголии (ССМ). В соответствии с поставленными проблемами в диссертации применен

широкий спектр подходов при развитии методов и алгоритмов формализованного определения, статистической обработки, анализа и интерпретации пространственно-временных и энергетических закономерностей сейсмичности на четырех различных иерархических уровнях литосферы Монголии, идентификации происходящих в ней геодинамических процессов и пространственных геологических структур. Достоверность полученных в диссертации основных результатов и выводов подтверждается высокой представительностью используемых данных, применением статистических методов обработки, верификацией по натурным и хорошо проверяемым материалам сейсмологических и геофизических наблюдений.

Основные результаты и научные положения работы, выносимые на защиту.

1. Примененный комплекс методов определений, алгоритмов и программ статистической обработки параметров землетрясений позволяет изучить пространственно-временную и энергетическую структуру сейсмичности на четырех иерархических уровнях литосферы Монголии.

2. Критерии и параметры пространственно-временных вариаций сейсмичности в литосфере МБР характеризуют сложную структурную неоднородность и динамическую неустойчивость среды на различных иерархических уровнях литосферы. Структура сейсмичности Монголии коррелируется с сейсмичностью БРЗ, и в ней отражаются перестройки напряженно-деформированного состояния литосферы БРЗ.

3. Основные вариации сейсмичности обусловлены последствием сильнейших землетрясений и перестройками напряженно-деформированного состояния среды, а моменты усиления неустойчивости верифицированы в резкой активизации сейсмического процесса на всех изучаемых уровнях иерархии литосферы Монголии.

Научная новизна. Впервые на представительном фактическом материале выполнен статистический анализ пространственно-временной и энергетической структуры сейсмичности на четырех уровнях пространственной организации литосферы Монголии. Проведенный диссертантом ретроспективный анализ формализованных статистических параметров сейсмичности показал, что перестройки напряженно-деформированного состояния литосферы МБР приводят к кратковременной упорядоченности энергетики и синхронизации динамики сейсмичности, обусловленной переходом структурно-неоднородной иерархической среды через неустойчивость к метастабильному состоянию.

Детальный пространственно-временной и энергетический анализ сейсмичности на четырех иерархических уровнях литосферы Монголии показал, что основные вариации сейсмичности обусловлены последствием сильнейших землетрясений и перестройками напряженно-деформированного состояния среды, а моменты усиления неустойчивости верифицируются в резкой активизации сейсмического процесса на всех исследуемых уровнях пространственной организации литосферы Монголии. Кинематика и динамика афтершоков Бусийнгольского землетрясения 1991 года коррелируется с характером перестроек напряженно-деформированного состояния среды в очаговой зоне. Релаксационные процессы в очагах некоторых катастрофических землетрясений Монголии продолжаются в настоящее время.

Усиление неустойчивости напряженно-деформированного состояния литосферы МБР отражается в активизации сейсмического процесса. Это развивает феноменологическую модель стационарного сейсмического процесса, отражая особую роль и существенное влияние перестроек напряженно-деформированного состояния литосферы БРЗ на сейсмичность МБР. Наблюдаемая на исследуемых пространственных уровнях сейсмогенеза стадийность и системность процесса является одним из атрибутов механизма возвращения иерархической системы разломов-блоков в метастабильное состояние после геодинамических перестроек и сильных землетрясений.

Практическая значимость работы. Диссертантом разработаны и реализованы алгоритмы обработки и формализации исходных данных, направленные на статистический анализ пространственно-временной и энергетической структуры сейсмичности на четырех различных иерархических уровнях литосферы региона. Развита методика и алгоритмы,

ориентированные на изучение геодинамических процессов и выделение пространственных структур в литосфере МБР. Регионализация Монголии по активным зонам землетрясений, в совокупности с другими геолого-геофизическими методами, дает возможность более надежно и обоснованно подойти к дифференциации зон возникновения очагов землетрясений (зон ВОЗ) и сейсмическому районированию территории.

Заложены основы компьютерной информационной технологии обработки сейсмической информации на различных пространственно-временных масштабах, включающие в себя автоматизацию процесса, обеспечение решения задач определения текущих и прогнозных оценок и компьютерную визуализацию сейсмичности по данным очаговой и структурной сейсмологии для оперативного решения проблем обеспечения сейсмической безопасности на территории Монголии.

Личный вклад автора. Основные научные результаты диссертанта отражены в 38 публикациях. По теме диссертации опубликовано более 20 работ, в том числе 3 монографии. При подготовке баз данных сейсмологической информации и работе с ними (с конца 1960-х годов) диссертантом самостоятельно реализованы алгоритмы и программы расчета параметров сейсмичности, которые нашли широкое применение при составлении форматированных каталогов и бюллетеней землетрясений Монголии. Электронные базы данных геолого-геофизической информации, собранные диссертантом, используются для поиска корреляции с сейсмичностью региона.

Апробация работы. Основные результаты исследований по теме диссертации докладывались и обсуждались на региональных тематических совещаниях в Иркутске (2001; 2002; 2004; 2007; 2009; Улан-Удэ, 2003) и международных научных форумах различного ранга (Улан-Батор, 2001; 2007; Улан-Удэ, 2005).

Объем и структура диссертации. Общий объем работы (197 стр.) составляют четыре главы, введение и заключение (всего 150 стр.), 61 рисунок (на 48 стр.), 13 таблиц (на 9 стр.) и список литературы (190 наименований на 13 стр.).

Работа выполнена в Научно-исследовательском Центре астрономии и геофизики Академии наук Монголии. Автор выражает особую благодарность научным руководителям доктору геол.-мин. наук Потапову В.А. и доктору геол.-мин. наук Ключевскому А.В за постоянную помощь на всех этапах работы. Автор благодарит коллег по работе докторов геол.-мин. наук Джурика В.И., Леви К.Г., кандидатов геол.-мин. наук Черных Е.Н., Чечельницкого В.В., кандидатов физ.-мат. наук Кожевникова В.М., Дэмбэрэла С., Dph. Елзийбата М., магистра Анхцэцэг Д., Эрдэнэзул Б. и других сотрудников Научно-исследовательского Центра, содействовавших выполнению работы.

Глава I. Геолого-геофизическая характеристика Монголо-Байкальского региона

В первой главе диссертации выполнен краткий обзор имеющихся литературных материалов по результатам многолетних геолого-геофизических и геодинамических исследований земной коры и литосферы Монголо-Байкальского региона. Морфологические связи Байкальского региона и Монголии настолько тесны, что Н.А. Флоренсов предложил объединить горные системы Южной Сибири и Монголии в единую Монголо-Сибирскую горную страну. На этой обширной территории в кайнозой проявилось интенсивное внутриконтинентальное горообразование, в пределах которого находится как область растяжения (БРЗ), так и область сжатия (Западная Монголия). По литературным данным геологическая эволюция Монголо-Сибирской горной страны с середины палеозойской эры подчинена в основном единому механизму развития под влиянием Индо-Евразийской коллизии и глубинного диапиризма. Кайнозойская активизация обусловлена проникновением мантийных аномально нагретых веществ в литосферу, что привело к ее утонению почти на всей территории. Астеносферный диапиризм является главной причиной горообразования и в Западной Монголии, а сжатие со стороны Индостана могло вызвать некоторый дополнительный рост высоты горных хребтов вследствие утолщения коры и привести к возникновению сдвиговых деформаций. Деформации в Западной Монголии в упрощенном

виде заключаются в том, что примерно прямоугольная область, прилегающая к Сибири, имеет левостороннее смещение по северной и южной субширотным границам, а западная граница (Монгольский Алтай) подвергается правосторонним сдвиговым смещениям. Внутренняя область имеет тенденцию вращения против часовой стрелки. Ее левая граница, с которой может быть сопряжена Могодская зона субмеридиального направления с правосторонним сдвигом, подтверждает такое вращение. Байкальская рифтовая зона образована под действием сил растяжения, механизм которого рассматривается как сочетание воздействий активного местного теплового источника и пассивного источника, связанного с перераспределением напряжений внутри Евразийской плиты при Индо-Евразийской коллизии. По изменениям условий и скорости осадконакопления установлены два главных этапа в развитии рифтогенеза.

Территорию Монголии по тектоническим и геоморфологическим признакам можно условно делить на три крупных региона: область интенсивного горообразования на западе, умеренного – в центральной части и слабого – в восточной части Монголии. Такое разделение, естественно, связано с различием внутреннего строения литосферы и земной коры и находит отражение в сейсмичности Монголии. Наиболее сильные землетрясения с магнитудой $M > 8$ (Болнайское, 1905, Фуюньское, 1931 и Гоби-Алтайское, 1957 годов) произошли на западе и в центральной части Монголии и сопровождались сейсмотектоническими деформациями протяженностью до нескольких сотен километров. Имеющиеся геологические, геофизические и геодезические материалы по Монголо-Байкальскому региону позволяют прийти к выводу о том, что тектоническая структура, геологическая зональность, сейсмичность и современная геодинамика МБР определяются взаимодействием двух основных механизмов тектоногенеза:

1. Механизм автономного саморазвития региона и в первую очередь, подвижного ЦАСП;
2. Плейтотектонический механизм внешнего воздействия на подвижный пояс и другие структурные элементы региона, что связано с латеральными перемещениями литосферных плит и блоков.

Суперпозиционное взаимодействие основных механизмов тектоногенеза формирует на различных иерархических уровнях литосферы сложные пространственно-временные перемещения литосферных плит и блоков по зонам основных разломов МБР, в результате которых генерируются единичные землетрясения максимальной на Евразийском континенте энергии, многочисленные сейсмические толчки средних и небольших энергий и большое число микросейсмических событий. Анализ параметров сейсмичности инструментального периода дает возможность исследования современной геодинамики и структуры литосферы МБР с целью решения проблемы обеспечения сейсмической безопасности на территории промышленно-гражданского освоения Монголии, на что и ориентирована данная работа.

Целенаправленное и систематическое геолого-географическое изучение землетрясений Монголии было организовано по линии Русского географического общества в конце XIX века. Как отмечено в (Землетрясения..., 1985), самые первые полные научные данные о землетрясениях Монголии приведены в каталоге И.В.Мушкетова и А.П.Орлова, а ранние разрозненные летописные данные времени Юаньской династии носят случайный характер. В 1905 г. А.В. Вознесенский провел обследование эпицентральной области сильнейших Таннуольских (Болнайских или Хангайских) землетрясений, а затем составил карты самой протяженной системы сейсмодислокаций Монголии и дал описание этих сильнейших сейсмических событий. Тем не менее только в 1958 г. было начато целенаправленное, по-настоящему научно организованное комплексное исследование сейсмичности Монголии в связи с сильнейшим Гоби-Алтайским землетрясением 1957 года. Работы специальной Советско-Монгольской Гоби-Алтайской экспедиции под руководством В.П. Солоненко и Н.А. Флоренсова вышли далеко за рамки изучения последствий этого землетрясения и превратились в крупнейшее оригинальное исследование геолого-геофизических критериев сейсмичности (Солоненко и др., 1960; Гоби-Алтайское..., 1963). Монографическое описание Гоби-Алтайской сейсмической катастрофы – подробный и многогранный отчет одной из интереснейших азиатских экспедиций, давшей толчок широкому развитию комплексных исследований землетрясений и новому научному направлению – палеосейсмогеологии. В дальнейшем, на материалах изучения сильнейших

землетрясений 1905 и 1957 гг. зародился, апробировался и окреп палеосейсмогеологический подход к оценке сейсмичности (Солоненко и др., 1960), получивший в дальнейшем широкое распространение в мире. В 1959 г. В.П. Солоненко (1959) составляет принципиально новую схему сейсмического районирования МНР, которая долгое время оставалась единственным документом, обосновывающим уровень сейсмичности отдельных районов Монголии. Некоторые дополнения и изменения к ней сделали монгольскими специалистами, в результате чего в 1970 г. была составлена новая карта сейсмического районирования Монголии масштаба 1:3 000 000 (Нацаг-Юм и др., 1971). В 1960-х годах Л. Нацаг-Юмом, И. Балжинням, Д. Монхоо и их коллегами была начата большая работа по сбору и анализу сейсмогеологических и макросейсмических данных, дающих богатый материал для изучения сейсмичности Монголии (Нацаг-Юм и др., 1971; Балжинням и др., 1972; 1975). Эпицентральные зоны Болнайских (Хангайских) землетрясений детально обследованы в 1972–1973 г. С.Д. Хилько с коллегами в рамках совместной Советско-Монгольской геологической экспедиции. Результаты этих работ вошли в монографию “Землетрясения и основы сейсмического районирования Монголии” (Землетрясения..., 1985), которая является одним из наиболее полных источников информации о сейсмичности и сильных землетрясениях Монголии. Были проанализированы все имеющиеся к тому времени геологические, сейсмогеологические, сейсмологические материалы, которые были уточнены при составлении карты общего сейсмического районирования (ОСР-83) Монголии масштаба 1:1500 000. На этой карте впервые представлены зоны вероятных очагов землетрясений (зоны ВОЗ) по данным о сеймотектонике, сейсмологии и геологии с учетом нормативной интенсивности вероятных сотрясений и средней частоты их повторения.

С начала XXI века в Монголии быстро развиваются современные технологии регистрации землетрясений, построенные на цифровых системах записи и обработки сейсмологической информации. В настоящее время данные монгольских станций передаются в международные центры обработки информации по сильным землетрясениям и другим геофизическим параметрам. Анализ сейсмичности Монголии выполняется по материалам совместной обработки записей землетрясений сейсмическими станциями Монголии, Прибайкалья и Алтае-Саянской области. Установлено, что представительность регистрации землетрясений Монголии изменялась во времени и пространстве, а на полученных картах отчетливо выделяются области регистрации слабых микротолчков локальными группами цифровых станций, расположенными в окрестности гг. Ховд и Улаанбаатар. Распределение чисел зарегистрированных за год землетрясений различной магнитуды от времени указывает на постепенный рост от 200–300 толчков за год в начале функционирования сети сейсмических станций до почти 2500 землетрясений в 2000 году, т.е. эффективность регистрации возросла на порядок. На гистограмме видно, что слабые толчки с магнитудой 2.0 не могут быть представительными за исследуемый период и выделяется 1992 год, когда число толчков максимально (около 2800), что вызвано афтершоками Бусийнгольского землетрясения 1991 года. Этот факт свидетельствует о том, что в сейсмичности Монголии существенную роль играют группирующиеся толчки и их следует выделять из общего сейсмического процесса.

Проблема оценки рекуррентных интервалов (интервалов повторяемости) и вероятности сильнейших землетрясений Монголии имеет не только теоретическое, но и большое практическое значение. Приведенные ниже теоретические оценки рассчитаны, как и в картах ОСР-97, при условии распределения толчков различной магнитуды по экспоненциальному закону и закону Пуассона, и дают представление о рекуррентных интервалах и вероятности сильнейших землетрясений Монголии для целей сейсмического районирования (Klyuchevskii et al., 2002; Ключевский, Демьянович, Баяр, 2005а). Проведенные вычисления свидетельствуют: если величину максимально возможного энергетического класса землетрясений Монголии принять равной $K_{max}=19$, то рекуррентные интервалы толчков с $K_p=18$ составят 210 лет. При $K_{max}=19$ в пределах Монголии величина энергетического класса землетрясений с 10% вероятностью исполнения в течение 50 лет равна $K_p=18.42$, а вероятность землетрясений с $K_p=18.0$ в течение 50 лет составляет $P=0.21$.

Глава II. Структура сейсмичности Монголии

Анализ основных параметров и характеристик сейсмичности Монголии, отдельных областей и районов выполнен на сейсмологическом материале сводного каталога землетрясений МБР (Complex..., 2004; Klyuchevskii et al., 2007,a, б). Оценки представительности данных за 1964–1999 гг. показали, что в этот интервал времени выборки землетрясений северной Монголии, в которую входят Хубсугульский, Болнайский и Орхон-Тольский районы, представительны с энергетического класса $K_p=8$ ($M_{LH}=2.5$). Массивы данных землетрясений южной и западной Монголии, Гоби-Алтайского и Монголо-Алтайского районов представительны с $K_p=9$ ($M_{LH}=3.0$). На всей территории Монголии представительный класс землетрясений равен $K_p=9$ ($M_{LH}=3.0$). Существенное увеличение числа слабых землетрясений не изменило характера распределения эпицентров, которое, как и прежде, достаточно четко отражает пространственно-временную неоднородность сейсмичности Монголии (Землетрясения..., 1985). Анализ эпицентрального поля показывает, что основная сейсмическая деятельность развивается в центральной и западной областях, а граница, разделяющая территории с высокой и низкой сейсмичностью, проходит около 108° в.д. Наиболее существенные особенности эпицентрального поля, нашедшие отражение на карте плотности эпицентров и карте сейсмической активности A_{10} , обусловлены сильными землетрясениями второй половины XX столетия и их афтершоковыми последовательностями.

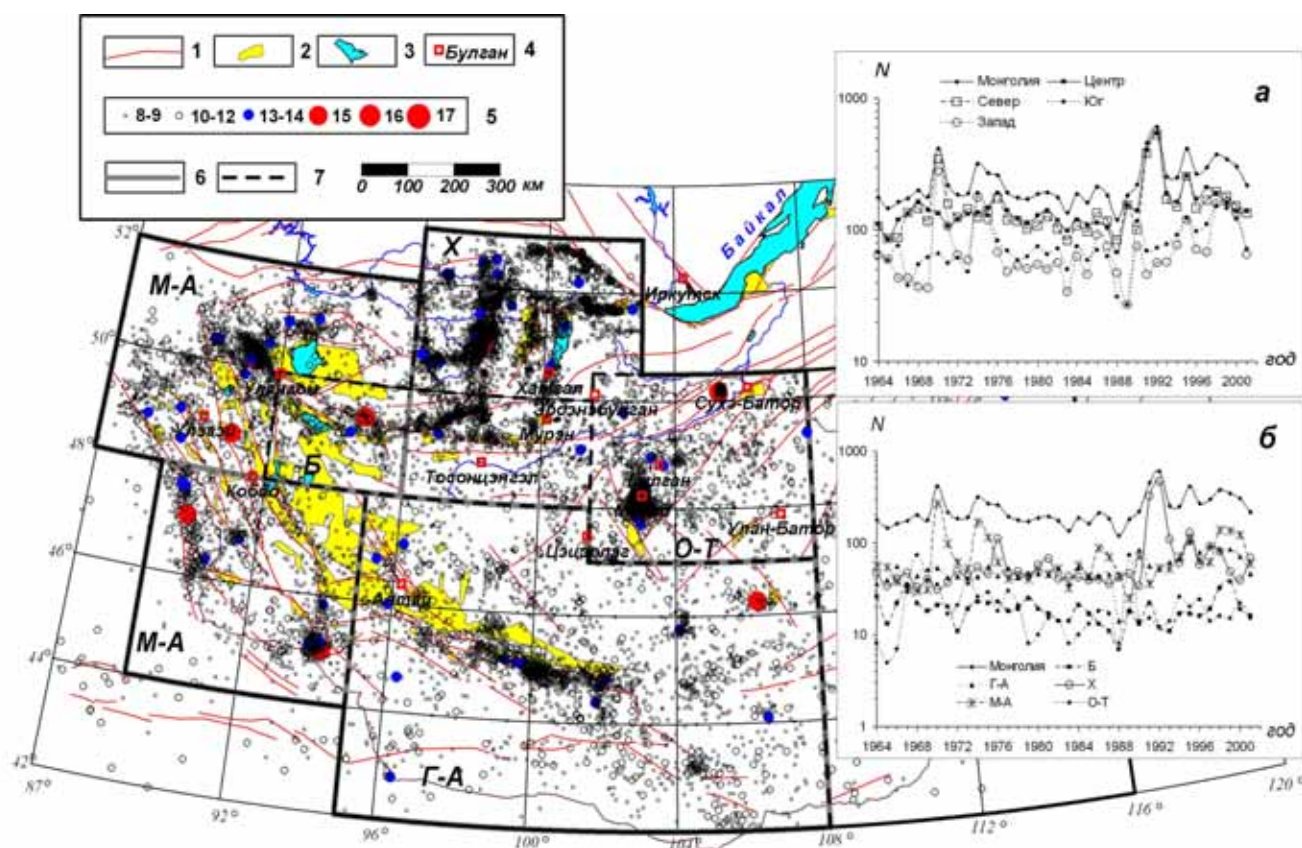


Рис.1. Карта эпицентров землетрясений Монголии.

1 – основные разломы; 2 – впадины; 3 – озера; 4 – города, аймачные центры и крупные сомоны; 5 – эпицентры землетрясений с энергетическими классами $8 \leq K_p \leq 17$; 6 – границы областей; 7 – границы районов. На вставке приведены графики годовых чисел N землетрясений с $K_p \geq 9$ в Монголии и четырех областях (а), Монголии и пяти районов (б).

Карта плотности эпицентров толчков дает возможность определения границ крупных сейсмоактивных областей, на основе которых выполнена иерархическая регионализация

сейсмичности Монголии. На рис.1 выделяются северная и южная области, граница между которыми проходит по широте около 48° . Северная область, кроме разделения по 50-ой широте, может быть разграничена по 96-ому меридиану на западную и центральную части. В южной области граница раздела на западную и центральную части соответствует долготе 95° . Такое разграничение эпицентрального поля достаточно близко соответствует схеме сейсмоактивных районов Монголии, использованной в работе (Землетрясения..., 1985), и взято за основу регионализации сейсмичности на втором уровне иерархической структуры сейсмичности. Первый уровень иерархии отражает сейсмичность больших территорий – Байкальского региона и Монголии, третий уровень рассматривается в Главе III при анализе сейсмичности разломных зон Монголии, а исследования на четвертом уровне иерархии сейсмичности выполнено при анализе очаговых зон сильных толчков в последних главах диссертации. Выбранные уровни иерархии литосферы Монголии хорошо идентифицируются в карте плотности эпицентров и карте сейсмической активности (Klyuchevskii et al., 2004b).

Методами теории самоподобных процессов впервые исследованы энергетическая структура и динамика сейсмичности Монголии и четырех областей (Ключевский, Баяра, 2008). Энергетическая структура сейсмичности Монголии и областей проанализирована при экстраполяции распределения толчков по шкале энергетических классов K обратным каскадом по аналогии с “канторовой пылью”. Анализ пространственно-временных вариаций размерности Хаусдорфа-Безиковича D показывает, что в Монголии, областях и районах энергетическая структура сейсмичности упрощается при геодинамической активизации, и это обусловлено доминированием событий большого масштаба (Ключевский и др., 2006). Структура энергетики сейсмичности на севере и в центре Монголии имеет общие тенденции развития, которые отличаются от энергетики сейсмичности в западной и южной Монголии, возможно из-за неполной представительности землетрясений в этих областях. Сопоставление соответствующих графиков ряда параметров указывает на близкое совпадение энергетической структуры сейсмичности Байкальского региона и Монголии, а отличие графиков этих территорий в конце 1980-х годов обусловлено, вероятно, не полной регистрацией толчков с $K_p=9$ в Монголии в это время. В целом энергетическая структура сейсмичности в Байкальского региона и Монголии совпадает, что указывает на обусловленность современной геодинамики этих регионов влиянием общих энергетических источников деформирования литосферы МБР.

Изменения сейсмичности в пространстве и времени отражают этапы современной геодинамической активизации литосферы МБР (Complex..., 2004; Ключевский и др., 2005b). Достаточно наглядно эти этапы прослеживаются в существенных отличиях наклонов γ графиков повторяемости землетрясений, полученных по методу наименьших квадратов при полных и неполных выборках данных. Наиболее значительные отличия имеют место в 1967–74, 1987 и 1990–1991 гг. В это же время происходит повышение уровня суммарной сейсмической энергии, излучаемой землетрясениями различных регионов, и понижение размерности Хаусдорфа-Безиковича D энергетической структуры сейсмичности. Процессы выделения суммарной сейсмической энергии землетрясениями центральной и северной Монголии совпадают во времени, аналогичная картина наблюдается для толчков южной и западной областей. Поскольку между графиками выделения суммарной сейсмической энергии землетрясениями этих пар областей отсутствует взаимная корреляция, то возникает предположение о раздельном формировании сейсмичности на севере и юго-западе Монголии. Для исследования самоподобия динамики сейсмичности использовался показатель Херста H , наиболее существенные вариации которого коррелируют во времени с афтершоковыми сериями сильных землетрясений. Показано, что сейсмический процесс в Монголии и четырех областях является персистентным, несущим в себе эффекты долговременной памяти о наиболее существенных группах землетрясений. В сейсмическом процессе постоянно присутствует статистическое мультиплексирование, формируемое суперпозицией афтершоков, роевых и фоновых толчков. Наложение толчков приводит к объединенному самоподобному временному процессу, но при скачке скорости потока землетрясений в начале афтершоковой серии возникает дополнительная нелинейность с возможностями различного динамического

поведения геофизической системы сеймогенеза. Наиболее существенные вариации показателя Херста H сейсмического процесса в Монголии и четырех областях, чаще всего, коррелируют во времени с афтершоками сильных землетрясений.

Исследованы корреляции годовых чисел землетрясений с энергетическим классом $K_p \geq 9$, происшедших в Байкальском регионе и Монголии (Ключевский. Баяр, 2008). Корреляционный анализ различной длины реализаций чисел землетрясений позволил обнаружить эффекты синхронного увеличения скорости сейсмического потока на территории МБР, существенно разнесенных в пространстве. Анализ скорости потока толчков выявил два статистически значимых эпизода синхронизации сейсмических процессов – в конце 1960-х и начале 1980-х годов. Эпизод синхронизации скорости потока землетрясений в начале 1980-х годов наблюдается на всех исследуемых территориях, а эпизод конца 1960-х годов слабее прослеживается в Монголии и выделяется, в основном, при длине реализации в три года. Наблюдаемая синхронизация скорости потока землетрясений свидетельствует, что активизации сейсмичности обусловлены перестройками напряженно-деформированного состояния литосферы БРЗ и происходят примерно в одно время в различных областях МБР, формируя в хаотическом пространственно-временном распределении сейсмичности кратковременное когерентное повышение скорости потока толчков.

Полученные результаты указывают на сложную картину пространственно-энергетической структуры и динамики сейсмичности в Монголии, корреспондирующую с основными параметрами сейсмичности в БРЗ. Очевидно, что в сейсмичности Монголии отражаются синергетические процессы, происходящие в литосфере Байкальской рифтовой системы. Значительные вариации основных параметров и характеристик сейсмичности различных регионов Монголии дают основание сделать вывод о неустойчивости сейсмического процесса и неоднородности эпицентрального поля, которые могут быть обусловлены перестройками напряженно-деформированного состояния среды и сложной структурой системы разломов в литосфере МБР. Результаты проведенных исследований показывают, что основные вариации сейсмичности обусловлены последствием сильнейших землетрясений и перестройками напряженно-деформированного состояния среды, а моменты усиления неустойчивости верифицированы в резкой активизации сейсмического процесса различных регионов Монголии, что обосновывает второе и третье защищаемое положение диссертации. Наблюдаемая стадийность системности сейсмического процесса является одним из атрибутов механизма возвращения системы разломов-блоков в метастабильное состояние после главных землетрясений и перестроек НДС среды. Примененный комплекс методов определений, алгоритмов и программ статистической обработки параметров землетрясений позволяет изучить пространственно-временную и энергетическую структуру сейсмичности крупных областей МБР, что обосновывает первое защищаемое положение диссертации.

Глава III. Детальное исследование сейсмичности активных зон Монголии и прилегающих районов

Решение проблем обеспечения сейсмической безопасности является одной из важнейших задач социально-экономического развития сейсмоактивных регионов. Лучший способ снижения риска от землетрясений – избегать строительства и эксплуатации зданий и сооружений на сейсмоопасных территориях. Однако социально-политические и экономические факторы часто делают условие освоения сейсмоопасных территорий единственной альтернативой их устойчивому развитию. Понимание важности создания и безопасной эксплуатации стратегических транспортных коридоров в МБР предопределяет актуальность детального изучения современных геодинамических и сейсмических процессов в зонах активных разломов (Demjanovich et al., 2004). В современном представлении разломообразование и землетрясения являются разномасштабными свойствами одной динамической системы – разломной зоны сдвига (Scholz, 2002). Пространственная приуроченность сильных землетрясений к зонам основных разломов, отмечаемая во множестве исследований, сыграла главную роль на начальном этапе развития глобальной тектоники плит – поскольку землетрясения происходят на границах между литосферными плитами и блоками,

распределение их эпицентров использовалось для картирования этих границ, а фокальные механизмы дали информацию о движениях по отдельным разломам. Землетрясения являются следствием деформаций литосферы Земли и обычно ассоциируются с прерывистым скольжением по уже существующим разломам. Между разломной структурой и эпицентральной полем землетрясений установлена связь, используемая в линеаментно–доменно–фокальной модели сейсмического районирования территорий (Уломов, 1993; 2000; Комплект..., 1999). Поскольку наиболее сильные землетрясения генерируются литосферными блоками высшего иерархического уровня (Садовский и др., 1987), то обусловленность их наиболее крупными разломами постулируется. В таком случае основные сейсмически активные разломы территории формируют доминантный образ и определяют карту общего сейсмического районирования. Некоторые детали и уточнения карты, связанные с разломами меньшей иерархии, существенно не меняют картины, полученной по материалам об основных разломах. В данной главе диссертации представлены результаты детального исследования сейсмичности на двух средних уровнях пространственной иерархии литосферы – в выделенных ранее сейсмически активных зонах и в пределах крупных разломов Монголии (на расстоянии ± 30 км от оси разлома), играющих ключевую роль при сейсмическом районировании территории МБР (Demjanovich et al., 2004).

По данным электронного каталога основных разломов Монголии и материалам о сейсмичности пяти активных зон землетрясений выполнен анализ сейсмического потенциала, пространственной структуры, распределения разломов по размерам и пространственной ориентировки, а затем определены параметры пространственно-временной и энергетической структуры сейсмичности на среднем уровне иерархии неоднородностей литосферы. Повышенный уровень сейсмичности и реализация наиболее сильных землетрясений в Центрально-Монгольской и Западно-Монгольской разломных зонах обусловлены, вероятно, большей мощностью земной коры и литосферы. Проанализированы характеристики разломов и параметры генерируемой ими сейсмичности, указывающие на особенности и влияние неоднородностей в зонах разломов на пространственное распределение толчков и динамику сейсмического процесса. Установлено и параметризовано существенное воздействие афтершоковых последовательностей сильных землетрясений Монголии на структуру сейсмичности на среднем уровне иерархии неоднородностей литосферы МБР. Анализ пяти активных зон землетрясений Монголии указывает на сложную пространственно-временную и энергетическую структуру сейсмичности, формируемую преимущественно сильными землетрясениями и последовавшими за ними сериями афтершоков. Это свидетельствует о существенной роли групп землетрясений в сейсмичности Монголии и выдвигает проблему развития методов выделения и детального исследования группирующейся сейсмичности.

При анализе сейсмичности Прихубсугульской зоны землетрясений установлено, что основная сейсмическая деятельность происходит в пределах зон Бусийнгольского, Дархатского и Тункинского активных разломов. Максимальная концентрация эпицентров землетрясений формируется афтершоками сильного Бусийнгольского землетрясения 1991. Смещенное относительно оси разлома расположение эпицентров может характеризовать Бусийнгольский разлом как структуру западного падения.

Анализ сейсмичности Северо-Хангайской зоны землетрясений показал, что основная сейсмическая деятельность происходит в пределах зон Болнайского и Цэцэрлэгского активных разломов. Максимальная концентрация эпицентров землетрясений в зонах Болнайского и Цэцэрлэгского разломов наблюдается в западной их части и отражает, вероятно, повышенную неоднородность среды. Смещенное относительно оси разлома расположение эпицентров может характеризовать Болнайский и Цэцэрлэгский разломы как структуры с падением в северном направлении. Полученные параметры характеризуют зону Болнайского разлома как слабоактивную, несколько выше активность в зоне Цэцэрлэгского разлома. Зона Болнайского разлома характеризуется как территория с повышенным уровнем группируемости толчков, что отражает, возможно, релаксационные процессы катастрофических Болнайских землетрясений 1905 года, а в зоне Цэцэрлэгского разлома группируемость землетрясений незначительна.

При анализе сейсмичности Западно-Монгольской зоны землетрясений установлено, что основная сейсмическая деятельность происходит неоднородно в пределах зон Кобдинского, Урэг-Нурского и Тахийншарского активных разломов. Расположение эпицентров толчков характеризует Урэг-Нурский разлом как структуру с падением в южном направлении, а Тахийншарский разлом – в западном направлении. Падение зоны Кобдинского разлома субвертикально. Полученные параметры позволяют охарактеризовать зоны Урэг-Нурского (Рис.2), Кобдинского и Тахийншарского разломов как высоко и средне активные с повышенным уровнем группируемости землетрясений.

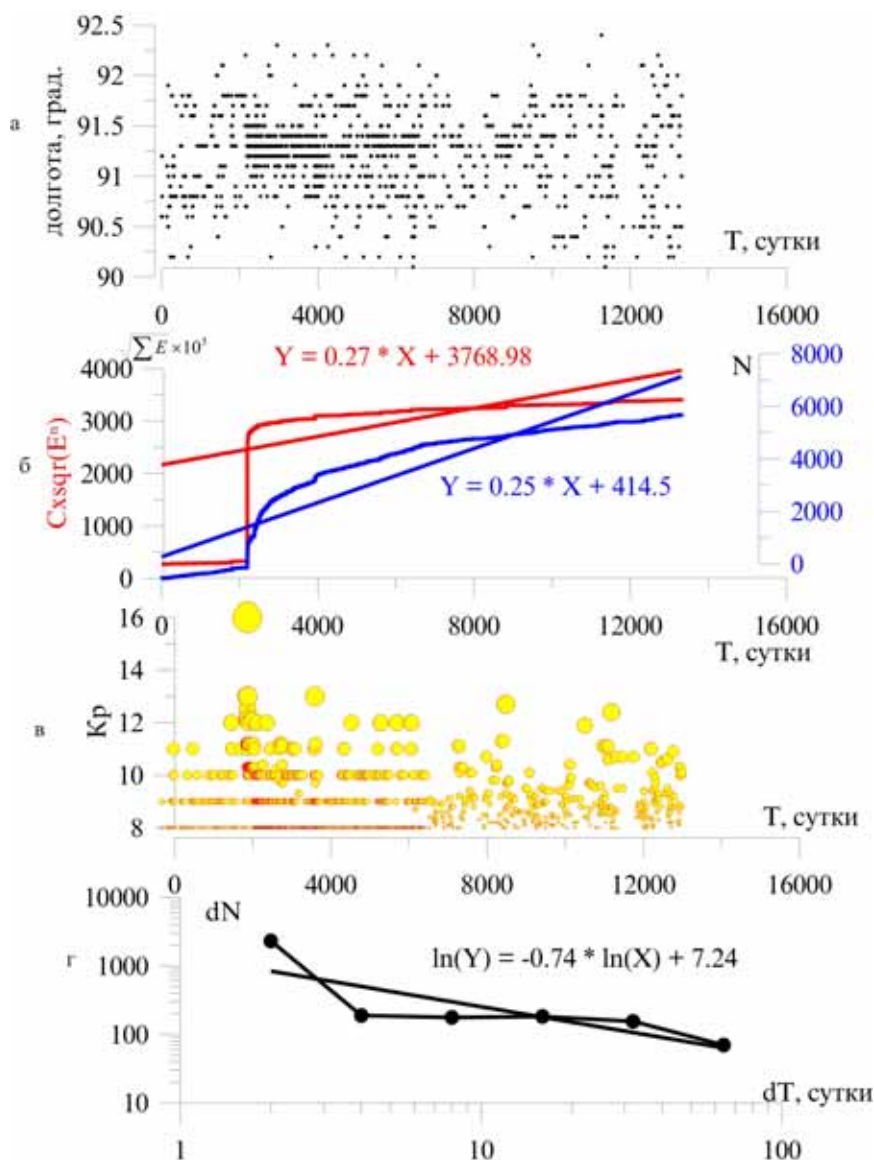


Рис.2. Динамика сейсмичности в зоне Урэг-Нурского разлома:
а. Схема потока толчков; б. Скорость потока толчков и график Бенъофа;
в. Схема потока толчков по классам; г. Показатель группируемости толчков.

Анализ сейсмичности Южно-Монгольской зоны землетрясений показал, что основная сейсмическая деятельность происходит в пределах зоны Богдинского активного разлома. Установленное расположение эпицентров толчков может характеризовать Богдинский разлом как широкую структуру с падением в южном направлении. Полученные параметры позволяют описать зону Богдинского разлома как средне активную с повышенным уровнем группируемости землетрясений, отражающим, вероятно, релаксационные процессы катастрофического Гоби-Алтайского землетрясения 1957 года.

При анализе сейсмичности Центрально-Монгольской зоны землетрясений установлено, что основная сейсмическая деятельность происходит в пределах зоны Могодского активного разлома. Расположение эпицентров толчков может характеризовать этот разлом как широкую структуру с падением в западном направлении. Полученные параметры позволяют классифицировать зону Могодский разлома как высоко активную структуру с повышенным уровнем группируемости землетрясений, обусловленным релаксационными процессами катастрофического Могодского землетрясения.

Результаты проведенных исследований показывают, что стадии неустойчивости очаговой среды обусловлены последствием сильнейших землетрясений, а моменты усиления неустойчивости верифицируются в резкой активизации скорости и энергетики сейсмического процесса. Наблюдаемая стадийность и системность сейсмического процесса на среднем уровне иерархии неоднородностей литосферы рассматривается как один из атрибутов механизма возвращения системы разломов-блоков в метастабильное состояние после главных землетрясений. Развита методика и реализованные алгоритмы, полученные результаты и выводы обосновывают первое, второе и третье защищаемое положение диссертации и дают возможность детального исследования сейсмичности в зонах разломов МБР.

Глава IV. Динамика сейсмического процесса в очаговых зонах сильных землетрясений Монголо-Байкальского региона

В первой части данной главы при изучении динамики сейсмического процесса в очаговых зонах сильных землетрясений МБР применен новый подход к анализу сейсмичности с использованием абсолютной величины энергии отдельных его событий, методика определения которой описана в работах (Потапов, Иванов, 2001; 2005). Поскольку параметры и характеристики исследуемой сейсмичности зависят от используемой классификации землетрясений по шкале магнитуд M и шкале энергетических классов K_p , то использование полной энергии землетрясений, как независимой абсолютной энергетической шкалы, могло придать полученным результатам новое представление. Вместе с тем, полученные с помощью этой шкалы результаты достаточно близко согласуются с параметрами и характеристиками, определенными при использовании шкалы энергетических классов K_p , с учетом того, что их энергетическое отличие составляет примерно 2 ед. лог. Был выполнен спектральный анализ изменения энергии, числа сейсмических событий и параметра γ во времени и установлено, что сейсмический процесс содержит широкий набор спектральных составляющих (Potapov Bayar, Dugarmaa, 2003). Совместный анализ этих зависимостей для локальных участков (дельта р. Селенга, Южный Байкал и Прихубсугулье) и всей зоны позволил установить соответствие периодов повторяемости и энергии.

Получены оценки повторяемости сильных землетрясений в Байкало-Хубсугульской и Западно-Монгольской зоне за инструментальный период наблюдений. Для Западно-Монгольской зоны выявлены периодичности событий: $\lg(T, \text{лет}) = 0.5$ – с энергией $15.5 < E_{\text{сейм}}^{\text{рад}} < 16$, $\lg(T, \text{лет}) = 1$ – с энергией $16. < E_{\text{сейм}}^{\text{рад}} < 17$ и $\lg(T, \text{лет}) = 1.5$ – энергией $17 < E_{\text{сейм}}^{\text{рад}} < 18$. Для Байкало-Хубсугульской зоны: $\lg(T, \text{лет}) = 0.5$ – с энергией $14.5 < E_{\text{сейм}}^{\text{рад}} < 15.5$, $\lg(T, \text{лет}) = 1$ – событий с сейсмической энергии $15.5 < E_{\text{сейм}}^{\text{рад}} < 16.5$ и $\lg(T, \text{лет}) = 1.5$ – событий с сейсмической энергией $16.5 < E_{\text{сейм}}^{\text{рад}} < 17.5$. Повышенный уровень активности Западно-Монгольской зоны является косвенным свидетельством того, что земная кора этой зоны является утолщенной, более консолидированной и менее пластичной в сравнении с корой Байкальского рифта. Исследованы релаксационные процессы в очаговых зонах сильных землетрясений, определены характеристические времена афтершоковых процессов, суммарная энергия афтершоков в зависимости от энергии основных землетрясений, линейные размеры очагов. По афтершоковым процессам, сопровождаемым сильными событиями, определены осредненные размеры очагов в зависимости от энергии: при $\lg E_{\text{сейм}}^{\text{рад}} = 16.1 \pm 0.3$ эквивалентный радиус составляет $R_0 = 11.3 \pm 1.8$ км; при $\lg E_{\text{сейм}}^{\text{рад}} = 17.3 \pm 0.1$ $R_0 = 23.5$ км; при $\lg E_{\text{сейм}}^{\text{рад}} = 18$ $R_0 = 39.5$ км.

Детальное формализованное исследование кинематики (пространственного расположения) и динамики (относительного изменения пространственного расположения) афтершоков Бусийнгольского землетрясения 1991 г. выполнено с целью обнаружения пространственно-временных связей группирующейся сейсмичности с изменением структуры напряженно-деформированного состояния очаговой среды, которая характеризуется динамическими параметрами очагов землетрясений и отражается в трансформациях поля эпицентров. При решении этой задачи рассмотрены вариации средних характеристик последовательных групп афтершоков в пространстве и времени, определены динамические параметры очагов афтершоков и установлены корреляционные соотношения между динамическими параметрами и энергетическим классом толчков (Klyuchevskii et al., 2007в; Klyuchevskii, Bayar, 2008a). Развита методика исследования кинематики и динамики сейсмичности в МБР, применение которой к группам землетрясений показало, что общей характерной чертой сейсмичности в кластерах является зависимость от наиболее сильных толчков. Разработана методика реконструкции и идентификации напряженно-деформированного состояния среды по параметрам сейсмических источников, а ее применение к локальным областям групп толчков Бусийнгольского землетрясения 1991 г. позволило установить, что наблюдаемые изменения динамических параметров источников происходят под влиянием перестроек напряженно-деформированного состояния очаговой среды, согласуются с пространственно-временным потоком землетрясений и объясняют особенности его распределения. Результаты проведенных исследований показывают, что стадии неустойчивости напряженно-деформированного состояния очаговой среды обусловлены последствием сильнейших землетрясений и афтершоков, а моменты усиления неустойчивости верифицируются в резкой активизации сейсмического процесса (Klyuchevskii et al., 2004a). Наблюдаемая стадийность и системность деформационного и сейсмического процесса является одним из атрибутов механизма возвращения системы разломов-блоков в метастабильное состояние после главных землетрясений и наиболее сильных афтершоков. Развита методика и алгоритмы, полученные результаты и выводы обосновывают первое и третье защищаемое положение диссертации и дают возможность детального исследования сейсмичности в очаговых зонах сильных землетрясений МБР.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе в рамках решения проблемы обеспечения сейсмической безопасности на территории Монголии разработаны экспериментальные, методические, теоретические, математические и алгоритмические проблемы технологии, позволяющей исследовать структуру сейсмичности на четырех различных иерархических уровнях неоднородностей литосферы Монголо-Байкальского региона. Поскольку исследование сейсмичности МБР осуществлено с использованием большого числа зарегистрированных землетрясений, то полученные в диссертации результаты и выводы можно охарактеризовать как представительные при высоком уровне значимости. Достоверность полученных в диссертации результатов и выводов подтверждается высокой представительностью используемых данных, верификацией по натурным и хорошо проверяемым материалам сейсмологических и геофизических наблюдений и широкой апробацией. Развита методика и алгоритмы решения основной обратной задачи реконструкции и идентификации сейсмичности в МБР по данным очаговой и структурной сейсмологии позволили установить и верифицировать сложную картину пространственно-энергетической структуры и динамики сейсмичности в Монголии, корреспондирующую с основными параметрами сейсмичности в БРЗ. Значительные вариации основных параметров и характеристик сейсмичности различных регионов Монголии дают основание сделать вывод о неустойчивости сейсмического процесса и неоднородности эпицентрального поля, которые обусловлены перестройками напряженно-деформированного состояния и сложной структурой системы разломов в литосфере. Результаты проведенных исследований показывают, что основные вариации сейсмичности на всех исследуемых уровнях иерархии неоднородностей литосферы обусловлены последствием сильнейших землетрясений и перестройками напряженно-деформированного

состояния среды, а моменты усиления неустойчивости верифицированы в резкой активизации сейсмического процесса различных территорий. Наблюдаемая стадийность системность сейсмического процесса является одним из атрибутов механизма возвращения системы разломов-блоков в метастабильное состояние после главных землетрясений и перестроек напряженно-деформированного состояния среды.

Основные работы, опубликованные по теме диссертации

1. Кочетков В.М., Хилько С.Д., Зорин Ю.А., Ружич В.В., Турутанов Е.Х., Арвисбаатар Н., Баясгалан А., Кожевников В.М., Эрдэнбелэг Б., Чипизубов А.В., Монхоо Д., Аниканова Г.А., Ключевский А.В., Найдич В.И., **Баяр Г.**, Боровик Н.С., Гилева Н.А., Адьяа М., Балжинням И., Джурик В.И., Потапов В.А., Юшкин В.И., Дугармаа Т, Цэмбэл Л. // Сейсмотектоника и сейсмичность Прихубсугуля. Новосибирск: Наука, 1993. 182 с.
2. Complex geophysical and seismological investigations in Mongolia/Dzhurik V.I., Dugarmaa T., ... **Bayar G.** et al. Ulaanbaatar-Irkutsk, 2004. 315 p.
3. Джурик В.И., Ключевский А.В., Серебренников С.П., Демьянович В.М., Батсайхан Ц., **Баяр Г.** Сейсмичность и районирование сейсмической опасности территории Монголии. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2009. 420 с.
1. Тудэв Ц., Чагнаадорж Д., **Баяр Г.** Основные черты тектонического строения Монголии по геофизическим данным // Геология и геофизика. 1981. №4. С.81–86.
2. Баяр Г. Алгоритм определения эпицентров близкого землетрясения и реализация его на персональном компьютере. Улаанбаатар, 1989. Труды ФТХ, №28. С.67 – 78.
3. Ключевский А.В., **Баяр Г.**, Селенгэ Л. Некоторые результаты исследования афтершоков Бутээлинского землетрясения // Современные научные результаты исследований в области Геофизики и Солнечной физики // Geophysics & Astronomy. No1. Материалы Второй Российско-Монгольской конференции. Улаан-Баатар. 2002. С.78-82.
4. Дугармаа Т, Монхоо Д., **Баяр Г.**, Цэмбэл Б., Сэлэнгэ Л., Кочетков В.М., Джурик В.И., Ключевский А.В., Чипизубов А.В., Баскаков В.С. Землетрясение 24 сентября 1998 года на юго-востоке Монголии // Современные научные результаты исследований в области Геофизики и Солнечной физики // Geophysics & Astronomy. No1. Материалы Второй Российско-Монгольской конференции. Улаан-Баатар. 2002. С.60-66.
5. Ключевский А.В., Демьянович В.М., **Баяр Г.** Оценка рекуррентных интервалов и вероятности сильных землетрясений Байкальского региона и Монголии // Геология и геофизика. 2005. Т.46. №.7. С.746-762.
6. Ключевский А.В., Демьянович В.М., **Баяр Г.** Современная геодинамика Монголии по сейсмическим данным // Труды V Российско-Монгольской конференции по астрономии и геофизике. Иркутск: 2005. ИСЗФ СО РАН. С.76-79.
7. Ключевский А.В., Зуев Ф.И., Демьянович В.М., **Баяр Г.** Оценки самоподобия энергетической структуры и динамики сейсмичности Монголии. Труды VI Российско-Монгольской конференции по астрономии и геофизике. Иркутск: ИЗК СО РАН. 2006. С.57-62.
8. Ключевский А.В., **Баяр Г.** Эпизоды синхронизации годовых чисел землетрясений Монголо-Байкальского региона//Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). Иркутск: ИЗК СО РАН, 2008. Вып.6. Т1. С.132-134.
9. Ключевский А.В., Баяр Г., Бум-Очир С. Эпизоды синхронизации годовых чисел землетрясений Монголо-Байкальского региона // Доклады Академии наук. 2010. Т.431. №1.
10. Klyuchevskii A.V., Kochetkov V.M., **Bayar G.**, Demjanovich V.M. Estimation of recurrence intervals and probability of the largest earthquakes of Mongolia// Proceeding of the Mongolian Academy of Science. (Шинжлэх Ухааны Академийн МЭДЭЭ). 2002. V. 164. No2. С.19-28.

11. Klyuchevskii A.V., Kochetkov V.M., Selenge L., **Bayar G.** Comparative Investigation of Dynamic Source Parameters of Small Mongolian Earthquakes // Современные научные результаты исследований в области Геофизики и Солнечной физики // Geophysics & Astronomy. No1. Материалы Второй Российско-Монгольской конференции. Улаан-Баатар. 2002. С.83-88.
12. Klyuchevskii A.V., **Bayar G.**, Selenge L. Some results of aftershock investigation of the Buteyelin earthquake// Proceeding of the Mongolian Academy of Science. (Шинжлэх Ухааны Академийн МЭДЭЭ). 2003. V. 167. No1. С.22-27.
13. Klyuchevskii A.V., Demjanovich V.M., **Bayar G.** & Dugarmaa T. Stress-strain state of the lithosphere in Northern Mongolia and Southern Pribaikalye from the data on small earthquake seismic moments // Geophysics and astronomy. 2004. N2. P. 47-49.
14. Demjanovich V.M., Klyuchevskii A.V., Dugarmaa T., **Bayar G.** Investigation of seismicity in fault zones in northern Mongolia and southern Pribaikalye // Geophysics and astronomy. 2004. N2. P. 44-46.
15. Klyuchevskii A.V., **Bayar G.**, Demyanovich V.M., et al. Seismicity and seismic zoning // Complex geophysical and seismological investigations in Mongolia. Ulaanbaatar-Irkutsk, 2004. P. 113-203.
16. Klyuchevskii A.V., **Bayar G.**, Demjanovich V.M., Dugarmaa T. Basic parameters and characteristics of seismicity in Mongolia//Proceedings of the Mongolian Academy of Sciences (Шинжлэх Ухааны Академийн МЭДЭЭ), 2007a, Vol. 186, No4, pp.34-47.
17. Klyuchevskii A.V., Dugarmaa T., Demyanovich V.M., **Bayar G.** Basic parameters and characteristics of seismicity in Mongolia. Conference commemorating the 50th anniversary of the 1957 Gobi-Altay earthquake. Ulaanbaatar: 2007b. P. 87-92.
18. Klyuchevskii A.V., Dugarmaa T., **Bayar G.** Kinematics and dynamics of aftershocks of the Busiingol 1991 earthquake in North of Mongolia. Conference commemorating the 50th anniversary of the 1957 Gobi-Altay earthquake. Ulaanbaatar: 2007b. P. 93-98.
19. Klyuchevskii A.V., **Bayar G.** KINEMATICS AND DYNAMICS OF AFTERSHOCKS OF THE BUSINGOL 1991 EARTHQUAKE//Proceedings of the Mongolian Academy of Sciences (Шинжлэх Ухааны Академийн МЭДЭЭ), 2008a, Vol. 189, No3, pp.74-83.
20. Klyuchevskii A.V., **Bayar G.** Baikal and Hovsgol as structure-attractor of rifting in the Baikal rift system// The 7th International Symposium on Environmental Changes in East Eurasia and Adjacent Areas–High resolution records of terrestrial sediments. Ulaanbaatar-Hatgal, Mongolia. 2008b. P.86-89.
21. Potapov V.A., **Bayar G.**, Dugarmaa T. Dynamics of the seismic process in Baikal Khubsugul zone // Proceedings of the Mongolian Academy of Sciences. 2003. V.167. N1. P.8 – 21.
22. Ключевский А.В., **Баяр Г.** Монголын газар хөдлөлтийн энергийн бүтэц // Proceedings of the Mongolian Academy of Sciences. 2008. V. 190. N4. P.78 – 90.
23. Ключевский А.В., Демьянович В.М., **Баяр Г.**, Бум-Очир С. Монгол орны газар хөдлөлтийн энергийн бүтэц // Proceedings of the Mongolian Academy of Sciences (Шинжлэх Ухааны Академийн МЭДЭЭ). 2009. V. 192. N2. P.47 – 58.

Подписано к печати 22.12.2009 г. Формат 60×84/16.
Бумага офсетная №1. Гарнитура Таймс. Печать Riso.
Усл. печ. л. 2.0. Тираж 100. Заказ 740.
Отпечатано в типографии Института земной коры СО РАН.
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128.