

ОСНОВНЫЕ РАЗЛОМЫ МОНГОЛИИ И ИХ РОЛЬ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКОМ РАЙОНИРОВАНИИ ТЕРРИТОРИИ

М.Г. Демьянович, А.В. Ключевский, В.М. Демьянович

Институт земной коры СО РАН

664033, г. Иркутск, Лермонтова, 128

E-mail: akluchev@crust.irk.ru

Поступила в редакцию 22 октября 2007 г.

Составлен электронный каталог основных разломов Монголии, на базе которого выполнено сейсмическое районирование территории Монголии. Получена цифровая карта сейсмического районирования территории Монголии и показана ключевая роль основных разломов при сейсмическом районировании территорий в рамках линеаментно–доменно–фокальной модели. Проанализированы некоторые характеристики разломов, указывающие на особенности идентификации напряженно-деформированного состояния литосферы по сейсмологическим и геологическим данным.

Ключевые слова: *Монголия, основные разломы, сильные землетрясения, сейсмическое районирование.*

MAJOR FAULTS OF MONGOLIA AND THEIR ROLE IN SEISMIC ZONING

M.G. Demyanovich, A.V. Klyuchevskii, V.M. Demyanovich

Institute of the Earth Crust, Siberian Branch of RAS

An electronic catalog compiled for the major faults of Mongolia has provided the basis for seismic zoning of Mongolia. A digital map of seismic zoning has been produced, and a key role of major faults in seismic zoning within the lineament-domen-focal model has been emphasized. Analysis has been made on some characteristics of the faults suggestive of the features to identify the state of stress and strain of the lithosphere from the seismological and geological data.

Key words: *Mongolia, major faults, large earthquakes, seismic zoning.*

Введение

Существующие геологические, геофизические и геодезические материалы по Монголо-Байкальскому региону (МБР) позволяют прийти к выводу о том, что тектоническая структура, геологическая зональность, сейсмичность и современная геодинамика региона определяются взаимодействием двух различных механизмов тектоногенеза [Complex..., 2004; Актуальные..., 2005]. Это, во-первых, механизм автономного саморазвития региона и в первую очередь, подвижного Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП) [Logatchev, 1993; Gao et al., 1994; Ключевский, 2005], а во-вторых, это плейттектонический механизм внешнего воздействия на подвижный пояс и другие структурные элементы региона [Molnar,

Tarponnier, 1975]. Суперпозиционное взаимодействие механизмов тектоногенеза формирует на различных иерархических уровнях литосферы сложные пространственно-временные перемещения литосферных плит и блоков по зонам основных разломов МБР. Известно, что преобладающим типом активного разломообразования в Монголии является сдвиг, правосторонний по плоскостям, ориентированным от севера до северо-запада, и левосторонний по разломам, направленным на запад или запад-северо-запад [Baljinnyam et al., 1993]. Довольно однородное поле напряжений формируется в основном плейттектоническим механизмом внешнего воздействия и может быть представлено северо-восток-юго-западным сжатием и северо-запад-юго-восточным растяжением [Tarponnier, Molnar, 1979]. Значительная часть тер-

ритории Монголии расположена в высокосейсмичных областях ЦАСП и подвержена частым и сильным землетрясениям, но особенно опасна в сейсмическом отношении западная половина ее территории. Только в XX веке здесь произошло более 60 землетрясений с $M > 5,5$ (интенсивностью от 7 до 11-12 баллов). Среди них десятки землетрясений вызвали крупные нарушения земной поверхности, а сейсмические катастрофы (Болнайское, 1905, Фуюнское, 1931 и Гоби-Алтайское, 1957 годов) сопровождались сейсмотектоническими деформациями протяженностью до нескольких сотен километров. Судя по сохранившимся следам древних землетрясений и летописным сведениям, подобные и, возможно, более грандиозные сейсмические события происходили здесь в исторически недавнем прошлом [Baljinyam et al., 1993].

Материалы и методика

Решение проблем 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 при проведении сейсмического районирования территорий [Ключевский и др., 2007]. 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. В настоящее время имеются две модели фрактального пространственного распределения землетрясений [Turcotte, Malamud, 2002]. В соответствии с первой моделью пространственное распределение разломов фрактально и на каждом разломе происходят землетрясения одного размера. Во второй модели на каждом разломе имеет место фрактальное пространственное распределение землетрясений. Поскольку при детальных исследованиях северных и южных запертых секций разлома Сан-Андреас не получено доказательств фрактального распределения землетрясений, то рабочей гипотезой служит представление, что каждый разлом генерирует землетрясения одного размера, а фрактальное распределение землетрясений формируется фрактальным пространственным распределением разломов. Между разломной структурой и эпицентральной полем землетрясений установлена связь, используемая в линейно-доменно-фокальной модели сейсмического районирования территорий [Уломов, 1993; 2000; Комплект..., 1999]. Рабочей группой по исследованию сильных землетрясений Южной Калифорнии разработана «каскадная мультисегментная модель» [Jackson et al., 1995], которая предполагает сложное неоднородное строение разломов [McGarr, 1982] и распределение землетрясений в пространстве и времени по закону Гутенберга-Рихтера. Магнитуда и рекуррентное время сильных сейсмических событий оцениваются на основе гипотезы характеристического землетрясения, в соответствии с которой подвижки по разлому осуществляются характеристическими толчками, полностью разрывающими сегменты разлома с постоянным характеристическим смещением D , а разлом может быть разделен на сегменты, каждому из которых приписывается характеристическая магнитуда. Сейсмическая опасность определяется числом характеристических землетрясений, скоростью потока всех сейсмических событий и характеристической магнитудой. Величина этой магнитуды вычисляется из данных о длинах сегментов разлома, а скорость потока толчков – из наблюдаемой сейсмичности и сейсмического момента разлома. Некоторые положения этой модели были применены нами для оценки рекуррентных интервалов и вероятности сильных землетрясений южного Прибайка-

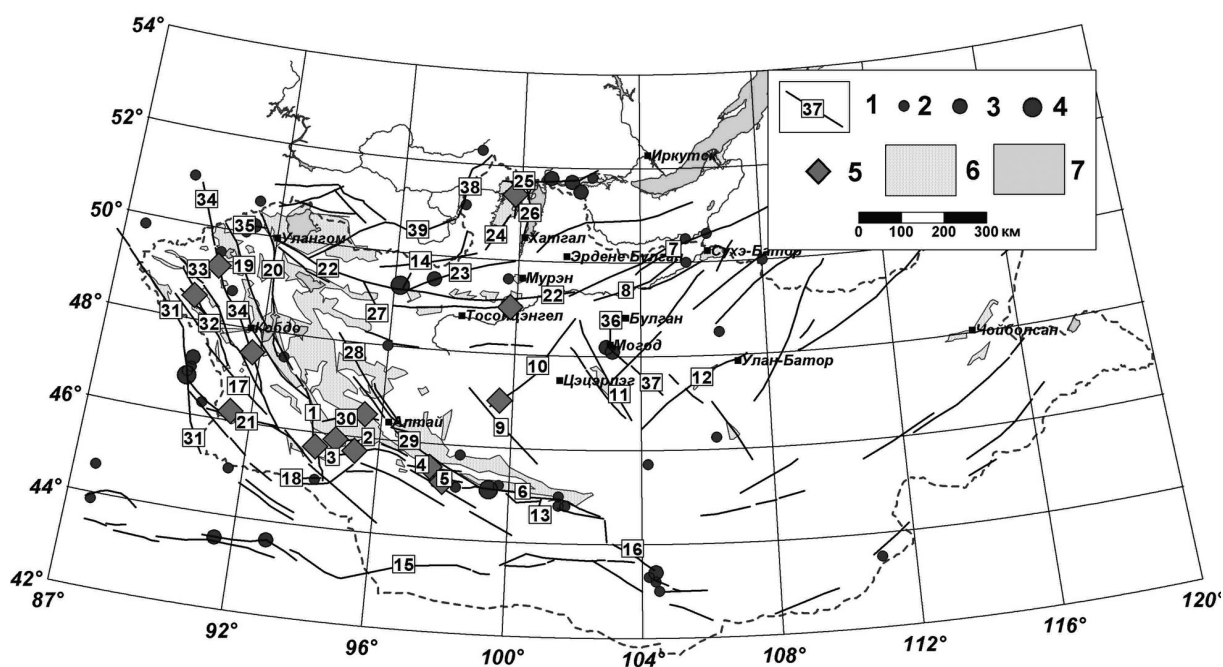


Рис. 1. Карта активных разломов Монголии.

1 – разломы (1-39 – номера разломов в соответствии с таблицей); 2 – эпицентры землетрясений с магнитудой $6 \leq M < 7$; 3 – эпицентры землетрясений с магнитудой $7 \leq M < 8$; 4 – эпицентры землетрясений с магнитудой $M \geq 8$; 5 – палеосейсмоструктуры магнитудой $M \geq 7$; 6 – депрессии; 7 – озера.

ля [Ключевский, 2005]. 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 настоящей работе представлены результаты исследования основных разломов Монголии, играющих ключевую роль при сейсмическом районировании территории.

Для территории Монголии составлена цифровая карта активных в кайнозое основных разломов (рис. 1) с определением их количественных параметров, структурно-тектонической позиции, сейсмогеодинамики, сейсмогенерирующей значимости и т.д. (табл. 1). Под активными в кайнозое разломами понимаются разрывные нарушения с признаками тектонических движений в третичное, плейстоценовое и голоценовое (включая историческое) время. Эти разломы находят отражение на дневной повер-

хности в виде смещений молодых кайнозойских отложений и элементов рельефа, ограниченных впадин и блоков фундамента, и линий, контролирующих выходы термоминеральных вод. Они подтверждаются геодезическими (данные о контрастных современных подвижках) и геофизическими (гравитационными, электромагнитными, магнитотеллурическими, газовыми, эманиционными и др.) аномалиями, линейной упорядоченностью оро- и гидрографических элементов рельефа, приуроченностью кайнозойских вулканических образований, особыми вещественными изменениями (зоны дробления, дезинтеграции, остеклования, глиники трения, коккритизации и др.), проявлением на аэрокосмических снимках. Сейсмогенерирующая значимость разломов устанавливается по ряду признаков: возрасту последнего обновления, генетическим (кинематическим) типам, средней скорости неотектонических и современных движений и приуроченности к очагам сильных землетрясений. Все они оказывают определенное влияние на режим развития земной поверхности за счет различной интенсивности проявления деформаций, которая в свою очередь, зависит от состава, степени консолидации и реологических свойств среды в зоне разлома. Моло-

Таблица 1

Каталог активных в кайнозойе разломов Монголии

№	Название (сокращенное)	Тип	Длина, км		Амплитуда, м				Ориентировка		T ₀	T _R	Сейсмогеологическое обоснование	Зона ВОЗ (м)
			L	l	вертикальная		горизонтальная		Простирание	падение				
					Σ	sg	Σ	sg						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Тонхилский (Th)	B-C	210	25	2000	—	—	3	NNE	SW-NE	Pz	Q _{IV}	ПСС Бидж, M = 7,3	7,5
2	Тургэский (Tg)	H	150	40	2000	3	—	—	WNW	SW	Kz	Q _{IV}	ПСС Тургэг, M = 7,2	7,5
3	Худжиртынский (Hd)	B	150	28	700	3	—	—	WNW	SW	Pz	Q _{IV}	ПСС Худжиртын, M = 7,0	7,5
4	Мянгайнский (Mn)	B-C	200	80	2000	3	—	Lf	W-E	N-S	Mz	Q _{IV}	ПСС Мянгайн, M = 7,7	8,0
5	Чандманьский (Ch)	B-C	110	50	100	1,5	—	Lf 2,0	WNW	SW	Mz	Q _{IV}	ПСС Чандмань, M = 7,4	7,5
6	Богдинский (Bg)	B-C	320	270	2500	4	—	Lf 3	WNW	SW	Pz	RC	1957 г., M = 8,2	>8,0
7	Тэс-Селенгинский (TS)	Cб-C	200	—	400	—	—	—	NE	S	Pz	Kz	Деформации террас, ПССД	6,5
8	Бутуэлинский (Bt)	B-C	200	—	1000	—	—	—	NE	SE	Pz	Kz	1952 г., M = 6,5; 1989 г., M = 6,4	7,0
9	Баянхонгорский (Bh)	B-C	260	—	1500	—	—	Rt	NW	SW	PR ₃	Q _{IV}	Уступы, деформации долин, протяженные рвы	6,5
10	Эгийндабанский (Ed)	Cб-C	300	42	400	4,5	—	Lf	NE	NW	PZ ₃	RC	ПСС Эгийн Дабанская, M = 7,8, 1570 г. ?	8,0
11	Орхонский (Or)	B-C	250	—	1000	—	—	Rt	NW	NE	PZ ₃	Kz	Рвы, деформация Kz базальтов, 1958 г., M = 6,2	7,0
12	Тольский (TI)	B-C	300	—	300	—	—	—	NE	NW	PZ ₁	Kz	Уступы, деформации террас	6,0
13	Тормхонский (Tr)	H	40	40	—	2,5	—	Rt 4,0	NNE	NW	Kz	RC	1957 г., M = 8,1	>8,0
14	Тэсингольский (Tn)	B-C	300	—	100	—	—	—	ENE	SE	Pz	Kz	Уступы, эрозивно-тектонические долины	6,0
15	Гоби-Тяньшанский (GT)	B-C	800	—	—	—	—	—	WNW-ENE	N-S	Pz-Kz	RC	1914 г., M = 7,5	8,0
16	Бурьнярский (Бу)	B	120	24	4000	2,0	—	Rt 1	NW	NE	Pz	RC	1903 г., M = 7,5	7,5
17	Тургенский (Tu)	B-C	220	—	3000	—	—	—	NW	NE	Pz	Kz	1933 г., M = 6,6	7,0
18	Тахийншарский (Tsh)	B-C	60	17	250	1,0	—	Lf 0,5	NE	SE	Kz	RC	1974 г., M = 6,9	7,0
19	Ачит-Нурский (AN)	B-C	220	27	1500	2,0	—	Rt	NW	SW	Kz	RC	1938 г., M = 6,6	7,5
20	Предалтайский (Pa)	H	360	12	800	—	—	—	NW-N	NE	Pz	Q _{IV}	Уступы, дамбы высотой до 3 м, ПССД	7,5
21	Булганский (Bl)	B-C	200	32	1500	2,0	—	Lf 2	WNW	SW	Pz	Q _{IV} 1	ПСС Булганская, M = 7,5	7,5
22	Болнайский (Bo)	C	650	32	1500	2,5	—	Lf 6,5	WNW	NE	Pz-Kz	RC	ПСС, Дзунурская, M = 7,8, 1905 г., M = 8,2	>8,0
23	Цэцэрлэгский (Cr)	B-C	300	150	1000	2,0	—	Lf 2,5	NE	NW	Pz	RC	1905 г.	8,0
24	Шишид-Гольский (ShG)	Cб	100	20	1000	6,0	—	—	NE	NW	Kz	Q _{III-IV}	ПССД	7,0
25	Дархатский (Dh)	Cб	80	2	1000	2,0	—	—	NNW	SW	Kz	Q _{IV}	ПСС Джарогол, M = 7,0	7,0
26	Хубсугульский (KHg)	Cб	200	7	1000	—	—	—	NNW	E	Pz	Q _{I-IV}	ПССД, деформации террас, уступы	7,0
27	Тэрготийнский (Tt)	B-C	100	70	—	2,0	—	4	NW	NE	Kz	RC	1905 г., M = 8,2	7,5

7

ломов, то вероятность реализации сбросов составляет $P_N \approx 0,12$, сдвигов $P_S \approx 0,38$ и взбросов $P_R \approx 0,50$. Такие особенности кинематики основных разломов Монголии должны быть учтены при сейсмическом районировании территории, так как в эпицентральной зоне при равных магнитурах уровень ускорений при толчках-взбросах в 2,5 раза выше, чем при сбросах [Аптикаев, 2005]. Возникает, однако, вопрос об идентификации кинематики разломов, которая, как правило, характеризует затем напряженно-деформированное состояние литосферы и современную геодинамику региона: если это независимая от сейсмических толчков идентификация (полученная без привлечения данных о подвижках при сильных землетрясениях), то в геодинамике литосферы Монголии доминирующую роль играют толчки-взбросы и сдвиги различных энергетических классов. Если же в идентификации приняты во внимание сейсмологические данные (как это обычно бывает на практике), то эти вероятности характеризуют только сильные землетрясения, а напряженно-деформированное состояние литосферы Монголии в целом может не соответствовать этим вероятностям. По результатам исследований Д. Дозер [Dozer, 1991] в Прибайкалье и Е.И. Широковой [1977] на Среднем и Ближнем Востоке в одной пространственно-временной выборке данных с уменьшением магнитуды землетрясений вероятность реализации толчков взбросов и сдвигов понижается, а вероятность реализации сбросов растет. Такая тенденция хорошо детерминирована в толчках Байкальской рифтовой зоны, с доминированием вероятностей сбросов $P_N > 0,6$ среди слабых толчков [Ключевский, Демьянович, 2004], и примерно одинаковой вероятностью реализации сбросов, сдвигов и взбросов для толчков с энергетическим классом $K_p > 14$ [Ключевский и др., 2007; Ключевский, Демьянович, 2007]. Такие распределения вероятностей предопределены иерархической фрактальной структурой разломов и напряженно-деформированным состоянием блоковой среды на разных масштабных уровнях литосферы. В распределении основных разломов Монголии по длинам наблюдается максимум в диапазоне 100-350 км. Три разлома имеют длину менее 100 км, а длина трех самых больших разломов превышает 450 км. Примерно треть основных разломов ориентированы в северо-восточном направлении, а остальные имеют преимущественно северо-за-

падную ориентировку. В градации по направленности выделяются три максимума – WNW (7 разломов), NW (13) и NE (7). Среди левосторонних разломов со сдвиговой кинематикой 5 имеют западную, а 3 – восточную ориентировку. У правосторонних на запад направлены 9 разломов, а на восток только 2. С некоторыми исключениями такое распределение подтверждает тенденцию ориентировки правосторонних разломов-сдвигов Монголии в западном, а левосторонних – в восточном направлении [Baljinnyam et al., 1993; Молнар и др., 1995].

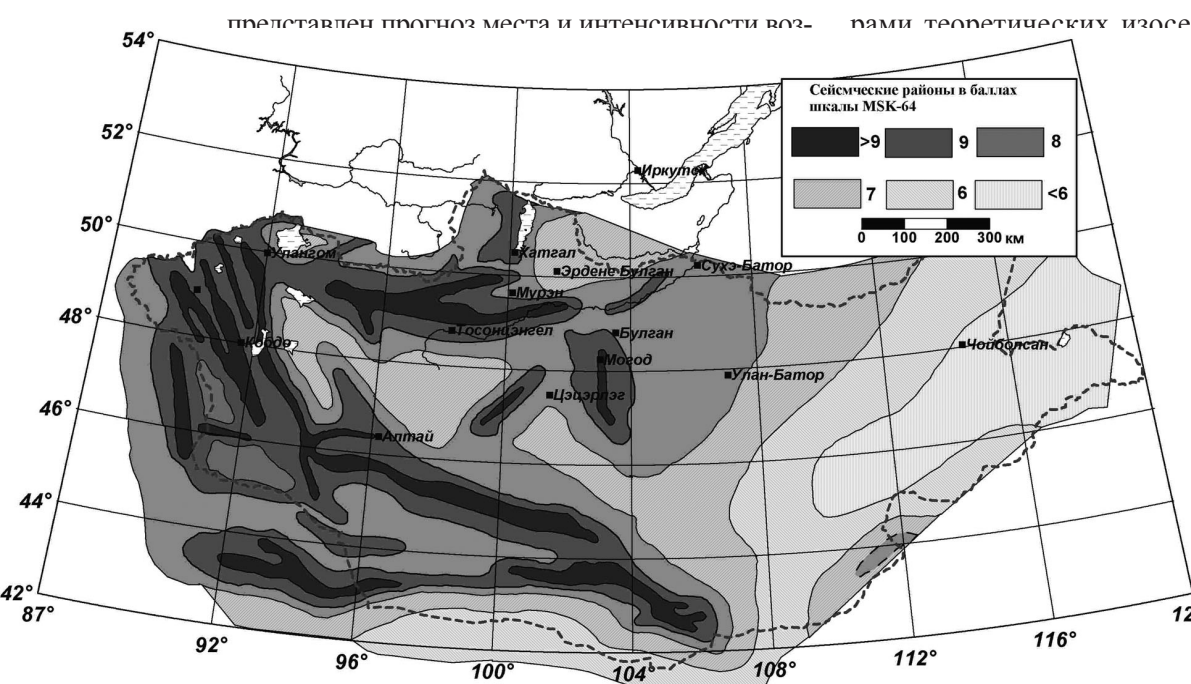
Сейсмическое районирование

Первые результаты сейсмического районирования Монголии были опубликованы В.П. Солоненко в статье «О сейсмическом районировании Монгольской Народной Республики», в которой на основании выделения крупных неотектонических структур, согласующихся с распределением эпицентров сильных землетрясений, была составлена схема сейсмического районирования МНР с указанием зон 7-9-балльной и выше сейсмичности [Солоненко, 1959]. По мере появления новых данных по геологии, тектонике, геоморфологии, палеосейсмогеологии, макросейсмике и инструментальной сейсмологии Монголии в 1970 году Л. Нацаг-Юм, И. Балжинням и Д. Монхоо составили новую карту сейсмического районирования МНР (ОСР-70) на базе карты сейсмогенных структур и зон с высокой и умеренной потенциальной сейсмичностью [Нацаг-Юм и др., 1971]. Общее сейсмическое районирование территории Монголии (ОСР-83), при котором в качестве определяющего элемента сейсмотектоники выступает сейсмический потенциал определенных систем разломов и однотипных комплексов морфоструктур, существенно изменило карту районирования в сторону увеличения площадей высокобалльных сейсмических территорий [Хилько и др., 1985].

Новое сейсмическое районирование Монголии выполнено с учетом карт сейсмического районирования МНР 1970, 1983 гг. и карты зон ВОЗ (возможных очагов землетрясений) Восточной Сибири и Монголии [Леви и др., 1996; Klyuchevskii et al., 2004]. При сейсмическом районировании Монголии в силу различных причин не удалось применить вероятностно-детерминистские принципы построения карт общего сейсмического районирования – на карте

Рис. 2. Карта сейсмического районирования Монголии.

Подготовлена с участием В.М. Кочеткова, Р.А. Курушина. Использованы материалы В.П. Солоненко, С.Д. Хилько, И. Балжинняма, Л. Нацаг-Юма, Д. Монхоо, Г. Баяра.



базируется на определении осредненных величин радиусов изосейст, установленных при изучении макросейсмических последствий сильных землетрясений МБР. Величины радиусов корректировались при появлении новых материалов по изучению последствий сильных землетрясений, происшедших в наши дни, разме-

представлен прогноз места и интенсивности воз-рами теоретических изосейст [Демьянович и затухания балль-сений Монголии, Ирибайкалья. При жого районирова-ов изосейст накла-нии соответству-изом учитывались йсмических коле-М = 8,0, М = 7,5-авершающий этап жого районирова-районам проявле-сотрясений в бал-оцедурой опреде-районов (рис. 2). **интенсивностью** Выделение райо-й с силой более 9 ями проектирова-ния и строительства объектов и сооружений особой ответственности. Поскольку в этих районах запрещено капитальное строительство, то в случае необходимости здесь должно быть выполнено детальное сейсмическое районирова-ние с целью выделения участков пониженной балльности. Макросейсмических данных, кро-

ме деформаций поверхности земли, для проведения границ районов с ожидаемыми сотрясениями интенсивностью более 9 баллов практически нет и поэтому они отождествлены с площадями зон ВОЗ с $M > 7$ (рис. 2). Эти районы приурочены к склонам высокоподнятых морфоструктур Монгольского и Гобийского Алтая, Хангайскому (Болнайскому) фрагменту Монголо-Охотского глубинного линейного, Орхон-Тольскому структурному горному понижению, олицетворяющему на поверхности часть меридиональной глубинной «редукционной» структуры [Solonenko, 1988], Эгийн-Дабанской диагональной структурной зоне, Гоби-Тяньшаньскому ограничению Заалтайской Гоби и блоковой морфоструктуре хр. Гурван-Сайхан. Во всех случаях районы вытянуты вдоль активизированных разломов. Хотя интенсивность сейсмических колебаний внутри площадей, очерченных этой изосейстой могла превышать 9 баллов (Монголо-Алтайское, Монгольское, Болнайское, Гоби-Алтайское землетрясения), их распространение обычно не выходит за пределы очаговой области и сейсмодислокаций на поверхности.

Районы с ожидаемой сейсмической опасностью 9 баллов. Границы районов с вероятными сейсмическими колебаниями до 9 баллов определялось параметрами затухания сейсмических колебаний от соответствующих зон ВОЗ, в которых учитывались характеристики понижения интенсивности колебаний при землетрясениях с $M = 8,0$, $M = 7,5-8,0$, $M = 7,0-7,5$, $M = 6,5-7,0$ и т.д. [Хилько и др., 1985]. Большая часть территории районов с вероятными сотрясениями 6-9 баллов обусловлены воздействием транзитных сейсмических колебаний от сильных землетрясений. В меньшей мере районы транзитных сотрясений, это касается главным образом высокобалльных, сочетаются с районами, имеющими местные очаги (рис. 1, 2). Эти районы занимают почти полностью Монгольский и Гобийский Алтай, Хангай, большую часть территории рифтовых впадин Прихубсугуля, Гоби-Тяньшаньскую систему тектонических нарушений, хребты Карлыгтаг, Гурван-Сайхан и др. Узкие зоны и обособленные изометричные площади 9-балльных сотрясений обусловлены зонами ВОЗ, выделенными по Эгийн-Дабанской диагональной структуре, на Орхон-Тольском структурном понижении (Могод-Тулэтский район), в хребтах Хасагт-Хайрхан, Хан-Тайшир и др. Предполагаемые

границы 9-балльных районов оконтуривают отдельные участки активных в кайнозойское разломов по склонам хребтов Эрдэнгийн-Нуру, Бурэнгийн-Нуру и Бутээлийн-Нуру. Выделение этих районов обосновано, главным образом, геолого-геофизическими данными, отдельными сильными землетрясениями и наличием палеосейсмодислокаций.

Районы с возможной интенсивностью сотрясений 8 баллов. Границей района с возможными сотрясениями интенсивностью 8 баллов очерчена вся западная половина территории Монголии. Новые материалы по палеосейсмогеологии и сейсмичности, полученные при исследованиях последних десятилетий прошлого столетия в Монголии, позволили обосновать выделение новых зон ВОЗ с $M = 5,5-6,5$ там, где ранее интенсивность сотрясений оценивалась до 6 баллов. С учетом этих данных расширены площади районов с возможными землетрясениями интенсивностью 8 баллов, охватывающие зоны Тэс-Селенгинского, Тольского и Селенга-Хилокского, уходящего на территорию западного Забайкалья России, разломов. С учетом новых сейсмологических материалов, выделен 8-балльный район, охватывающий область гор Тото-Шаня. Расширение 8-балльной площади к юго-востоку от г. Улан-Батора сделано на основании данных о Дыренском землетрясении 24.09.1998 г. ($M_{\text{PSP}} = 6,1$) с учетом одноименной палеосейсмоструктуры, образованной палеоземлетрясением с $M = 7,0$ [Klyuchevskii et al., 2004].

Районы с возможной интенсивностью сотрясений 7 баллов. Практически вся сейсмически активная территория Монголии входит в область возможных 7-балльных сотрясений. На карте наблюдаются относительно небольшие территории 7-балльных сотрясений, обусловленные повышенным затуханием сейсмических колебаний. Это – депрессии озер Харанур, Дургэн-Нур и южное малое озеро Хиргис-Нур – северо-западный центральный сегмент Котловины Больших Озер, водораздельная область истоков рек Идэр, Дзабхан, Чулутын-Гол. Два относительно крупных района 7-балльной интенсивности разрезают 8-балльную площадь по Джиде-Эгийнгольской неотектонической зоне и по юго-восточному склону Хангайского сводового поднятия. На юге Монголии полоса 7-балльных районов проходит по Заалтайской Гоби и на западе сливается с 7-балльной зоной в Китае, а на востоке сочленяется с непрерыв-

ной областью возможных 7-балльных сотрясений. В юго-востоке Монголии область возможных 7-балльных сотрясения окаймляет 8-балльный район небольшого среднегорного массива Хатаг-Ула, где отмечены редкие, но достаточно сильные землетрясения.

Районы с интенсивностью сотрясений 6 баллов занимают территорию восточной Монголии и обусловлены главным образом транзитными колебаниями из высокосейсмичных зон западной и центральной части страны.

Обсуждение

Линеаментно–доменно–фокальная модель предполагает выполнение сейсмического районирования на различном пространственно-временном уровне. В этом случае учитывается неоднородность сейсмичности в небольших пространственно-временных континуумах. Такой подход дает возможность учета деталей сейсмического поля Монголии, имеющего дискретное пространственное и временное распределение землетрясений, обусловленное особенностями напряженно-деформированного состояния литосферы [Klyuchevskii et al., 2004]. При решении задач сейсмического районирования это касается, прежде всего, возможности переоценки потенциальных последствий от землетрясений одинаковой магнитуды, но имеющих разные типы подвижки в очаге и происшедших в известных геологических структурах, характеризующихся преобладающе устойчивым полем напряжений. Учет подвижки дает возможность дифференцированного подхода к оценке сейсмической опасности и уточнения исходной балльности.

На карте сейсмического районирования наиболее заметное изменение границ зон высокой балльности (относительно карты ОСР-83) наблюдается в юго-восточной части страны и обусловлено Дэрэнским землетрясением 1998 г. Это землетрясение произошло в слабо изученном районе Монголии и еще раз указало на недостаточную надежность оценки сейсмической опасности по геолого-геофизическим критериям при отсутствии представительной сейсмостатистики. Возможно, что уроки этого землетрясения послужат толчком к стимулированию исследований по переоценке сейсмической опасности юго-восточных районов Монголии. Для определения сейсмического потенциала этой территории необходимы палео-

сейсмологические исследования с целью установления возраста и рекуррентных интервалов разрывообразующих палеоземлетрясений.

Временная структура сейсмичности сильных землетрясений Монголии может быть схематично охарактеризована по данным из работы [Ключевский и др., 2005], в которой в рамках модели неоднородного разлома получены оценки рекуррентных интервалов и вероятности сильных землетрясений МБР. Теоретические оценки рекуррентных интервалов и вероятности сильных землетрясений Монголии выполнены при использовании принципа максимума энтропии и закона Пуассона. Если величину максимально возможного энергетического класса землетрясений Монголии принять равной $K_{max} = 19$ ($M_{max} = 8,5$), то рекуррентные интервалы толчков с $K = 18$ ($M = 8,0$) составят 210 лет. При $K_{max} = 19$ в пределах Монголии величина энергетического класса землетрясений с 10 % вероятностью исполнения в течение 50 лет равна $K = 18,42$, а вероятность землетрясений с $K = 18,0$ в течение 50 лет составляет $P = 0,21$. Полученные результаты достаточно хорошо соответствуют средним рекуррентным интервалам сейсмических событий Монголии с $K = 16$ и $K = 17$ и могут быть использованы при сейсмическом районировании территории Монголии на вероятностно-детерминистских принципах построения карт общего сейсмического районирования.

Выводы

Составлен электронный каталог основных разломов Монголии и на его основе выполнено сейсмическое районирование территории Монголии. Получена цифровая карта сейсмического районирования и отмечена ключевая роль основных разломов при сейсмическом районировании территорий в рамках линеаментно–доменно–фокальной модели. Проанализированы некоторые характеристики разломов, указывающие на особенности идентификации напряженно-деформированного состояния литосферы по сейсмологическим и геологическим (полученным без привлечения данных о подвижках, реализованных при сильных землетрясениях) данным.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проекты 05-05-97206р_Байкал, 06-05-64120-а).

Список литературы

- Актуальные вопросы современной геодинамики Центральной Азии / Отв. ред. К.Г. Леви, С.И. Шерман. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2005. 297 с.
- Антикаев Ф.Ф. Точность прогноза сейсмических воздействий в задачах сейсмостойкого строительства // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2005. № 1. С. 40-43.
- Демьянович М.Г., Кочетков В.М., Курушин Р.А. Новая карта сейсмического районирования Монголии // Геологическая среда и сейсмический процесс. Иркутск. ИЗК СО РАН. 1997. С. 88-90.
- Карта активных разломов СССР и сопредельных территорий (объяснительная записка) / А.И. Кожурин, К.Г. Леви, Н.В. Лукина и др. М.: Ротапринт ГИНа, 1987. 48 с.
- Ключевский А.В., Демьянович В.М. Оценка колебаний скального грунта с учетом динамических параметров очагов землетрясений южного Прибайкалья (на примере городов юга Восточной Сибири) // Физика Земли. 2002. № 9. С. 68-80.
- Ключевский А.В., Демьянович В.М. Напряженно-деформированное состояние литосферы в центральной части Байкальского региона по данным о сейсмических моментах землетрясений // Литосфера. 2004. № 4. С. 30-43.
- Ключевский А.В. Сейсмичность в условиях самоорганизации Байкальской рифтовой системы // Докл. РАН. 2005. Т. 403. № 1. С. 96-100.
- 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.
- Ключевский А.В., Демьянович В.М., Басов А.Д. Районирование территории Прибайкалья по типу подвижки в очагах сильных землетрясений // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2007. № 2. С. 43-45.
- Ключевский А.В., Демьянович В.М. Напряженное состояние среды в литосфере Байкальской рифтовой зоны по данным о сейсмических моментах сильных землетрясений // Докл. РАН. 2007. Т. 417. № 2. С. 245-250.
- Ключевский А.В., Демьянович В.М., Джурик В.И. Методика оценки сейсмической опасности в зонах активных разломов по данным очаговой сейсмологии // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2007. № 5. С. 33-36.
- Комплект карт Общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-97. Масштаб 1 : 8 000 000. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах // В.И. Уломов, Л.С. Шумилина. МНИТ РФ, РАН ОИФЗ. М.: ОИФЗ РАН, 1999. 57 с.
- Леви К.Г., Хромовских В.С., Кочетков В.М. и др. Современная геодинамика: сеймотектоника, прогноз землетрясений, сейсмический риск (фундаментальные и прикладные аспекты) // Литосфера Центральной Азии. Новосибирск: Наука СИФ РАН, 1996. С. 150-182.
- Молнар П., Курушин Р.А., Кочетков В.М. и др. Деформации и разрывообразование при сильных землетрясениях в Монголо-Сибирском регионе // Глубинное строение и геодинамика Монголо-Сибирского региона / Под ред. Н.А. Логачева. Новосибирск: Наука, 1995. С. 5-55.
- Нацаг-Юм Л., Монхо Д., Балжинням И. и др. Сейсмическое районирование Улан-Батора. М.: Наука, 1971. 206 с.
- Садовский М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф. Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс. М.: Наука, 1987. 101 с.
- Солоненко В.П. О сейсмическом районировании Монгольской Народной Республики // Докл. АН СССР. 1959. Т. 127. Вып. 2. С. 419-422.
- Уломов В.И. Глобальная упорядоченность сейсмогеодинамических структур и некоторые аспекты сейсмического районирования и долгосрочного прогноза землетрясений // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. Вып. 1. М.: ОИФЗ РАН, 1993. С. 24-44.
- Уломов В.И. Сейсмическое районирование // Сейсмические опасности (Природные опасности России). Под ред. Г.А. Соболева. М.: КРУК, 2000. С. 66-96.
- Хилько С.Д., Курушин Р.А., Кочетков В.М. и др. Землетрясения и основы сейсмического районирования Монголии. М.: Наука, 1985. 222 с.
- Широкова Е.И. Изменения механизма очагов землетрясений и их связь с «ожившими» разрывами на Среднем и Ближнем Востоке // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1977. № 9. С. 29-37.
- Baljinnyam I., Bayasgalan A., Borisov B.A. et al. Ruptures of major earthquakes and active deformation in Mongolia and its surroundings // Geol. Soc. America. Mem. 181. 1993. 59 p.
- Complex geophysical and seismological investigations in Mongolia / V.I. Dzhurik, T. Dugarmaa. Ulaanbaatar-Irkutsk, 2004. 315 p.
- Doser D.I. Faulting within the western Baikal rift as characterized by earthquake studies // Tectonophysics. 1991a. V. 196. P. 87-107.
- Gao S., Davis P.M., Liu H. et al. Seismic anisotropy and mantle flow beneath the Baikal rift zone // Nature. 1994. V. 371. P. 149-151.
- Jackson D.D., Aki K., Cornell C.A. et al. Seismic hazards in southern California: probable earthquakes, 1994 to 2024 // Bull. Seism. Soc. Amer. 1995. V. 85. № 2. P. 379-439.
- 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.
- Logatchev N.A. History and geodynamics of the lake Baikal rift in context of the Eastern Siberia rift

ОСНОВНЫЕ РАЗЛОМЫ МОНГОЛИИ

system: a review // Bull. Centres Rech. Elf Explor. Prod. 1993. V. 17. № 2. P. 353-370.

McGarr A. Upper bounds on near – source peak ground motions based on a model of inhomogeneous faulting // Bull. Seism. Soc. Amer. 1982. V. 72. P. 1825-1841.

Molnar P., Tapponnier P. Cenozoic tectonics of Asia: Effects of continental collision // Science. 1975. V. 189. № 4(201). P. 419-425.

Scholz C.H. The mechanics of earthquakes and

faulting. Cambridge, University Press, 2002. 470 p.

Solonenko V.P. Recent crustal movements, rifting and seismicity of the East-Asian mobile belt // J. Geodynamics. 1988. V. 9. P. 225-235.

Tapponnier P., Molnar P. Active faulting and Cenozoic tectonics of the Tien-Shan, Mongolia and Baykal regions // J. Geophys. Res. 1979. V. 84. P. 3425-3459.

Turcotte D.L., Malamud B.D. Earthquakes as a complex system. // International handbook of earthquake and engineering seismology. 2002. Part A. P. 209-227.

Рецензент доктор геол.-мин. наук С.Н. Кацубин