

АЛТАЙ И САЯНЫ

А.Ф. Еманов, А.Г. Филина, А.А. Еманов, А.В. Фатеев, А.В. Кабаник, М.А. Ярыгина

В 1997 г. региональная сейсмическая сеть состояла из 14 станций, параметры которых даны в табл. 1. С 16 марта этого года возобновила работу сейсмическая станция "Тоджа". Сейсмические станции "Арадан", "Черемушки" и "Джой", открытые в 1990-1992 гг. и не фигурировавшие ранее в списках, так как были временными, с 1997 г. включены в сеть стационарных станций.

Таблица 1. Сейсмические станции Алтая и Саян, работавшие в 1997 г., и их параметры

№	Станция			Дата открытия	Координаты			Аппаратура			
	Название	Код			φ°, N	λ° E	h _y , м	Тип прибора	Комп- нента	V _{max}	ΔT _{max} , с
		Межд.	Рег.								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Ельцовка	ELT	ЕЛЬ	05.07.1962	53.26	86.24	215	СКМ-3 СКМ-3* СКД	N,E,Z E N,E,Z	50000 5000 1200	0.25-1.3 0.25-1.3 0.20-18
2	Усть-Кан	UKR	У-К	09.12.1962	50.94	84.77	1100	СКМ-3 СКМ-3* СКД	N,E,Z E N,E,Z	50000 5000 1200	0.25-1.3 0.25-1.3 0.20-18
3	Эрзин	ERNS	ЭРЗ	08.07.1963	50.26	95.15	1105	СКМ-3 СКМ-3*	N,E,Z E	40000 4000	0.25-1.3 0.25-1.3
4	Новосибирск	NVS	НСК	10.11.1965	54.85	84.23	200	СКМ-3 СКМ-3* СКД	N,E,Z E N,E,Z	50000 5000 1200	0.25-1.3 0.25-1.3 0.20-18
5	Верх-База	VEN	В-Б	05.03.1967	53.25	90.32	1200	СКМ-3 СКМ-3*	N,E,Z E	40000 4000	0.25-1.3 0.25-1.3
6	Тэели	TEL	ТЭЛ	01.10.1971	51.02	90.20	980	СКМ-3 СКМ-3*	N,E,Z E	50000 5000	0.25-1.3 0.25-1.3
7	Тоджа (закр. 25.08.94г.)	TDJR	ТДЖ	27.07.1980 16.03.1997	52.40	96.10	1000	СКМ-3 СКМ-3*	N,E,Z E	50000 5000	0.25-1.3 0.25-1.3
8	Артыбаш	ART	АРТ	22.06.1981	51.80	87.28	550	СКМ-3 СКМ-3*	N,E,Z E	50000 5000	0.25-1.3 0.25-1.3
9	Акташ	AKAR	АКТ	01.01.1985	50.32	87.62	1380	СКМ-3 СКМ-3*	N,E,Z E	40000 4000	0.25-1.3 0.25-1.3
10	Мина	MINR	МИН	29.07.1985	54.90	94.20	510	СКМ-3 СКМ-3*	N,E,Z E	50000 5000	0.25-1.3 0.25-1.3
11	Таштагол	TASR	ТШТ	01.09.1988	52.76	87.88	530	СКМ-3 СКМ-3*	N,E,Z E	15000 1000	0.25-1.3 0.25-1.3
12	Черемушки	СERR	ЧЕР	05.09.1990	52.85	91.41	400	СКМ-3 СКМ-3*	N,E,Z E	50000 5000	0.25-1.3 0.25-1.3
13	Джой	DJO	ДЖ	24.10.1990	52.78	91.22	600	СКМ-3	N,E,Z	50000	0.25-1.3
14	Арадан	ARDR	АРД	06.06.1992	50.58	93.43	950	СКМ-3 СКМ-3*	N,E,Z E	60000 5000	0.25-1.3 0.25-1.3

Примечание. Знаком * помечены каналы пониженной чувствительности.

Методика обработки записей землетрясений региона осталась прежней [1]. Основу классификации землетрясений по энергии составляет энергетический класс K_p , определяемый по номограмме Т.Г. Раутиан [2]. Параллельно определяется магнитуда по кода-волнам M_c с использованием региональной шкалы [3]. Всего в 1997 г. определены координаты 1438 землетрясений с $K_p=5.3-12.2$ и около 200 промышленных взрывов с $K_p=6.0-10.0$. Число зарегистрированных взрывов значительно больше, но обрабатываются, в основном, наиболее сильные ($K_p \geq 8.6$) из них, а более слабые – выборочно. Распределение землетрясений по энергетическим классам приведено в табл. 2.

Таблица 2. Распределение числа землетрясений региона по энергетическим классам K_p

K_p	5-7	8	9	10	11	12	$\Sigma E \cdot 10^{12}$, Дж
N	999	301	98	28	7	5	5.73

Наиболее сильные землетрясения произошли 18 июня в 08^h49^m с $K_p=12.2$ и 18 сентября в 14^h31^m $K_p=12.1$ [4]. Первое локализовано на востоке региона, в эпицентральной области Бусингольского землетрясения 27.12.1991 г., ($t_0=09^h09^m$, $K_p=16.2$, $MS=6.5$ [5]), второе – на юго-западе, на северном склоне Катунского хребта. Ему посвящена в наст. сб. отдельная статья [6].

На карте эпицентров землетрясений (рис. 1) и взрывов (рис. 2), кроме уверенно интерпретируемых, приведены эпицентры немногочисленных событий, природа которых не определяется однозначно. В Алтае и Саянах проводится много промышленных взрывов, причем зачастую места их проведения обладают и естественной сейсмичностью. Поэтому тотальная "чистка" каталога землетрясений от взрывов по месту и времени их проведения может исказить характер сейсмичности. Методика распознавания взрывов и тектонических землетрясений в нашем регионе основана в первую очередь на анализе волновых форм. При наличии неоднозначности интерпретации события с преобладанием признаков взрыва или землетрясения помечаются в каталоге как "взр.?" или "зем.?" и попадают на соответствующие карты.

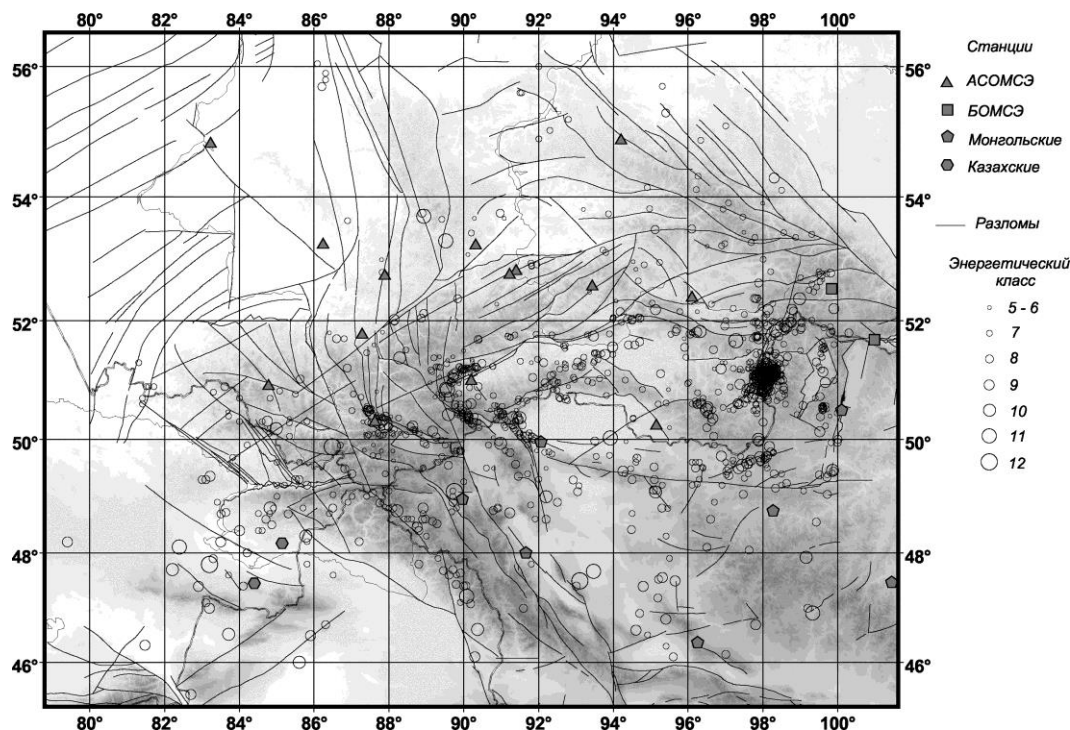


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений Алтая и Саян за 1997 г.

Карта энергетической представительности землетрясений K_{min} в регионе дана на рис. 3. Предварительно были рассмотрены три варианта методики расчета предельной и представительной дальности регистрации землетрясений заданного энергетического уровня K_p для отдельной станции и их групп. За основу была взята методика, описанная в [7]. Станции с одинаковым увеличением регистрируемых сигналов были объединены при расчете в две группы с $V_{max}=40000$ и 50000 . Станции "Таштагол", "Черёмушки", "Арадан", для которых были выявлены существенные отличия вида кривых зависимости дальности Δ (км) регистрации землетрясений от их энергетического класса K_p , рассматривались отдельно. Полученные значения предельной и представительной дальности регистрации землетрясений для названных трех станций и для двух групп станций с увеличением сигнала 40 и 50 тыс. даны в табл. 3а, 3б. Далее карта строилась, исходя из того, что для определения эпицентра события достаточно наличия вступлений P_g и S_g на ближайшей станции и вступлений S_g еще, как минимум, на двух других. Соответственно, для заданного класса K_p выбранная точка на карте попадает в область представительной регистрации, если она находится от ближайшей станции на расстоянии, меньшем или равном радиусу представительной регистрации и, кроме того, на расстоянии, меньшем радиуса предельной дальности регистрации, как минимум, от двух других станций.

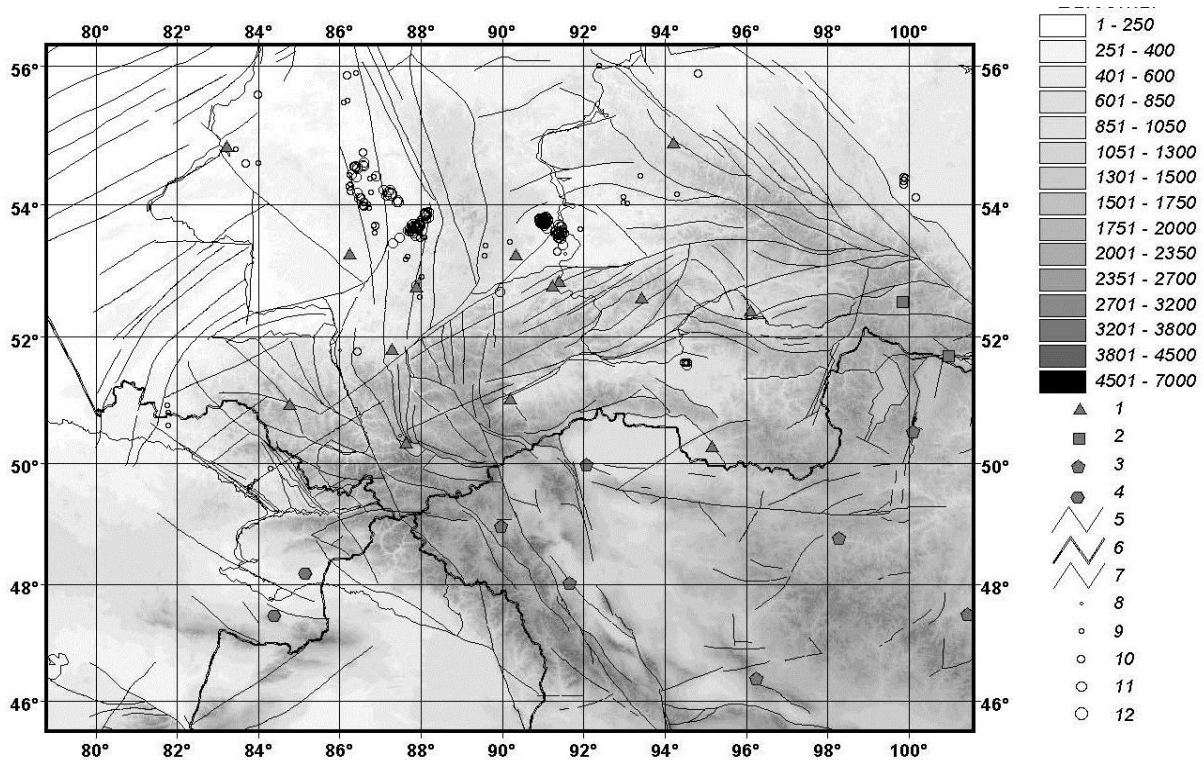


Рис. 2. Карта эпицентров промышленных взрывов за 1997 г.

1-4 – сейсмическая станция АСОМСЭ, БОМСЭ, Монголии, Казахстана, соответственно; 5- разломы; 6- государственные границы; 7- реки; 8-12 – эпицентры землетрясений с $K_p=5-6, 7, 8, 9, 10$, соответственно.

Таблица 3а. Предельная дальность регистрации землетрясений на сейсмических станциях Алтая и Саян

Название станции или уровень V_{max}	$R_{пред.}, км$			
	$K_p=6$	7	8	9
Таштагол	75	298	468	731
Черёмушки	251	431	603	765
Арадан	370	609	780	886
$V_{max}=40000$	290	518	747	975
$V_{max}=50000$	281	499	742	>888

Таблица 3б. Представительная дальность регистрации землетрясений на сейсмических станциях Алтая и Саян

Название станции или уровень V_{max}	$R_{вер.}, км$			
	$K_p=6$	7	8	9
Таштагол		88	153	363
Черёмушки		139	324	50
Арадан		140	472	688
$V_{max}=40000$		155	381	610
$V_{max}=50000$		162	360	>601

При расчете энергетической представительности землетрясений в общий список станций, помимо 14 региональных, были включены дополнительно 6 станций Монголии [8] и 4 станции Прибайкалья (рис. 3), так как данные этих станций использовались при обработке землетрясений Алтая и Саян. Построенная по этим данным карта, изображенная на рис. 3, свидетельствует о том, что для большей части территории региона представительны землетрясения с $K_{min}=7$, но в восточной части Тувы (в зоне, примыкающей к сейсмически активной Бусингольской впадине) они, к сожалению, не представительны. Для всей территории Алтая и Саян практически представительны землетрясения с $K_{min}=8$, хотя некоторые из них могут быть пропущены в районе хр. Катунского и плато Укок, а также на севере региона (в районе хр. Кузнецкого и северной части

Хакасии). Недостатком в организации обработки землетрясений региона является лишь выборочное использование ближайших пограничных станций Казахстана. Полноценное привлечение данных этих станций в обработке землетрясений позволило бы снизить уровень K_{\min} на юго-западе региона.

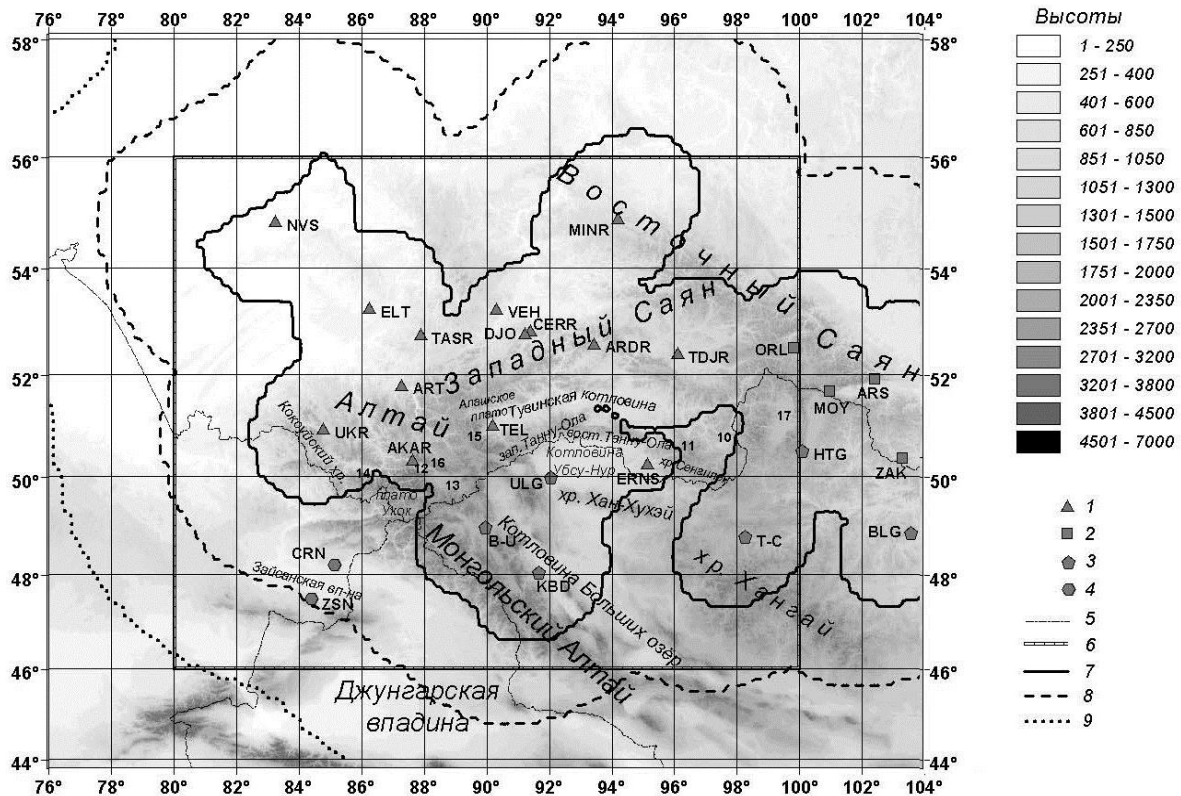


Рис. 3. Карта энергетической представительности K_{\min} на территории Алтая и Саян в 1997 г.

1-4 – сейсмическая станция региона, Прибайкалья, Монголии и Казахстана, соответственно; 5 – государственная граница; 6 – граница региона; 7-9 – изолиния $K_{\min}=7,8$ и 9, соответственно.

Числа 10,11,...,17 на карте соответствуют следующим геолого-географическим названиям структур: 10 – Бусингольская впадина; 11 – хр. Хорумнуг-Тайга; 12 – Курайская впадина; 13 – Чуйская впадина; 14 – хр. Катунский; 15 – хр. Шапшальский; 16 – хр. Курайский; 17 – Дархадская котловина.

Коды и названия станций: Казахстана ⇒ CRN – "Черняевка", ZSN – "Зайсан"; Монголии ⇒ В-У – "Баян-Ульгий", ULG – "Улаган", KBD – "Ховд", Т-С – "Тосонцэнгэл", НТГ – "Хатгал", BLG – "Булган"; Прибайкалья ⇒ ЗАК – "Закаменск", АРС – "Аршан", МОУ – Монды, ОРЛ – "Орлик"; названия региональных станций см. в соответствии с их кодами в табл. 1.

На рис. 4 дана карта погрешности определения координат эпицентров в Алтае-Саянской области за 1997 г. для землетрясений с $K_p=9$, регистрируемых без пропусков. Как видим, больших ошибок в локализации эпицентров землетрясений такой энергии нет (при расчете ошибок учитывались данные сейсмических станций Монголии и Прибайкалья, но не принимались во внимание станции Казахстана). Для центральной части рассматриваемого региона ошибки в определении координат эпицентров не более 5 км, но с удалением от центра области они быстро возрастают и большая часть Алтая оказывается вне зоны пятикилометровой точности. Вне этой зоны также структуры Восточного Саяна. Весьма велики ошибки в локализации эпицентров в районе Зайсанской впадины, Гобийского Алтая и в северных частях региона. Определение глубин землетрясений не производилось вообще из-за недопустимо низкой точности, связанной с малой плотностью сейсмической сети.

По обобщениям сейсмичности Алтая и Саян за период инструментальных наблюдений [8,9] выделены основные сейсмоактивные зоны этой области. Недостатком таких обзоров является то, что делаются описания характеристик сейсмического режима без оценки возможной сейсмической активизации тех или иных геологических структур. Нет взгляда на сейсмичность Алтае-Саянской области с позиций пространственно-временных связей. В то же время интерес к тектонике и геодинамике Алтая выражается в разработке геологических концепций, объясняющих строение и развитие этого региона [10-16].

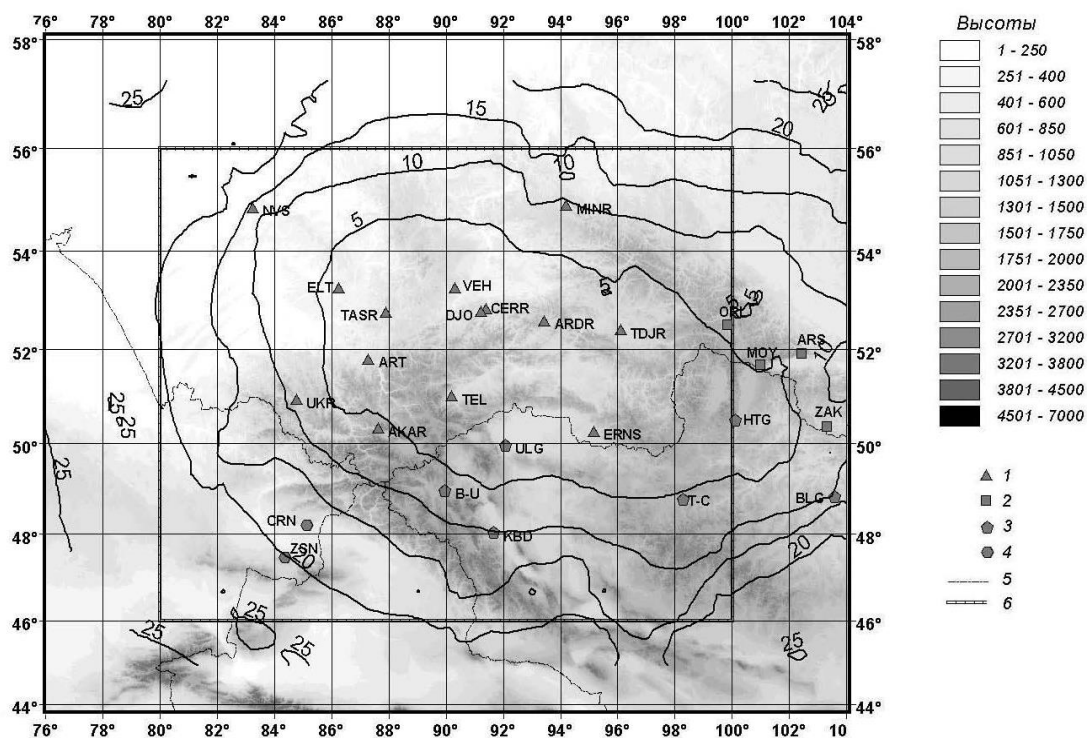


Рис. 4. Карта изолиний ошибок в определении координат эпицентров землетрясений

1-4 – сейсмическая станция региональная, Прибайкалья, Монголии и Казахстана, соответственно; 5 – государственная граница; 6 – граница региона.

Обычно при изучении сейсмотектонических процессов используют как можно более полный каталог, но при этом на карту наносится очень много информации, разобраться в которой затруднительно. Исключив информацию о слабых землетрясениях, мы получим более простую картину, но возникнет впечатление, что периода наблюдений недостаточно для понимания причины процессов, вызывающих конкретные проявления сейсмичности.

При рассмотрении землетрясений Алтая и Саян за год предположим, что наиболее сейсмоактивные структуры проявляют свои особенности в этом временном интервале в достаточной мере, а в целом каталог региона за инструментальный период обладает избыточной информацией для наиболее быстро протекающих тектонических процессов. Информацию о сейсмичности в предыдущие годы можно использовать для оценки устойчивости тектонических процессов во времени.

Работая с каталогом землетрясений за один год, необходимо учитывать дополнительно важную информацию из геологии и тектоники для формирования обоснованного взгляда на сейсмичность. С этой целью в анализ сейсмичности Алтае-Саянской горной области включен рельеф данной территории, построенный с использованием однокилометровой цифровой модели превышений GLOBE DEM Национального Центра Геофизических Данных (США) [17] и карта активных разломов по данным ГИН РАН [18] (рис. 1,2).

Особенностью строения центральной части Алтае-Саянской складчатой области является наличие системы впадин. Тувинская котловина, котловина Убсу-Нур и котловина Больших озер, которые как бы формируют сегмент окружности, разделенный на части узкими хребтами. С выделенной системой впадин связана сейсмичность Алтае-Саянской горной системы. Системы горных хребтов разбиты множеством разломов и имеют примерно одинаковые деформационные характеристики, тогда как впадины являются участками более монолитными и отличающимися от горных хребтов по деформационным характеристикам. Такие монолитные участки внутри горной системы должны оказывать сопротивление движению горной системы при наличии воздействия извне. Сопоставление карты эпицентров с рельефом местности и активными разломами позволяет заметить, что все сейсмоактивные зоны Алтае-Саянской области увязываются с системами впадин. Если мы придаем движение горной системе, то впадины, как инородные тела, оказывают сопротивление и вокруг формируется сейсмичность. Сейсмоактивные зоны возникают или перед впадиной, со стороны движущегося на нее массива (зона сопротивления движению), или могут

возникнуть внутри, когда впадина под воздействием последнего ломается (зона излома), или с противоположной стороны впадины (зона передачи движения).

Рассматривая карту эпицентров землетрясений за 1997 г. можно выделить цепь землетрясений, которая протягивается вдоль Монгольского Алтая через западную границу плато Укок к хр. Катунскому и далее от него к хр. Коксуйскому и обрывается в его северо-западном окончании (рис. 1,3). В виде области беспорядочно рассыпанных землетрясений, прилегающих к линейной зоне, выглядит район Зайсанской впадины. Отмеченные зоны сейсмичности в соответствии с концепцией тектоники плит можно рассматривать как результат тектонического взаимодействия Тянь-Шаня и Алтая через структуры Джунгарии и Восточного Казахстана. Давление литосферных плит на такую мощную структуру, как Алтай, встречает сильное сопротивление на ее границах, и часть энергии движения идет на процесс разрушения горных пород и, как следствие, на сейсмичность. Линейная цепь землетрясений вдоль Горного Алтая и Монгольского Алтая – это фактически зона сопротивления движению, передаваемому Алтаю от Тянь-Шаня через монолитную плиту Джунгарской впадины.

Тувинская котловина – самая крупная впадина рассматриваемой зоны. Она выгнута к северу и отделена горными хребтами и системой разломов от мелких впадин с северной стороны и от котловины оз. Убсу-Нур – с южной. На рис. 1 можно отметить, что с запада Тувинской котловины весьма активно работала сейсмоактивная зона вдоль хр. Шапшальского с разворотом на севере на Алашское плато. Фактически активизирована область, вплотную прижатая к Тувинской котловине со стороны движения. Данную активную зону можно рассматривать, как зону сопротивления движению Тувинской котловины. Изгиб Тувинской котловины расположен между хребтами Западный и Восточный Танну-Ола. Мы видим линейную цепь землетрясений, вначале приуроченных к борту впадины вдоль хр. Западный Танну-Ола, а в месте разворота впадины цепь землетрясений, продолжая свой прямолинейный ход, пересекает Тувинскую котловину. Это может свидетельствовать о наличии зоны излома в Тувинской котловине, сформировавшейся под давлением с запада. Непосредственно восточное окончание Тувинской котловины высокой сейсмичностью не отличается, но прямо по направлению на восток от нее хорошо видны две сейсмически активные зоны Бусингольской впадины и Дархадской котловины. Обе названные структуры практически перпендикулярны Тувинской котловине. Бусингольская впадина в 1997 г. характеризуется максимальной сейсмической активностью по сравнению с другими участками. В соответствии с выдвинутой гипотезой повышенная сейсмическая активность как Бусингольской впадины, так и Дархадской котловины, могут быть связаны с движением Тувинской котловины в восточном направлении.

Южнее Тувинской котловины располагается вторая по размерам впадина Убсу-Нур. В рассматриваемый период почти отсутствуют землетрясения внутри нее. Можно полагать, что она ведет себя, как монолит. На западном фланге этой впадины заметна линейно вытянутая сейсмически активная зона, зона сопротивления движению. В юго-восточном ее углу зарегистрировано несколько землетрясений, размещенных вдоль разлома. Можно предположить существование здесь излома впадины. Как и для Тувинской котловины, восточное окончание впадины Убсу-Нур асейсмично. Две линейные цепочки землетрясений, параллельные разломной зоне, ограничивающей впадину с востока, отчетливо видны на некотором удалении от конца впадины. Первая, более интенсивная, сечет хребты Сенгилен и Хорумнуг-Тайга в зоне их сближения. Вторая – формируется южнее Бусингольской впадины.

Южнее впадины Убсу-Нур вдоль хр. Ханхухэй проходит мощная разломная зона с множеством ответвлений. Она как бы отсекает расположенную с юга впадину Больших озер, а также хр. Хангай. Можно видеть, что эпицентры землетрясений "развешены" по ветвям хребта, а главный ствол асейсмичен. Такая особенность должна объясняться особенностями тектонических движений вдоль отмеченной системы разломов.

Впадина Больших озер и подпирающий ее горный массив Хангай как бы отрезаны от потока движения горных масс и сейсмические процессы в этой системе идут с меньшей скоростью. Здесь интервал в один год может оказаться для освещения механизмов сейсмичности этой зоны недостаточным.

Еще одна проявившая себя за 1997 г. сейсмоактивная область – это зона двух впадин, Курайской и Чуйской. Отметим, что на Алтае имеются и другие впадины, но по уровню сейсмической активности за 1997 г. заметно проявляются только эти две.

Подводя итог изучения землетрясений в 1997 г. в Алтае-Саянском регионе можно отметить, что в этот короткий интервал времени, не отмеченный крупными землетрясениями,

проявили себя в сейсмическом режиме процессы, протекающие около впадин. Прежде всего, это Тувинская котловина, котловина Убсу-Нур и северная часть впадины Больших озер. Система этих впадин, как клин, вбита в центр региона Алтая и Саян. Можно предположить, что данные впадины являются препятствием на пути медленных перемещений горных масс от Тянь-Шаня через Алтай к Байкалу и с ними связано формирование быстро проявляющихся себя в сейсмичности тектонических процессов. Чуйская и Курайская впадины являются внутренними структурами Горного Алтая. Вокруг этих впадин также идут тектонические процессы, проявляющие себя в сейсмичности за год. О причинах повышенной сейсмичности вокруг этих сравнительно мелких впадин можно лишь высказать догадки. Согласно существующим представлениям [10], Алтай испытывает горизонтальное воздействие, ориентированное субмеридионально. Если рассматривать систему крупных впадин (Тувинской, Убсу-Нур), то по проявлению сейсмичности в их пределах (рис. 1) можно говорить об отклонении направления движения блоков земной коры к востоку. Не исключено, что тектонические процессы, протекающие в окрестности и меньших впадин (Курайской и Чуйской), играют заметную роль в изменении направления движения плит на Алтае.

Л и т е р а т у р а

1. **Филина А.Г. 1997а.** Землетрясения Алтая и Саян // Землетрясения Северной Евразии в 1992 году. М.: Изд-во Геоинформмарк. С. 59-62.
2. **Раутиан Т.Г. 1964.** Об определении энергии землетрясений на расстоянии до 3000 км // Экспериментальная сейсмика. М.: Наука С. 88-93. (Тр. ИФЗ АН СССР; №32(199)).
3. **Филина А.Г. 1999.** Землетрясения Алтая и Саян // Землетрясения Северной Евразии в 1993 году. М.: Изд-во НИА-Природа. С. 65-68
4. **Филина А.Г., Подкорытова В.Г. (отв. сост.), Данциг Л.Г., Манушина О.А., Подлипская Л.А., Слепенкова Э.А.** Алтай и Саяны. См. раздел III в наст. сб. (на CD).
5. **Филина А.Г. 1997б.** Землетрясения Алтая и Саян // Землетрясения в СССР в 1991 году. М.: Изд-во ОИФЗ РАН. С. 38-39.
6. **Филина А.Г., Подкорытова В.Г., Подлипская Л.А., Жемчугов А.Ю.** Тюнгуруское землетрясение 18 сентября 1997 года с $M_s=4.4$, $I_0=6$ (Горный Алтай). См. раздел II (Макросейсмические обследования) в наст. сб.
7. **Гайский В.Н., Жалковский Н.Д. 1971.** Исследование повторяемости землетрясений Западной Тувы // Физика Земли. №9. С. 16-27.
8. **Баяр Г., Монкоо Д. 2002.** Сейсмичность территории Монголии за 1991-1998 гг. // Сейсмологический мониторинг в Сибири и на Дальнем Востоке (100-летие сейсмической станции "Иркутск"). Иркутск: Изд-во Артпресс. С. 43-50.
9. **Жалковский Н.Д., Кучай О.А., Мучная В.И. 1995.** Сейсмичность и некоторые характеристики напряженного состояния земной коры Алтае-Саянской области // Геология и геофизика. Т.36. №10. С. 20-30.
10. **Добрецов Н.Л., Берзин Н.А., Буслов М.М., Ермиков В.Д. 1995.** Общие проблемы эволюции Алтайского региона и взаимоотношения между строением и развитием неотектонической структуры // Геология и геофизика. Т.36. №10. С. 5-19.
11. **Новиков И.С. 2001.** Кайнозойская сдвиговая структура Алтая // Геология и геофизика. Т.42. №9. С. 1377-1388.
12. **Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г., Кирдяшкин А.А. 2001.** Глубинная геодинамика. Новосибирск: Изд-во СО РАН (филиал "ГЕО"). 409 с.
13. **Милановский Е.Е. 1996.** Геология России и ближнего зарубежья (Северной Евразии). М.: Изд-во МГУ. 448 с.
14. **Рогожин Е.А., Платонова С.Г. 2002.** Очаговые зоны сильных землетрясений Горного Алтая в голоцене. М.: Изд-во ОИФЗ РАН. 130 с.
15. **Molnar P., Tapponier P. 1975.** Cenozoic tectonics of Asia: Effects of a continental collision // Science. V.189. №4201. С. 419-426.
16. **Tapponier P., Molnar P. 1979.** Active faulting and Cenozoic tectonics on the Tien-Shan. Mongolia and Baikal region // J. Geophys. Res. V.84. №7. P. 3425-3459.
17. **Hastings D.A. and Dunbar P.K. 1998.** Development assessment of the global land one-km base elevation digital elevation model (GLOBE) // ISPRS Archives. V.32. №4. P. 218-221.
18. <http://www.sgis.ru/russian/cp125/rfbr/faults.htm>