

**Выявление особенностей влияния скоростных
неоднородностей грунтовых слоев на сейсмические
воздействия сильных землетрясений Монголо-Сибирского
региона**

Джурик Василий Ионович, ИЗК СО РАН
Брыжак Евгений Вадимович, ИЗК СО РАН
Серебренников Сергей Петрович, ИЗК СО РАН

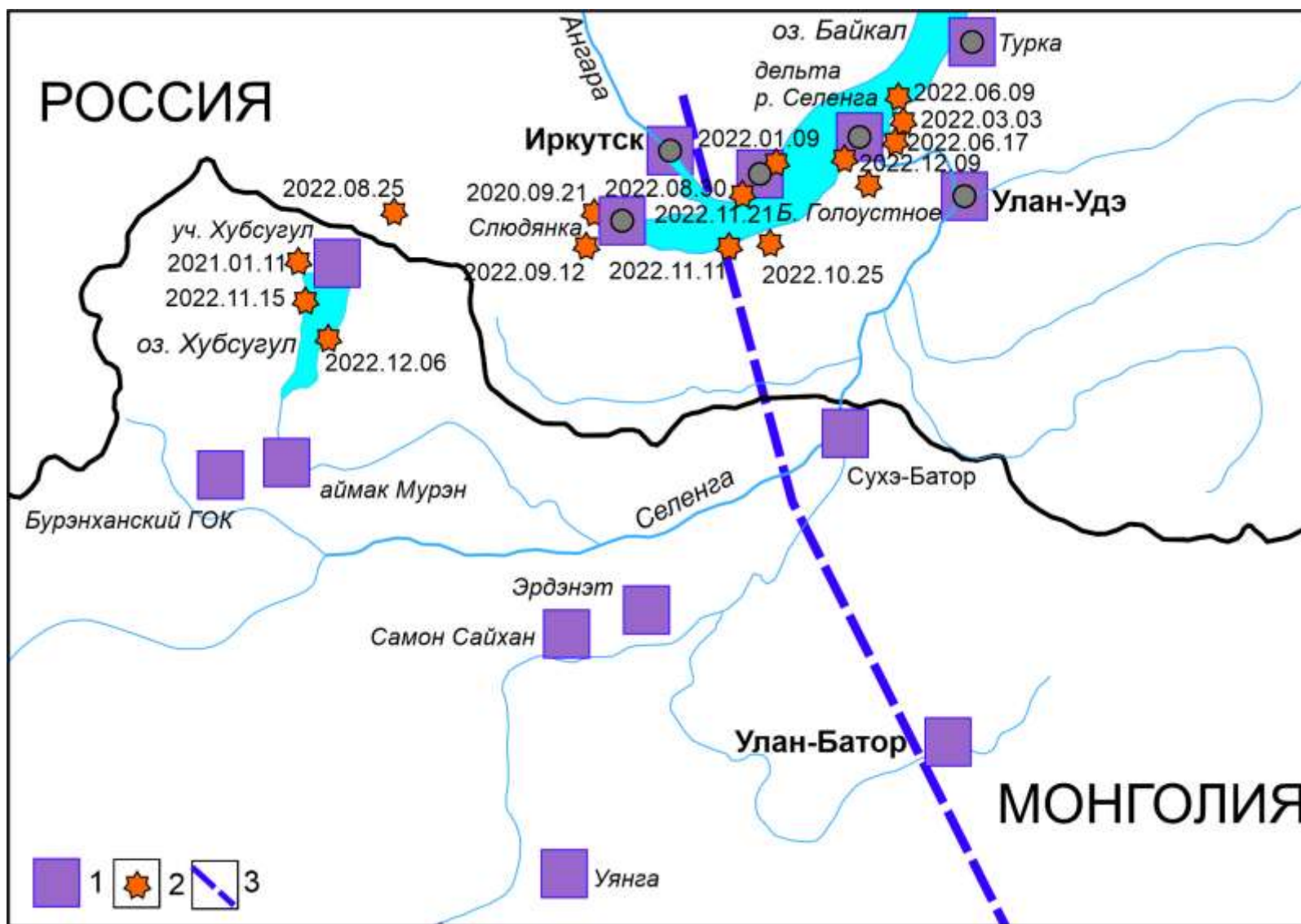
Направление и задачи исследований

Исследования направлены на развитие методов изучения и прогноза сейсмических воздействий сильных землетрясений Байкало-Монгольского региона

Целью исследований является оценка влияния глубинных и приповерхностных неоднородностей на исходные сейсмические сигналы в пределах бассейна р. Селенги и на юго-западной части Байкальской сейсмической зоны.

Задачи исследований: задание исходных сигналов, построение набора сейсмогрунтовых моделей для грунтов различного состава и состояния, проведение необходимых теоретических расчетов сейсмических воздействий сильных землетрясений БМР.

Обзорная карта-схема работ в пределах бассейна р. Селенги и на юго-западной части Байкальской сейсмической зоны



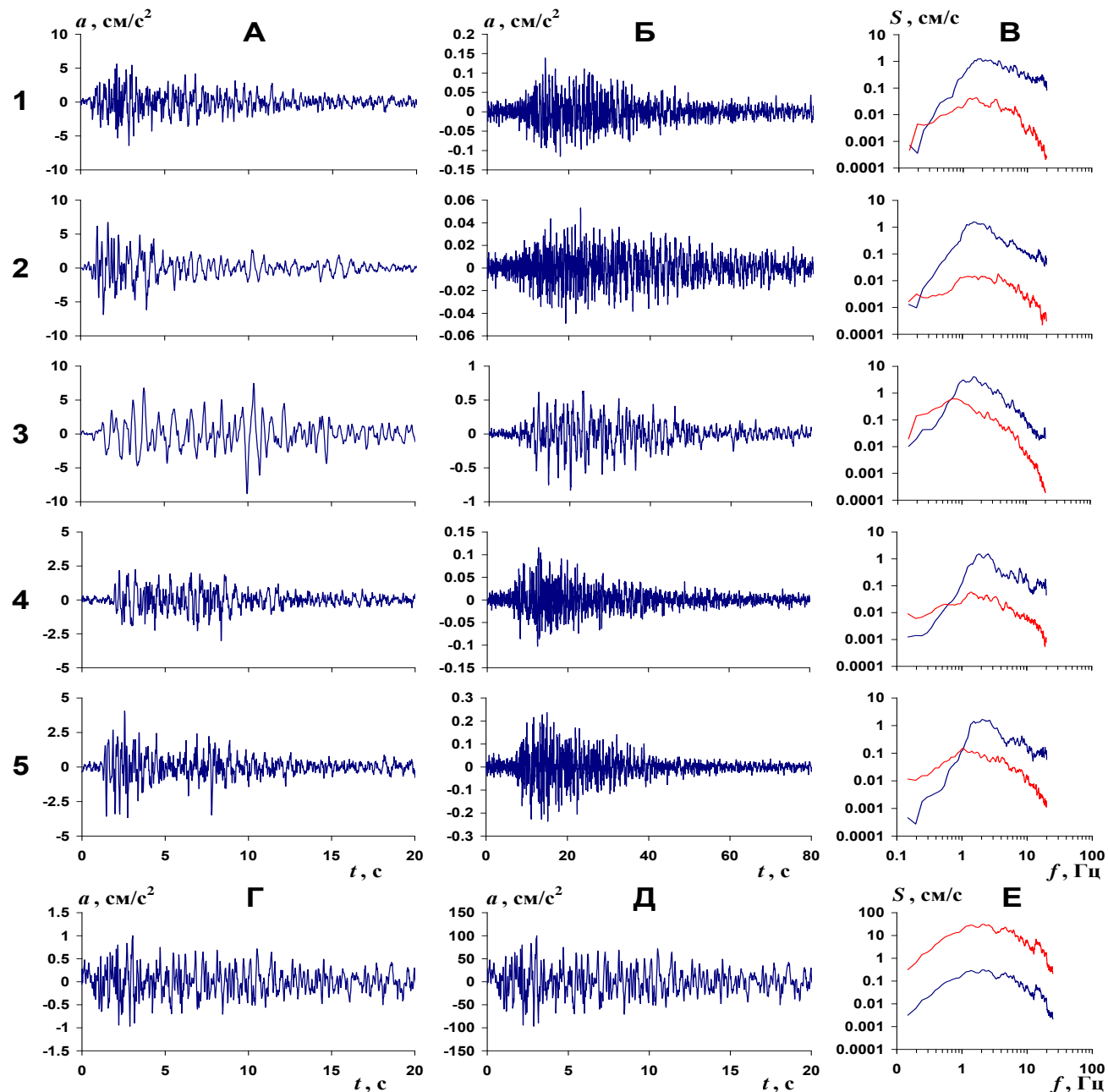
1 – участки детальных исследований, 2 – эпицентры выбранных относительно сильных землетрясений (2021-2022 г)
3 – Байкало-Монгольский трансект (Зорин Ю.А. и др., 1993)

Основные параметры отобранных землетрясений зарегистрированных в Иркутске и Улаанбаатаре

Ограничены магнитудой (M) >5, энергетическим классом (K) ≥14, и эпицентральной дистанцией (Δ) от 80 до 600 км.

№ п/п	Дата и время	Район	Координаты	Δ км	M	K
				Иркутск (Улаанбаатар)		
1	21.09.2020	Слюдянский	N 51.78	80.64	Mw = 5.6	14.6
	18:04:57.4		E 103.41	(507.57)		
2	09.12.2020	Кабанский (Бурятия)	N 52.38	154.9	Mw = 5.5	14.0
	21:44:33.6		E 106.59	(503.09)		
3	11.01.2021	Хубсугул (Монголия)	N 51.27	291.94	Mw = 6.8	16.0
	21:32:58.7		E 100.38	(611.88)		
4	08.06.2022	Южный Байкал	N 52.05	94.25	5.6	14.2
	12:24:19.7		E 105.67	(475.7)		
5	14.10.2022	Южный Байкал	N 52.06	93.33	5.6	14.0
	00:53:54.2		E 105.66	(476.93)		

Формирование исходного сигнала для «эталонных» коренных пород.



• 1-5 – акселерограммы отобранных землетрясений для максимальной горизонтальной компоненты;

• А – акселерограммы зарегистрированные в г. Иркутске;

• Б – акселерограммы зарегистрированные в г. Улаанбаатаре;

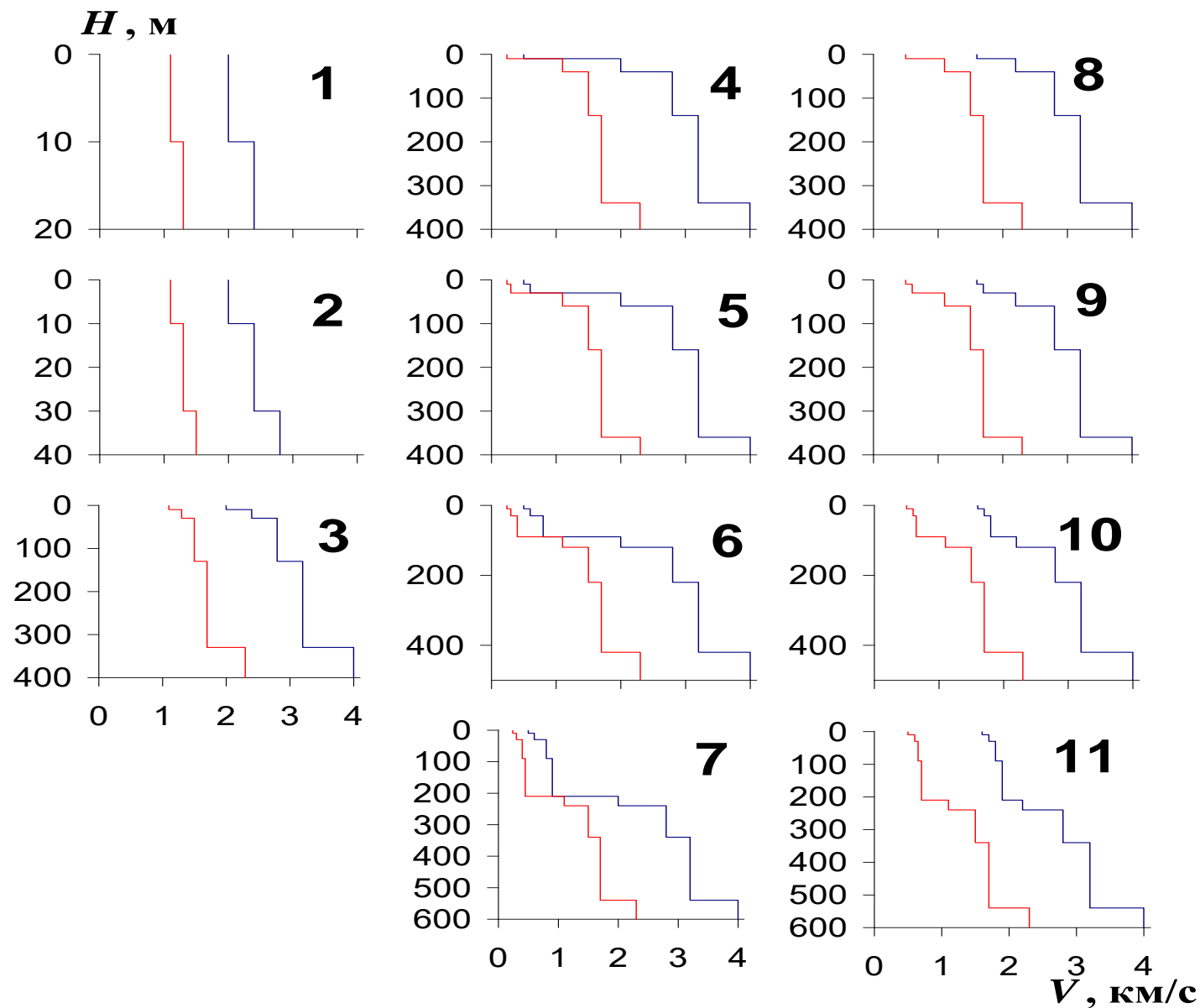
• В – их спектры (красная кривая – Иркутск, синяя – Улаанбаатар);

• Г – нормированная акселерограмма;

• Д – масштабированная акселерограмма на 8-мибальные сотрясения для «эталонных» коренных пород;

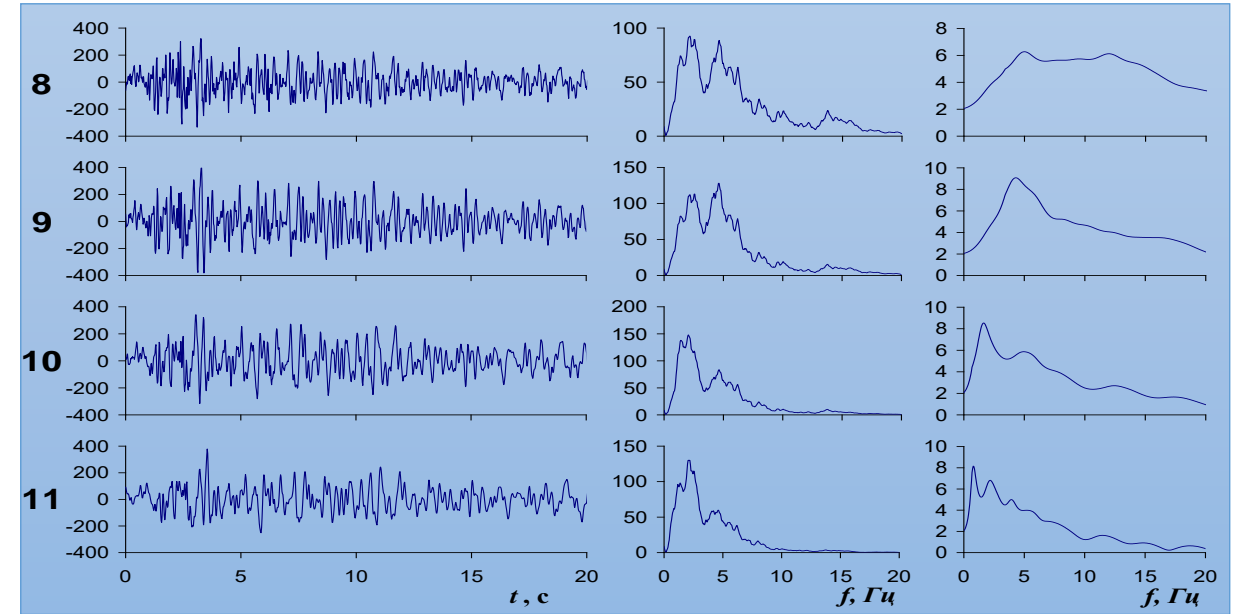
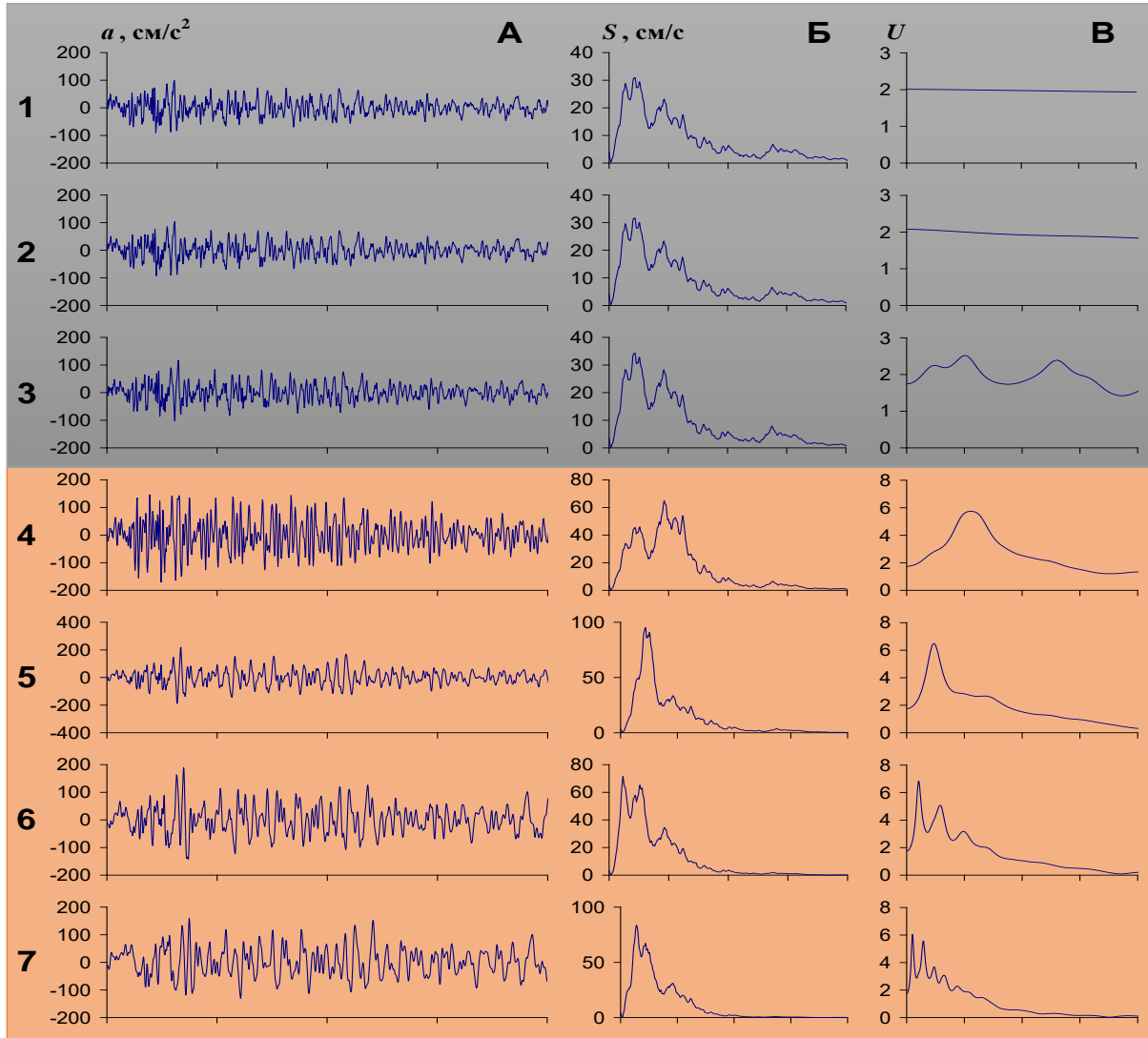
• Е – спектр нормированной акселерограммы (синий) и масштабированной (красный).

Распределение скоростей Р- и S- волн с глубиной в верхней части разреза для сформированных сейсмогрунтовых моделей исследуемых районов



Параметры расчетных сейсмических моделей для обобщенных типовых разрезов:
1-3 - коренные «эталонные» породы ($h=10, 30, 330$ м);
4-7 - рыхлые неводонасыщенные породы ($h=10, 30, 90, 210$ м);
8-11 - рыхлые водонасыщенные породы ($h=10, 30, 90, 210$ м)

Расчетные показатели проявления сейсмичности для различного состояния сформированных сейсмогрунтовых моделей верхней части разреза БМР.

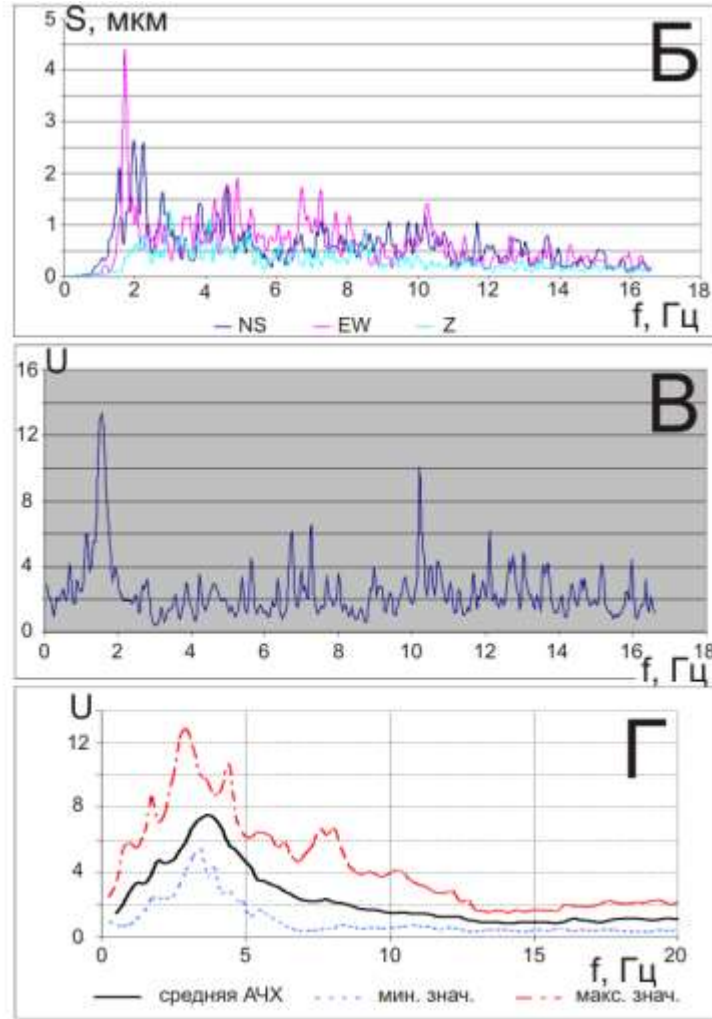
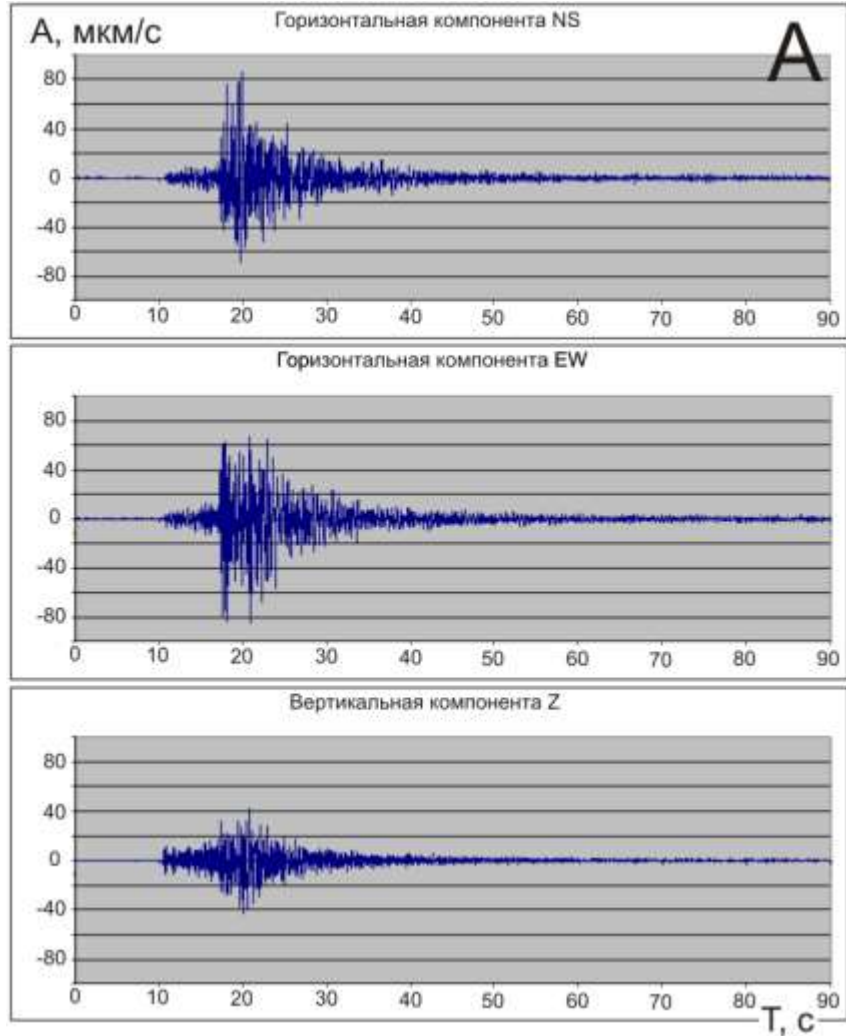


1-3 - коренные «эталонные» породы (I-й категории по сейсмическим свойствам); 4-7 - рыхлых воздушно-сухих грунты (II-й категории по сейсмическим свойствам); 8-11 - водонасыщенные грунты (III-й категории по сейсмическим свойствам); А - акселерограммы; Б - спектры; В – частотные характеристики.

Основные параметры расчетных акселерограмм и частотных характеристик для моделей 1-11 (принятая исходная сейсмичность равна 8 баллам).

№ модели; (h-слоя) (м)	Максимальное ускорение A_{max} , (cm/c^2)	Максимальное значение спектра S_{max} , (cm/c)	Частота основных максимумов спектра, (Гц)	Интервал частот для $0.7 \cdot S_{max}(f)$, (Гц)	Максимальный уровень частотной характеристики (U)	Резонансная частота рыхлых слоев, (Гц)
Коренные «эталонные» породы						
1; (10)	99	30.9	2.15	1.12-4.74	2,0	>20
2; (30)	104	31.7	2.15	1.12-4.69	2,1	>20
3; (330)	117	34.3	2.15	1.17-4.83	2,5	5.08
Рыхлые неводонасыщенные породы						
4; (10)	170	64.9	2,5; 4.64	2.54-6.28	5,9	5.57
5; (30)	219	95.1	2.20	1.90-2.78	6,4	2.34
6; (90)	189	71.6	1.17	1.03-2.93	7,0	1.03
7; (210)	160	83.5	1.42	1.12-2.54	6,1	0.49
Рыхлые водонасыщенные породы						
8; (10)	333	92.5	2.15; 5,1	1.17-6.03	6,4	4.98; 12
9; (30)	397	128	2,1; 4.59	1.95-4.98	9,2	4.30
10; (90)	341	148	2.05	1.17-2.64	8,4	1.66
11; (210)	379	130	2.05	1.17-2.78	8,2	0.78

К методике расчетов параметров сейсмических колебаний для рыхлых грунтов в водонасыщенном состоянии, представленных моделями 8-11.



А – Запись скоростей колебаний грунта для направления север-юг (N-S), запад-восток и вертикальной компоненты (Z) на исследуемой площадке «Турка»;

Б – Амплитудные спектры Фурье: соответствующие записям землетрясения ($K = 9,5$; $R = 56.5$ км), для компонент NS, EW и Z, представленных на рисунке А;

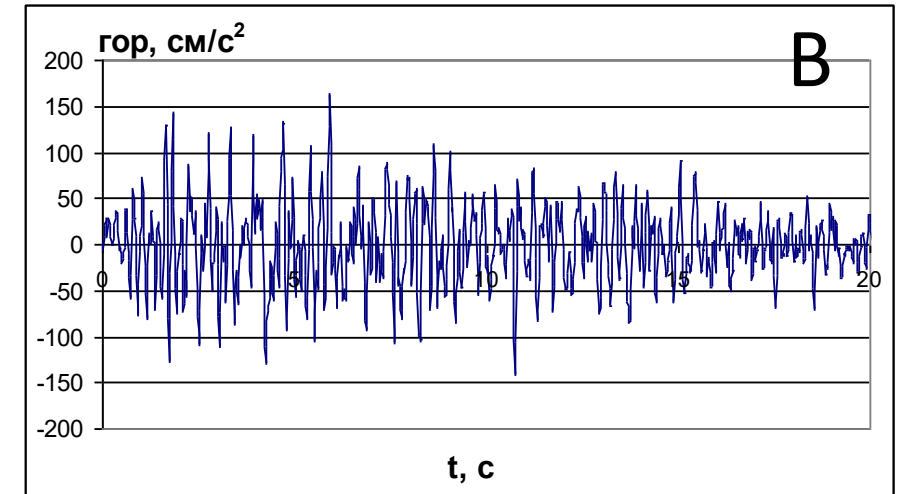
В – Не сглаженная амплитудно-частотная характеристика слоя рыхлых отложений в пункте регистрации землетрясений;

Г – Средняя амплитудно-частотная характеристика грунтов в пунктах наблюдения на исследуемой площадке.

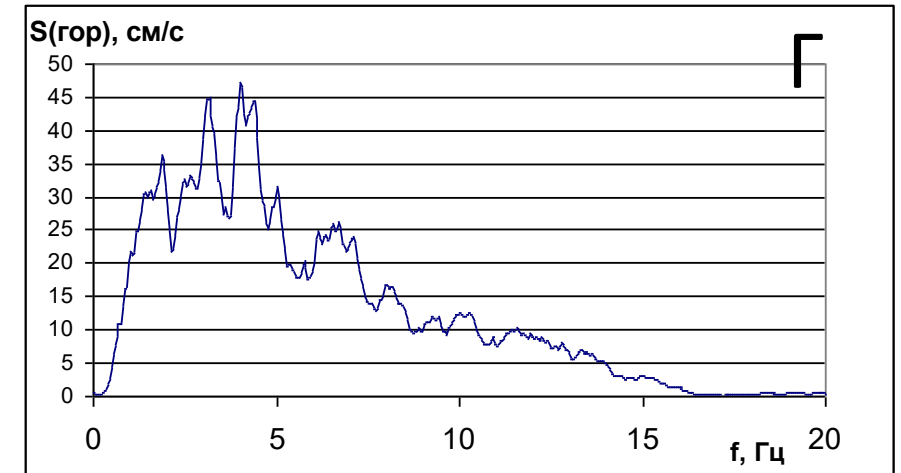
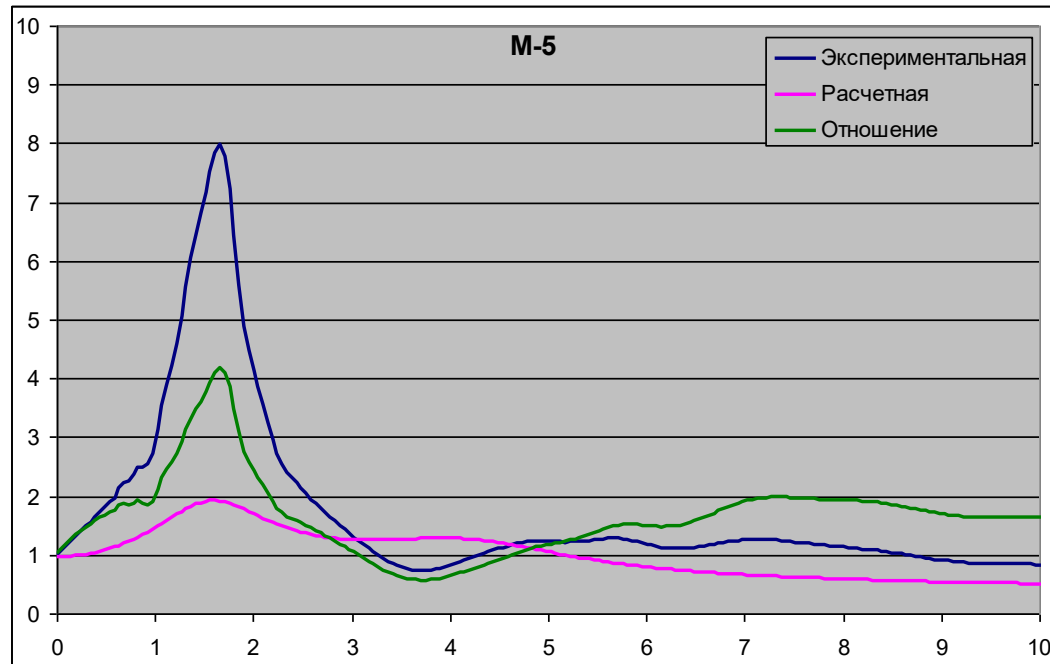
Оценка параметров сейсмических воздействий для водонасыщенного слоя рыхлых грунтов, представленных средне и крупнозернистыми песками (h=80 м).

А

Модель	h (м)	Vp (м/с)	Vs (м/с)	ρ (т/м ³)	Vp /Vs	Amax (см/с ²)
Средне и крупнозернистые пески H=90 м, ниже коренные породы	(7)	1600	320	1,9	5,00	163
	23	1700	370	2,0	4,59	
	30	1800	480	2,1	3,76	
	30	1900	520	2,2	3,55	
	20	2000	1050	2,5	1,90	
	10	2400	1290	2,6	1,86	
	∞	2800	1540	2,7	1,81	

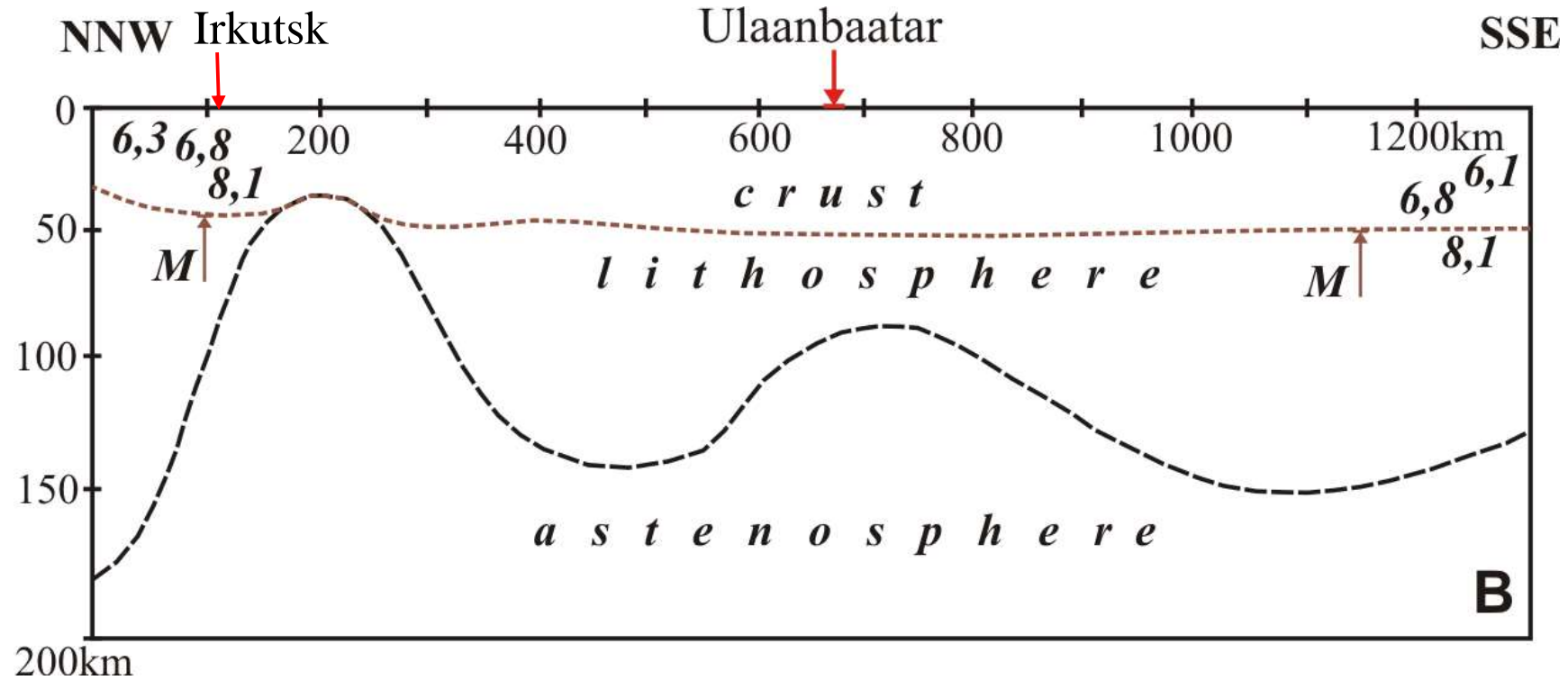


Б

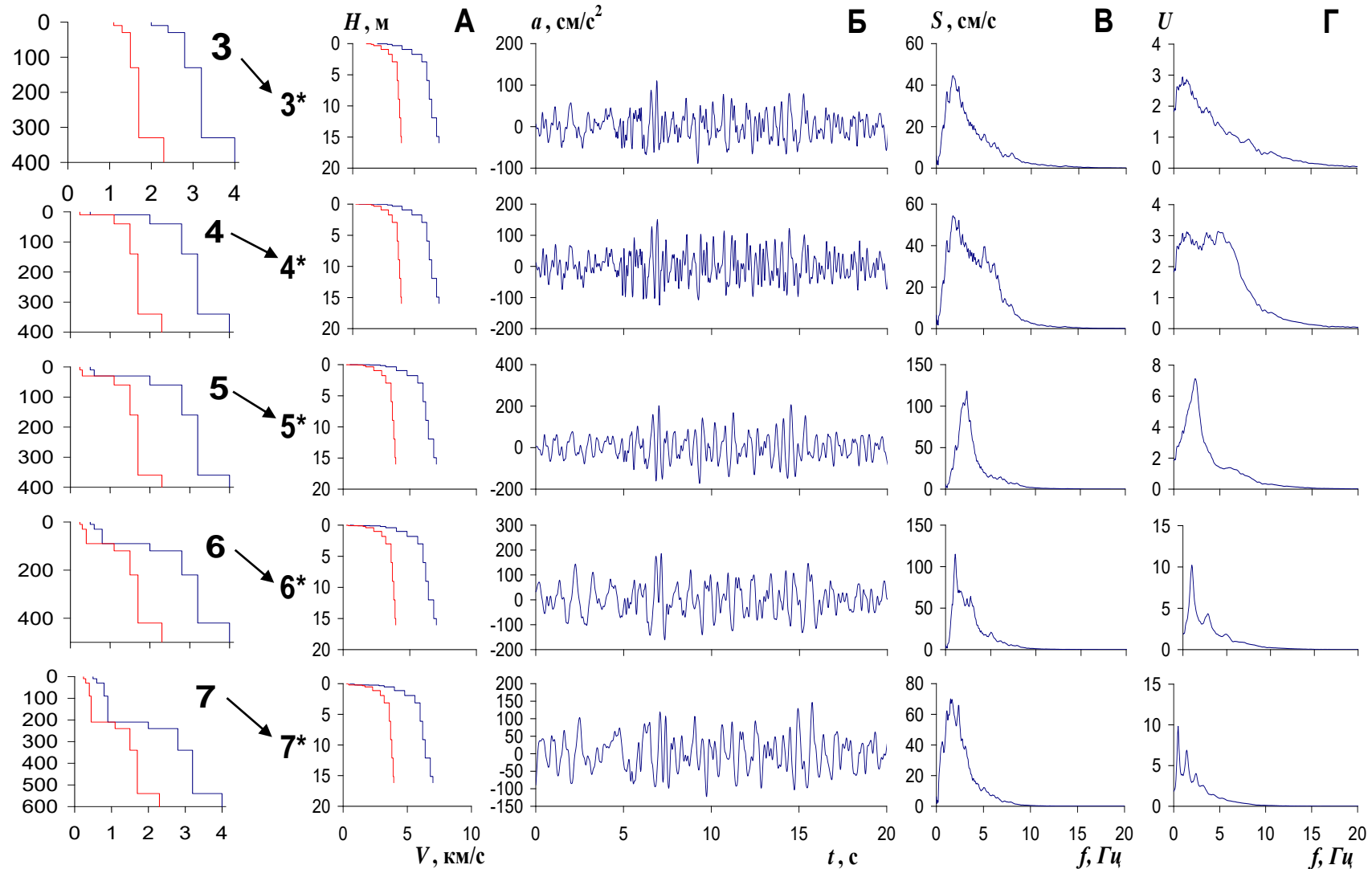


А - сейсмогрунтовая модель водонасыщенных рыхлых грунтов; Б – частотные характеристики верхних слоев; В – аасчетная акселерограмма; Г – спектр расчетной акселерограммы.

Глубинное строение литосферы вдоль трансекта
(по данным Зорин Ю.А. и др., 1993)



Оценка влияния глубинных и приповерхностных неоднородностей на исходные сейсмические сигналы в пределах бассейна р. Селенги и на юго-западной части Байкальской сейсмической зоны.



А - построенные глубинные сейсмогрунтовые модели (по данным Зорин Ю.А. и др., 1993; Недра Байкала..., 1981);

Б – расчетные акселерограммы для построенных моделей (3*-7*);

В – спектры расчетных акселерограмм;
Г – частотные характеристики верхних слоев.

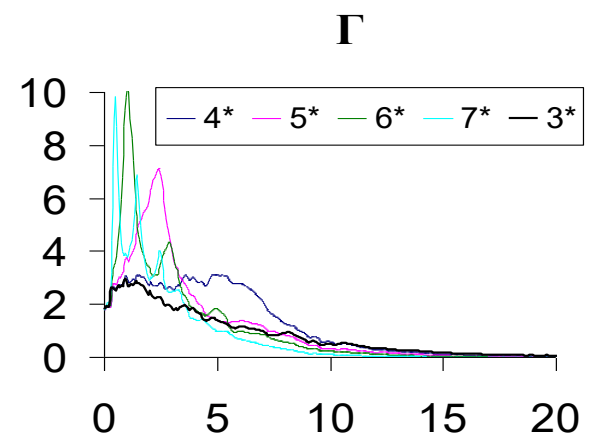
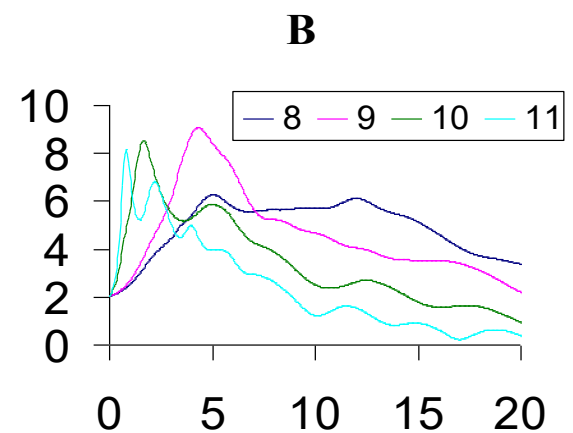
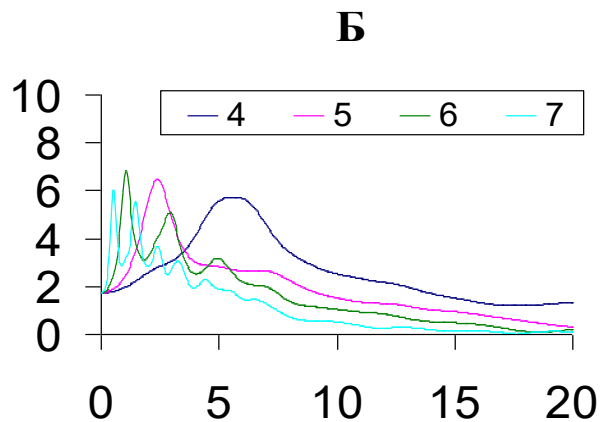
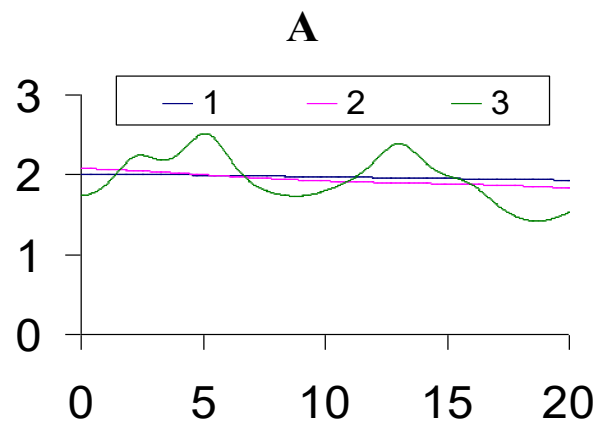
3*- коренные эталонные породы (h=14 км);

4*-7* - глубинные сейсмогрунтовые модели (h=14 км), мощность верхних рыхлых неводонасыщенных грунтов - 10, 30, 90 и 210 м – соответственно.

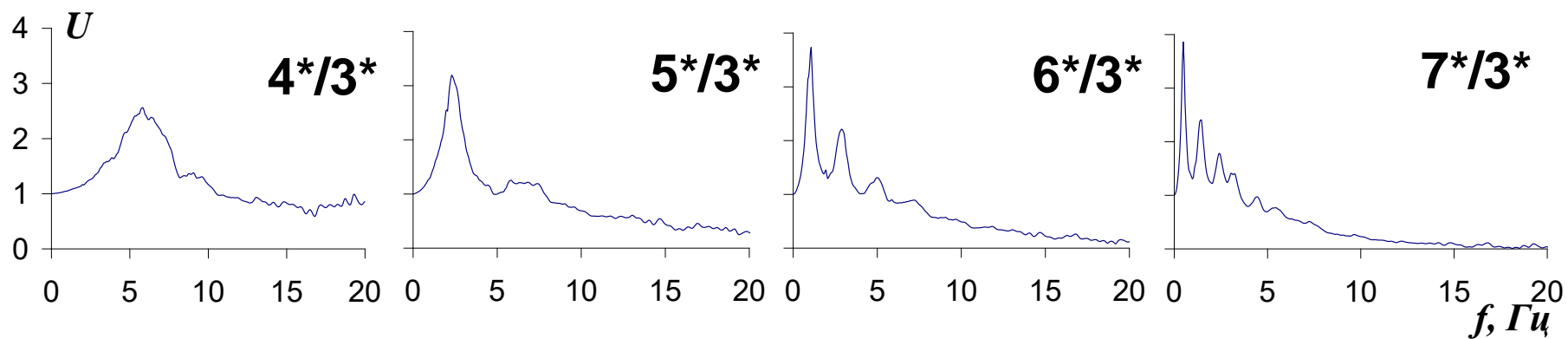
Основные параметры расчетных акселерограмм и частотных характеристик для моделей 3-7 (3*-7*) (принятая исходная сейсмичность равна 8 баллам).

№ модели; (h-слоя) (м)	Максимальное ускорение A_{max} , (см/с ²)	Максимальное значение спектра S_{max} , (см/с)	Частота основного максимума спектра, (Гц)	Интервал частот для $0.7 \cdot S_{max}(f)$, (Гц)	Резонансная частота рыхлых слоев, (Гц)
Коренные «эталонные» породы					
3 (330)	117	34.3	2.15	1.17-4.83	5.08
3* (330)	110	44.6	1.76	1.03-2.78	0.98
Рыхлые неводонасыщенные породы					
4; (10)	170	64.9	2,5; 4.64	2.54-6.28	5.57
4* (10)	151	54.4	1.76	1.07-5.13	4.83
5; (30)	219	95.1	2.20	1.90-2.78	2.34
5* (30)	207	118	2.34	1.66-2.73	2.34
6; (90)	189	71.6	1.17	1.03-2.93	1.03
6* (90)	186	115	1.07	0.93-1.27	1.03
7; (210)	160	83.5	1.42	1.12-2.54	0.49
7* (210)	146	70.1	1.51	1.03-2.54	0.49

Частотные характеристики сформированных сейсмогрунтовых моделей



А - Коренные «эталонные» породы, модели 1-3;
Б - Рыхлые неводонасыщенные породы, модели 4-7;
В - Рыхлые водонасыщенные породы, модели 8-11;
Г - 3* - 7*, модели неводонасыщенных пород (4-7) и модель эталона (3) дополненные распределением скоростей сейсмических волн до возможных глубин возникновения землетрясений.



Влияние слоев рыхлых неводонасыщенных грунтов для сейсмогрунтовых моделей по отношениям частотных характеристик

Заключение

При использовании произошедших относительно сильных землетрясений за последние годы, обосновано задание исходного сигнала для рассматриваемой территории с учетом возможных сильных землетрясений из зон ВОЗ.

Построены сейсмогрунтовые модели характеризующие наиболее вероятные типы приповерхностных неоднородностей, в пределах бассейна р. Селенги и на юго-западной части Байкальской сейсмической зоны, для преобладающих разновидностей грунтов различного состояния, до глубины залегания коренных «эталонных» пород.

Дана количественная оценка влияния глубинных и приповерхностных неоднородностей на обоснованный исходный сигнал, для принятого уровня сейсмичности равного 8 баллов, в параметрах сейсмических воздействий для различных сейсмогрунтовых условий строительства в регионе.

Представленные данные для преобладающих разновидностей грунтов различного состояния приводят к возможности их использования при районировании сейсмической опасности территорий Байкало-Монгольского региона.