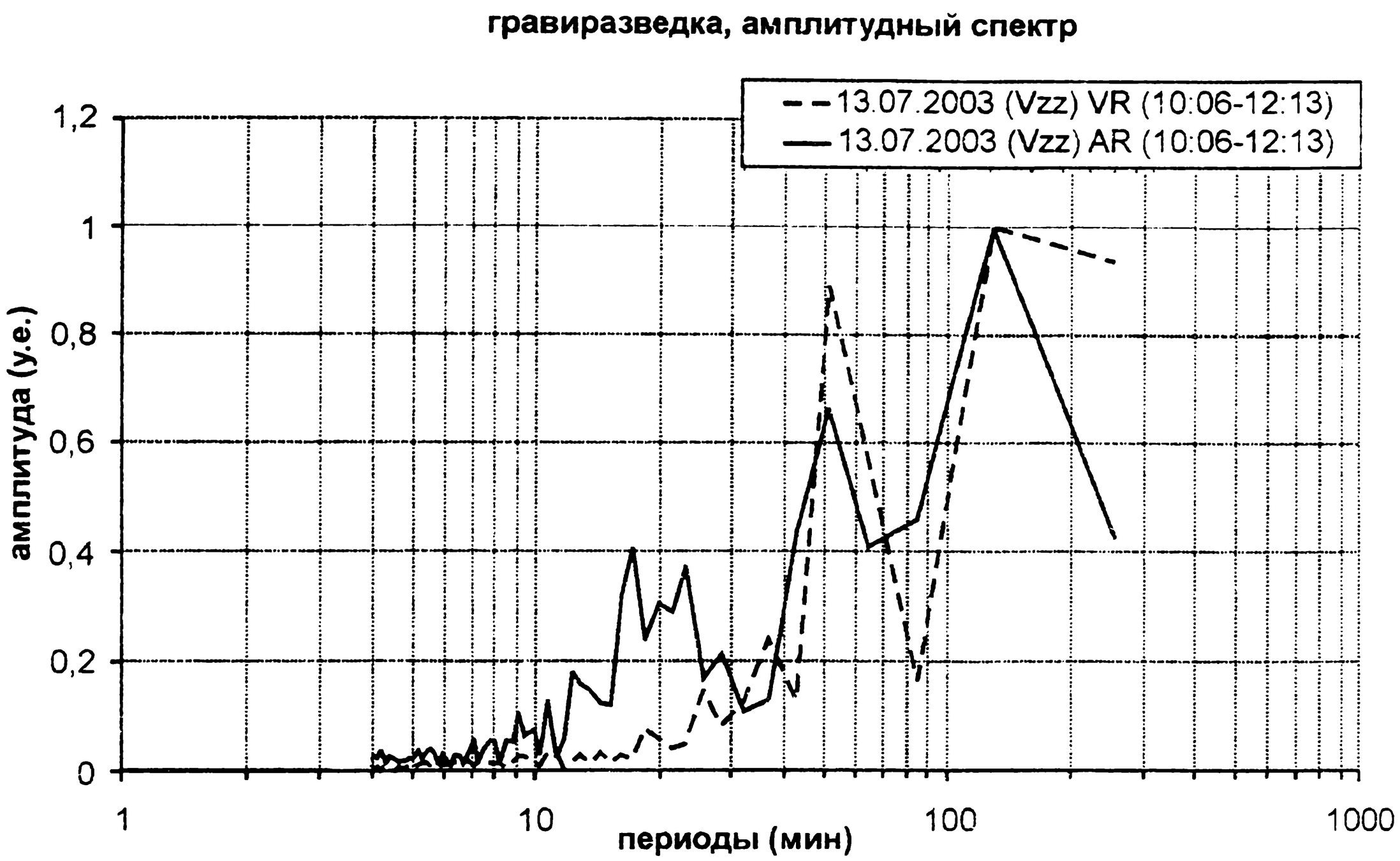

Рис. 3. Спектры вариаций вертикального градиента силы тяжести

6. Изучение высокочастотных сигналов гравиметра и микросейсм / Chen Yi-hui, Lei Yu-tian, Zhu Han-yun, Guo Zi-qiang // Дицю ули сюзбао-Acta. geophys. sin. - 1988. -Vol. 31, № 5. –С. 71-80.
7. Крылов С.М., Соболев Г.А. О вихревых гравитационных полях естественного и искусственного происхождения и их волновых свойствах // Вулканология и сейсмология. –1998. -№3. -С.78-92.
8. Линьков Е. М. Сейсмические явления. –Л., 1987. -С.247.
9. Линьков Е.М.,Петрова Л.Н., Зуравишвили Д.Д. Сейсмогравитационные колебания Земли и связанные с ними возмущения атмосферы // Докл. АН СССР. - 1989. Т. 306. № 1. –С. 75-77.
10. Некоторые результаты повторных измерений вертикального градиента силы тяжести / М.Б. Штейман, А.В. Копаев, И.А. Леонтьев и др. // Повторные гравиметрические наблюдения. -М., 1988. –С. 35-40.
11. Стейси Ф. Физика Земли. -М., 1972. -342 с.
12. Собственные колебания Земли // Под ред. Жаркова. -М.,1964. -315 с.
13. Pekeris C.L., Jarosh H. Terrestrial // Geophysics. -V.1. –1958. -P.171.

УДК 550.34.06

ОЦЕНКА ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ СТАНЦИИ VRS

А.И. Дубянский

Воронежский государственный университет

Получена оценка возможности сейсмостанции VRS (с. Сторожевое, Воронежской области) регистрировать землетрясения, происходящие в сейсмоактивных зонах на Евро-Азиатском континенте. Установлена различная вероятность регистрации землетрясений, зависящая не только от расстояния источник-станция и энергии, но и от геоструктурного положения эпицентров.

Геофизической службой Российской академии наук при участии Лаборатории глубинного строения, геодинамики и сейсмического мониторинга Воронежского госуниверситета в 1999г была установлена в с. Сторожевое Острогожского района Воронежской области сейсмическая станция VRS. Выбор места установки станции был сделан на основании специальных изысканий и сравнительного

анализа уровня микросейсмических колебаний, а также уровня и вероятности возникновения техногенных помех. Регистрирующая аппаратура представлена широкополосной цифровой станцией, оснащенной сейсмометрами типа СМ3-ОС, частотный диапазон которых составляет 0,02-10Гц. Сейсмостанция установлена на бетонном основании на глубине 1,7м от дневной поверхности. Бетонное перекрытие лежит на суглинках, мощностью порядка 10м, ниже которых залегают более плотные породы, представленные мелом.

Важной характеристикой сейсмической станции является ее чувствительность к событиям различной магнитуды, происходящим в различных регионах на различных удалениях от регистрирующей аппаратуры. Для анализа возможности регистрации сейсмической станцией VRS событий, происходящих в различных сейсмогенных регионах Евро-Азиатского континента, использовались записи землетрясений, полученные в 2001 г.

Количество событий, зарегистрированных на VRS, сравнивалось с данными по бюллетеням из Обнинска. Безотносительно эпицентральных расстояний установлено, что вероятность успеха при регистрации землетрясений с магнитудами в интервале от 4 до 4.9 составляет 15%. При увеличении магнитуд до 5.0 - 5.9 вероятность повышается до 76% и достигает 100% при M=6 –6.9. События с магнитудой от 3 до 3.9, где бы они не происходили (кроме местных) станцией VRS не регистрируются.

Для выяснения относительной чувствительности станции к сейсмическим событиям, происходящим в различных сейсмоактивных районах, сейсмогенные зоны были разделены на условные регионы, размер которых составляет 5^0 по широте и 10^0 по долготе. Координаты центров этих регионов приведены в таблице. Выделение условных регионов проведено по карте «Сейсмичность и сейсмическая регионализация», входящей в комплект карт «Сейсмическое районирование территории Российской Федерации » под редакцией В.Н. Страхова и В.И. Уломова, 2000 г. (рис. 1). В каждом из выделенных регионов, количество которых составляет 51, определялись события, которые сортировались по магнитуде. Для этого использовалась база данных, составленная из донесений и каталогов ЦОМГС РАН (г. Обнинск) и база, содержащая бюллетени телесейсмических событий, зарегистрированных станцией VRS, а так же компьютерные программы «Анализ бюллетеней» и «Поиск», составленные в Лаборатории глубинного строения, геодинамики и сейсмического мониторинга Воронежского госуниверситета.

Для каждого региона определялось относительное количество зарегистрированных сейсмостанцией VRS событий, попадающих в интервалы с магнитудами 3,0 – 3,9; 4,0 – 4,9; 5,0 – 5,9; 6,0 – 6,9, которые приведены в таблице, где имеется также информация об общем количестве землетрясений в каждом регионе в заданном диапазоне магнитуд. В таблице приведены также минимальные магнитуды событий, которые произошли в каждом регионе и зарегистрированы сейсмостанцией.

Наглядное представление о том, из каких регионов и с какой вероятностью успеха регистрируются сейсмические события в данном диапазоне магнитуд, дают полярные диаграммы, представленные на рис. 2. Азимуты радиальных линий показывают направление от VRS на центр условного региона, номер которого стоит около луча. Длина луча соответствует вероятности регистрации событий. На диаграммах показаны только те ситуации, когда в условном регионе регистрируется порядка 10 и более событий различной магнитуды.

Установлено, что ни из одного региона не зарегистрированы события с M=3.0 - 3.9.

События с магнитудами 4.0 – 4.9 примерно с одинаковой вероятностью успеха (0.47 – 0.6) (рис.2) регистрируются из регионов с номерами 4, 6, 7, 10, 11, которым географически соответствуют Греция, Ионическое и Эгейское моря, Кипр, Турция, Черное море, северо-западный район Ирано-Азербайджанской границы, Турецко-Иранский и Ирано-Иракский пограничные районы. Наиболее слабые землетрясения, зарегистрированные в этих регионах, имеют магнитуд 4.2, 4.3. Из 9 региона, в который попадает восточный Кавказ, Каспийское море и Турция, регистрируется аномально мало событий в рассматриваемом диапазоне магнитуд. Вероятность их регистрации составляет 0.04 при достаточно представительном материале (67 событий). Минимальная магнитуда не превышает 4.0. Землетрясения, происходящие в 13 регионе (Туркмения, Иран) регистрируются с весьма высокой вероятностью (0.83). Здесь наиболее слабое зарегистрированное событие имеет M=4.2. Весьма мало записей событий получено из региона 15 (район Гиндукуша), где вероятность успеха составляет 0.06 и минимальная магнитуда достигает 4.7. С большей вероятностью (0.31) землетрясения в рассматриваемом диапазоне магнитуд регистрируются из 16-го региона (Киргизия, Таджикистан). Наименее интенсивное событие имеет M=4.3. Землетрясения, происходящие в 17 регионе (Афгано-Таджикский пограничный район, Гиндукуш), минимальное по интенсивности из них имеет M=4.1, записываются сейсмостанцией VRS с вероятностью 0. 16. Обособленную группу по своему положению представляют события в регионах 42, 43, 45, 46, 49, 50, которым соответствует Сахалин, Охотское море, Курильские острова, Камчатка, Хоккайдо. Здесь вероятность регистрации событий с магнитудой от 4.0 до 4.9 составляет 0.04 – 0.14. Наиболее слабые землетрясения, происходящие в 42 регионе, имеют M=4.1 (Сахалин), с несколько большей минимальной магнитудой (4.5, 4.8) приходят к станции VRS упругие волны от землетрясений из регионов 43, 46, 50 (северо-западная часть Курильских островов, Хоккайдо, около восточного побережья Камчатки). Еще большая минимальная магнитуда (4.9) характерна для событий, происхо-

Таблица

Исходная информация и результаты оценки вероятности успеха при регистрации сейсмических событий станцией VRS

№№ ре-ги-онов	С. широ-та (град.)	В. долго-та (град.)	Расст. (град.)	Азимут (град.)	М (мин.)	Вероятность успешной регистрации событий (Р), в скобках - количество событий			
						М=3.0-3.9	М=4.0-4.9	М=5.0-5.9	М=6.0-6.9
1	47,5	15	16,1	265.9	4.8		0.5 (2)		
2	47,5	25	9,9	253	5.2		0 (2)	1 (1)	
3	42.5	25	13	233	4.3		1(1)		
4	37.5	25	17	221,4	4,3		0,47 (42)	0.9 (11)	
5	47,5	35	4,6	217,9			0 (1)		
6	42.5	35	9,2	198,9	4		0,49 (12)	1 (1)	
7	37,5	35	14	193.8	4.2		0,57 (7)	1 (1)	
8	32,5	35	19	190.8			0 (1)		
9	42,5	45	9,6	153.6	4	0 (20)	0,04 (67)	1 (1)	
10	37,5	45	14,3	161	4.3		0,54 (11)	1 (1)	
11	32.5	45	19.2	165.1	4.2		0,6 (10)	1 (2)	
12	37,5	55	17,7	135.1	4.8		0.33 (3)	0.5 (2)	
13	32,5	55	22	142,4	4,2		0,83 (6)	1 (1)	
14	37.5	65	22.8	116,9	4.5			0,33 (3)	
15	32,5	65	26,6	124,7	4,7	0 (2)	0,06 (16)	0,57 (7)	
16	37.5	75	28.6	104.6	4.3		0,31 (19)	0 (1)	
17	32,5	75	32,1	111.9	4,1	0 (9)	0,16 (118)	1 (8)	
18	52,5	85	27,8	69.6			0 (1)		
19	47.5	85	29.6	79			0 (2)		
20	42.5	85	31,9	87.8	5,1		0 (3)	1 (1)	
21	37,5	85	34.8	95			0 (2)		
22	52.5	95	33.6	65.2			0 (8)		
23	47.5	95	35.7	73.3	5,2		0 (4)	1 (1)	
24	42,5	95	38.2	80,4	4.5		1 (1)		
25	47,5	95	35.6	53,9			0 (1)		
26	52.5	105	39,2	61.4			0 (23)		
27	47,5	105	41.6	68.4			0 (3)		
28	42.5	105	44,3	74,1			0 (1)		
29	57,5	115	42,3	50,73		0 (1)	0 (20)		
30	52.5	115	44.6	57,1			0 (9)		
31	42.5	115	50,2	68.3			0 (1)		
32	77,5	125	39,6	19,9			0 (2)		
33	72.5	125	40.8	27.3	4.6		1 (1)		
34	57.5	125	47	47,3			0 (2)		
35	72.5	135	43,6	25.7			0 (1)		
36	57.5	135	51,4	43			0 (2)		
37	47,5	135	57,9	52,3		0 (1)			
38	42,5	135	61,3	56,7	4,9	0 (1)	1 (1)	0,5 (2)	
39	62.5	145	52,2	34,1	4.4		1 (1)		
40	57,5	145	55,5	38.8	4.8		1 (1)		
41	52.5	145	59	43,1			0 (2)		
42	47,5	145	62,6	47,2	4,1	0 (13)	0,07 (53)	0,8 (5)	
43	42.5	145	66,4	50,8	4,5	0 (3)	0,14 (84)	0,57 (27)	1 (4)
44	57,5	155	59.3	34,2	4,8		0,5 (2)		
45	52.5	155	63,1	37,8	4.9	0 (6)	0,06 (51)	1 (3)	1 (1)
46	47,5	155	67	41,4	4,8	0 (8)	0,04 (79)	0,58 (12)	
47	42.5	155	71	44,5			0 (3)		
48	62.5	165	58,2	25,9			0 (2)		
49	57,5	165	62,6	29,2	4,9	0 (1)	0,04 (26)		1 (1)
50	52,5	165	66,7		4.5	0 (1)	0,04 (120)	1 (13)	
51	67.5	175	56.8				0 (1)		

дящих в 45 и 49 регионах (восточное побережье Камчатки, Курильские острова).

Вероятность успеха при регистрации событий большей магнитуды (5.0 – 5.9) закономерно выше (рис.2), хотя полученные оценки могут оказаться иными при большем фактическом материале. С вероятностью 0.9 фиксируются события из региона 4 (Эгейское море, Крит, восточная часть Средиземного моря); с вероятностью 0.57 - из 15региона (Гиндукуш). Весьма надежные оценки вероятности успешной регистрации (0.75 – 0.8) получены для регионов 42, 43, 46 (Сахалин, Курильские острова, районы Хоккайдо и Хонсю). Для остальных регионов при магнитуде от 5.0 до 6.9 вероятность успеш-

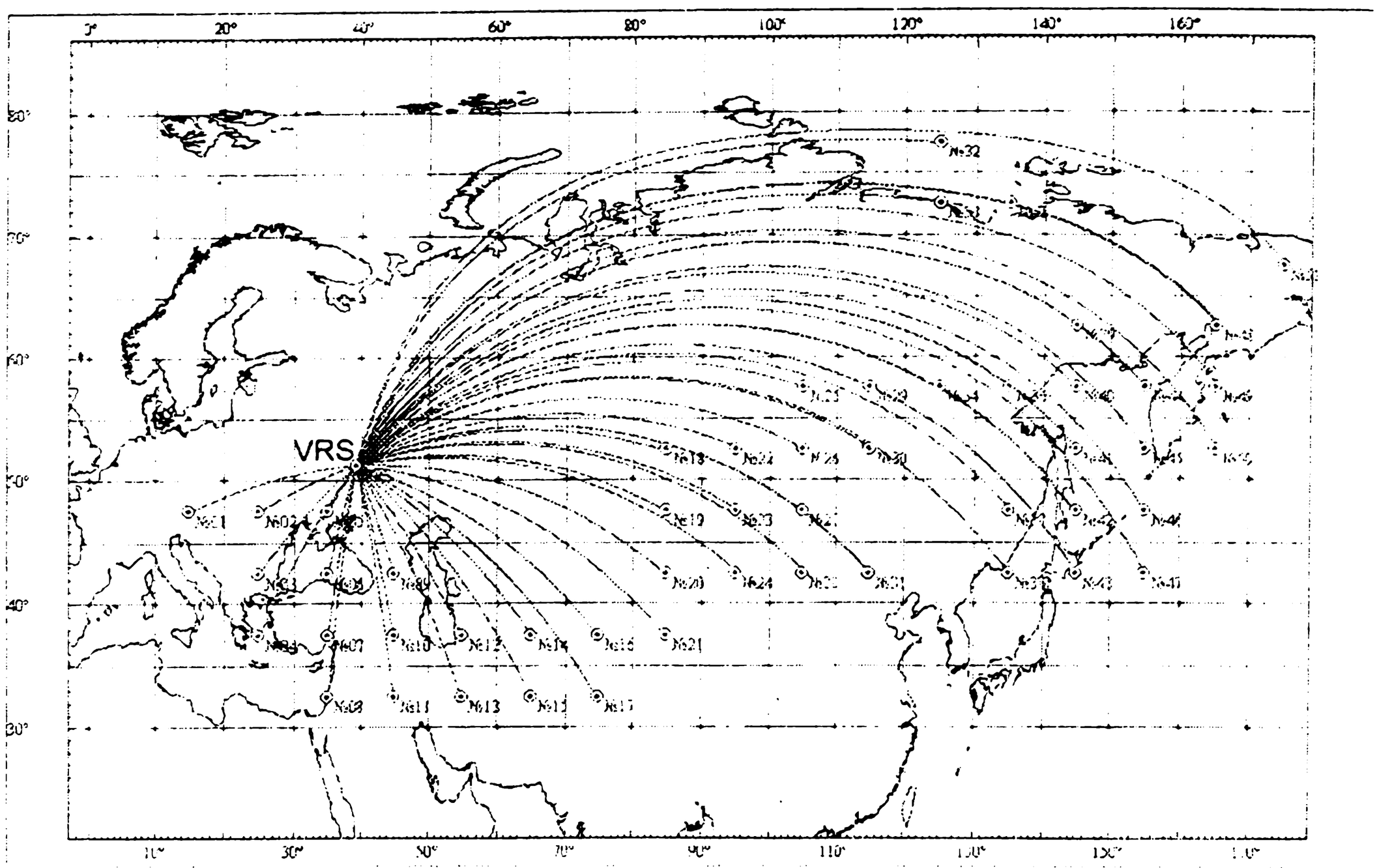

Рис. 1. Схема расположения условных регионов и их центров с номерами *(показаны азимутальные линии на центры регионов от сейсмостанции VRS)*

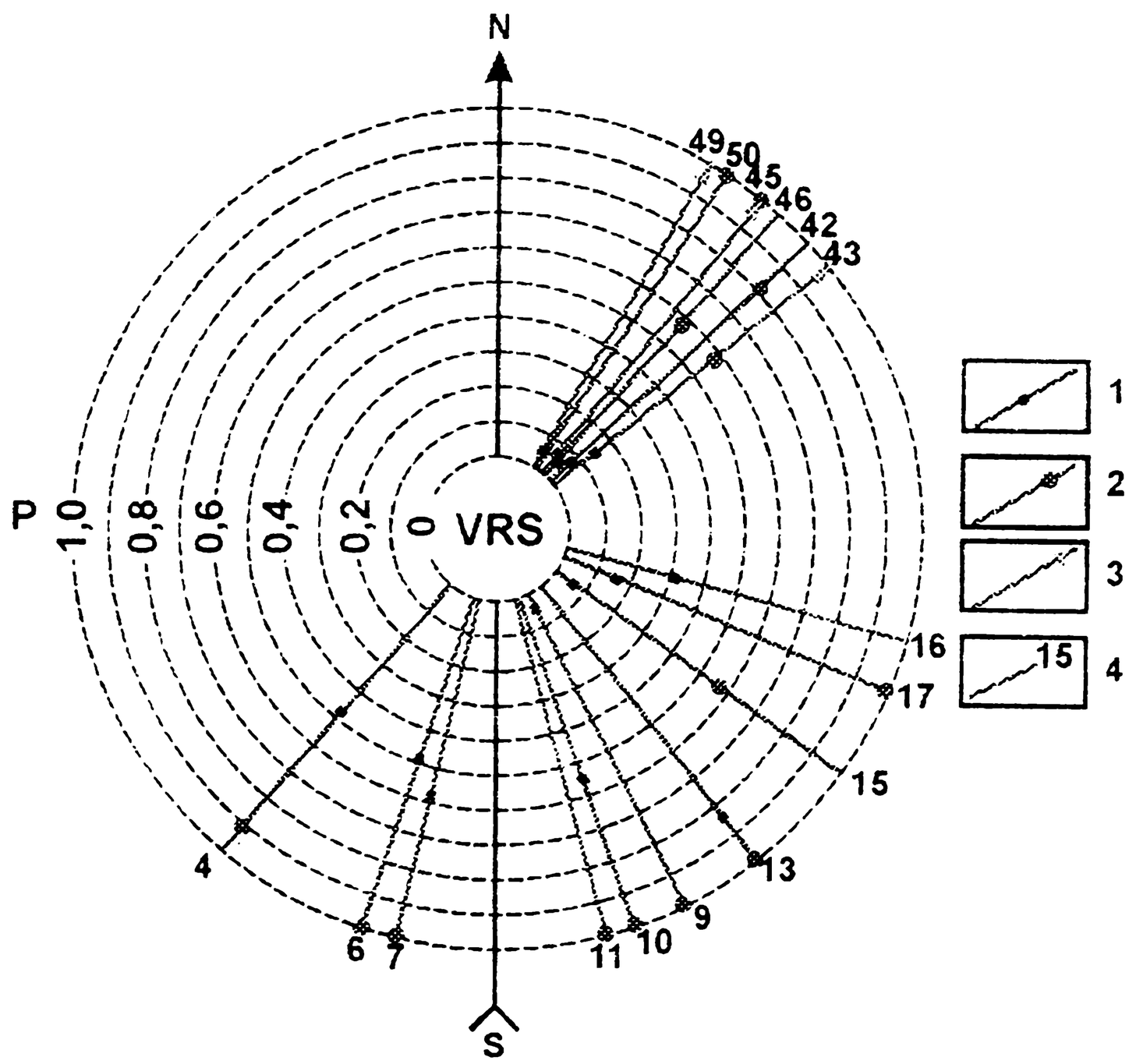

Рис. 2. Полярные диограммы, показывающие вероятность успеха (P) при регистрации землетрясений различной магнитуды, происходящих в различных регионах: *магнитуда: 1 – 4,0 – 4,9; 2 – 5,0 – 5,9; 3 – 6,0 – 6,9; 4 – азимут на центр региона и его номер*

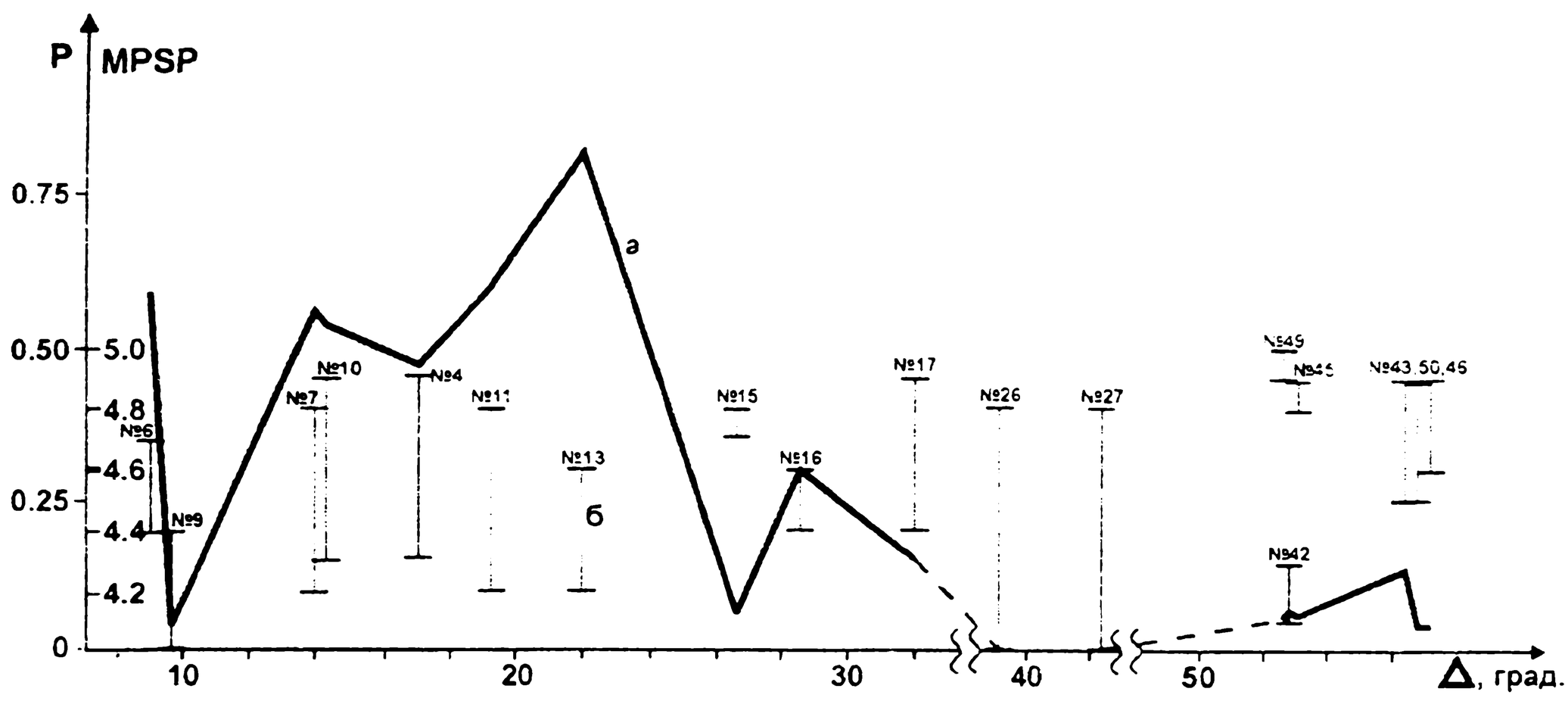

Рис. 3. Зависимость вероятности успеха (а) при регистрации землетрясений с магнитудой в диапазоне н4,0 – 4,9 от условного эпицентрального расстояния. Для каждого региона (номер на рисунке) показан диапазон магнитуд зарегистрированных событий (б)

ной регистрации событий составляет 1. Наиболее достоверные по представительности являются вероятности, полученные для 17-го региона (Афгано - Гаджикский пограничный район, Гиндукуш) и для регионов 43, 46 и 50.

Рассмотрим возможные причины различной вероятности успеха при регистрации землетрясений, происходящих в различных регионах. На уменьшение вероятности регистрации событий, кроме случайных причин, связанных с условиями приема, влияют следующие факторы: увеличение эпицентрального расстояния, недостаточная интенсивность источника, неблагоприятные сейсмогеологические условия прохождения упругих волн. Для оценки значимости этих факторов рассмотрим ситуацию при регистрации землетрясений в диапазоне магнитуд 4.0 – 4.9, т.е. в том минимальном диапазоне, когда станция VRS начинает их фиксировать. На рис. 3 показана зависимость вероятности успеха при регистрации землетрясений, имеющих указанный диапазон магнитуд, от условного эпицентрального расстояния, измеряемого от сейсмостанции до центра условного региона (см. таблицу). На этом же графике показан фактический диапазон магнитуд зарегистрированных событий и номера соответствующих регионов.

На фоне закономерного уменьшения вероятности успешной регистрации, которое связано с увеличением эпицентрального расстояния, выделяется несколько аномальных регионов, для которых увеличение или уменьшение вероятности успеха определяется другими факторами. В частности малая вероятность регистрации событий из региона 9 (западный Кавказ) связана как с небольшой энергетикой землетрясений (M=4.0 – 4.4), так возможно и с неблагоприятными условиями прохождения сейсмических волн. Только последняя причина определяет малую вероятность регистрации землетрясений, которые происходят в регионе 15 (район Гиндукуша) и в районе оз. Байкал (регионы 26, 27), где диапазон магнитуд событий достаточно широк (4.0 – 4.8), а вероятность успешной регистрации составляет 0.06 для региона 15 и вообще ноль для Байкальского региона.

Благоприятные сейсмогеологические условия прохождения упругих колебаний в направлении от эпицентра до станции VRS характерны для 13 региона (Туркмения, Иран), где при сравнительно слабых землетрясениях (M=4.2 – 4.6) вероятность их регистрации достигает 0.83. Учитывая потери энергии при увеличении эпицентрального расстояния, следует отметить весьма благоприятные условия распространения сейсмических волн от землетрясений, происходящих в регионе 42 (Сахалин).

Проведенный анализ сейсмической информации показал, что относительная чувствительность сейсмостанции VRS существенным образом зависит от географического положения эпицентров землетрясений. Станция наименее чувствительна к событиям, происходящим в районах западного Кавказа, Гиндукуша и Байкальского региона. Повышенная относительная чувствительность характерна для землетрясений на территории Туркмении, Ирана и Сахалина. Основные причины различной относительной чувствительности связаны, по-видимому, со структурно-вещественными особенностями планетарного масштаба, определяющими акустические свойства среды на путях распространения сейсмических волн.