

ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКАЯ ПЛАТФОРМА, УРАЛ И ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ:

УДК 550.348.436

ВОРОНЕЖСКИЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ МАССИВ

Л.И. Надёжка, И.Н. Сафронич, С.П. Пивоваров, Б.А. Сорокин, Э.И. Золототрубова

В 1999 г. продолжали работать аналоговая сейсмическая станция «Воронеж» и цифровая станция «Дивногорье». Еще одна цифровая сейсмическая станция – «Сторожевое» – была введена в эксплуатацию 8 августа 1999 г. в с. Сторожевое-1 Острогожского района Воронежской области. Сторожевое-1 расположено на правом высоком берегу р. Дон в 60 км к югу от г. Воронеж. Ближайший крупный промышленный центр – г. Нововоронеж – находится от станции на расстоянии 18 км по прямой, а в 8 км – автомобильная трасса Воронеж-Острогожск. Сейсмическая станция размещена в подвале на глубине 1.7 м, в 15 м от жилого дома. В табл. 1, 2 приведены основные характеристики станций.

Таблица 1. Сейсмические станции, работавшие в 1999 г. на территории Воронежского кристаллического массива

№	Станция		Дата открытия	Координаты		h_y , м	Аппаратура			
	Название	Код		φ° , N	λ° , E		Тип прибора	Компонента	V_{max}	ΔT_{max} , с
1	Воронеж	VOR	20.12.1996	50.730	39.200	180	СМЗ-КВ	N E Z	5000 5000 5000	0.33–2.0 0.33–2.0 0.33–2.0
2	Дивногорье	VORD	20.02.1998	50.966	39.293	94	СМЗ-ОС	SDAS цифр/ст		
3	Сторожевое	VRSR	08.08.1999	50.215	39.190	183	СМЗ-ОС	SDAS цифр/ст		

Таблица 2. Данные об аппаратуре цифровых станций

Название станции	Тип датчика	Перечень имеющихся каналов и их характеристики	Частотный диапазон, Гц	Частота опроса данных, Гц	Эффективная разрядность АЦП	Чувствительность, велосигрф – отсчет/(м/с),
Дивногорье	СМЗ-ОС	ВН(N, E, Z), велосиметр	0.02–10	20	16	$1.00 \cdot 10^9$
						$1.06 \cdot 10^9$
						$1.00 \cdot 10^9$
Сторожевое	СМЗ-ОС	ВН(N, E, Z), велосиметр	0.02–10	20	16	$4.01 \cdot 10^8$
						$5.20 \cdot 10^8$
						$6.11 \cdot 10^8$

В географическом плане с. Сторожевое расположено в зоне сочленения Окско-Донской впадины и Среднерусской возвышенности. Рельеф здесь представляет всхолмленную долину с развитой сетью оврагов. В структурно-геологическом отношении сейсмическая станция расположена в Лосевской шовной зоне (район № 3) (рис. 1). В геологическом строении этого района принимают участие два различных структурных этажа: осадочный чехол, средняя мощность которого в с. Сторожевое составляет 170 м, и кристаллический фундамент. Осадочный чехол сложен, в основном, известняками, глинами, аргиллитами девонской, меловой и палеогеновой систем. Четвертичная система представлена моренными образованиями, покровными суглинками. Кристаллический фундамент сложен вулканогенно-осадочными образованиями лосевской серии. Мощность коры, по данным ГСЗ, составляет 45 км. В ее разрезе наиболее

представлен гранитогнейсовый слой, мощность которого в среднем 25 км. Отличительной особенностью этого участка исследуемой территории является относительно высокая скорость продольных волн ($v_p=7.5$ км/с) в нижнем слое коры. Верхи мантии характеризуются также повышенными значениями продольных ($v_p=8.39$ км/с) и поперечных ($v_s=4.0$ км/с) волн [1–3].

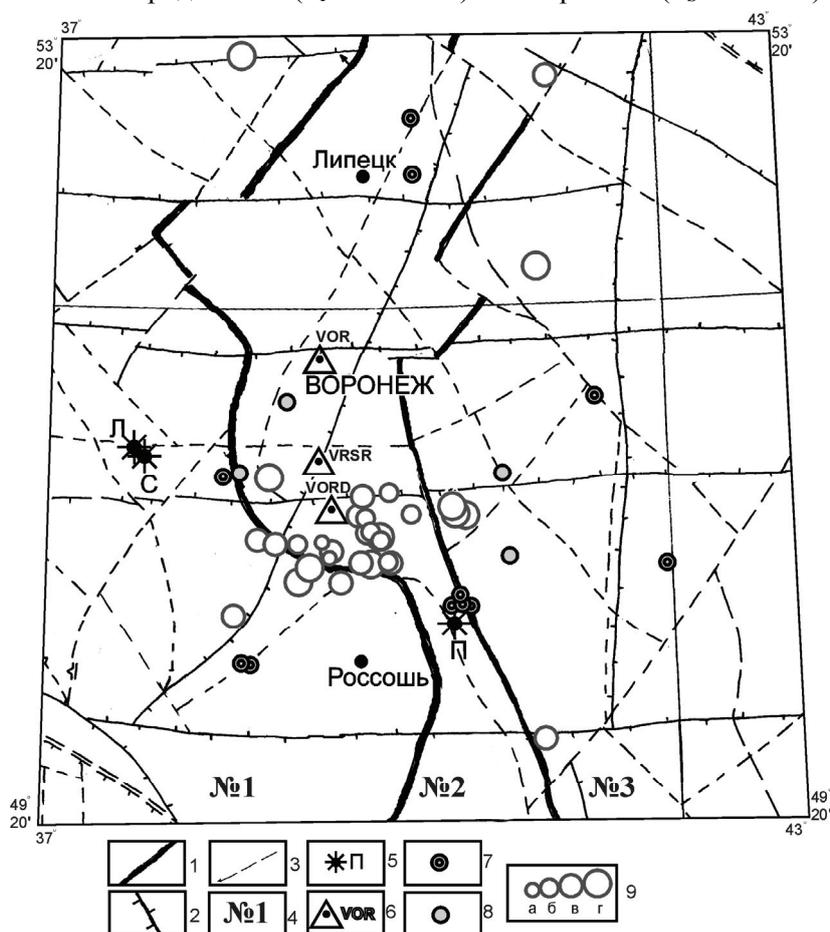


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений на территории Воронежского кристаллического массива за 1999 г.

1–3 тектонические нарушения первого, второго и третьего ранга соответственно; 4 – № 1–№ 3 – основные структуры Воронежского кристаллического массива, Курский мегаблок, Лосевская шовная зона, Хоперский мегаблок соответственно; 5 – карьеры: П – Павловский, Л – Лебединский, С – Стойлинский; 6 – сейсмическая станция; 7 – эпицентры исторических землетрясений [1]; 8 – эпицентры землетрясений по данным Научно-исследовательского, проектно-конструкторского и изыскательского института «Атомэнергопроект»; 9 – эпицентры из каталога локальных событий [4] с K_p , равным 5(а), 6(б), 7(в) и 8(г).

Характер микросейсмического шума в районе расположения сейсмической станции «Сторожевое» показан на рис. 2. Хорошо виден максимум спектра микросейсм в диапазоне частот 0.1–0.3 Гц и минимум – в диапазоне 0.6–1.8 Гц. Относительно резкий всплеск значений амплитуд наблюдается на частоте 2 Гц, а с частоты 3 Гц уровень амплитуд несколько уменьшается и среднее его значение стабилизируется на частотах >4 Гц. Уровень сейсмического шума в летнее и зимнее время различен на низких частотах (летом он существенно ниже), а на более высоких – практически одинаков. Вблизи значения частоты 1 Гц отмечается некоторое локальное увеличение уровня шума, которое возможно обусловлено близким расположением Нововоронежской АЭС.

В целом уровень микросейсмического шума в районе расположения новой станции невысок, что позволяет регистрировать землетрясения как на телесеизмических расстояниях (с $M \geq 4.0$), так и на близких (с $K_p \geq 5.0$). Вместе с тем следует отметить некоторую избирательность в возможности регистрации удаленных землетрясений из разных регионов. Так, из Туркмении, Ирана и Сахалина вероятность регистрации даже относительно слабых событий, проис-

ходящих в них, составляет более 80%. Наименее чувствительна сейсмическая станция «Сторожевое» к землетрясениям, происходящим в районах Западного Кавказа, Гиндукуша и Байкальского региона [5], что связано, по-видимому, с разными свойствами среды на путях распространения сейсмических волн.

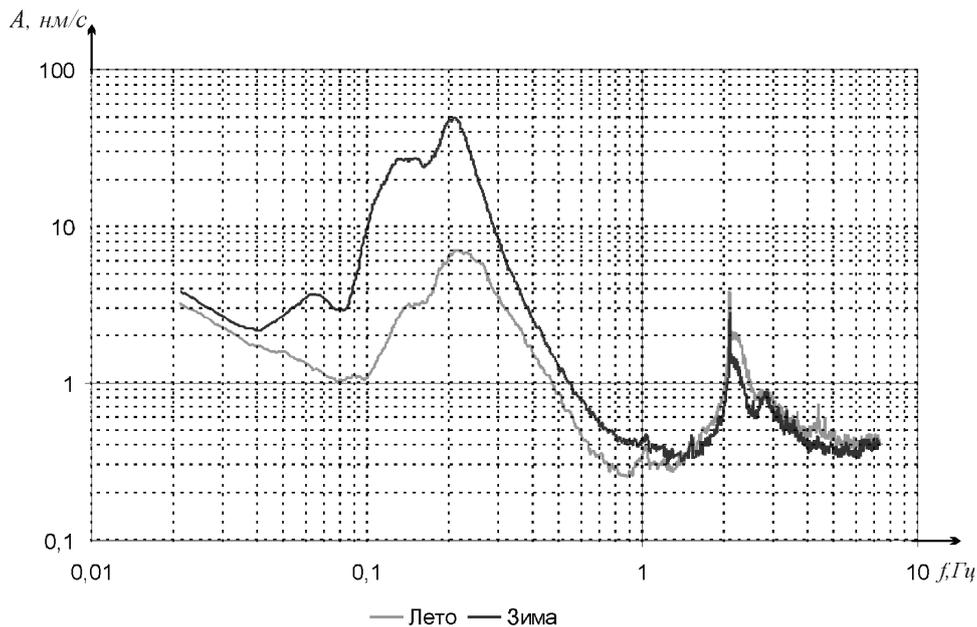


Рис. 2. Среднесуточный спектральный состав микросейсм в месте установки станции «Сторожевое»

Характер сейсмического шума и его относительно низкий уровень в районе цифровых станций «Сторожевое» и «Дивногорье» позволил регистрировать в 1999 г. слабые локальные события с $K_p \geq 5.0$. Как было показано в [6], на территории Воронежского кристаллического массива регистрируются локальные события трех типов: взрывы (в крупных карьерах – Михайловском, Стойленском, Лебединском, Павловском), сейсмические события типа «импульс» и, возможно, местные землетрясения. Обработка всех событий проводилась с помощью программы WSG с использованием годографа IASPEI [7] комплексно. Энергетический класс землетрясений K_p определялся по замерам максимальных амплитуд продольных и поперечных волн с использованием номограммы Т.Г. Раутиан [8].

Особое внимание при обработке полученных на станциях записей уделялось разделению локальных событий на указанные выше три типа. Как показывает опыт работ [6, 9], в спектрах взрывов отчетливо выделяются поверхностные волны на частотах 0.4–1.4 Гц. На рис. 3, а представлен характер шума до и во время взрыва, а также отношение спектров суммарного поля (взрыва и шума) к спектру шума. На графике отношений отчетливо виден максимум на указанных выше частотах. Спектральные амплитуды суммарного поля более чем в десять раз выше фоновых (шума). При этом на более высоких частотах (до 3.5 Гц) превышение почти в два раза. На частотах выше 3.5 Гц отношение спектральных амплитуд увеличивается до пяти раз. Совершенно иное соотношение спектральных амплитуд в случае, когда сейсмическое поле представляет собой землетрясение и сейсмический шум (рис. 3, б). В этом случае максимум отношения спектральных амплитуд наблюдается на частотах 2–6 Гц. Эти особенности спектрального состава записей взрыва и тектонических событий использовались, наряду с другими особенностями, изложенными в [6], для определения природы местных сейсмических событий. В результате тщательного анализа составлен каталог местных землетрясений [4], в который вошло 31 событие в диапазоне $K_p=5.0-8.2$.

На рис. 4, а даны числа землетрясений по месяцам. Отмечается повышенное их число ($N=7$) в феврале и декабре, в июне отмечено пять событий. В остальные месяцы их или не было, или было не более трех. В основном зарегистрированные события имеют энергетические классы $K_p=6, 7, 8$ (рис. 4, б). Почти половина гипоцентров (15 из 31) локализованы в приповерхностном слое ($h \div 1$ км), а в общем глубины очагов не превышают 8 км (рис. 4, в).

Сейсмичность на территории Воронежского кристаллического массива, начиная с 1998 г. [4], анализируется по трем районам: **Курский мегаблок (№ 1)**, **Лосевская шовная зона (№ 2)** и **Хоперский мегаблок (№ 3)**. Распределение числа событий по энергетическим классам K_p и суммарной сейсмической энергии ΣE в пределах указанных районов представлено в табл. 3.

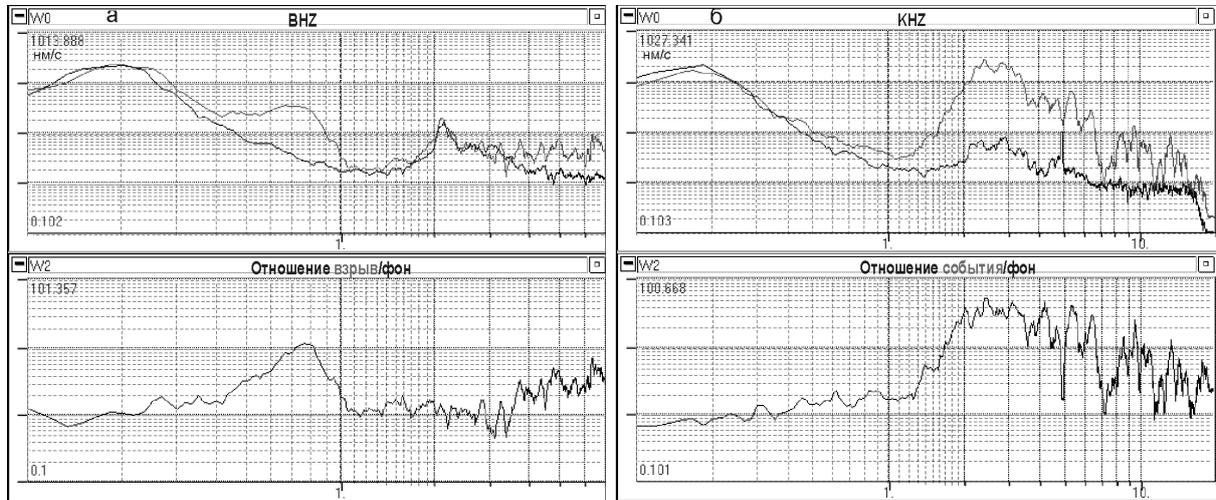


Рис. 3. Пример спектрального состава карьерного взрыва (а) и локального события (б)

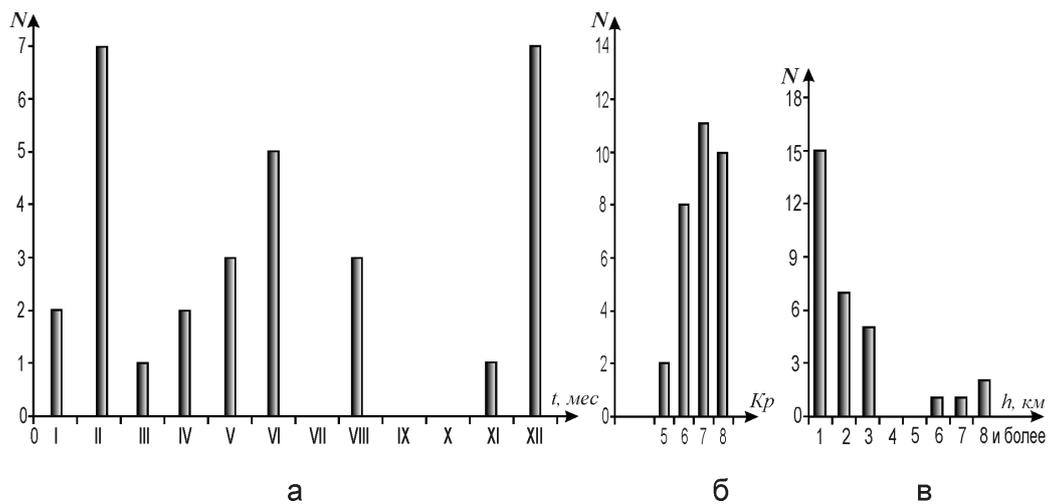


Рис. 4. Распределение локальных событий по месяцам (а), энергетическим классам K_p (б) и глубине h (в)

Таблица 3. Распределение числа событий по энергетическим классам K_p и суммарной сейсмической энергии ΣE по районам за 1999 г.

№	Район	K_p				N_{Σ}	$\Sigma E \cdot 10^8$, Дж
		5	6	7	8		
1	Курский мегаблок	–	–	4	3	7	3.400
2	Лосевская шовная зона	2	8	6	3	19	3.682
3	Хоперский мегаблок	–	–	1	4	5	4.100
	Всего	2	8	11	10	31	11.182

Сравнивая это распределение с таковым за 1998 г. (табл. 4 в [6]), можно отметить значительное их сходство: наибольшее число событий наблюдается в Лосевской шовной зоне (19 и 20

соответственно), наименьшее – в Хоперском мегаблоке (5 и 4 соответственно). Как видим, даже в абсолютном выражении соответствующие числа землетрясений практически равны, отличаясь лишь на единицу. Промежуточный по числу событий Курский мегаблок характеризуется чуть большей разницей (7 и 10 соответственно), но, в принципе, эти числа также близки между собой. Наблюдаемая ситуация за два года довольно нестандартна по степени стабильности уровня сейсмичности в каждом из трех районов по числу землетрясений. Несколько большие различия в величине суммарной сейсмической энергии: если в 1998 г. наблюдалось заметное различие в 2.6–4.1 раза [6], то в 1999 г. мы имеем практически ее однородное распределение по трем районам (табл. 3). В то же время суммарная величина выделившейся энергии во всем массиве практически совпадает с таковой в 1998 г.

Максимальный уровень энергии землетрясений, зарегистрированных в 1999 г., соответствует $K_p=8.2$. Такую энергию имеют два землетрясения: 27 мая в 08^h11^m и 12 августа в 04^h36^m, произошедшие в районах № 1 и № 2 соответственно. Минимальное значение энергетического класса составило $K_p=5.0$ и характеризует землетрясение, локализованное в районе № 2 18 мая в 13^h25^m.

Таким образом, данные наблюдений сети сейсмических станций (табл. 2) за 1999 г. подтвердили, что на во всех трех районах территории Воронежского кристаллического массива происходят местные землетрясения с $K_p=6–8$. Неглубокое положение очага при такой энергии может способствовать тем не менее возникновению ощутимых сотрясений на земной поверхности, что представляет опасность для Нововоронежской АЭС.

Л и т е р а т у р а

1. **Чернышов Н.М., Ненахов В.М., Лебедев И.П., Стрик Ю.Н.** Модель геодинамического развития Воронежского массива в раннем докембрии // Геотектоника. – 1997. – № 3. – С. 21–31.
2. **Трегуб А.И.** Неотектоника территории Воронежского кристаллического массива. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2002. – 219 с.
3. **Надёжка Л.И., Дубянский А.И., Кашубин С.Н., Афанасьев Н.С., Груздев В.Н., Тарков А.П., Дубянский В.И.** Основные типы земной коры по геофизическим данным // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей (Тр. международной конференции). – Воронеж: Воронежский государственный университет, 1998. – С. 300–307.
4. **Надёжка Л.И., Сафронич И.Н. (отв. сост.), Пивоваров С.П., Савенков А.В., Сорокин Б.А., Семёнов А.Е., Колесникова С.И.** Воронежский кристаллический массив. (См. раздел VI (Каталоги землетрясений) в наст. сб. на CD).
5. **Дубянский А.И.** Оценка относительной чувствительности сейсмической станции «Сторожевое» // Вестник Воронежского государственного университета. Серия «Геология». – 2004. – № 2. – С. 68–74.
6. **Надёжка Л.И., Сафронич И.Н., Пивоваров С.П., Ефременко М.А., Семенов А.Е., Сорокин Б.А.** Воронежский кристаллический массив // Землетрясения Северной Евразии в 1998 году. – Обнинск: ФОП, 2004. – С. 178–184.
7. **Anderson J., Farrell W.E., Garsia K., Given H., Swanger H. 1990.** Center for seismic studies. Version 3 Database: Schema reference manual // Technical Report. – 1990. – С. 90–101.
8. **Раутиан Т.Г.** Об определении энергии землетрясений на расстоянии до 3000 км // Экспериментальная сейсмика (Тр. ИФЗ АН СССР; № 32(199)). – М.: Наука, 1964. – С. 88–93.
9. **Старовойт О.Е., Надёжка Л.И., Дубянский А.И., Сафронич И.Н., Пивоваров С.П., Савенков А.В.** Некоторые черты строения Воронежского кристаллического массива и первые результаты сейсмических наблюдений на его территории // Землетрясения Северной Евразии в 1997 году. – Обнинск: ФОП, 2003. – С. 156–163.