

## О СВЯЗИ ПАРАМЕТРОВ СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА С ГЕОЛОГИЧЕСКИМИ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИМИ ОСОБЕННОСТЯМИ ВОРОНЕЖСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА

Л.И. Надежка, Р.А. Орлов, С.П. Пивоваров, И.Н. Сафронич, М.А. Ефременко

*Воронежский государственный университет*

Рассмотрена связь сейсмического шума с геологическими и геодинамическими особенностями ВКМ. Установлено, что крупные мегаблоки и разломы 1<sup>го</sup> порядка различаются по уровню шума и амплитудно-частотным характеристикам.

Интерес к изучению сейсмических шумов существовал постоянно, особенно у исследователей, понимавших, что под «слабостью» проявления физических свойств этого объекта скрываются интересные по своей геофизической и даже физической сути процессы. Дальнейшее развитие геофизики оправдало это предположение и в настоящее время, по мнению ряда специалистов, наблюдается формирование направления исследований, которое определяют как сейсмологию шумов или сейсмологию микромасштаба [1-10].

Ряд исследователей отмечает связь шумов со структурой, литологией и свойствами геологической среды [3-7, 9]. Изучаемыми параметрами волновых процессов являлись амплитудно-частотные и фазовые характеристики, соотношение амплитуд на разных частотах и т.п. При этом решались задачи определения мощности и свойств осадочного чехла, литологического расчленения верхней части разреза земной коры, выделение аномальных зон в поверхностных слоях на глубинах до 10 км и другие [4, 9, 11].

Ниже изложены результаты экспериментальных исследований сейсмического шума в структурах с различными геологическими и геодинамическими обстановками.

В геологическом плане территорией исследований является восточная часть Воронежского кристаллического массива (ВКМ) – одного из крупнейших сегментов Восточно-Европейской платформы.

В соответствии с современными геолого-геофизическими данными ВКМ включает гетерогенные и в разной мере эродированные крупные структуры – Хоперский мегаблок и Курский или мегаблок КМА, разделенные Лосевской шовной зоной [12-15].

Хоперский мегаблок сложен отложениями воронцовской серии нижнего протерозоя, представленными ритмично переслаивающимися сланцами, в том числе углеродсодержащими, метапесчаниками, металевролитами, изредка метазффузивами. На участках глубокого метаморфизма породы серии превращены в гнейсы графитовые, биотит-плагиоклазовые. Они вмещают многочисленные интрузии базит-гипербазитовых тел мамоновского

комплекса и гранитоидов бобровского комплекса [12, 14].

Мегаблок КМА включает ряд макроблоков 2<sup>го</sup> ранга, структурно-вещественные комплексы которых представлены парагенезисом архейских зеленокаменных поясов и гранито-гнейсовых куполов (михайловская серия верхнего архея и обоянский комплекс нижнего архея) и характеризуется широким развитием раннекарельских рифтогенных структур (Михайловская, Орловско-Оскольская и др.), наследующими структурный план позднеархейских зеленокаменных поясов [12, 14].

Крупномасштабная структура 1<sup>го</sup> ранга – Лосевская шовная зона (ЛШЗ) характеризуется специфическим набором осадочно-метаморфических и вулканогенно-интрузивных формаций. В северо-восточной части зоны это породы лосевской серии верхнего архея – нижнего протерозоя (метадациты, metabазальты, амфиболиты, ортосланцы основного состава), прорванные биотитовыми гранитами усманского комплекса и массивами роговообманковых габбро рождественского комплекса, а в западной части ЛШЗ – автохтонные метасоматические гранитоиды павловского комплекса, разделенные сильно мигматизированными (до теневых мигматитов) породами архейского субстрата [12, 14].

Границей ЛШЗ и Хоперского мегаблока является Лосевско-Мамонский, а мегаблока КМА и ЛШЗ – Ряжско-Кантемировский глубинные разломы 1<sup>го</sup> ранга.

С целью получения фактической информации о характере сейсмического шума в пределах крупных геологических структур и в зонах динамического воздействия тектонических нарушений первого порядка, пункты наблюдения на исследуемой территории выбирались следующим образом:

- в соответствии с современной тектонической схемой Воронежского кристаллического массива пункты располагались равномерно в трех крупномасштабных структурах – мегаблоке КМА, Лосевской шовной зоне и Хоперском мегаблоке. В каждой из этих структур было поставлено по 5 пунктов наблюдений (рис.1).

- большая часть пунктов располагается на значительном (15 км и более) удалении от крупных

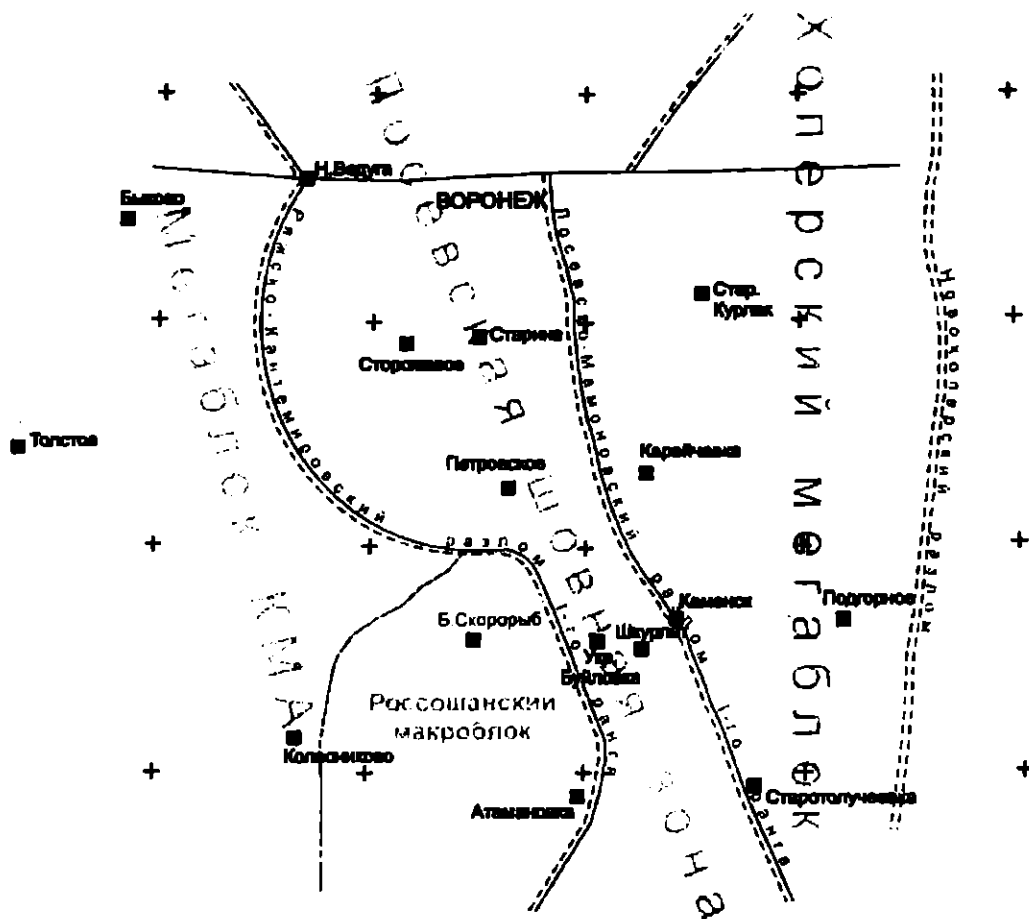


Рис. 1. Схема расположения пунктов наблюдений разломов I ранга для исключения их возможного влияния на оценку сейсмических условий территории.

• три пункта наблюдений (Н.Ведуга, Каменск и Старотолучеево) преднамеренно были расположены в зонах глубинных коромантийных разломов I ранга (Лосевско-Мамонском и Рязско-Кантемировском) для получения характеристик сейсмического шума непосредственно в зоне влияния крупных дезъюнктивов.

Работы выполнялись четырьмя трехкомпонентными широкополосными цифровыми сейсмическими станциями, с рабочим диапазоном частот 0.02 – 20 Гц и с возможностью подключения различных типов сейсмических датчиков. Время измерений на каждом пункте было 12 – 14 суток, что позволило получить объективную характеристику сейсмического шума.

На первом этапе анализировался спектральный состав Z – составляющей сейсмического шума в рабочем диапазоне. Для анализа спектра выбирались интервалы преимущественно в ночное время – с 22<sup>00</sup> до 6<sup>00</sup>, когда уровень антропогенного фактора минимален. Как видно из рис. 2, амплитудно-частотные спектры сейсмического шума на пунктах наблюдений существенно отличаются друг от друга.

В одних случаях это ярко выраженные экстремумы в диапазоне частот от 4 до 6 Гц (пункты Подгорное, Ст.Курлак, Старотолучеево), в других ширина спектрального пика занимает большой диапазон частот (пункт Б.Скорорыб от 4 до 8 Гц, Старина от 2 до 10 Гц, Толстос от 6 до 10 Гц). На одних пунктах четко фиксируется два экстремума амплитуд (Укр.Буйловка, Карайчевка), на других спектры в диапазоне от 2 Гц до 18 Гц не имеют ярко выра-

женных экстремальных значений. На некоторых пунктах наблюдается резкий спад амплитуды в диапазоне частот 10 – 20 Гц (п.Колесниково, Старина, Подгорное, Ст.Курлак), на других (Шкурлат, Быково, Б. Скорорыб) амплитуда шумов в этом диапазоне частот практически не изменяется.

В спектре сейсмического шума на всех точках присутствуют низкочастотные микросейсмсы с частотой до 1 Гц. Многие исследователи считают, что микросейсм с частотой 1 Гц является, скорее всего, поверхностной волной. Вместе с тем, есть мнение, что эти составляющие сейсмического процесса являются суперпозицией поверхностных и объемных волн и характеризуют геологические особенности верхов мантии [1, 8].

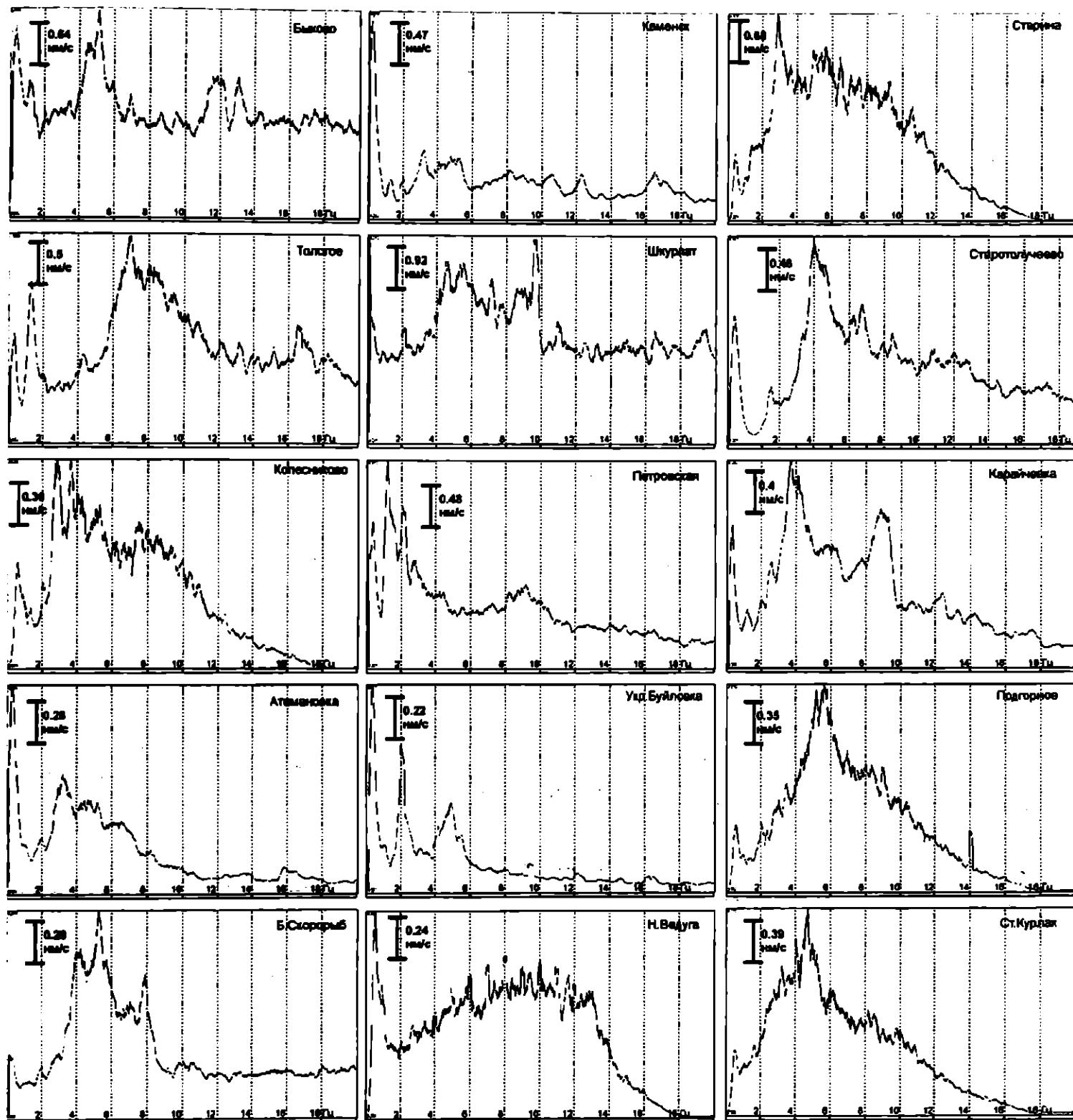
Учитывая характерные особенности амплитудно-частотных спектров на всех пунктах наблюдений, для более детального анализа были выбраны два диапазона частот 0.7-1.4 Гц и 1-8 Гц.

Такие интервалы выбирались по следующим соображениям. Как показал анализ сейсмического шума, наблюдается минимум его на частотах 0.7-1.4 Гц. На этих частотах сейсмический шум характеризуется малой «чувствительностью» к локальным условиям размещения сейсмических станций и практически не зависит от сезонных изменений внешней среды. Учитывая это, а также опыт других исследователей, отмечающих, что микросейсм с частотой в области 1 Гц может отражать особенности глубинного строения литосферы [4, 9, 12, 14] нами использовались составляющие сейсмического шума в интервале частот 0.7-1.4 Гц для выяснения региональных геолого-геодинамических отличий различных частей ВКМ.

Более высокочастотный интервал сейсмического шума (1.0-8.0 Гц) включает в себя довольно широкий диапазон частот, который содержит информацию о строении и состоянии верхней части земной коры, а также об особенностях отклика геологической среды на антропогенную нагрузку [4, 9].

Анализируемыми параметрами в двух диапазонах частот были: амплитудно-частотные характеристики сейсмического шума, значения среднесуточного уровня шума за весь период наблюдений на каждом пункте, среднего за сутки, а также эти же характеристики шума, но нормированные по соответствующим значениям базовой сейсмостанции «Сторожевое».

На рисунке 3 представлены амплитудно-частотные спектры в анализируемых диапазонах



Мегаблок КМА

ЛШЗ

Хоперский мегаблок

Рис. 2. Амплитудно-частотные спектры шума на пунктах наблюдений

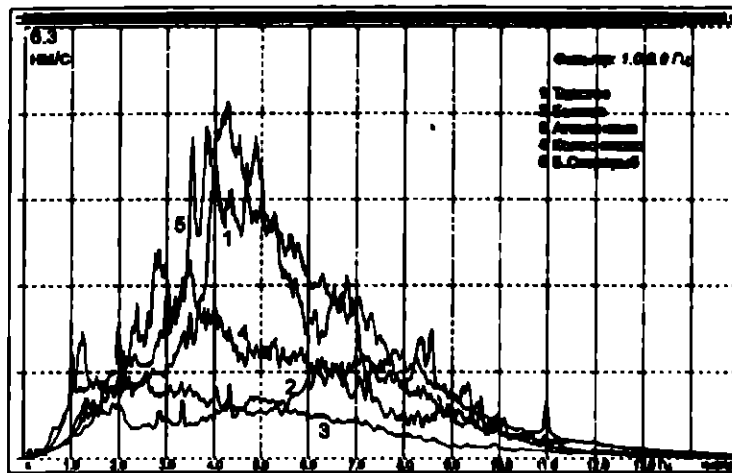
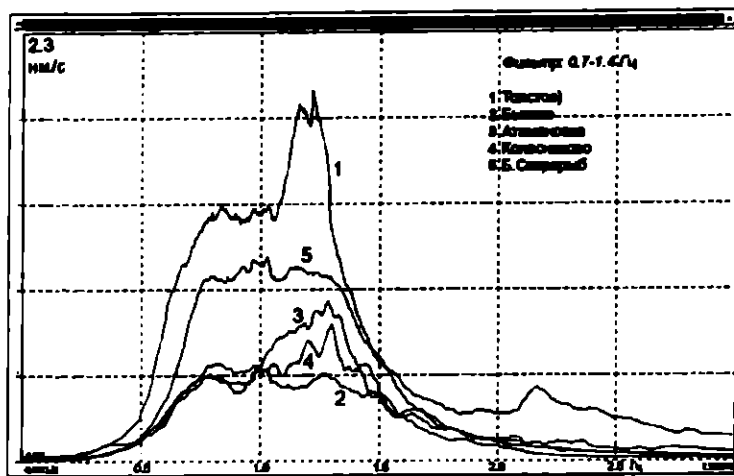
частот. Спектры записей сейсмического шума сгруппированы по крупным структурам. Отчетливо видно, что характер спектров в различных мегаблоках и ЛШЗ существенно отличаются в обоих диапазонах частот. Вместе с тем, хорошо прослеживается специфика амплитудных спектров сейсмического шума на каждом пункте наблюдений. В целом, сейсмический шум на частотах 0.7-1.4 Гц существенно ниже, чем на более высоких частотах, а в пределах одного диапазона частот минимальные значения амплитуд отмечаются в Хоперском мегаблоке. Однако здесь при минимальных значениях амплитуд (менее 0.5 нм/с) максимум амплитудного спектра сейсмического шума смещается для одних точек в область более низких (0.7 Гц) частот в других – в область более высоких частот (1-1.2 Гц). Дифферен-

цированное распределение максимумов амплитудно-частотных спектров в Хоперском мегаблоке наблюдается и в области частот 1-8 Гц (рис. 3). Здесь положение максимума изменяется от 2 Гц до 9 Гц.

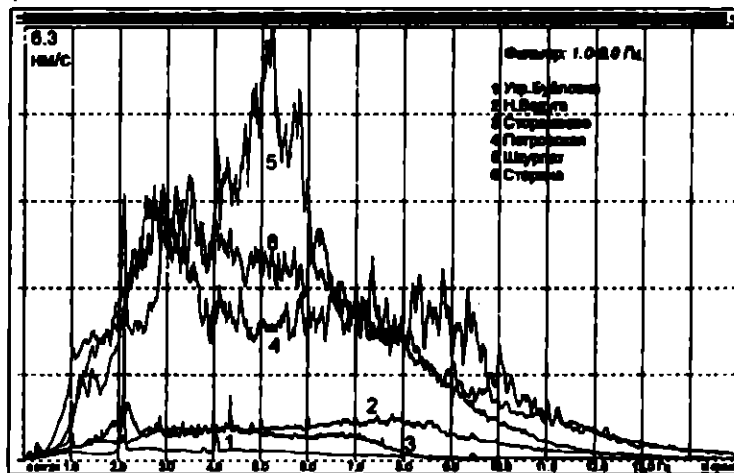
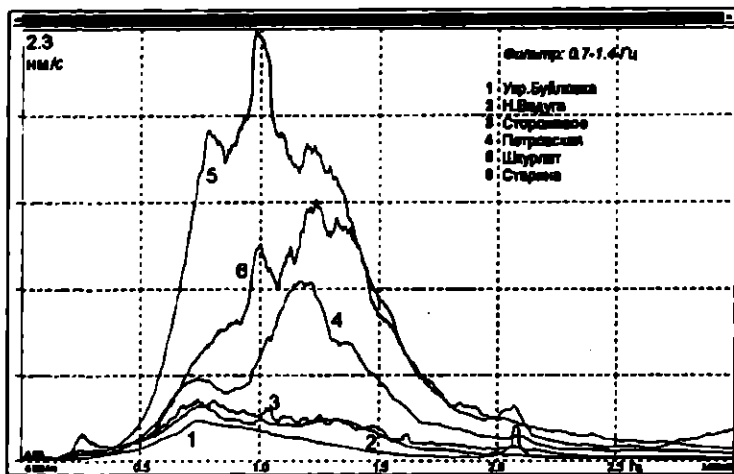
Для мегаблока КМА отмечается значительное сходство формы амплитудных спектров сейсмического шума в диапазоне частот 0.7-1.4 Гц, в то время как по максимальным значениям они отличаются значительно. В области более высоких частот спектры сейсмического шума во всех точках наблюдения в этом мегаблоке также различаются по максимальным значениям, но по форме близки.

По уровню максимальных значений амплитудных спектров для соответствующих пунктов на-

### Мегаблок КМА



### ЛШЗ



### Хоперский мегаблок

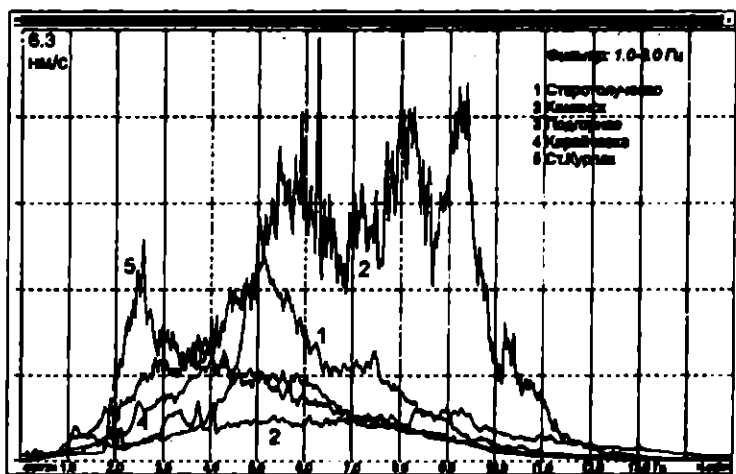
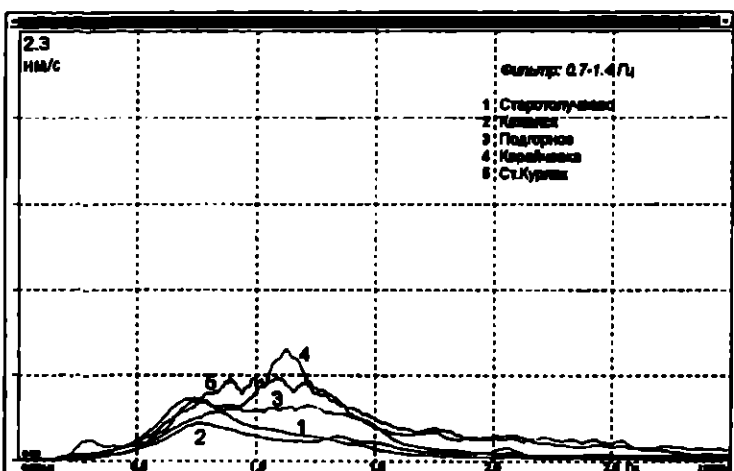


Рис. 3. Амплитудно-частотные спектры Z-составляющей сейсмического шума в диапазоне частот 0,7-1,4 Гц и 1,0 – 8,0 сгруппированных по блокам

блюдений в двух диапазонах частот ЛШЗ занимает промежуточное положение между мегаблоками. Однако здесь форма амплитудных спектров существенно отличается для различных точек, как в области низких частот, так и в области более высоких частот.

По-видимому, специфика каждого амплитудного спектра обусловлена локальными геолого-геодинамическими условиями ближней зоны пункта наблюдений. Сходство амплитудных спектров, как по форме, так и по уровню отражает близость геологических условий ближней зоны пунктов наблюдений.

Особо следует отметить, что в пунктах наблюдения, расположенных вблизи крупных тектонических нарушений отмечаются anomalously низкие значения амплитудного спектра, а сам максимум здесь смещен в область более низких частот (0,7 Гц).

Таким образом, крупные структуры, отличающиеся геологическим строением и геодинамической позицией, отчетливо различаются по характеру амплитудно-частотных спектров сейсмического шума в обоих анализируемых диапазонах частот. При этом наиболее информативными являются

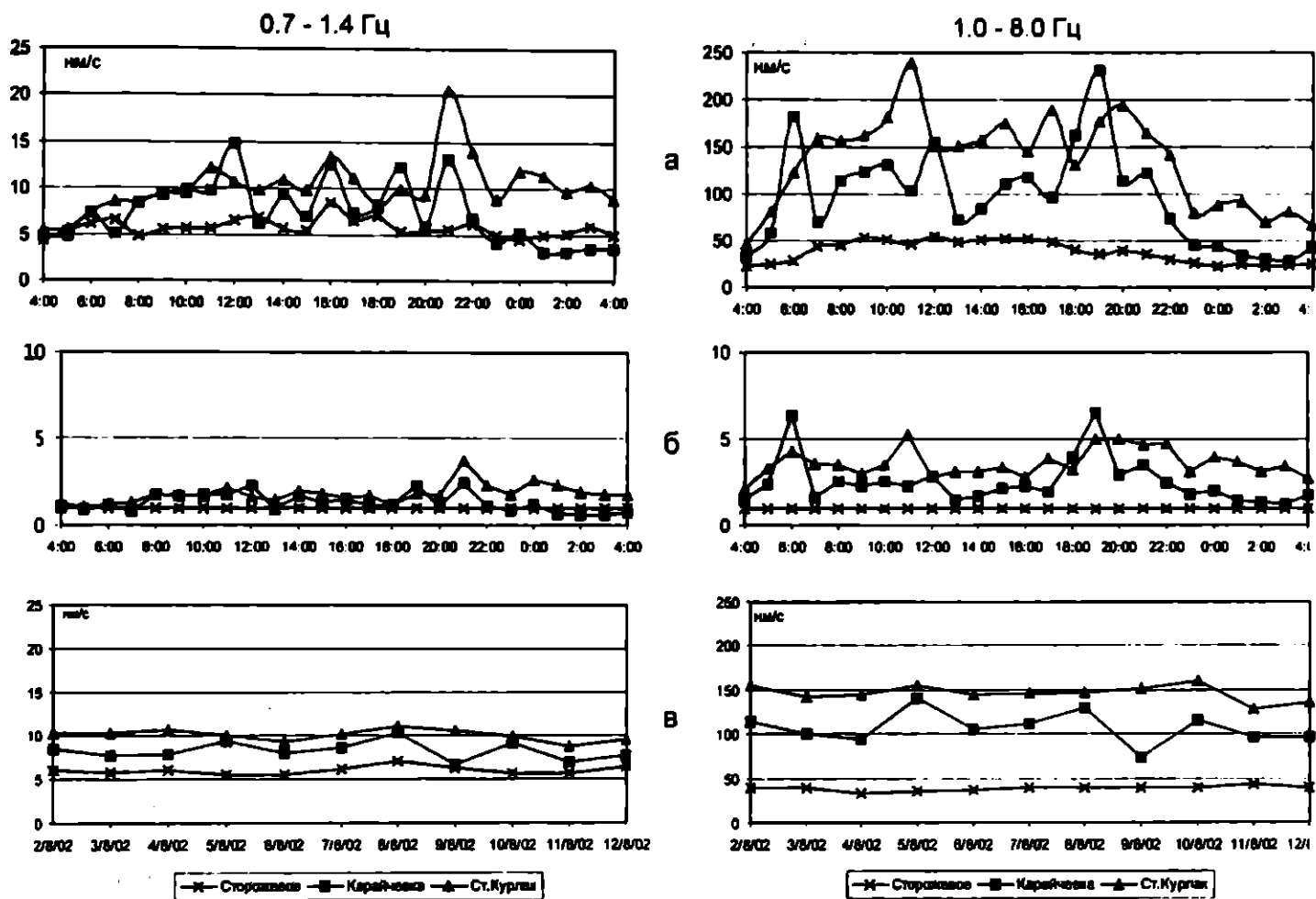


Рис. 4. Вариации уровня сейсмического шума в двух диапазонах частот в течении суток: а – ненормированные, б – нормированные, в - в течении периода наблюдений

спектры более низкочастотных составляющих сейсмического шума.

Высокочастотные составляющие сейсмического шума, по-видимому, более чувствительны к локальным особенностям геологического строения районов расположения пунктов наблюдений и их специфика является отражением гетерогенности верхней части земной коры.

Детальный анализ уровня микросейсмического шума показал, что в диапазоне частот 0.7-1.4 он практически не зависит от времени суток и имеет довольно низкие значения (не более 30 нм/с). Следует также отметить, что вариации его в течение всего периода наблюдений на каждом пункте составляют не более 15-20% (рис. 4). Значительно выше уровень сейсмического шума в диапазоне частот 1-8 Гц как в течение суток так и за весь период наблюдений. На некоторых пунктах в отдельные дни средний за сутки уровень шума достигает 400 нм/с. Вариации средних значений высокочастотной составляющей в течение периода наблюдений существенно различаются для различных пунктов (рис. 4). Отмечается также увеличение уровня шума в диапазоне частот 1-8 Гц в дневные часы практически на всех пунктах.

Так как наблюдения выполнялись в разное время, то для исключения временного хода сейсмического шума выполнено нормирование значений уровня сейсмического шума по соответствующим значениям сейсмического шума на базовой сейсмостанции «Сторожевое». На рисунке 4 представлены нормированные и ненормированные значения уровня сейсмического шума.

В дальнейшем для анализа использовались среднесуточные значения сейсмического шума, полученные путем осреднения данных за весь период наблюдений на каждом пункте, нормированные по соответствующим значениям уровня сейсмического шума на базовой сейсмостанции «Сторожевое». Принимая во внимание, что увеличение сейсмического шума в дневные часы в диапазоне частот 1-8 Гц является откликом геологической среды на внешние возмущения, который также отражает ее особенности, при вычислении среднесуточных значений использовались данные, как в ночные так и в дневные часы. Результаты представлены в таблице. Они сгруппированы по основным структурам: мегаблоки Курский (КМА), Хоперский и Лосевская шовная зона.

Как хорошо видно из таблицы, средние уровни нормированного шума в каждой из структур также существенно отличается, особенно в области более низких частот. Максимальное значение среднего уровня сейсмического шума в диапазоне частот 0.7-1.4 Гц отмечается в мегаблоке КМА. В Хоперском мегаблоке соответствующее значение почти в два раза ниже. Вместе с тем в диапазоне частот 1-8 Гц максимальным уровнем шума характеризуется Лосевская шовная зона. Специфика каждой из структур наиболее рельефно проявляется в отношении уровня высокочастотной и низкочастотной составляющих сейсмического шума. Минимальным отношением характеризуется мегаблок КМА (таблица), максимальным – Хоперский мегаблок. Обра-

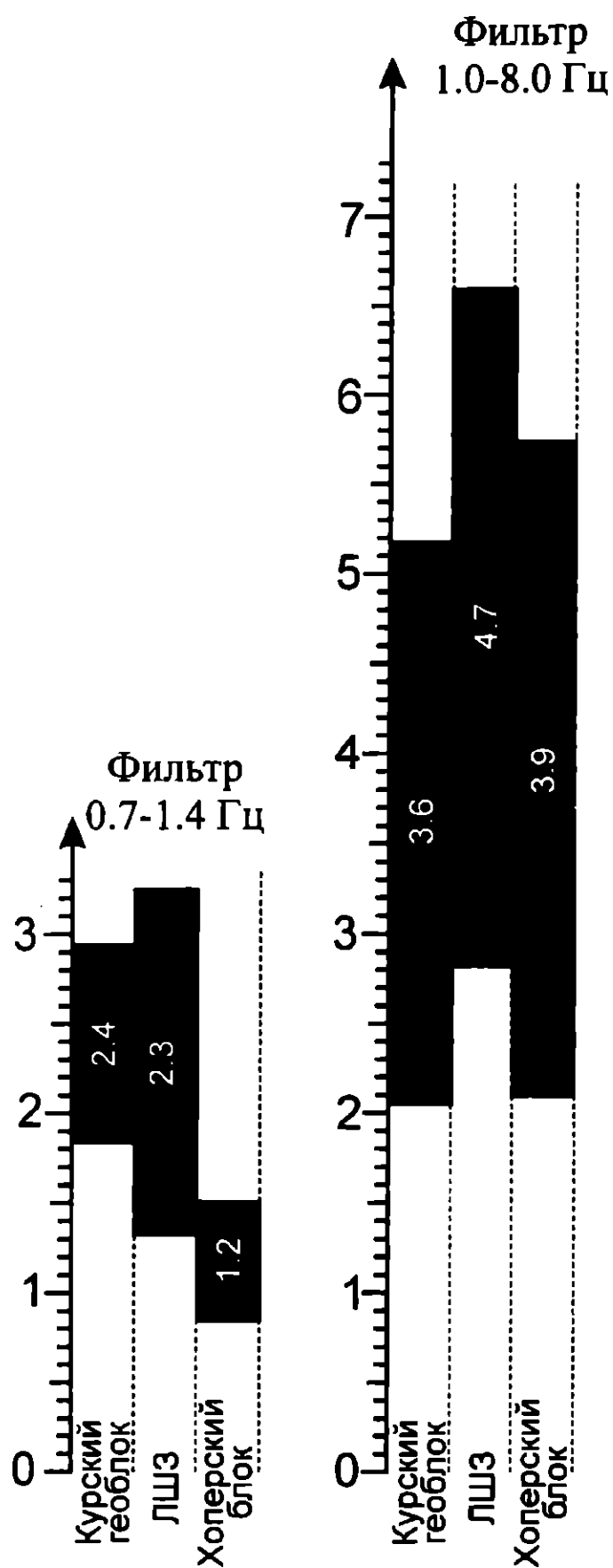


Рис. 5. Нормированные уровни сейсмического шума и среднее отклонение в мегаблоках ВКМ в диапазонах частот 0.7 – 1.4 Гц и 1.0-0.8 Гц

зает внимание существенно разный разброс значений относительно среднего, что указывает на различную степень гетерогенности геологической среды внутри каждой крупной структуры. Так минимальный разброс и минимальный уровень сейсмического шума отмечается в Хоперском мегаблоке, максимальный – в ЛШЗ. Эта особенность прослеживается (но не так отчетливо) и в области более высоких частот (рис. 5, табл.).

Особого внимания заслуживают результаты анализа сейсмического шума в зонах глубинных тектонических нарушений. Как видно на рисунках 3 и 5 уровень сейсмического шума и его вариаций, амплитудно-частотные характеристики в различных частотных диапазонах существенно отличаются от аналогичных параметров для внутриблоковых точек. Рязско – Кантемировский и Лосевско - Мамонский разломы характеризуются минимальным уровнем сейсмического шума во обоих частотных интервалах. Отличие в структуре и уровне шума в пределах зон тектонических нарушений могут быть связано с их геодинамической позицией. Несомненно одно - зоны тектонических нарушений, зоны деформаций в кристаллической коре, прекрасно отражаются в характеристиках сейсмического шума.

Таким образом, анализ уровня сейсмического шума в различных пунктах показал, что крупные структуры ВКМ характеризуются различным уровнем сейсмического шума, а в пределах каждой из структур разброс значений отражает ее внутреннюю гетерогенность:

- средний уровень сейсмического шума в диапазоне частот 1-8 Гц для крупных структурных блоков, приведенных к уровню шума на базовой станции Сторожевое составляет величину 3.91-4.56. При этом уровень шумов для отдельных пунктов имеет значительный разброс – от 1.39 до 7.67;

- средний уровень сейсмического шума в диапазоне частот 0.7-1.4 Гц в крупных мегаблоках ВКМ существенно разный. Для мегаблока КМА нормированный уровень шума составляет 2.41, а для Хоперского – 1.19. В переходной Лосевской шовной зоне он равен 2.28. Различие характеристик сейсмического шума в мегаблоках еще больше подчеркивается отношением уровней шумов на двух диапазонах. Это отношение в мегаблоке КМА составляет 1.51, а в Хоперском мегаблоке 3.29, т.е. значения отличаются в два раза.

- в тех случаях, когда пункт наблюдений находится на расстоянии до 10 км от крупных разломов, уровень шума на них падает ниже среднего значения для мегаблока, в котором эти пункты находятся (Атамановка -1.63, Старотолучеево 1.13).

Таким образом, изучение характера сейсмического шума в пределах одного из крупнейших сегментов Восточно-Европейской платформы – Воронежского кристаллического массива показало, что конкретные геологические и геодинамические условия находят убедительное отражение в уровнях шума и его амплитудно-частотных характеристиках.

Полученные результаты свидетельствуют, что в платформенных условиях использование данных о микросейсмическом фоне может существенно повысить эффективность работ по картированию погребенных пород докембрия, выделению и трассированию тектонических нарушений.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобразования России и CRDF, грант № VZ-010-0.*

Уровни нормированного сейсмического шума в крупных структурах ВКМ

Пункт наблюдений	Диапазон частот	
	0.7-1.4 Гц	1-8 Гц
<b>Мегаблок КМА</b>		
Быково	1.71	2.82
Толстое	3.32	3.08
Скорорыб	2.43	5.64
Колесниково	2.58	5.28
Атамановка	1.99	1.39
Среднее по мегаблоку	2.41	3.64
Соотношение уровней шумов в мегаблоке	3,64 : 2,41 = 1,51	
<b>Лосевская шовная зона</b>		
Нижняя Ведуга	0.82	1.84
Старина	3.15	5.72
Петровская	2.57	4.47
Шкурлат	2.91	6.90
Среднее по зоне	2.28	4.56
Соотношение уровней шумов в мегаблоке	4,56 : 2,28 = 2,0	
<b>Хоперский мегаблок</b>		
Старый Курлак	1.67	3.81
Карайчевка	1.47	2.86
Подгорное	0.92	7.67
Каменск	0.82	1.79
Старо Толучеево	1.08	3.44
Среднее по мегаблоку	1.19	3.91
Соотношение уровней шумов в мегаблоке	3,91 : 1,19 = 3,29	

ЛИТЕРАТУРА

1. Винник Л.П. Структура микросейсм и некоторые вопросы группирования в сейсмологии. -М., 1968. -104с.
2. Винник Л.П., Пручкина Н.М. Исследование структуры короткопериодных микросейсм // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. -1964. -№5. -С. 688-701.
3. Гамбурцев А.Н. Сейсмический мониторинг литосферы. М., -1992. -190с.
4. Гордеев Е.И., Чебров В.Н. Применение штормовых микросейсм для изучения верхнего строения земной коры // Вулканогения и сейсмология. -1979. -№2. -С. 37-42.
5. Дубров Н.М., Яковлев А.П., Алешин В.А. О связи высокочастотных сейсмических деформаций с напряженным состоянием литосферы // Докл. АН СССР. - 1987. -Т. 293, №5. -С. 1085-1089.
6. Ершов А.И. Приемы интерпретации записи микросейсм // Сейсмическое микрорайонирование. -М., 1977. -С. 67-75.
7. Николаев А.В. Сейсмика неоднородных и мутных сред. -М., 1973. -186с.
8. Л.Н. Рыкунов. Микросейсм. -М., 1967. -86с.
9. Хаврошкин О.Б. Некоторые проблемы нелинейной сейсмичности. -Москва, -1999. -С. 270.
10. Ярошевич Ш.И., Яхрюшин В.Н. О расширенном диапазоне штормовых микросейсм // Физика Земли. - 1995. -№4. -С. 23-26.
11. Николаевский В.Н. Геомеханика и флюидодинамика. -Москва, 1966. -256с.
12. Афанасьев Н.С., Кривцов И.И. Петрофизика, эволюция и металлогения земной коры и верхней мантии Воронежского кристаллического массива (ВКМ) // Вестн. Воронеж. ун-та. Геология. -2002. -№4. -С. 23-26.
13. Надежка Л.И., Тарков А.П., Дубянский А.И., Афанасьев Н.С. Некоторые особенности глубинного строения Воронежского кристаллического массива. Литосфера Центральной и Восточной Европы. -Киев, 1989. -С. 121-135.
14. Тарков А.П. Глубинное строение ВКМ по данным геофизических методов. -М., 1974. -171с.
15. 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.