

**ОЦЕНКА РЕГИСТРАЦИОННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ
СЕТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ на ТЕРРИТОРИИ
ВОРОНЕЖСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА**

Л.И. Надёжка^{1,2}, С.П. Пивоваров¹, М.А. Ефременко¹

¹Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба РАН»,
г. Воронеж, serg@geophys.vsu.ru; 2880@mail.ru

²Воронежский государственный университет, г. Воронеж, nadezhka@geophys.vsu.ru

Аннотация. Работа посвящена исследованию регистрационной возможности сети сейсмических станций на территории Воронежского кристаллического массива. Показано, что на максимальных эпицентральных расстояниях до 50 км регистрируются сейсмические события с энергетическим классом $K_p \geq 4.0$. Приведены примеры записей сейсмических событий, регистрируемых в пределах платформенной территории.

Abstract. The work is devoted to the investigation of the possibility in registration of a network of seismic stations in the territory of the Voronezh crystalline massif. It is shown that seismic events with energy class 4.0, at epicentral distances up to 50 km, are recorded without omissions. Examples of records of seismic events recorded within the platform territory are given.

Введение. На территории Воронежского кристаллического массива более 20 лет выполняется сейсмологический мониторинг сетью сейсмических станций, состоящей из 15 станций ФИЦ ЕГС РАН и ВГУ. Сведения о станциях даны в Приложении к настоящей статье [1]. Международный код сети – VMGSR. Пять сейсмических станций образуют региональную сеть, остальные входят в две локальные сети вокруг Нововоронежской и Курской атомных станций. Расстояние между станциями региональной сети составляет 40–200 км, расстояние между станциями в пределах локальных сетей – 5–10 км.

В настоящее время накоплен большой фактический материал, позволяющий оценить разрешающую способность Воронежской сети сейсмических станций. Ежегодно регистрируется около 300 промышленных взрывов разной интенсивности и на разных эпицентральных расстояниях. За период наблюдений зарегистрировано более 500 землетрясений 2–10 энергетических классов. Все фактические данные использовались для оценки чувствительности сети по экспериментальным данным.

Теоретический расчет чувствительности сейсмической станции. Исходя из оценки уровня микросейсмического шума на станциях, была произведена оценка чувствительности работающей сети станций. Эта методика подробно описана в работах [2, 3]. Для теоретического расчета чувствительности локальной сети использовались записи микросейсмического шума в дневное и ночное время. Исследуемые интервалы выбирались свободными от записей землетрясений, без записей штормовых бурь и прочих интенсивных помех, в том числе и техногенного характера. Оценка возможного уровня регистрируемого энергетического класса K_p по шкале Т.Г. Раутиан [4] на определенном расстоянии выполнена по «симулированной» записи короткопериодного канала типа СКМ-3 в полосе частот 2–5 Гц, наиболее характерной для записи близких сейсмических событий. Дальность регистрации рассчитана из предположения, что амплитуда P -волн регистрируемого сигнала в 1.5 раза выше уровня шума.

Полученные значения теоретических кривых для всех работающих станций сети ВКМ имеют большое практическое значение в постановке режимных наблюдений сейсмичности территорий ВКМ, т. к. они показывают диапазоны расстояний реально регистрируемых событий.

Для примера на рис. 1 представлена теоретическая кривая, рассчитанная для сейсмической станции «Галичья гора» (LPSR).

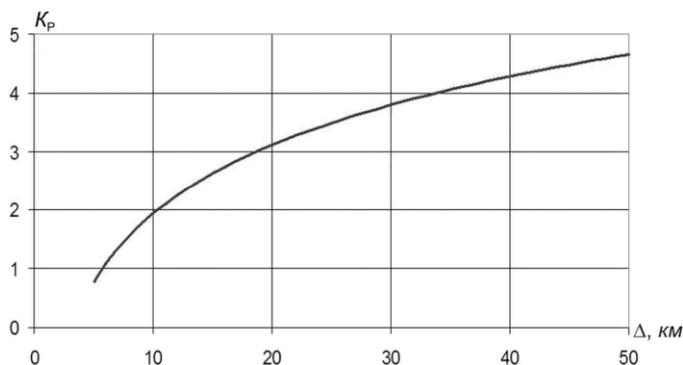


Рис. 1. Теоретическая кривая дальности регистрации сейсмических событий с $K_p=1-5$, рассчитанная для сейсмической станции «Галичья гора» (LPSR)

новки сейсмических станций имеются хорошие подъездные пути.

Для решения различных научных и прикладных задач кроме стационарных станций на территории ВКМ организовывались временные пункты наблюдений. Аппаратура временных пунктов наблюдений была идентична стационарным сейсмическим станциям.

За время работы сейсмических станций на территории ВКМ, как стационарных, так и временных, накоплен большой фактический материал. Получены и проинтерпретированы записи местных тектонических землетрясений и промышленных взрывов на расстояниях от 1 км до 1 000 км от эпицентров. Обработка записи волновых форм сейсмических станций сети производилась в программном комплексе WSG [5].

Для построения графика дальности регистрации событий разных энергетических классов были проанализированы региональные каталоги территории ВКМ и прилегающих регионов, включающие более 500 тектонических землетрясений с $K_p=1.5-14$ и около 3 000 техногенных событий с $K_p=2.5-10$.

В качестве примера на рис. 2, а и 3, а представлены волновые формы записи на станции «Галичья гора» промышленных взрывов, произведенных в один день в Хмелинецком и Ольшанском карьерах.

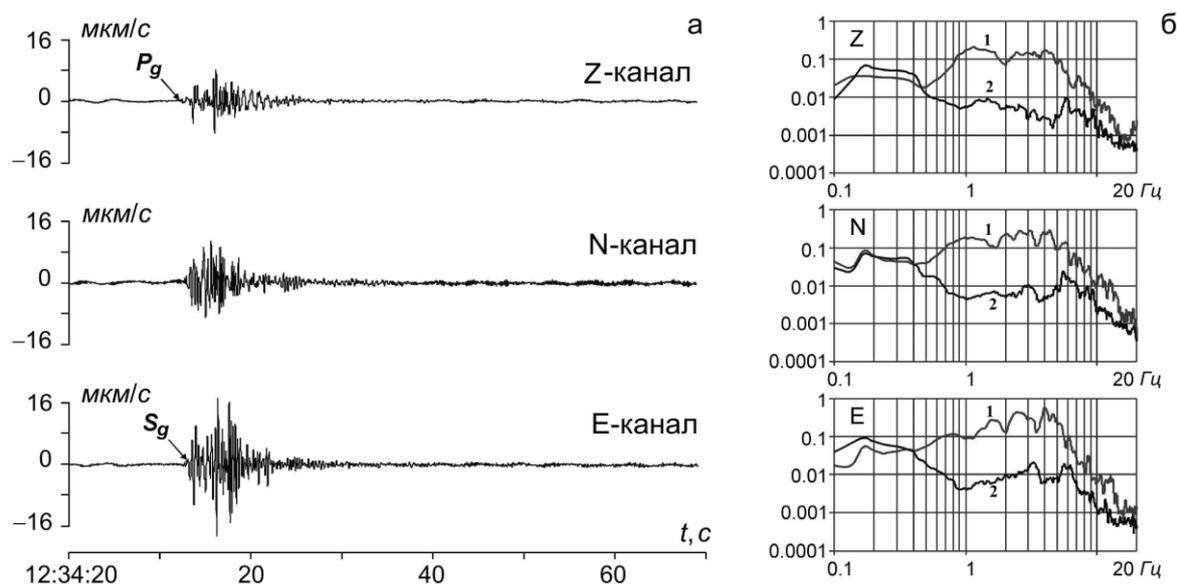


Рис. 2. Волновые формы (а) трех компонент записи станцией «Галичья гора» промышленного взрыва 02.10.2017 г. с $K_p=1.8$, $h=0$ км в Хмелинецком карьере и амплитудно-частотные спектры (б) взрыва (1) и микросейсмического шума (2)

Хорошо видно, что записи различаются по амплитуде сигнала и по длительности. Это вызвано как различным расстоянием карьер-станция, так и различной массой ВВ и методикой

Исходные данные и методика их обработки. Сейсмические станции Воронежской сети укомплектованы регистраторами типа UGRA и сейсмометрами двух типов: короткопериодными СМЗ-КВ и широкополосными СМЗ-ОС. Используемое оборудование обеспечивает низкий уровень собственных шумов и большой динамический диапазон регистрации.

Места установки сейсмических станций выбраны с учетом особенностей геологического строения ВКМ и минимума помех, обусловленных промышленной и хозяйственной деятельностью человека. К местам уста-

проведения взрывных работ. На всех записях вертикальных и горизонтальных каналов промышленных взрывов из рассматриваемых карьеров регистрируется цуг колебаний, длина которого составляет около 70% от длины общей записи. Это может быть связано с резонансными явлениями, возникающими в закарстованной известняковой среде. Амплитудно-частотные спектры записей промышленных взрывов имеют схожую сложную форму, диапазон преобладающих частот на Z-канале составляет 0.5–6.0 Гц, для NS–EW-каналов интервал несколько шире и составляет 0.4–7.0 Гц.

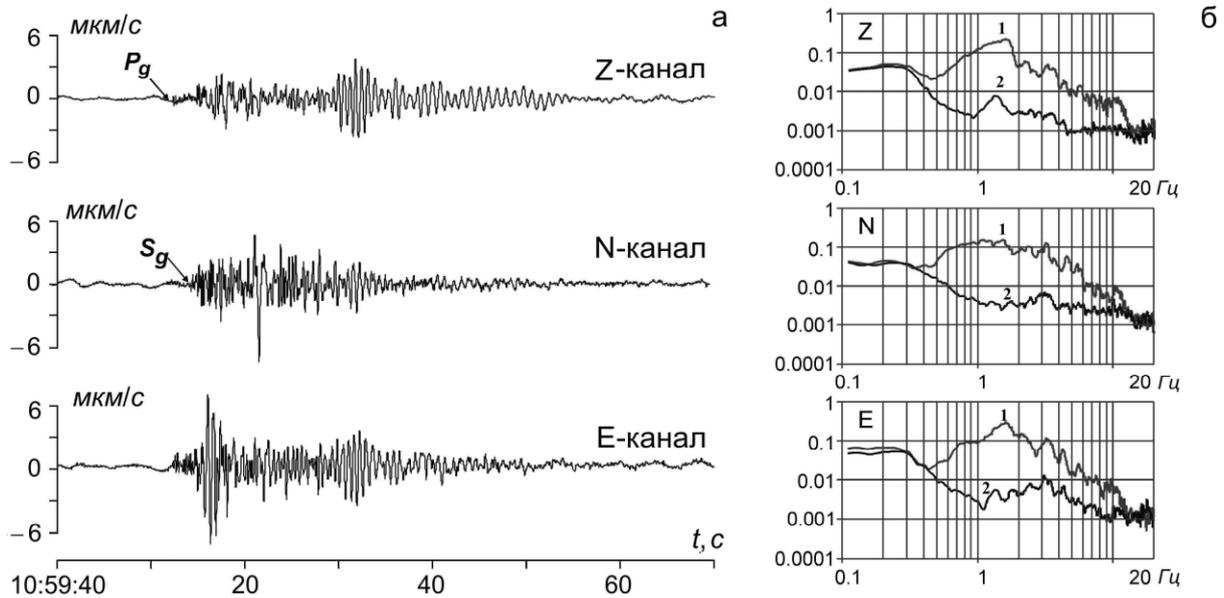


Рис. 3. Волновые формы (а) трех компонент записи станцией «Галичья гора» промышленного взрыва 02.10.2017 г. с $K_p=5.0$, $h=0$ км в Ольшанском карьере амплитудно-частотные спектры (б) взрыва (1) и микросейсмического шума (2)

Из рис. 4 видно, что минимальный зарегистрированный сейсмическими станциями энергетический класс равен $K_p=1.5$. На эпицентральных расстояниях до 50 км могут регистрироваться сейсмические события с энергетическим классом $K_p \geq 3.5$. На эпицентральных расстояниях до 200 км могут регистрироваться сейсмические события с энергетическим классом $K_p \geq 6.0$. Далее, через каждые 200 км, регистрируемый энергетический класс будет увеличиваться на единицу.

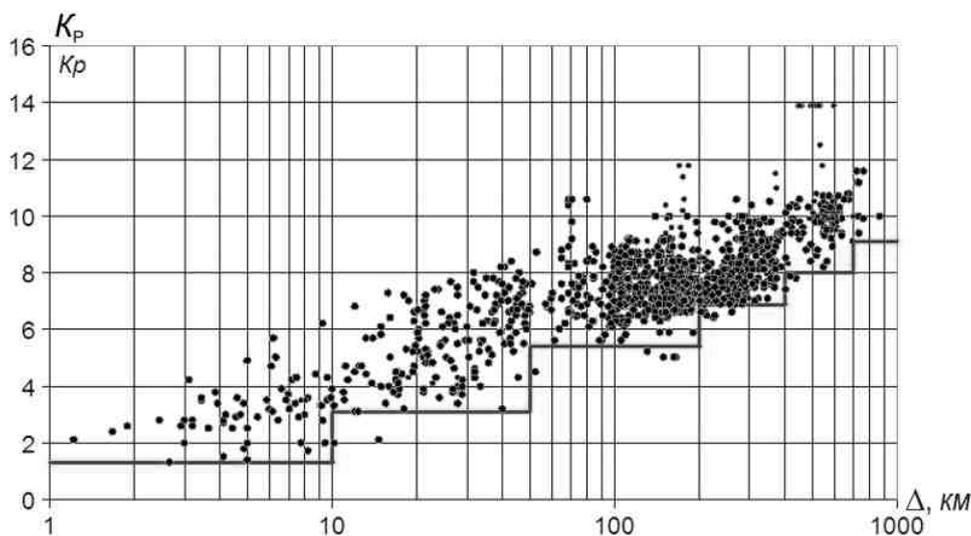


Рис. 4. Экспериментальная зависимость энергетического класса от расстояния по данным сейсмической сети VMGSR

Линией показаны уровни предельной дальности регистрации сейсмических событий разных классов.

На рис. 5 дана структурная схема территории ВКМ, на которой вынесены сейсмические станции и области предельной регистрации для различных энергетических классов. По предельным оценкам на большей части территории ВКМ можно оконтурить зоны K_p от 6.0 в центральной части до $K_p=8.0$ на западном и восточном склонах ВКМ.

Полученные в работе результаты подтвердили ранее сделанные выводы об уровнях чувствительности Воронежской сети сейсмических станций [6]. Это свидетельствует о стабильности сейсмологических условий в пределах ВКМ.

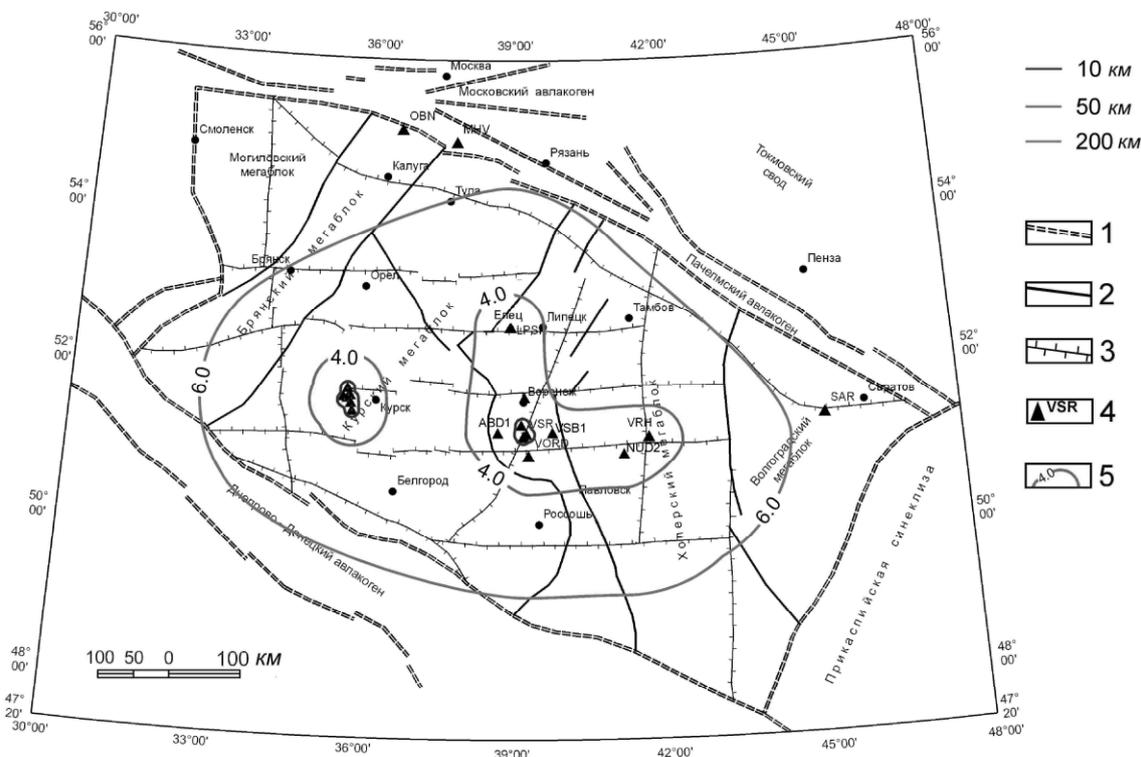


Рис. 5. Структурная схема территории ВКМ с вынесенными сейсмическими станциями и областями предельной регистрации сейсмических событий различных энергетических классов

1 – границы крупных структур ВВП; 2 – коромантийные разломы первого порядка; 3 – разломы 2-го, 3-го порядка; 4 – сейсмическая станция; 5 – изолинии предельной регистрации.

Представленные размеры и конфигурации областей предельной регистрации сейсмических событий различных энергетических классов имеют важное значение в организации сети режимных наблюдений сейсмичности на территории ВКМ.

Выводы. Проведенный анализ позволил оценить предельные возможности Воронежской сейсмической сети по регистрации сейсмических событий от естественных и техногенных источников на разных эпицентральных расстояниях. Существующая сейсмическая сеть позволяет регистрировать сейсмические события с 6.0 энергетического класса, которые происходят в центральной части территории ВКМ, а с 8.0 энергетического класса – на склонах ВКМ.

В дальнейшем эти данные будут использованы для создания оптимальных наблюдательных сетей, позволяющих регистрировать события, начиная с заданного класса.

Л и т е р а т у р а

1. Надёжка Л.И., Пивоваров С.П., Сафронич И.Н. (сост.). Цифровые станции Воронежской сейсмической сети в 2012 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD_ROM.
2. Антонова Л.В., Аранович З.И., Кондорская Н.В. Магнитуда и эффективность станций в связи с проблемой оптимизации сейсмических наблюдений // Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений, Т. 2. – М.: ИФЗ АН СССР, 1974. – С. 195–202.

-
3. **Пивоваров С.П.** Теоретический расчет чувствительности станций локальной сети // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Седьмой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 256–258.
 4. **Раутиан Т.Г.** Об определении энергии землетрясений на расстоянии до 3000 км // Экспериментальная сейсмика. Труды ИФЗ АН СССР; № 32(199). – М.: Наука, 1964. – С. 88–93.
 5. **Красилов С.А., Коломиец М.В., Акимов А.П.** Организация процесса обработки цифровых сейсмических данных с использованием программного комплекса WSG // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2006. – С. 77–83.
 6. **Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы** / Под ред. Н.В. Шарова, А.А. Маловичко, Ю.К. Щукина Кн. 1: Землетрясения. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. – 381 с.