

УДК 550.34

НЕКОТОРЫЕ ЧЕРТЫ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ТЕРРИТОРИИ ВОРОНЕЖСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА

1,2) Рогожин Е.А., 2,3) Семенов А.Е., 2,3) Надежка Л.И.

¹⁾ *Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия*

²⁾ *Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба РАН», Обнинск, Россия*

³⁾ *Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия*

Более чем 20-летний период сейсмологических наблюдений на территории Воронежского кристаллического массива свидетельствует о том, что территория региона не является сейсмически пассивной. Зарегистрировано 590 сейсмических событий разных энергетических классов, анализ которых показал, что современная сейсмическая активность имеет квазипериодический характер, описанный построенным графиком повторяемости землетрясений разного энергетического класса.

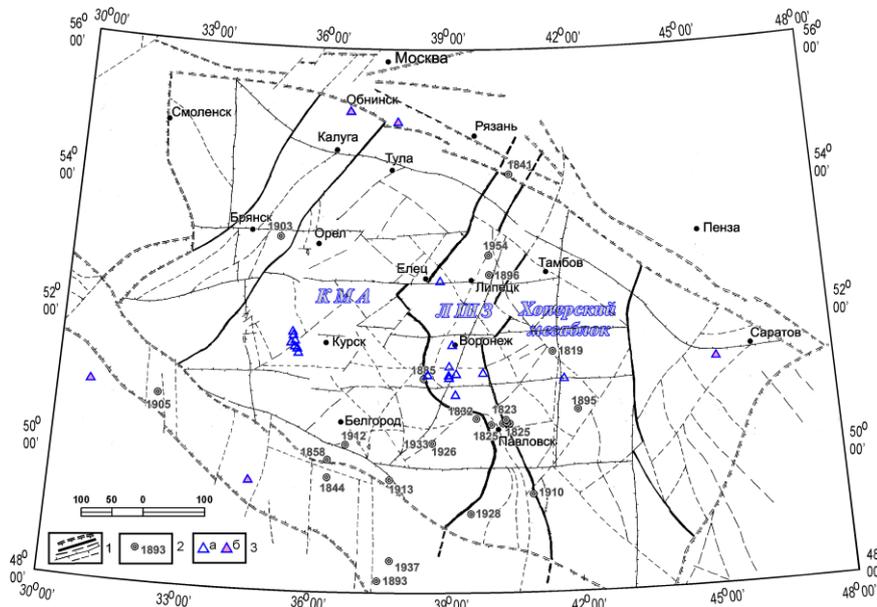
ВВЕДЕНИЕ

Воронежский кристаллический массив (ВКМ) является основанием одноименной антеклизы, одной из крупнейших положительных структур Восточно-Европейской платформы. В геологическом строении Воронежской антеклизы отчетливо выделяются два структурных мегакомплекса. Верхний мегакомплекс (платформенный чехол) представлен отложениями венд-рефея позднего протерозоя, девонской и каменноугольной системами мезозоя, палеоген-неоген и четвертичными системами кайнозоя. Нижний (кристаллический фундамент антеклизы) образован супракрystalльными и магматическими породами архейского и протерозойского возраста. Территория Воронежского кристаллического массива хорошо изучена геологическими и геофизическими методами. Выполнен значительный объем глубинных сейсмиче-

ских и электромагнитных исследований. Получен обширный фактический материал о строении литосферы региона от физической поверхности Земли до верхов мантии. С конца 1996 г. начаты сейсмологические наблюдения. В настоящее время в регионе функционирует сеть, состоящая из 16 сейсмических станций, регистрирующая сейсмические события, начиная со второго энергетического класса.

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТРОЕНИЯ ЛИТОСФЕРЫ ВОРОНЕЖСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА

По современным представлениям в литосфере ВКМ выделяются крупные структуры – мегаблоки: Курский и Хоперский, разделенные Лосевской шовной зоной (рисунки 1).



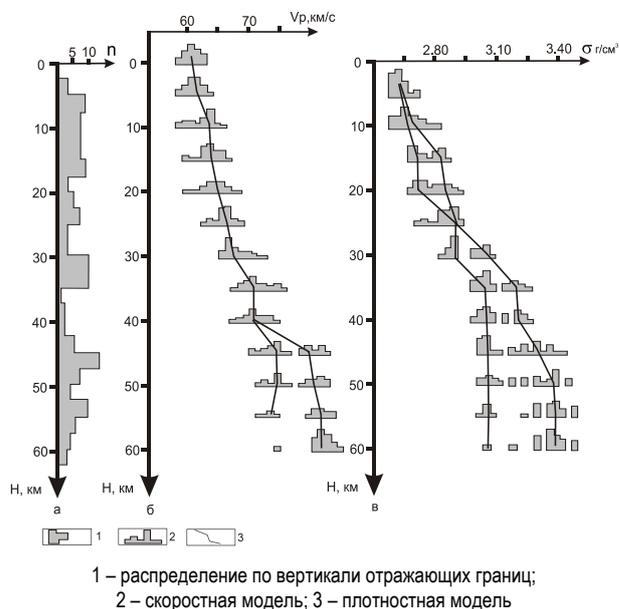
1 – тектонические нарушения различного ранга; 2 – эпицентр исторического землетрясения; 3 – сейсмические станции Воронежской (а) сети и региональные станции, данные которых используются для локализации очагов сейсмических событий (б).
КМА – Курская магнитная аномалия; ЛШЗ – Лосевская шовная зона

Рисунок 1. Тектоническая схема разломно-блокового строения кристаллического фундамента ВКМ и положение сейсмических станций локальной сети мониторинга (ЛСМ)

Каждая из этих структур подразделяется на ряд разновозрастных рифтогенных поясов и эпикратонных впадин. Структуры характеризуются специфическими структурно-вещественными комплексами (СВК) с разнотипными магматическими и рудными формациями, которые отражают последовательную смену геодинамических режимов формирования относительно мощной (38,0–47,5 км) слоисто-блоковой коры континентального типа [1–4]. Земная кора Воронежского кристаллического массива значительно расслоена, латерально существенно неоднородна, дискретна по структуре, вещественному составу и физическим свойствам. Она представляет собой блоково-иерархическую систему, включающую неоднородности разных рангов – от крупных мегаблоков, охватывающих значительные площади, до локальных зон деструкции, имеющих поперечные размеры менее километра [4, 5]. Физические свойства горных пород, слагающих земную кору, значительно варьируют на разных глубинных уровнях (рисунок 2). Так, на уровне эрозионного среза докембрия плотность пород изменяется от 2,58 г/см³ (отдельные типы гранитоидов) до 2,73 г/см³, скорость продольных сейсмических волн также значительно отличается в разных петротипах пород от 5,6 км/с до 6,3 км/с. Диапазоны изменения этих параметров на разных глубинных уровнях не уменьшаются, что хорошо видно на рисунке 2, где представлена обобщенная геофизическая модель литосферы ВКМ [4, 5].

Следует отметить, что не только кристаллическая кора, но и верхи мантии неоднородны по структуре и физическим свойствам. Вариации физических свойств в верхах мантии отражает обобщенная геофизическая модель (рисунок 2). Как показано в [4], в верхней мантии Курского мегаблока выделяются две крупные области пониженной плотности до глубины порядка 100 км. В южной части Хоперского мегаблока выделяется крупная область северо-восточного простирания с повышенной плотностью в верхах мантии. В северной части Хоперского мегаблока выделяется локальная область пониженной плотности [4]. Кроме того, в ряде случаев наблюдается не резкий переход кора-мантия, а переходный слой разной вертикальной мощности, т.е. верхи мантии существенно не однородны. Из сказанного следует, что литосфера Воронежского кристаллического массива неоднородна по структуре и физическим свойствам слагающих ее пород. Но, как известно, структурные и вещественные неоднородности литосферы, а также соответствующие им вариации физических свойств являются источниками значительных локальных напряжений. Последние, концентрируясь в ослабленных зонах, создают предпосылки возникновения землетрясений [6]. К этому следует добавить, что территория региона находится под динамическим воздействием Альпийского пояса [7, 8], которое оказывает влияние на состояние структур уже находящихся в напряженном состоянии, что увеличивает вероят-

ность землетрясений. Землетрясения на территории Воронежского кристаллического массива происходили и в доинструментальный период [9], при этом почти четверть из землетрясений Восточно-Европейской платформы за этот период произошли на территории ВКМ.



а) геофизическая модель литосферы ВКМ



б) физические характеристики земной коры и верхов мантии

Рисунок 2. Модель изменения скорости продольных волн и плотности с глубиной ВКМ

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Наблюдения современной сейсмической активности начаты в конце 1996 г. За относительно короткий период времени в регионе создана наблюдательная

сеть, состоящая из 16 сейсмических станций, пять из которых образуют региональную Воронежскую сеть, входящую в сеть Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук», а 11 сейсмических станций образуют две локальные сети: Курскую, в пределах Курского мегаблока, и Нововоронежскую, расположенную в пределах Лосевской шовной зоны.

При создании наблюдательной сети сейсмических станций учитывались следующие два условия: во-первых, сеть сейсмических станций должна освещать сейсмическую ситуацию всего региона (региональная сеть). В этом случае расстояние между сейсмическими станциями составляет 200–250 км. Такая сеть, как показывает опыт, позволяет регистрировать сейсмические события, начиная с 6 энергетического класса на всей территории ВКМ [10] (класс сейсмических событий определяется по номограмме Т.Г. Раутиан [11]). Во-вторых, локальные сети должны обеспечивать получение достоверной и детальной информации о характере современных сейсмических процессов и геодинамическом состоянии недр крупных структур ВКМ. Локальные сети являются двухуровневыми: станции на расстоянии 5–10 км друг от друга (первый уровень) и 40–60 км — второй уровень. Организованные таким образом локальные сети позволяют регистрировать сейсмические события, начиная со второго энергетического класса при удалении событий до 10 км [10].

Сейсмические станции оснащены регистраторами UGRA (ФИЦ ЕГС РАН), сейсмоприемниками СМ-ЗКВ (ООО «Геотех+») и СМ-ЗОС (ООО «Геотех+»), которые установлены на постаментах, оборудованных в подвальных помещениях, вынесенных за пределы жилых помещений (рисунок 3).



Рисунок 3. Пример установки сейсмической станции

Невысокий уровень антропогенной нагрузки в районе расположения сейсмических станций, а также принятая система их организации позволили обеспечить хорошую чувствительность всей сети в целом и регистрировать сейсмические события в широком диапазоне значений энергетических классов (магнитуд). В целом, за более чем 20-летний период сейс-

мических наблюдений зарегистрировано 590 местных землетрясений энергетических классов 2,0–12,0, произошедших на территории Воронежского кристаллического массива. Большинство из них — это землетрясения 6–9 энергетических классов. На рисунке 4 приведен пример записи локального землетрясения 8 энергетического класса.

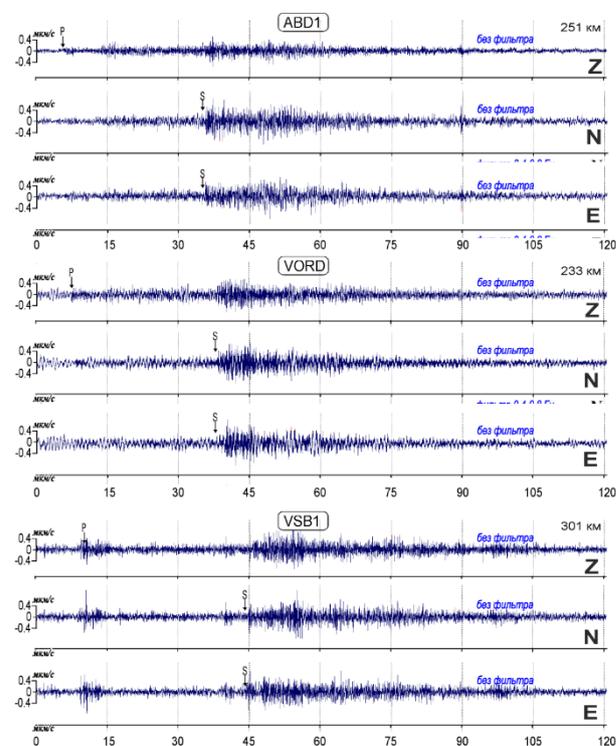


Рисунок 4. Пример записей сейсмического события 8 энергетического класса, произошедшего 17 мая 2019 г. (23:11:27 UTC)

На территории региона развита мощная горнодобывающая промышленность, функционирует более 20 промышленных карьеров, в которых производятся взрывы, регистрирующиеся как сейсмические события 5–10 энергетических классов. В течение года регистрируется более 300 сейсмических событий, вызванных взрывами. Всего за период инструментальных наблюдений зарегистрировано более 8 000 промышленных взрывов. При таком обилии сейсмических событий, вызванных взрывами, выделение землетрясений, близких по энергетическому классу, является специальной и важной задачей. В настоящее время разработана система критериев распознавания, которая позволяет идентифицировать записи взрывов и землетрясений, несмотря на специфику записей разных станций [12]. Анализ временного распределения количества зарегистрированных землетрясений и выделившейся при этом сейсмической энергии показал их неравномерное распределение по годам. Обнаруживается квазипериодичность (ритмичность) в проявлении современной сейсмической активности. Наиболее четко проявляются ритмы количества сейсмической энергии, выделившейся при землетрясени-

ях (рисунок 5). Для анализа использовались только те землетрясения, эпицентры которых расположены непосредственно в приподнятой части ВКМ и на склонах (примерно до изогипсы 1000 м), где прослеживаются выделенные в эрозионном срезе региона структуры и соответствующие им структурно-вещественные комплексы. Как видно из рисунка 5, максимальные значения выделившейся сейсмической энергии наблюдались в 2000, 2007, 2015 гг., при этом отмечается некоторое увеличение сейсмической энергии, предшествующее основному максимуму. Возможно, это является следствием наложения, по крайней мере, двух циклов, характеризующихся различной продолжительностью и интенсивностью. Сейсмическое затишье отмечалось в 2001–2003, 2005–2006, 2009–2013, 2014 годах, и оно было более длительным, чем периоды активизации. Особенно продолжительным было затишье в 2009–2012 гг., после которого отмечен небольшой пик в 2013 г. и уже значительное увеличение выделившейся сейсмической энергии наблюдалось в 2015 г. Отмеченные особенности временного распределения выделившейся сейсмической энергии свидетельствуют о ритмичности во временном ходе сейсмической активности территории ВКМ за последние 22 года. Качественная оценка закономерностей во временном ходе сейсмичности позволяет выделить два ритма: с периодом 6–7 и 9–10 лет.



Рисунок 5. Временное распределение сейсмической энергии, выделившейся при землетрясениях, произошедших на территории ВКМ (1998–2019 гг.)

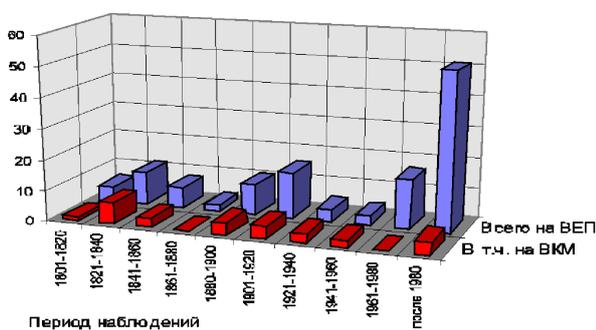


Рисунок 6. Распределение количества исторических землетрясений по годам (1801 – после 1980 гг.)

Следует отметить, что ритмичность во временном ходе сейсмичности отмечается и при анализе исторических данных за последние 200 лет как для территории Восточно-Европейской платформы, так и Воро-

нежского кристаллического массива. В последнем случае наблюдаемые ритмы имеют большую временную продолжительность. Примерно 10–20 лет сейсмической активности сменяются 20–30 годами сейсмического затишья (рисунок 6).

В настоящее время, в целом, для территории Воронежского кристаллического массива наблюдаются режимы, когда в среднем 1–2 года сейсмической активности, сменяются 2–3 годами сейсмического затишья.

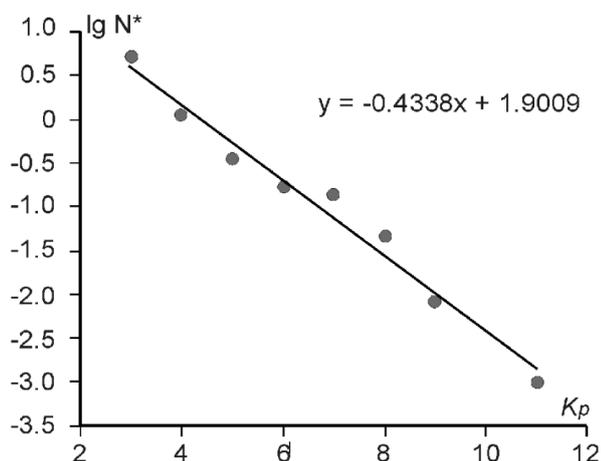
Анализируя сейсмическую активность в различных по геологическому строению и геодинамическому развитию регионах, исследователи приходят к выводу о ритмичном характере сейсмической активности не только в регионах горно-складчатых [13], но и платформенных [14]. Выделяются ритмы продолжительностью 0,5, 1, 2, 4, 6 и 14 лет [13]. Анализируя глобальный сейсмический процесс Земли в течение 113 лет (XX – начало XXI в.) Е.А. Рогожин с соавторами приходит к выводу, что во временном ходе глобальной сейсмичности также наблюдается ритмичность [15], в частности отмечается, что 15 - 20 лет сейсмической активности, сменяются 30–35 годами сейсмического затишья, когда накапливается энергия для следующей активизации. Ритмичности во временном ходе сейсмичности, в целом для Земли и в разных геолого-геодинамических условиях, могут свидетельствовать о глобальной природе волнового поля напряжений. Волновые напряжения, распространяются от границ литосферных плит – зон спрединга и зон субдукции. Причиной, порождающей напряжения в этих зонах, по-видимому, являются процессы, происходящие в глубоких недрах Земли. Взаимодействие глобальной (надрегиональной) системы напряжений с региональной и локальной может быть причиной ритмов различной продолжительности, которые, накладываясь друг на друга, образуют сложную картину временных вариаций современной сейсмической активности. В целом, можно констатировать, что современная сейсмическая активность территории Воронежского кристаллического массива имеет ритмичный характер, при этом продолжительность ритмов различная.

Кроме анализа временных вариаций сейсмической активности, важную роль при изучении сейсмического режима играет повторяемость землетрясений определенной магнитуды или энергетического класса, которая позволяет оценить максимально возможную расчетную магнитуду (энергетический класс) землетрясения. Вместе с тем, высказывается мнение, что изредка могут возникать землетрясения гораздо более сильные, чем удастся оценить по графику повторяемости [16]. Закон повторяемости землетрясений определенной магнитуды Гуттенберга-Рихтера в прямолинейной форме для энергетических классов имеет вид [17]:

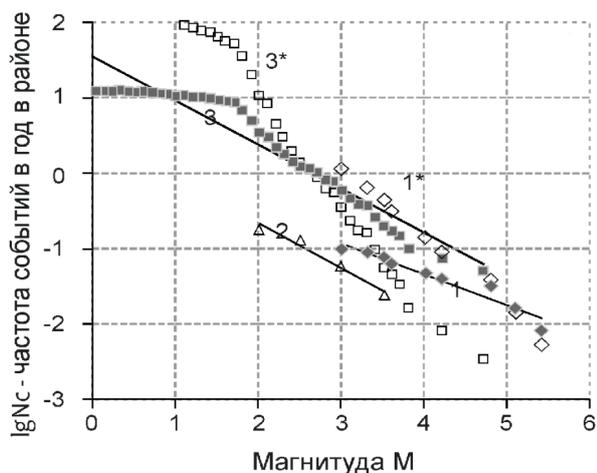
$$\lg \bar{N}_j = \lg A - \gamma \Delta k_j, \quad (1)$$

где \bar{N}_j – среднее число землетрясений, сейсмическая энергия которых лежит в интервале $[10^{k_0+\Delta k(j-1/2)}, 10^{k_0+\Delta k(j+1/2)}]$ Дж.

При этом \bar{N}_j нормируется на единичный интервал времени (год) и на стандартную площадь (1000 км^2), Δk – шаг изменения энергетического класса. Для магнитуд формула идентична [17].



а) землетрясения за 1998–2005 годы [19]



б) землетрясения согласно каталогам

Каталоги: 1 – исторических землетрясений; 2 – уточненный исторических землетрясений; 3 – инструментальный; 1* – исторических землетрясений с учетом периода представительной регистрации для разных диапазонов магнитуд, согласно [16]; 3* – инструментальный с учетом поправок за радиус представительной регистрации для разных диапазонов магнитуд [16]

Рисунок 7. Сравнение графиков повторяемости территории исследования – района ВКМ

Следует отметить, что для территории Воронежского кристаллического массива неоднократно строились графики повторяемости за разные промежутки времени (рисунок 7) [16, 18, 19]. Как видно из рисунка 7, графики повторяемости разные. График повторяемости (рисунок 7-а) построен на базе данных за 1998–2005 гг. В этом случае учитывались пло-

щадь представительной регистрации землетрясений разного энергетического класса. Однако на тот момент временной промежуток наблюдений был ограничен всего 8 годами, общее количество землетрясений составляло 250, поэтому как площади представительной регистрации событий, так и количество землетрясений были занижены [19]. В этом случае график повторяемости можно рассматривать только как некоторое приближение.

Подробный анализ графиков повторяемости представлен Е.Г. Бугаевым в [16], где рассмотрены графики повторяемости с использованием различных каталогов: 1) исходного каталога исторических землетрясений; 2) уточненного каталога исторических землетрясений; 3) каталога инструментально зарегистрированных землетрясений ВКМ за 14 лет. Методика работ изложена в [16, 18,], на рисунке 7-б приведены результаты. При этом количество землетрясений приведено к 1 году и единичной площади, равной площади региона. В [16] делается вывод, что и для исходного каталога исторических землетрясений события с $M < 4.5$ не представительны, а события с $M > 4.5$ могут быть описаны одним законом повторяемости с инструментальными данными в диапазоне магнитуд от 2,0 до 5,5 [16, 18]. Автор считает, что уточненный каталог исторических землетрясений в диапазоне магнитуд от 2,0 до 3,5 занижает уровень сейсмической опасности. Уравнение графика повторяемости магнитуд, полученное в [16] на основе экспериментальных данных за 14 лет, имеет вид:

$$\lg N_c = -0,58M_{инстр.} + 1,55 \quad (2)$$

К настоящему времени, за 22 года наблюдений, накоплен большой объем данных о местных землетрясениях 2–12 энергетических классов. По данным о 590 землетрясений построен график их повторяемости для различных энергетических классов. Прежде всего, определялись площади регистрации землетрясений в интервалах энергетических классов $K_i - \Delta K \leq K_i < K_i + \Delta K$. При этом использовалась предельная дальность регистрации землетрясений, определенная по экспериментальным данным [10]. Количество землетрясений определенного энергетического класса нормировалось на временной интервал (22 года) и на площадь предельной регистрации в 1000 км^2 . На рисунке 8 приведен полученный график повторяемости.

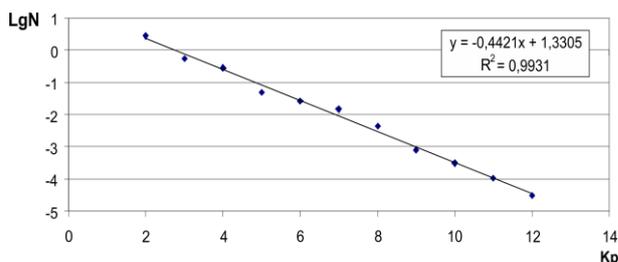
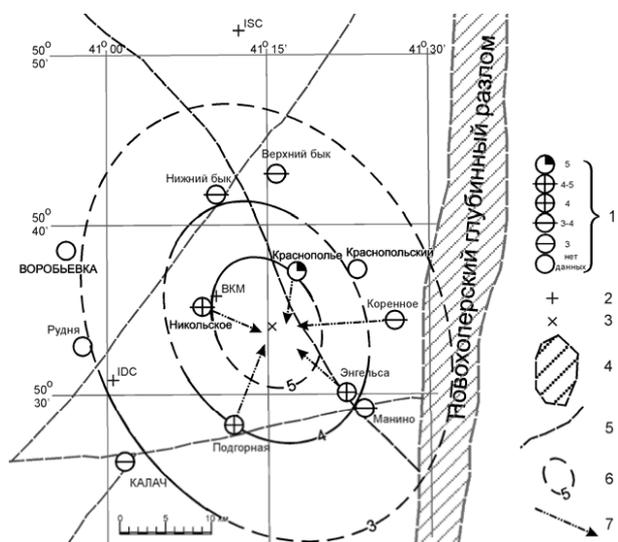


Рисунок 8. График повторяемости для территории Воронежского кристаллического массива

Экспериментальные данные достаточно хорошо аппроксимируются линейной зависимостью:

$$\text{Lg}(N^*) = -0,44 \cdot K_p + 1,33 \quad (3)$$

Обращает на себя внимание то, что уравнение графика повторяемости отличается от приведенных в [16, 19] (рисунок 7-6). Это обусловлено, по-видимому, размером выборки и более детальным учетом площади регистрации. Следует отметить, что график повторяемости построен только по данным инструментальных наблюдений без учета исторических землетрясений. Несмотря на большой объем использованных данных, график повторяемости (рисунок 8) следует рассматривать как очередное приближение, которое будет уточняться по мере поступления новых результатов наблюдений. Вместе с тем, построенный график повторяемости позволил оценить максимальное значение энергетического класса возможных землетрясений, которое, в соответствии с формулой (3) составляет 12,1.



1 – интенсивность сотрясений в баллах; 2 – эпицентр по инструментальным данным; 3 – макросейсмический эпицентр; 4 – глубинный разлом первого порядка; 5 – тектонические нарушения более высокого порядка; 6 – изосейсты; 7 – азимут на эпицентр (по макросейсмическим описаниям очевидцев)

Рисунок 9. Никольское землетрясение 31 марта 2000 г. – эпицентральная зона

Анализ сейсмичности района ВКМ показал, что некоторые из хорошо изученных землетрясений демонстрируют приуроченность очагов к зонам разломов. Так, Никольское землетрясение 31 марта 2000 г. на Воронежском кристаллическом массиве ($M=3,8$,

ЛИТЕРАТУРА

1. Чернышов, Н.М. Геодинамические особенности становления континентальной коры Курского и Хоперского мегаблоков Воронежского кристаллического массива / Н.М. Чернышов, В.М. Ненахов // Проблемы геодинамики и минерагении Восточно-Европейской платформы: Материалы Международной конференции. – Воронеж: изд-во Воронеж. ун-та, 2002 – С. 143–144.
2. Чернышов, Н.М., Модель геодинамического развития Воронежского кристаллического массива в раннем докембрии / Н.М. Чернышев, В.М., Ненахов, И.П. Лебедев // Геотектоника. – 1997. – № 3. – С. 21–30.

$M=5$ баллов) произошло в краевой части Калач-Эртыльского блока, на расстоянии примерно 20 км от г. Калач. Оперативно был проведен комплекс исследований по изучению проявлений его очага [20]. Установлены координаты эпицентра землетрясения, определенные по инструментальным и макросейсмическим данным, и построены изосейсты 3-го, 4-го и 5-го баллов. Очаг землетрясения был связан с тектоническим нарушением, оперяющим с запада Новохоперский глубинный разлом. Действительно, ориентировка длинной оси изосейст оказалась север-северо-западной, как и простираение указанного тектонического нарушения. Макросейсмический и инструментальный эпицентры землетрясения были расположены в непосредственной близости от Новохоперского разлома (рисунок 9).

Выводы

Изучение сейсмического режима и современной сейсмической активности территории Воронежского кристаллического массива позволило установить, что исследованная территория не является сейсмически пассивной. Современная сейсмическая активность имеет ритмичный характер. При этом отчетливо проявляются два типа ритмов: один с периодом 6–7 лет, другой – около 10 лет. С использованием объема данных о землетрясениях за весь период инструментальных наблюдений, равный 20 годам, построен график повторяемости землетрясений, который в целом, характеризует сейсмический режим территории Воронежского кристаллического массива. Возможно, с увеличением объема данных он будет корректироваться. В соответствии с графиком повторяемости максимальное землетрясение на территории Воронежского массива может быть 6 баллов по шкале МСК-64. По результатам оперативного обследования некоторые из наиболее сильных сейсмических событий демонстрируют приуроченность очагов к зонам геологических разломов.

Относительно высокая потенциальная сейсмичность региона, активная деятельность горнодобывающих предприятий, наличие объектов повышенной экологической ответственности и высокая плотность населения требуют постоянного контроля изменяющихся сейсмических условий Воронежского кристаллического массива.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (гранты 20-55-00010Бел_а, 18-05-00641_а).

3. Чернышов, Н.М. Главнейшие типы структурно-вещественных комплексов раннего докембрия ВКМ, последовательность их формирования и возрастная корреляция / Н.М. Чернышов, И.Н. Щеглов // тез. докл. Всероссийского совещания «Состояние проблемы и задачи геологического картирования областей развития докембрия на территории России» – СПб: изд-во ВСЕ ГЕИ. – С. 99–101.
4. Чернышов, Н.М. Литосфера Воронежского кристаллического массива по геофизическим и петрофизическим данным / гл. ред. Н.М. Чернышов. – Воронеж: изд-во «Научная книга», 2012. – 330 с.
5. Семенов, А.Е. О связи современной сейсмической активности со структурными особенностями кристаллической коры и верхов мантии Воронежского кристаллического массива / А. Е. Семенов // Материалы X Международной сейсмологической школы: Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных – Обнинск, ГС РАН. 2015. – С. 290–294.
6. Надежка, Л.И. О возможных причинах локальных землетрясений на территории Воронежского массива / Л.И. Надежка, М.А. Ефременко, Е.А. Рогожин, А.Е. Семенов // Материалы XVI Международной конференции Свойства, структура, динамика и минерагения литосферы Восточно-Европейской платформы. – Воронеж: Научная книга. – 2010. – С. 73–77.
7. Копп, М.А. Кинематика новейшей структуры и сейсмичность Окско-Донского миоцен-четвертичного прогиба / М.А. Копп, А.А. Никонов, Е.Ю. Егоров // ДАН, 2002. – Т. 385, № 3. – С. 387–292.
8. Пивоваров, С.П. О взаимосвязи сейсмических режимов Аравийской плиты и Воронежского кристаллического массива / С.П. Пивоваров, А.Е. Семенов, Р.С. Пивоваров // Материалы X Международной сейсмологической школы: Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных – Обнинск, ГС РАН, 2015. – С. 263–264.
9. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР // под ред. Кондорской В.Н., Шебакина Н.В. - М.: Наука, 1977. – 535 с.
10. Надежка, Л.И. Оценка регистрационных возможностей сети сейсмических станций на территории Воронежского кристаллического массива / Л.И. Надежка, С.П. Пивоваров, М.А. Ефременко // Землетрясения северной Евразии в 2002 году. – Обнинск: ГС РАН.– 2018. – С. 466–470.
11. Раутиан, Т.Г. Энергия землетрясений / Т.Г. Раутиан // Тр. ИФЗ РАН ССР, 1960. – № 9 (176). – С. 75–114.
12. Взрывы и землетрясения на территории Европейской части России / под ред. В.В. Адушкина, А.А. Маловичко — М.: ГЕОС, 2013. – С. 164–179.
13. Юдахин, Ю.Н. О волновых процессах в литосфере Земли / Ю.Н. Юдахин // Геодинамика и геологические изменения в окружающей среде северных регионов: Материалы Всероссийской конференции с международным участием. Архангельск, 13–18 сентября 2004 г. – Архангельск. – 2004 – т. 2. – С. 407–409.
14. Французова, В.И. Сопоставление режимов платформенной и орогенной сейсмичности / В.И. Французова, Ф.Н. Юдахин // Матер. Межд. конф. М.: ВНИИ геофизики – 2003 – С. 249–253 (CD-ROM).
15. Рогожин, Е.А. Вариации интенсивности глобального сейсмического процесса в течение XX и начале XXI веков / Е.А. Рогожин, А.И. Лутиков // Физика Земли. – 2014. – Вып. 4. – С. 25–34.
16. Бугаев, Е.Г. Оценка пределов изменения графиков повторяемости магнитуд для развития риск-ориентированного регулирования безопасности атомных станций (на примере Восточно-Европейской и Северо-Американской платформ / Е.Г. Бугаев // Вопросы инженерной сейсмологии. – М., 2014. – Т. 41, № 3. – С. 37–54.- ISSN 0132-2826
17. Садовский, М.А. Сейсмический процесс в блоковой среде / М.А. Садовский, В.Ф. Писаренко. – М.: Наука, 1991. – 96 с.
18. Бугаев, Е.Г. Проблемы оценки сейсмической опасности слабоактивной платформенной территории (на примере Воронежского кристаллического массива) / Е.Г. Бугаев, С.Б. Кишкина // Матер. XX Всероссийской конференции с международным участием «Глубинное строение, минерагения, современная геодинамика и сейсмичность Восточно-Европейской платформы и сопредельных регионов». – Воронеж, 2016. – С. 449–458.
19. Надежка, Л.И. Карта *Kmin*, график повторяемости землетрясений ВКМ и взрывы // Л.И. Надежка, Р.С. Михайлова, С.П. Пивоваров, И.Н. Сафронич, М.А. Ефременко // Землетрясения Северной Евразии. – 2015. – Обнинск: ГС РАН. 2005. – С. 449–458.
20. Надежка, Л.И. Никольское землетрясение 31 марта 2000 года с $Kp=10.8$, $I_0=5$ (Воронежская область) / Л.И. Надежка, И.Н. Сафронич, С.П. Пивоваров, И.П. Габсатарова, Р.С. Михайлова, Е.А. Бабкова // Землетрясения Северной Евразии в 2000 году: сб. научных трудов – Обнинск: ГС РАН. – 2006. – С. 245–253.

ВОРОНЕЖ КРИСТАЛДЫ МАССИВИНІН АУМАҒЫНДАҒЫ СЕЙСМИКАЛЫҚ РЕЖИМНІН КЕЙБІР БЕЛГІЛЕРІ

^{1, 2)} Е.А. Рогожин, ^{2, 3)} А.Е. Семенов, ^{2, 3)} Л.И. Надежка

¹⁾ *Институт физики Земли имени О. Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия*

²⁾ *Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба РАН», Обнинск, Россия*

³⁾ *Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия*

Воронеж кристалл массивінің аумағында сейсмологиялық бақылаулардың 20-дан астам кезеңі өңір аумағы сейсмикалық тұрғыдан енжар болып табылмайтынын куәландырады. Әртүрлі энергетикалық кластағы 590 сейсмикалық оқиға тіркелді, оларды талдауы қазіргі сейсмикалық белсенділіктің әртүрлі энергетикалық кластағы жер сілкінуленіең қайталану графигімен сипатталған квазипериодикалық сипаты бар екенін көрсетті.

**SOME FEATURES OF SEISMIC REGIME ON THE TERRITORY
OF VORONEZH CRYSTALLINE CORE AREA**

^{1, 2)} E.A. Rogozhin, ^{2, 3)} A.E. Semenov, ^{2, 3)} L.I. Nadezhka

¹⁾ *O.Yu. Schmidt Institute of Physics of the Earth RAS, Moscow, Russia*

²⁾ *Federal Research Center "United Geophysical Service RAS", Obninsk, Russia*

³⁾ *Voronezh State University, Voronezh, Russia*

More than 20 years of seismological observations on the territory of the Voronezh crystal core area have shown that the territory of the region is not seismically passive. 590 seismic events of different energy classes were registered. Analysis showed that modern seismic activity has a quasi-periodic character. A graph of the frequency of earthquakes of different energy classes is constructed, which allows us to judge the seismic regime of the region.