

## ОСОБЕННОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

А.А. Сенцов<sup>1</sup>, А.О. Агибалов<sup>1</sup>, В.А. Зайцев<sup>2</sup>

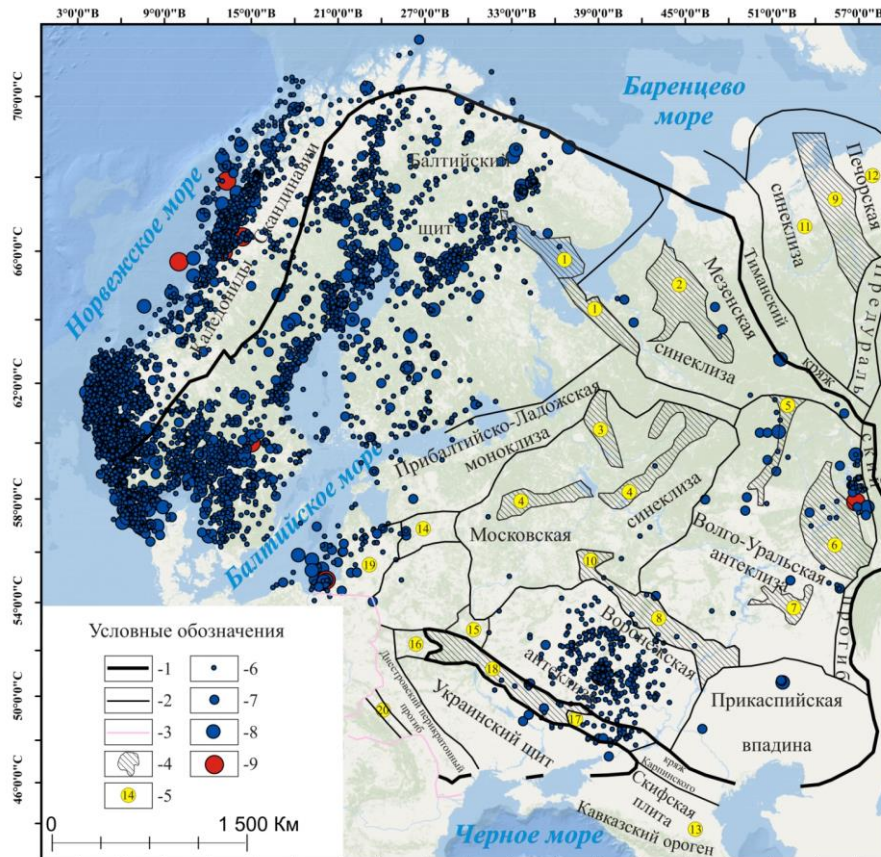
<sup>1</sup>*Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия*

<sup>2</sup>*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова*

Восточно-Европейская платформа традиционно рассматривается как территория, характеризующаяся относительно низкой сейсмической активностью. Однако ряд сейсмических событий, произошедших в пределах платформы, такие как Сысольское землетрясение 1939г. ( $M=4.5$ ) [Землетрясения и микросейсмичность..., 2007], Калининградское землетрясение 2004г с  $M=4.8\pm 0.3$  [Рогожин и др., 2010а; Рогожин и др., 2010б; Рогожин и др., 2014] и Шалкарское 2006г. ( $M_w=4.8\pm 0.3$ ) [Михайлова, Великанов, 2008] говорят о том, что проблема исследования сейсмичности платформенных областей остается актуальной и стали учитываться на картах ОСР-2016 как области,  $M_{\max}$  в пределах которых достигает  $6,5\pm 0,2$  [Общее сейсмическое..., 2016]. Обобщая данные по сейсмичности [Сейсмологический каталог..., 2020а-в; Землетрясения и микросейсмичность..., 2007; Сейсмотектоника..., 2009] можно заметить, что наибольшая сейсмичность характерна для Балтийского щита, Балтийской синеклизы, Воронежской и Волго-Уральской антеклиз (рис. 1).

Наличие в сейсмических каталогах низкомагнитудных землетрясений в центральной части платформы обусловлено локальными сейсмическими станциями, такими как Воронежская региональная сеть. Такие сети позволяют регистрировать низкомагнитудные события в пределах полигонов, на которых они установлены, но также улавливать некоторые отдаленные события, что можно заметить на рис. 1 в пределах Московской синеклизы. На основании вышеназванных сейсмических каталогов нами был составлен сводный сейсмический каталог, берущий своё начало с 1798 года. Отметим, что территория Скандинавского п-ова рассматривается нами как единый блок ввиду его новейшей активности как единой структуры без деления на каледониды и щит. На основании этого каталога были составлены графики повторяемости землетрясений на 4 ранее названных территории (рис. 2). Для каждого уравнения регрессии была проведена проверка на качество регрессивной модели критерием Фишера и статистической значимости критерием Стьюдента (таблица). В ходе анализа сейсмичности Фенноскандии нами использовались данные о временных вариациях гравитационного поля, полученных системой GRACE. В

результате исследования было установлено, что на участках, где наблюдается тренд подъема прямая корреляция с выделившейся сейсмической энергией достигает 70-80% (коэффициент Пирсона). На участках с понижением гравитационного поля - обратная корреляция с сейсмической энергией. коэффициент которой составляет 90%. На временных интервалах, где не удастся выделить четкое направление в изменении гравитационного поля, корреляция отсутствует.



**Рис. 1. Сейсмичность Восточно-Европейской платформы (по [Сейсмологический каталог..., 2020а-в; Землетрясения и микросейсмичность...,2007; Сеймотектоника..., 2009]) на схеме тектонического районирования (по [Карта тектонического..., 2000; Юдахин, 2003; Карта тектонического..., 2005], с изменениями). 1 – граница Восточно-Европейской платформы, 2 – границы основных структур, основных структур, 3 – западная граница СССР., 4 – авлакогены, 5 – названия структур, не подписанных на схеме: авлакогены: (1 – Беломорский, 2 – Лешуконский, 3 – Вожже-Лачский, 4 – Среднерусский, 5 – Кажимский, 6 – Калтасинский, 7 – Серноводско-Абдулинский, 8 – Пачелмский, 9 – Печоро-Колвинский, 10 – Московский грабен, 18 – Припятско-Донской), 11 – Ижма-Печорская впадина, 12 – Хорейверская впадина, 13 – Предкавказский краевой прогиб, 14-16 – седловины (14 – Латвийская, 15 – Жлобинская, 16 – Полесская), 17 – Донбасс, 19 – Балтийская**

синеклиза, 20 – Предкарпатский прогиб; 6-9 – эпицентры землетрясений с магнитудой: 6 –  $\leq 3$ , 7 –  $3 < M \leq 4$ , 8 –  $4 < M \leq 5$ , 9 –  $M > 5$

Таким образом, при определении текущего положения в тренде гравитационного поля, можно использовать для уточнения выделения сейсмической энергии и говорить о прогнозе «сейсмической погоды». По результатам анализа сейсмичности Балтийской синеклизы было установлено, что повторяемость сейсмических событий в фундаменте и осадочном чехле различно, что может быть косвенным признаком различных механизмов, вызывающих сейсмичность в пределах вышеназванных структурных этажей. Эта гипотеза подтверждается результатами компьютерного геодинамического моделирования, которое позволило установить сдвиговое поле напряжений в кристаллическом фундаменте и обстановку растяжения в осадочном чехле.

В сейсмичности Воронежской антеклизы четко различается пространственное распределение землетрясений в южной и северной части данной геологической структуры [Ежова и др., 2010; Ефременко, 2011]. Ввиду этого было сделано предположение о различной природе этих землетрясений. Построение отдельных графиков повторяемости для этих участков подтвердило их различие в сейсмическом режиме: в южной части землетрясения случаются чаще.

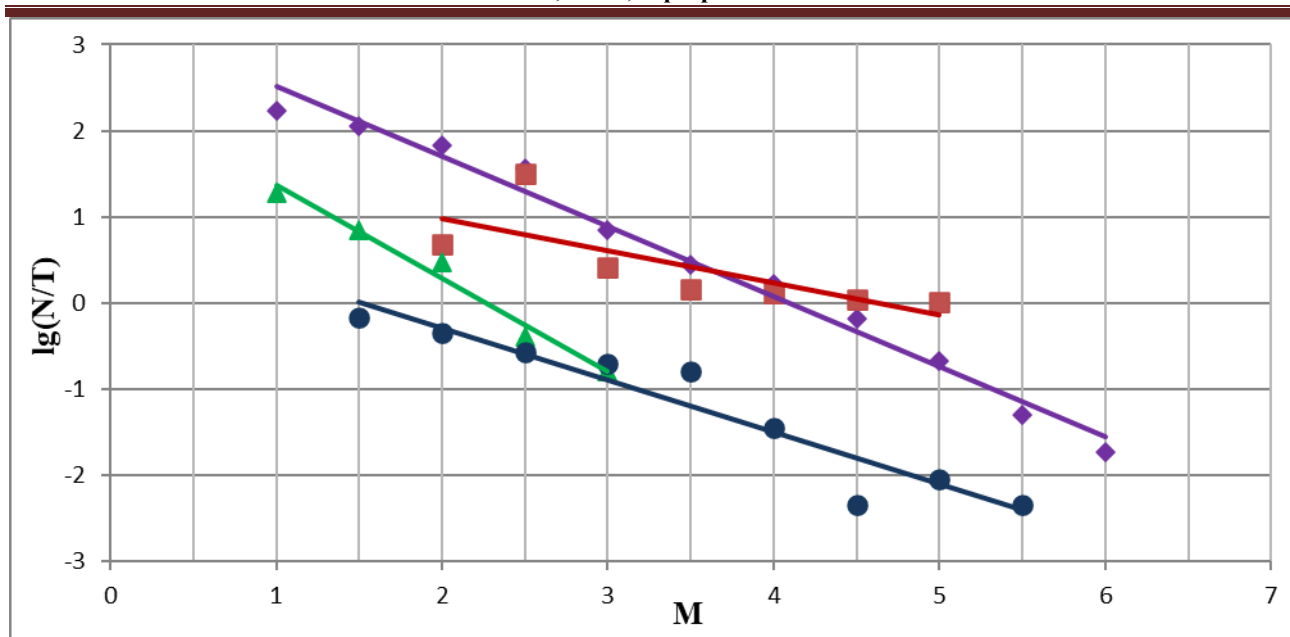
Территория	Уравнение регрессии	$R_c$	$R^2$	F	t	$F_{крит}$	$t_{крит}$
Фенноскандия	$Lg\left(\frac{N}{T}\right) = -0,815(\pm 0,033)M + 3,335(\pm 0,13)$	0,992	0,984	580,13	18,31	5,11	1,3
Балтийская синеклиза	$Lg\left(\frac{N}{T}\right) = -0,66(\pm 0,1)M + 1,53(\pm 0,36)$	0,946	0,89	43,43	6,59	6,6	2,57
Воронежская антеклиза	$Lg\left(\frac{N}{T}\right) = -1,08(\pm 0,09)M + 2,44(\pm 0,19)$	0,989	0,97	135,6	3,19	10,12	3,18
Волго-Уральская антеклиза	$Lg\left(\frac{N}{T}\right) = -0,60(\pm 0,07)M + 0,91(\pm 0,26)$	0,953	0,9	69,85	5,43	5,59	2,36

**Таблица. Проверка значимости уравнений регрессии, описывающих повторяемость**

**землетрясений одних из наиболее активных элементов Восточно-Европейской**

**платформы:  $R_c$  – коэффициент корреляции Пирсона,  $R^2$  – коэффициент детерминации, F и t – значение критериев Фишера и Стьюдента,  $F_{крит}$  и  $t_{крит}$  – критические значения**

На представленном графике видно, что землетрясения с  $M = 4,5$  «выбиваются» из общего тренда землетрясений в пределах Волго-Уральской антеклизы.. Землетрясение такой магнитуды было зарегистрировано одно, случившееся в 1939г. Вероятнее всего, оно является уникальным и повторяемость подобных событий не может быть описана приведенной выше регрессионной моделью и требует специального подхода к своему изучению.



**Рис. 2. Графики повторяемости землетрясений для Фенноскандии (фиолетовый), Балтийской синеклизы (красный), Воронежской антеклизы (зеленый) и Волго-Уральской антеклизы (синий).**

Анализ представленных графиков позволяет сделать следующие выводы: 1) Фенноскандия является наиболее сейсмоактивной частью Восточно-Европейской платформы; 2) Выполаживание графика Балтийской синеклизы в области относительно высоких магнитуд говорит о более редкой повторяемости этих событий, в то время как низкомagnitude события могут «загружать» эту зависимость; 3) для территории Воронежской антеклизы характерна большая сейсмическая активность низкомagnitude событий чем для Балтийской синеклизы, что может быть частично обусловлено наличием на этой территории локальной сейсмической сети.

По результатам проделанной работы можно сделать следующие выводы: Восточно-Европейская платформа является областью, в пределах которой возможны сильные землетрясения с интенсивностью до 7 баллов по шкале MSK-64; 2) На платформенных территориях землетрясения происходят достаточно часто, но низких магнитуд. Регистрация таких событий возможно только при установке региональных сейсмических сетей. 3) Проведенный анализ сейсмичности позволил скорректировать прогноз по времени, а также по месту.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ежова И.Т., Ефременко М.А., Трегуб А.И.* Сейсмическая активность и неотектоника Воронежского кристаллического массива // Вестник ВГУ, серия: Геология. 2010. № 1. С. 229–232.
- Ефременко М.А.* Современные геодинамически активные зоны Воронежского кристаллического массива по геологическим, геофизическим и сейсмологическим данным. Автореф. дисс. ... канд. геол.-минерал. наук. М., 2011. 23 с.
- Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы / ред. Н.В. Шарова, А.А. Маловчинко, Ю.К. Щукина. КН.1 Землетрясения. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 381 с.
- Карта тектонического районирования России и прилегающих акваторий масштаб 1: 2500000/ Под. ред. АФ. Морозова, О.В. Петрова, С.И. Стрельникова // МПР России, Роснедра. 2005.
- Михайлова Н.Н., Великанов А.Е.* Шалкарское землетрясение 26 апреля 2008 г. с  $K_p=11,1$ ,  $M_w=5,1$ ,  $I_0=7$  (Западный Казахстан) // Землетрясения Северной Евразии, 2008 год/ отв. ред. О.Е. Старовойт [и др.]. Обнинск: ГС РАН. 2014. С.304-312.
- Общее сейсмическое районирование территории Российской Федерации. Пояснительная записка к комплекту карт ОСР-2016 и список насел. пунктов, расположенных в сейсмоактивных зонах / В.И. Уломов [и др.] // Инженерные изыскания. 2016. № 7. С. 49–121.
- Рогожин Е.А.* Оценка сейсмической опасности г. Калининград в детальном масштабе // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2014. № 4. С.19–27.
- Рогожин Е.А.* Сеймотектоническая позиция очагов Калининградских землетрясений 21 сентября 2004 года с  $M_w=4.6$  и  $4.8$ ,  $I_0=6$  и  $6-7$  (запад России) // Землетрясения Северной Евразии в 2004 году / под ред. О.В. Старовойт. Обнинск: ГС РАН, 2010а. С. 364–369.
- Сейсмологический каталог Американской геологической службы. URL: <https://earthquake.usgs.gov/> (дата обращения 1.12.2019а).
- Сейсмологический каталог единой геофизической службы РАН. URL: <http://www.ceme.gsras.ru/cgi-bin/new/catalog.pl> (дата обращения 1.12.2019б).
- Сейсмологический каталог Хельсинского университета. URL: <http://www.seismo.helsinki.fi/english> (дата обращения 1.12.2019в).
- Сеймотектоника плит древних платформ в области четвертичного оледенения. М.: Книга и Бизнес, 2009. 288 с.

Схема тектонического районирования России. Масштаб: 1:5000000. Гл. ред. А.Ф. Морозов М.: ИМГРЭ, ГЕОКАРТ, 2001.

*Юдахин Ф.Н, Щукин Ю.К., Макаров В.И.* Глубинное строение и современные геодинамические процессы в литосфере Восточно-Европейской платформы Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 299 с.