

УДК 550.347

## НОВОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ (РАЙОН Г. РЫБИНСК)

© 2024 г. А. Г. Гоев<sup>1,\*</sup>, Н. Л. Константиновская<sup>1</sup>, И. М. Алёшин<sup>2</sup>,  
К. А. Докукина<sup>3</sup>, Р. А. Резниченко<sup>1</sup>, Т. В. Данилова<sup>1</sup>

Представлено академиком РАН А.Д. Гвишиани 30.07.2024 г.

Поступило 30.07.2024 г.

После доработки 31.07.2024 г.

Принято к публикации 31.07.2024 г.

18.03.2024 сейсмическая сеть, расположенная в центральной части Восточно-Европейской платформы (ВЕП), зарегистрировала землетрясение в районе г. Рыбинск (координаты 58.22 с. ш. и 38.52 в. д.) с локальной магнитудой  $ML = 3.1$ . Определено, что его эпицентр приурочен к неотектоническому Среднерусскому поясу деформаций, наследующему структуру и направления нарушений кристаллического фундамента кратона. Анализ расположения эпицентров тектонических сейсмических событий, зарегистрированных в центральной части ВЕП в последнее десятилетие также выявил их приуроченность к этой зоне. Сделан вывод о современной сейсмической активизации центральной части Среднерусского пояса деформаций, что необходимо учитывать при проектировании размещения в этой зоне особо ответственных объектов инфраструктуры.

**Ключевые слова:** Восточно-Европейская платформа, землетрясение, локация, Среднерусский пояс деформаций, сейсмичность, сейсмическая сеть

**DOI:** 10.31857/S2686739724120162

Несмотря на то, что внутриплитные сейсмические события происходят существенно реже, чем на границах между плитами, некоторые из них могут являться потенциально опасными для инфраструктуры. С развитием сейсмических сетей и групп удалось существенно снизить магнитудный порог детектирования и локации, что позволило обнаружить сейсмические события в регионах, ранее считавшихся асейсмичными. Детектирование таких событий необходимо для выявления зон возможной сейсмической активизации. Это особенно важно, если событие происходит в густонаселенных районах или вблизи размещения особо ответственных объектов (атомных и гидроэлектростанций, заводов химической промышленности, трубопроводов и т.д.).

Сейсмичность стабильных геодинамических областей, таких как Восточно-Европейская платформа (ВЕП), проявлена достаточно слабо. Однако, на протяжении всей истории документированных наблюдений с начала 19 века и до настоящего времени в пределах ВЕП были отмечены землетрясения с магнитудами 2–5 [1]. Наибольшей сейсмической активностью в пределах платформы характеризуются Балтийский щит (Кольский полуостров и прилегающие территории), район Среднего Урала и Предуральский прогиб. Повышенной сейсмической активностью характеризуются также некоторые основные тектонические структуры Восточно-Европейской платформы [2]: Украинский щит, северная часть Днепровско-Донецкого авлакогена, Воронежский кристаллический массив, Татарский свод, Кажимский авлакоген. В пределах развития платформенного чехла проявления сейсмичности приурочены к зонам геодинамической активности, которые часто наследуют структуру и направления нарушений кристаллического фундамента кратона. В осадках чехла и на дневной поверхности эти зоны проявлены в виде небольших и рассредоточенных смещений, морфоструктур современного рельефа, зон повышенной

<sup>1</sup>Институт динамики геосфер имени академика М.А. Садовского Российской Академии наук, Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской Академии наук, Москва, Россия

<sup>3</sup>Геологический институт Российской Академии наук, Москва, Россия

\*E-mail: goev@idg.ras.ru

трещиноватости, теплового потока и флюидно-газовой активности [3].

С открытием на ВЕП в 2004 году малоапертурной сейсмической группы “Михнево” (МСГ “Михнево”) было продемонстрировано, что основными источниками сейсмических событий в ее центральной части являются массовые взрывы на карьерах, магнитуды которых ( $ML$ ) могут достигать 3.5 и более, а также землетрясения, приуроченные к Днепровско-Донецкому авлакогену (ДДА) [4, 5]. Однако только за последние десять лет регистрации сейсмических событий было обнаружено, по крайней мере, четыре землетрясения в центральной части ВЕП, не связанных с ДДА [6]. С учетом этого факта, с целью более надежного контроля за сейсмичностью и изучения сейсмотектонических особенностей, на ВЕП была создана и развивается сеть широкополосных сейсмических станций [7].

18 марта 2024 года всеми станциями сети было зарегистрировано новое сейсмическое событие. На рис. 1 приведены сейсмограммы вертикальных компонент датчиков. Было установлено, что полезный сигнал наилучшим образом выделяется в полосе частот 1–10 Гц практически для всех станций. Применение стандартных критериев дискриминации (например, отношения амплитуд  $P/S$ ) позволило классифицировать его как землетрясение. Такую оценку подтверждает и сейсмическая сеть Хельсинского института, которая также зарегистрировала это событие как землетрясение с локальной магнитудой 2.5 [8].

Обработка и локация события были проведены с использованием программных комплексов EL\_WIN [9] и LOS [10], предоставленных Кольским филиалом ФИЦ ЕГС РАН. Времена прихода волн  $P$  и  $S$ , эпицентральные расстояния и локальные магнитуды ( $ML$ ) по данным каждой из станций, показаны в табл. 1. Анализ данных

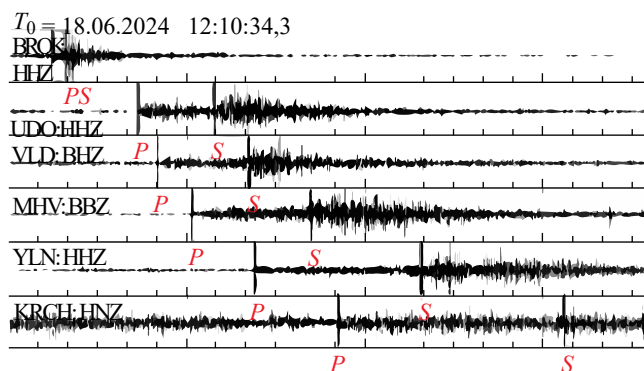


Рис. 1. Волновые формы события, произошедшего 18.03.2024. Показаны вступления волн  $P$  и  $S$  на вертикальных компонентах датчиков. Записи фильтрованы в полосе 1–10 Гц.

позволил отнести эпицентр события к району г. Рыбинск. Магнитудные оценки проводились на основе максимальной амплитуды в коде  $P$ -волны [10] по формуле:

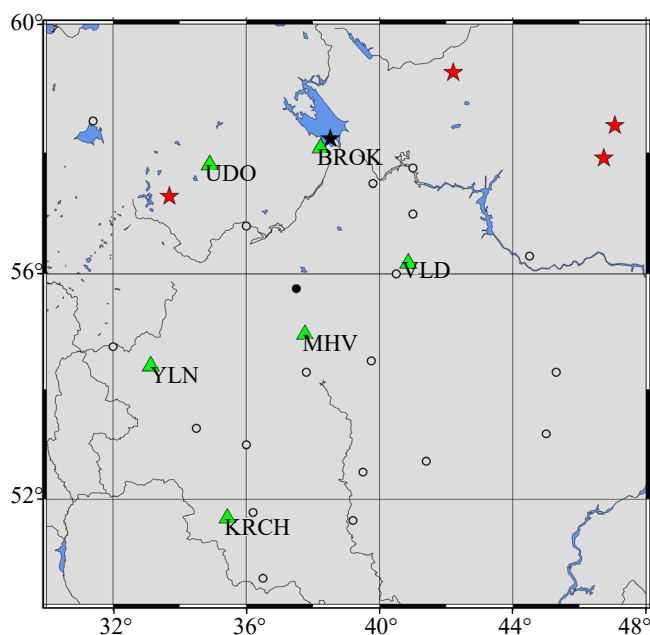
$$ML = Lg(APmax) + Y * Lg(\Delta) + X,$$

где  $\Delta$  — эпицентральное расстояние,  $Y$  и  $X$  — калибровочные коэффициенты, определенные для каждой станции по сейсмограммам известных телесейсмических и региональных событий, а также карьерных взрывов. Видно, что все станции дают согласованную оценку магнитуды около 3.1, за исключением наиболее удаленной от эпицентра землетрясения станции KRCH, которая дает  $ML$ . Учитывая значительное для такой небольшой магнитуды эпицентральное расстояние, а также осложненность региона исследования мощным осадочным чехлом [2], эта оценка не может считаться достоверной.

Автоматическая совместная обработка данных сейсмической сети позволила определить параметры землетрясения: координаты 58.22 с. ш. и 38.52 в. д.; время в очаге  $T_0 = 12:10:39.5$  GMT; локальная магнитуда  $ML = 3.15$  (рис. 2).

Таблица 1. Названия и коды станций сейсмической сети, эпицентральные расстояния, времена регистрации волн  $P$  ( $T_p$ ) и  $S$  ( $T_s$ ) (GMT), и локальные магнитуды

Название	Код	$R$ , км	$T_p$ , с	$T_s$ , с	$ML$
Борок	BROK	44	12:10:41.5	12:10:46.2	3.1
Удомля	UDO	224	12:11:10.3	12:11:36.5	3.1
Владимир	VLD	288	12:11:17.2	12:11:48.2	3.0
Михнево	MHV	389	12:11:28.6	12:12:09.1	3.2
Ельня	YLN	556	12:11:49.7	12:12:46.0	3.2
Курчатов	KRCH	780	12:12:17.8	12:13:34.4	3.5



**Рис. 2.** Карта центральной части Восточно-Европейской платформы. Зелеными треугольниками показано положение станций сейсмической сети. Эпицентр нового землетрясения отмечен черной звездой. Красными звездами отмечены эпицентры обнаруженных ранее землетрясений [6]. Кругами показаны положения областных центров России. Черным кругом показана Москва.

Параметры эллипса ошибок в определении координат эпицентра: азимут большой оси —  $20^\circ$ , малая полуось — 4.6 км, большая полуось — 7.0 км. Глубина события оценивается с большой неопределенностью. По этой причине, а также учитывая приуроченность других тектонических событий в этой области к зонам авлакогенов [6], землетрясение возле г. Рыбинск может быть также отнесено к платформенному чехлу. Полученные оценки позволяют существенно уточнить магнитуду и координаты сейсмического события относительно данных мировой сети [8].

Эпицентр землетрясения в районе г. Рыбинск приурочен к Молого-Шекснинской депрессии Среднерусского пояса деформаций центральной части ВЕП (рис. 3), который прослеживается в восток-северо-восточном направлении на протяжении более 1000 км и достигает ширины 350 км [3]. В строении фундамента платформы этот пояс соответствует Лапландско-Среднерусско-Южноприбалтийскому внутриконтинентальному коллизионному орогену, на уровне кровли фундамента соответствует Среднерусской системе палеорифтовых структур рифей-ранневендского возраста — авлакогенов [11].

Границы Молого-Шекснинской грабенообразной депрессии (Мл) с юго-запада ограничены Ладожско-Рыбинским разломом фундамента (ЛР), с северо-востока Череповецким разломом (Чр). В районе эпицентра нового землетрясения в кровле фундамента Молоковский грабен северо-восточного простирания горизонтально смещается Ладожско-Рыбинским разломом северо-западного простирания на расстояние более 100 км (рис. 3). Для Ладожско-Рыбинского разлома характерны признаки новейшей тектонической активности — наследование древних тектонических структур современным рельефом, приуроченность эпицентров землетрясений и палеосейсмодислокаций, проявления аномалий гелия и аргона, смещения пунктов GPS [3, 12, 13].

Эпицентры всех тектонических событий, зарегистрированных за последнее десятилетие в центральной части ВЕП, также приурочены к центральной части Среднерусского пояса деформаций (рис. 3). Отсюда можно заключить, что рассматриваемая зона демонстрирует явные признаки современной тектонической активности. Этот факт необходимо учитывать при проектировании и строительстве особо ответственных объектов.

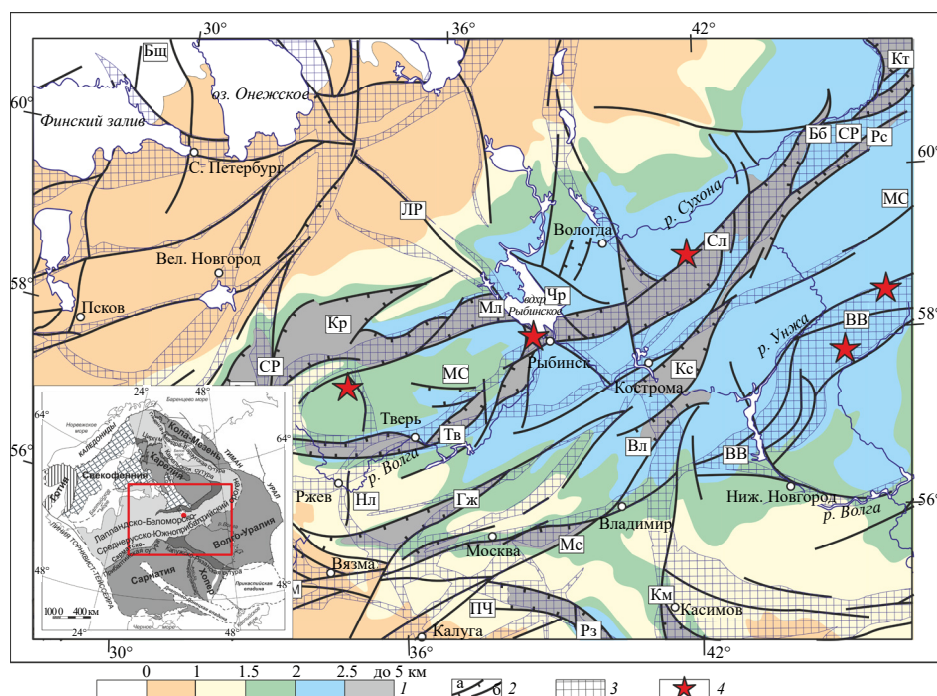
## ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование выполнено в рамках государственных заданий Института динамики геосфер им. академика М.А. Садовского РАН (№ 122040400015-5) и Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, утвержденных Министерством науки и высшего образования Российской Федерации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы: В 2 кн. / Под ред. Н.В. Шарова, А.А. Маловичко, Ю.К. Шукина. Кн. 1. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 381 с.
2. Юдахин Ф. Н., Шукин Ю. К., Макаров В. И. Глубинное строение и современные геодинамические процессы в литосфере Восточно-Европейской платформы / Под ред. Н.П. Лаверова. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 299 с.
3. Колодяжный С. Ю., Полещук А. В., Зыков Д. С. Латентная тектоника среднерусского пояса деформаций Восточно-Европейской платформы // Геотектоника. 2021. № 4. С. 41–72.
4. Адушкин В.В. Сейсмичность взрывных работ на территории Европейской части России // Физика Земли. 2013. № 2. С. 110–130.





**Рис. 3.** Упрощенная структурная схема соотношения строения кровли фундамента Восточно-Европейской платформы и плитного чехла (на основе [3, 11], с дополнениями). На врезке показана структура фундамента Восточно-Европейской платформы. Регион исследования отмечен красным прямоугольником. Условные обозначения: 1 – глубина залегания поверхности фундамента Восточно-Европейской платформы в км, 2 – разломы фундамента: а) сбросы, б) сдвиги; 3 – зоны деформации осадочного чехла; 4 – эпицентры землетрясений, зарегистрированные МСГ “Михнево” за последние 10 лет и нового землетрясения вблизи г. Рыбинска. Условные обозначения Среднерусской палеорифтовой системы соответствуют [3].

5. Адушкин В. В., Санина И. А., Габсатарова И. П., Иванченко Г. Н., Горбунова Э. М. Техногенно-тектонические землетрясения Днепровско-Донецкого авлакогена // ДАН. 2016. Т. 469. № 4. С. 479–482.
6. Адушкин В. В., Санина И. А., Иванченко Г. Н., Горбунова Э. М., Габсатарова И. П., Константиновская Н. Л., Нестеркина М. А. Сейсмогенные древние структуры центра и севера Восточно-Европейской платформы // ДАН. 2019. Т. 489. № 4. С. 405–408.
7. Гоев А. Г., Волосов С. Г., Санина И. А., Константиновская Н. Л., Нестеркина М. А. Регистрационные возможности временной сейсмологической сети ИДГ РАН на ВЕП // Российский сейсмологический журнал. 2020. Т. 2. № 2. С. 84–90.
8. International Seismological Centre (2024), Online Bulletin. <http://doi.org/10.31905/D808B830>
9. Асминг В. Э., Федоров А. В., Виноградов Ю. А., Прокудина А. В. Программные продукты для интерактивной и автоматической обработки сейсмических и инфразвуковых данных // Сейсмические приборы. 2022. Т. 58. № 4. С. 19–40.
10. Асминг В. Э., Федоров А. В., Прокудина А. В. Программа для интерактивной обработки сейсмических и инфразвуковых записей LOS // Российский сейсмологический журнал. 2021. Т. 3. № 1. С. 27–40. <http://doi.org/10.35540/2686–7907.2021.1.02>
11. Глубинное строение, эволюция и полезные ископаемые раннедокембрийского фундамента Восточно-Европейской платформы: интерпретация материалов по опорному профилю 1-ЕВ, профилям 4В и ТАТСЕЙС / Под ред. А. Ф. Морозова. М.: ГЕОКАРТ–ГЕОС, 2010. Т. 2. 400 с.
12. Агибалов А. О. Неотектоническая активизация докембрийского структурного плана Северного Приладожья (юго-восток Балтийского щита) / Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М.: МГУ, 2019. 23 с.
13. Зыков Д. С., Полещук А. В., Колодяжный С. Ю. Морфоструктура рыбинского узла среднерусской зоны дислокаций как отражение новейшей внутриплатформенной геодинамики // Геоморфология. 2022. Т. 53. № 2. С. 104–112.

## NEW EARTHQUAKE IN THE CENTRAL PART OF THE EAST EUROPEAN CRATON (IN THE VICINITY OF RYBINSK TOWN)

**A. G. Goev<sup>a, #</sup>, N. L. Konstantinovskaya<sup>a</sup>, I. M. Aleshin<sup>b</sup>, K. A. Dokukina<sup>c</sup>,  
R. A. Reznichenko<sup>a</sup>, T. V. Danilova<sup>a</sup>**

*Presented by Academician of the RAS A.D. Gvishiani on July 30, 2024.*

<sup>a</sup>*M.A. Sadovsky Institute of Geosphere Dynamics of the Russian Academy of Science,  
Moscow, Russian Federation*

<sup>b</sup>*Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences,  
Moscow, Russian Federation*

<sup>c</sup>*Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

<sup>#</sup>*E-mail: goev@idg.ras.ru*

On 18.03.2024 the seismic monitoring network in the central part of the East European craton (EEC) has registered an earthquake near Rybinsk (N 58.22, E 38.52) with a *ML* (local magnitude) = 3.1. It is calculated that its epicenter belongs to the Mid-Russian neotectonic deformation belt that inherits the structure and discontinuity direction of the craton's crystal base. Analysing the epicenter distribution of the tectonic seismic events that were registered in the central part of the EEC in the last decade shows that they also are belong to the same zone. We concluded an activation in modern seismic activity happened within the Mid-Russian deformation belt, which is imperative to consider for vital infrastructure planning.

**Keywords:** Eastern European craton, earthquake, location, Mid-Russian deformation belt, seismicity, seismic network