

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 9 НОЯБРЯ 2002 Г. НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ РУССКОЙ ПЛИТЫ (РЕСПУБЛИКА КОМИ)

Носкова Н. Н., Морозов А. Н., Ваганова Н. В.

Аннотация

Восточно-Европейская платформа (ВЕП) характеризуется относительно слабой сейсмичностью. Юг Республики Коми является наиболее сейсмически активной территорией северо-востока ВЕП, здесь произошло одно из сильнейших землетрясений на Европейском Севере в XX в. 7-балльное Сысольское землетрясение 1939 г. 9 ноября 2002 г. множеством станций по всему миру было зафиксировано землетрясение в Прилузском районе республики. Однако, оно не было тщательно изучено и не рассмотрено ни в одной статье. В данной работе проведен пересчет параметров землетрясения, обоснована его тектоническая природа, построен механизм очага и дана тектоническая позиция. В обработке задействованы 86 сейсмических фаз 58 станций с эпицентрными расстояниями от 5.9 до 57°, азимутальными окружением от 1.5 до 341.7°, максимальная азимутальная брешь – 70°. Получены следующие параметры гипоцентра: $t_0=06:47:17.9$, 59.93N, 49.76E, $R_{\text{minor}}=7.7$ км, $R_{\text{major}}=10.7$ км, $Az_{\text{major}}=20^\circ$, $h=16$ км, $M_s=3.4/5$. Землетрясение является верхнекоровым и приурочено к зоне сочленения восточного склона Сысольского свода с западной прибортовой частью Кировско-Кажимского авлакогена Волго-Уральской антеклизы Русской плиты. Механизм очага определен как сбросо-сдвиговый, что соответствует новейшему полю напряжений данной территории. Параметры осей (Value, Azimuth, Plunge): T=0.707, 90.0, 0; N=0, 0, 39.792; P=-0.707, 180.0, 50.208. Параметры плоскостей (Strike, Dip, Slip): для 1-ой плоскости 331, 79, 165; для 2-ой плоскости 63, 75, 10. Регистрация сейсмических событий на северо-востоке Русской плиты свидетельствует, что платформенная территория не является сейсмически пассивной. Проведенные исследования позволяют увязать характер современных сеймотектонических процессов с особенностями строения и состояния земной коры в пределах платформенной литосферы.

Ключевые слова:

Землетрясение, слабая сейсмичность, магнитуда, бюллетень, механизм очага, Восточно-Европейская платформа

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 9 НОЯБРЯ 2002 Г. НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ РУССКОЙ ПЛИТЫ (РЕСПУБЛИКА КОМИ)

Н.Н. Носкова¹, А.Н. Морозов², Н.В. Ваганова³

¹Институт геологии имени академика Н.П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук», г. Сыктывкар, Россия

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук», г. Обнинск, Россия

³Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова РАН, г. Архангельск, Россия

Введение.

Восточно-Европейская платформа (ВЕП) характеризуется относительно слабой сейсмичностью и до недавнего времени основными источниками знаний о сейсмичности платформы были письменные свидетельства за исторический период. Однако высокий уровень урбанизации, наличие ответственных и экологически опасных объектов, крупных промышленных центров вызывают необходимость более внимательно отслеживать любые проявления сейсмических процессов на платформенных территориях. Редкие проявления тектонической активности делают каждое зарегистрированное землетрясение уникальным событием и требуют его тщательного изучения.

С развитием сетей инструментальных наблюдений на севере ВЕП, при активном содействии Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (ФИЦ ЕГС РАН), у исследователей появилась возможность оценивать проявления современной слабой сейсмичности платформы и использовать эти данные для последующих геолого-тектонических и геодинамических построений [Старовойт, 2005]. Значимость таких построений неоднократно указывал в своих работах д.г.-м.н. Ю.К. Щукин [Щукин, 2001, 2007], отмечая, в частности, что изученность проявлений тектонической активности платформы до сих пор носит фрагментарный характер и не исчерпывает всей совокупности явлений современной геодинамики платформы.

Юг Коми является наиболее сейсмически активной территорией северо-востока ВЕП, здесь произошло одно из сильнейших землетрясений на Европейском Севере в XX в. 7-балльное Сысольское землетрясение 1939 г. [Никонов, Чепкунас, 2009], а также землетрясения 2008 с $M_L=3.2$ [Носкова, 2019] и 2011 гг. с $M_L=2.6$ [Носкова, Михайлова, 2017].

Сейсмическими станциями по всему миру 9 ноября 2002 г. в 06:47 (UTC) было зафиксировано землетрясение на юге Республики Коми с магнитудой M_s по данным различных сейсмологических центров от 3.4 до 3.9. Однако, несмотря на то, что исследуемое землетрясение зарегистрировано представительной сетью станций, оно не

было тщательно изучено и не рассмотрено ни в одной статье. Обычной практикой в сейсмологии являются работы по уточнению параметров очагов ранее зарегистрированных землетрясений, поскольку сведения, полученные в разных сейсмологических центрах и публикуемые в бюллетенях в оперативном режиме, основаны на данных лишь собственных станций и являются предварительными. Как правило, более детальная обработка событий происходит спустя некоторое время, когда появляется возможность привлечения записей сейсмических станций других сетей, появляются уточненные скоростные модели и новые методические подходы.

Целью данной работы является пересчет параметров гипоцентра землетрясения, определение механизма его очага и тектонической позиции. Реализация поставленной цели предусматривала решение следующих задач: сбор волновых форм с записью землетрясения; их обработка с использованием единой скоростной модели, единого методического подхода и всех доступных в настоящее время исходных данных и бюллетеней российских и зарубежных сейсмических станций; сопоставление полученных координат с расчетами других сейсмологических служб.

Исходные данные и методы вычисления.

В 2002 г. на территории Республики Коми сейсмические наблюдения станцией «Сыктывкар» (SYK) велись еще аналоговой аппаратурой РС-II с гальванометрической записью на базе короткопериодных сейсмоприемников СКМ-3М на фотобумагу. Работа аналоговой записи была остановлена 14 октября 2002 г., а с 2003 г. геофизическая обсерватория «Сыктывкар» была оснащена цифровой станцией SDAS, разработанной НПП «Геотех+» совместно с ФИЦ ЕГС РАН. Поэтому сейсмограмм ближайшей к эпицентру землетрясения станции «Сыктывкар» отсутствуют.

Нами были получены и проанализированы цифровые записи 22 станций российских и зарубежных сетей (рис. 1). Диапазон эпицентральных расстояний составил от 5.9 до 21.2°, азимутальный охват от 22° до 341°. Доступ к исходным цифровым данным зарубежных сетей осуществлялся через электронные ресурсы GEOFON [GEOFON Seismic ...], IRIS [Incorporated Research ...], NOR SAR [Norwegian Seismic...].

Привлекался бюллетень землетрясения 9 ноября 2002 г. Международного сейсмологического центра ISC (Великобритания) [International Seismological...], из которого взяты вступления 37 станций. К ним добавлены фазы P и S-волн сейсмических станций «Амдерма» Кольского филиала (КоФ) ФИЦ ЕГС РАН, «FINESS Array Site C1» (FIC1), «Moravsky Bergoun», S-волна по станции «Арти», «Архангельск», «Пулково», «Сторожевое», «Кисловодск», «Курчатов», «Spitsbergen Array». На рис. 2 показано расположение всех станций, участвующих в уточнении параметров гипоцентров. В табл. 1 представлен сейсмический бюллетень землетрясения 9 ноября. Всего задействовано 86 сейсмических фаз 58 станций с эпицентральными расстояниями от 5.9 (D_{\min}) до 57° (D_{\max}), азимутальными окружением от 1.5 до 341.7°, максимальная азимутальная брешь (Gap) – 70°. Следует отметить, что использование в обработке записей станции «Амдерма» КоФ ФИЦ ЕГС РАН позволило сократить азимутальную брешь на 13° по сравнению с бюллетенем ISC.

Предварительное определение параметров гипоцентра на основе исходных цифровых данных производилось в программном комплексе WSG [Красилов и др., 2006] методом минимизации невязок. Итоговое определение параметров гипоцентра производилось методом Generalized beamforming [Ringdal, Kvaerna, 1989] в

усовершенствованном виде, реализованном в программе NAS (New Association System) [Фёдоров и др., 2018], которая производит ассоциацию и уточнение координат и времени в окрестности предварительно вычисленного гипоцентра. Программа выбирает круг большого радиуса (в данной работе используется радиус 250 км) вокруг исходной точки. В этом круге ищется более точная локация, он покрывается перекрывающимися кругами меньших радиусов, формирующими сетку. Для каждого такого меньшего круга вычисляется рейтинговая функция $R(c,t)$, оценивающая гипотезу о том, что событие произошло в ячейке c в момент времени t . Сетка уменьшается несколько раз. Каждый раз из сетки исключается $\frac{3}{4}$ ячеек с наименьшими рейтингами, а каждая оставшаяся ячейка делится на 4 меньших. Рейтинги пересчитываются для этих уменьшенных ячеек.

Такой поиск выполняется для набора фиксированных глубин (в этой работе от 0 до 100 км с шагом 5 км). Окончательно, за предварительную локацию события выбирается ячейка с максимальным рейтингом. Время t_0 , на котором рейтинговая функция достигла максимума, считается оценкой времени в очаге. Только те фазы, которые внесли ненулевые вклады в этот максимальный рейтинг, считаются ассоциированными с лоцируемым событием. Такой подход позволяет автоматически игнорировать фазы с нереалистическими (ошибочными) временами вступлений. Это очень важно при использовании времен вступлений сейсмических фаз, измеренных на «шумных» станциях и на станциях, удаленных на значительное расстояние от эпицентра, когда велика вероятность ошибочного определения времен вступлений сейсмических фаз.

На втором этапе локация уточняется с помощью минимизации невязки оценки времени в очаге по этим, найденным таким образом, временам и их весам, и строится доверительной области локации (эллипс ошибок). Доверительная область вместо точки истинной локации возникает из-за того, что важные для локации величины известны неточно. Во-первых, времена приходов волн на станции измеряются с ошибками, интервал которых обозначим ($-\Delta t_{\text{прихода}}$, $+\Delta t_{\text{прихода}}$). Другими словами, будем считать, что ошибки измерения времен прихода с некой большой вероятностью (скажем, 95%) лежат в этом интервале. Во-вторых, скоростная модель, которой мы пользуемся для расчета времен пробега, также неточна. Предположим, что если кажущаяся скорость в некотором случае согласно модели равна v , то с той же большой вероятностью (95%) истинная кажущаяся скорость лежит в интервале $[v-\Delta v, v+\Delta v]$.

Таким образом, для расчета доверительной области, помимо знания известных фаз и координат датчиков, необходимы оценки погрешностей скоростной модели Δv и измерения вступлений Δt для разных типов волн. В данном исследовании значения погрешностей скоростной модели были приняты равные 0.15 км/с, а значения погрешностей измерения вступлений равные 0.3 с.

Программа NAS является частью системы NSDL (New System for Detection and Location), предназначенной для организации автоматического мониторинга сейсмической активности какого-либо региона с помощью произвольной сети сейсмостанций или отдельных сейсмостанций. Система успешно прошла апробацию в некоторых зарубежных и отечественных профильных научно-исследовательских организациях, в том числе в филиалах ФИЦ ЕГС РАН [Асминг и др., 2017, 2018]. Эффективность алгоритма расчета параметров гипоцентра в программе NAS была показана на примере локации двух ядерных взрывов 18.07.1985 г. и 06.09.1988 г., произведенных на севере Европейской части России и двух ядерных взрывов 02.11.1974 г. и 24.10.1990 г., произведенных на архипелаге Новая Земля [Morozov et al., 2018]. В задачах уточнения параметров очага описанный

выше подобный подход применялся для землетрясений на севере Русской плиты ВЕП [Морозов и др., 2018], в Баренцево-Карском регионе [Morozov et al., 2018] и техногенных событий Печорского угольного бассейна [Носкова, Асминг, 2018].

При вычислении параметров гипоцентров применялся годограф для Восточно-Европейского кратона [Schueller et al., 1997], дополненный глубокими слоями модели АК-135 [Kennet et al., 1995]. Для определения значений локальной магнитуды M_L (MWA) использовался реализованный в программе WSG способ расчета, основанный на осредненной по Северной Евразии калибровочной функции [Габсатарова, 2006]. Механизм очага для землетрясения 9 ноября 2002 г. определялся по знакам первых вступлений Р-волн с помощью программы «FA2011», разработанной А.В. Ландером [Иванова и др., 2011].

Обсуждение результатов.

В результате обработки данных станций в программе WSG определены следующие предварительные параметры: $t_0 = 06:47:17$, 59.954N, 49.698E, глубина $h=16$ км. $M_s=3.4/5$. В NAS проведено итоговое уточнение при глубине 16 км и получено решение: $t_0=06:47:17.9$, 59.931N, 49.762E, параметры эллипса ошибок: $R_{minor}=7.66$ км, $R_{major}=10.74$ км, $Az_{major}=20^\circ$.

В программе «FA2011» рассчитан механизм очага землетрясения по знакам первых вступлений продольных волн, которые определены по сейсмограммам 10 станций, из них на 7 зарегистрированы волны разрежения (APA0, AMD, PR1R, PR2R, FIA0, FIC1, ARC2), на 3 – волны сжатия (ARU, BRVK, VRSR). Записи станций «Романово» (PR1R) и «Добрянка» (PR2R) Горного Института УрО РАН сохранились лишь в виде текстовых файлов (в мкм/с), поэтому в расчете координат участия не принимали, но по ним было возможно взять направления первого движения. Получено вероятное решение механизма очага со сбросово-сдвиговый типом движения по обеим плоскостям (табл. 2). Параметры осей (Value, Azimuth, Plunge) следующие: T = 0.707, 90.0, 0; N = 0, 0, 39.792; P = -0.707, 180.0, 50.208. Параметры плоскостей (Strike, Dip, Slip) следующие: для 1-ой плоскости 331, 79, 165; для 2-ой плоскости 63, 75, 10.

По нашим расчетам землетрясение произошло в 190 км от Сыктывкара, в Прилузском районе Республики Коми, в 29 км южнее устья р. Седки правого притока р. Лузы. В близлежащих населенных пунктах землетрясение ощущалось в виде несильных колебаний. Данный район не является горнодобывающим, здесь отсутствуют действующие промышленные карьеры. За весь период инструментальных наблюдений сейсмических событий техногенной природы на юге республики зафиксировано не было. К тому же, механизм очага определен как сбросо-сдвиговый. Следовательно, можно сделать вывод, что событие является тектоническим.

Сведения о параметрах очага землетрясения 9 ноября, рассчитанные на основе данных с разным количеством сейсмических станций, имеются в 10 российских и зарубежных сейсмологических центрах (табл. 3). В ходе нашего исследования были рассчитаны параметры очага землетрясения на основе всех доступных в настоящее время исходных данных и бюллетеней российских и зарубежных сейсмических станций, а также с использованием единой скоростной модели и единого методического подхода. Всего было задействовано 86 времен первых вступлений сейсмических волн Р и S по данным 58 сейсмических станций с эпицентрными расстояниями от 5.9° до 57° и азимутальным окружением от 1.5 до 341.7° . Используемый алгоритм программы NAS исключает возможность использования в расчете параметров «ошибочных» времен вступлений.

Таким образом, были созданы все условия для расчета параметров очага с наибольшей достоверностью. Подтверждение этому можно увидеть в распределении эпицентров по данным разных сейсмологических центров (рис. 3). В частности, в Службе Срочных донесений ФИЦ ЕГС РАН [Служба...] параметры были рассчитаны по пяти станциям и расхождение с эпицентром, вычисленном в *NAS* составляет 52 км. В *ISC* [International Seismological...] параметры эпицентра были рассчитаны с использованием чуть меньшего количества станций (56 станции вместо 58) и расхождение с эпицентром уже составило 20 км. Однако в отличие от параметров в *ISC*, параметры очага в нашей работе вычислены с использованием региональной скоростной модели и с большим азимутальным охватом и количеством времен вступлений сейсмических фаз.

Тектоническая позиция очага.

Историческая и инструментальная сейсмичность вблизи эпицентральной зоны землетрясения 9 ноября иллюстрируется рисунком 4. Сейсмические события северо-востока Русской плиты в тектоническом плане приурочены в основном к Кировско-Кажимскому авлакогену и прилегающим к нему сводам Волго-Уральской антеклизы Русской плиты. Землетрясение 9 ноября произошло в пределах Сысольского свода, который представляет собой крупное погребенное поднятие фундамента протяженностью с юга на север более 200 км, с запада на восток – 125–150 км. В пределах свода отсутствуют отложения рифея, заполняющие окружающие прогибы, а образования венда заметно сокращены в мощности. Поверхность свода наклонена к западу от 1600 м (скв. Сысола-1 –1616 м) в восточной части, увеличиваясь до 2000 м к западу и юго-западу [Государственная..., 2016]. Отметки фундамента в эпицентральной области –1900 м, соответствуют Прилузскому поднятию или Летниковскому выступу [Уточнение..., 2003].

Восточный склон Сысольского свода ступенчато сочленяется с западной прибортовой частью Кировско-Кажимского авлакогена. С юга через Великоорецкую седловину граничит с Котельничским сводом и образует с ним Котельничско–Сысольскую систему сводовых поднятий, которая разбита системой разрывных нарушений. С запада Сысольский свод глубинным разломом отделен от Рослятинского грабена, а с севера ограничен южным бортом Котласского грабена. Оба грабена входят в состав Среднерусского авлакогена, маркирующего коллизионную шовную зону между Фенноскандией и Волго-Сарматией [Bogdanova et al., 1996]. На северо-востоке склон свода круто погружается в область Вычегодского прогиба, граница с которым трассируется вдоль крупных разломов [Мальшев, 2002]. Прогиб по поверхности эпикарельского фундамента ориентирован в северо-западном направлении вдоль Тиманской гряды. Согласно геофизическим материалам Тиманская гряда имеет надвиговую природу, интерпретируемую как шовная зона, по которой Печорская плита надвинута на Русскую [Оловянишников, 1998]. В зоне коллизии с Печорской плитой край Русской плиты испытывает тангенциальные (сжатие) и вертикальные напряжения. В этих условиях следующая за краевой областью плиты территория будет воздыматься, ее как бы выдавливает надвигающейся Печорской плитой [Жарков, 2005]. Рассчитанные нами тектонические напряжения – субширотное растяжение и субмеридиональное сжатие (табл. 2), возможно, обусловлены тектоническим давлением со стороны Печорской плиты.

GPS-мониторинг территории [Овчаренко, Баландин, 2009] показал, что горизонтальные движения имеют характерные для Русской платформы направления и скорости смещений, которые составляют около 25–30 мм/год на восток и около 5–

10 мм/год на север. Скорости вертикальных движений в 2–3 раза превосходят горизонтальные. В работах [Копп, 2012; Копп и др., 2014] подтверждается участие горизонтальной компоненты напряжений и разноранговые поля напряжений рассматриваемой площади. Показаны два конкурирующих вида сбросового режима с растяжениями. Сопоставление эпицентров вятских землетрясений с данными об ориентации новейших напряжений показало, что линейно вытянутые эпицентральные зоны тяготеют к сдвигам, преимущественно правым, ВСВ простирания, а также к поперечным по отношению к Вятским дислокациям линеаментам ЗСЗ простирания, которые в поле деформации с ЗСЗ укорочением должны развиваться при растяжении [Копп, 2012]. Такой картине соответствует и определенный нами механизм очага землетрясения – сбросо-сдвиговый. Выявлена динамическая расслоенность новейшего поля напряжений в вертикальном разрезе, отражающая то, что передатчиком тектонического давления по горизонтали является консолидированная кора (к верхней части которой приурочен гипоцентр землетрясения 9 ноября), включающая фундамент. В то же время ее чехол ведет себя пассивно: он практически не участвует в передаче напряжений, более того, гасит глубинные горизонтальные напряжения и трансформирует сжатие в растяжение.

Регистрация сейсмических событий на северо-востоке Русской плиты свидетельствует, что платформенная территория не является сейсмически пассивной. И хотя регистрируемые землетрясения в основном низкомagnitude и верхнекоровые, они отражают современную тектоническую активизацию земной коры.

Выводы.

Авторами статьи для проведения пересчета основных параметров сейсмического события 9 ноября 2002 г. использовалась представительная выборка из 58 станций с эпицентральными расстояниями от 5.9° до 57°. Для 22 станций были собраны волновые формы с записью землетрясения. Полученное решение определено с большой достоверностью и согласуется с данными других сейсмологических служб. Существенно уточнена глубина гипоцентра, согласно которой событие является верхнекоровым. Обоснована тектоническая природа события. Механизм очага землетрясения вычислен нами как сбросо-сдвиговый, что соответствует новейшему полю напряжений данной территории. Проведенные исследования позволяют увязать характер современных сеймотектонических процессов с особенностями строения и состояния земной коры в пределах платформенной литосферы.

Авторы глубоко признательны коллегам из ЕГС РАН гг. Обнинска, Апатит, Воронежа и Перми за предоставленные записи сейсмических событий.

ЛИТЕРАТУРА

Асминг В.Э., Гилёва Н.А., Карпинский В.В. Опыт внедрения системы NSDL в ФИЦ ЕГС РАН // Материалы XIII Международной сейсмологической школы «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных» / Отв. ред. А.А. Маловичко. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. С. 30–34.

Асминг В.Э., Федоров А.В., Прокудина А.В., Евтюгина З.А. Автоматическая система мониторинга региональной сейсмичности NSDL. Принципы построения и некоторые результаты использования // Материалы XII Международной сейсмологической школы «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных» / Отв. ред. А.А. Маловичко. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. С. 33–36.

Габсатарова И.П. Внедрение в рутинную практику подразделений Геофизической службы РАН процедуры вычисления локальной магнитуды // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Обнинск: ГС РАН, 2006. С. 49–53.

Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Мезенская серия. Лист Р-39 (Сыктывкар). Объяснительная записка. СПб.: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2016. 478 с.

Жарков А.М. Строение и перспективы нефтегазоносности Мезенской синеклизы // Геология нефти и газа, 2005. № 1. С. 20–28.

Иванова Е.И., Ландер А.В., Токарев А.В., Чеброва А.Ю., Шевченко С.А. Каталог механизмов очагов землетрясений Камчатки и Командорских островов за период 1980–2007 гг. Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Третьей научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. Обнинск: ГС РАН, 2011. С. 74–79.

Копп М.Л. Вятские дислокации: динамика формирования и выражение в новейшей структуре (Восточно-Европейская платформа) // Геотектоника. 2012. № 6. С. 55–77.

Копп М.Л., Вержбицкий В.Е., Колесниченко А.А., Тверитинова Т.Ю., Васильев Н.Ю., Корчемагин В.А., Мострюков А.О., Иоффе А.И. Новейшее поле напряжений востока Русской плиты и Урала по макро- и мезоструктурным данным // Геотектоника. 2014. № 4. С. 23–43.

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, посвященной 100-летию открытия сейсмических станций «Пулково» и «Екатеринбург». Обнинск: ГС РАН, 2006. С. 77–83.

Малышев Н.А. Тектоника, эволюция и нефтегазоносность осадочных бассейнов Европейского Севера России. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 270 с.

Морозов А.Н., Ваганова Н.В., Асминг В.Э., Михайлова Я.А. Сейсмичность севера Русской плиты: уточнение параметров гипоцентров современных землетрясений // Физика Земли. №2. 2018. С. 104–123. DOI: 10.1134/S1069351318020143

Никонов А.А., Чепкунас Л.С. Сысольское землетрясение 13 января 1939 г. на Русской плите – уточнение параметров, Вопросы инженерной сейсмологии. 2009. Т 36, №4. С. 25–41.

Носкова Н.Н., Асминг В.Э. Уточнение параметров ряда сейсмических событий, произошедших в Воркутинском районе Республики Коми в 1971–2016 гг. // Геофизический журнал, 2018, Т. 19, №4, с. 46–63. DOI: <https://doi.org/10.21455/gr2018.4-4>

Носкова Н.Н., Михайлова Р.С. Республика Коми и Кировская область // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. С. 229–238.

Носкова Н.Н. Землетрясения 22.09.2008 г. и 20.10.2009 г. на северо-востоке Русской плиты // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2019. №1 (289). С. 20–28. DOI: 10.19110/2221-1381-2019-01-20-28

Овчаренко А.В., Баландин Д.В. Оценка скоростей горизонтальных движений геодинамического полигона Кировской области. Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2009. 22 с.

Оловянишников В.Г. Верхний докембрий Тимана и полуострова Канин. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 163 с.

Служба срочных донесений. URL: http://www.ceme.gsras.ru/cgi-bin/new/quake_stat.pl?sta=20021426&l=0 (дата обращения 04.05.2018).

Старовойт О.Е. Сейсмические наблюдения в России // Земля и Вселенная, 2005. № 2. С. 82–89.

Уточнение геологического строения и оценка перспектив нефтегазоносности Казанско-Кажимского авлакогена и его обрамления: Отчет по теме №291 за 2002 г. / ООО «ТП НИЦ – 2»; Инв. №89-02-20/1. Ухта, 2003. 157 с. Отв. исполн. В.И.Богацкий, Б.П.Богданов.

Фёдоров А.В., Асминг В.Э., Евтюгина З.А., Прокудина А.В. Система автоматического мониторинга сейсмичности Европейской Арктики, Сейсмические приборы. 2018. Т. 54, № 1. С. 29–39. DOI: 10.21455/si2018.1-3

Щукин Ю.К. Глубинное строение и динамика земной коры Восточно-Европейской платформы в связи с проблемой ее сейсмичности // Землетрясения северной Евразии в 1995 году / Отв. ред. О.Е. Старовойт. М.: ГС РАН, 2001. С. 143–150.

Щукин Ю.К. Динамическая геология – основа системы наблюдений за природными процессами // 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. С. 117–172.

Bogdanova S. V., Pashkevich I. K., Gorbatshev R., and Orlyuk M. I. Riphean rifting and major Palaeoproterozoic crustal boundaries in the basement of the East European Craton: geology and geophysics. *Tectonophysics*, 1996, v. 268, p. 1–21.

GEOFON Data Centre: GEOFON Seismic Network. Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ. Other/Seismic Network, 1993. <https://doi.org/10.14470/TR560404> Cited May 4, 2018.

Incorporated Research Institutions for Seismology, IRIS/IDA Seismic Network II. URL:<http://dx.doi.org/doi:10.7914/SN/II> Cited May 4, 2018.

International Seismological Centre, Reference Event Bulletin. URL: http://www.isc.ac.uk/cgi-bin/web-db-v4?event_id=6129217&out_format=IMS1.0&request=COMPREHENSIVE Int. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom, 2013. Cited May 4, 2018.

Kennett B.L.N., Engdahl E. R., and Buland R. Constraints on seismic velocities in the Earth from traveltimes. *Geophysical Journal International*, 1995, v. 122(1), p. 108–124. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1995.tb03540.x>

Morozov A.N., Vaganova N.V., Asming V.E., Konechnaya Y.V., and Evtuygina Z.A. The instrumental seismicity of the Barents and Kara sea region: relocated event catalog from early twentieth century to 1989 // *Journal of Seismology*, 2018, v. 22, Issue 5, p. 1171–1209. <https://doi.org/10.1007/s10950-018-9760-y>

Norwegian Seismic Array Network. <https://www.jordskjelv.no/> Cited May 4, 2018.

Ringdal F., and Kvaerna T. A multi-channel processing approach to real time network detection, phase association, and threshold monitoring // *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1989, v. 79, No 6, p. 1927–1940.

Schueller W., Morozov I. B., and Smithson S. B. Crustal and uppermost mantle velocity structure of northern Eurasia along the profile Quartz. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1997, No. 87, p. 414–426.

References

Asming V.E., Gileova N.A., and Karpinskiy V.V., Experience in the implementation of the NSDL system at GS RAS, *Modern Methods for Processing and Interpretation of Seismological Data*, Obninsk: GS RAS, 2018, p. 30–34

Asming V.E., Fedorov A.V., Prokudina A.V., and Evtuygina Z.A., Automatic monitoring system for regional seismicity NSDL. Principles of construction and some results of use, *Modern Methods for Processing and Interpretation of Seismological Data*, Obninsk: GS RAS, 2017, p. 33–36

Gabsatarova I.P., Implementation of the local magnitude calculation procedure into the routine practice of the Geophysical Survey of the RAS, *Modern Methods for Processing and Interpretation of Seismological Data*, Obninsk: GS RAS, 2006, p. 49–53.

State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1000000 (third generation). Mezenskaya series. Sheet P-39 (Syktyvkar). Explanatory note. St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg Kartfabrii VSEGEI, 2016. 478 p.

Zharkov A.M., The structure and petroleum potential of the Mezen syncline, *Oil and Gas Geology*, 2005, No. 1, p. 20–28.

Ivanova E.I., Lander A.V., Tokarev A.V., Chebrova A.Yu., and Shevchenko S.A., Catalog of the focal mechanisms of the earthquakes in Kamchatka and Komandor Islands in 1980–2007, Proc. 3rd Scientific-Technical Conference on the Problems of Integrated Geological-Geophysical Monitoring of the Russian Far East, Petropavlovsk-Kamchatskii, Obninsk: GS RAS, 2011, p. 74–79.

Kopp M.L., The Vyatka deformations in the East European Platform: Formation dynamics and expression in recent structure, *Geotectonics*, 2012, v. 46, No 6, p. 435–454.

Kopp M.L., Kolesnichenko A.A., Ioffe A.I., Verzhbitsky V.E., Vasil'ev N.Y., Korchemagin V.A., Tveritina T.Y., and Mostryukov A.O., Recent stress field in the east of the Russian Plate and the Urals from macro- and mesostructural evidence, *Geotectonics*, 2014, v. 48, No. 4, p. 273–291.

Krasilov S.A., Kolomiets M.V., and Akimov A.P., Organization of Digital Seismic Data Processing Using a Software Package WSG, Materials from International seismological school, dedicated to 100-anniversary foundation of seismic stations “Pulkovo” and “Ekaterinburg”, Obninsk: GS RAS, 2006, p. 77–83.

Malyshev N.A., Tectonics, evolution and oil and gas content of sedimentary basins of the European North of Russia, Ekaterinburg: UB of RAS, 2002, 270 p.

Morozov A.N., Vaganova N.V., Asming V.E., and Mikhailova Ya.A., Seismicity of the North of the Russian Plate: Relocation of Recent Earthquakes, *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, v. 54, No. 2, p. 292–309.

Nikonov A.A., and Chepkunas L.S., The Sysol earthquake on January 13, 1939 on Russian Plate – new approach, *Engineering seismology issues*, 2009, v. 36, No. 4, p. 25–41.

Noskova N.N., and Asming V.E., Update of parameters of some seismic events in the Vorkuta area within 1971–2016, *Geophysical Journal*, 2018, v. 19, No. 4, p. 46–63. DOI: <https://doi.org/10.21455/gr2018.4-4>

Noskova N.N., and Mikhailova R.S., Republic of Komi and Kirov region, Earthquakes of the Northern Eurasia, 2011, Obninsk: FRC UGS of RAS, 2017, p. 229–238.

Noskova N.N., Earthquake 22.09.2008 and 20.10.2009 in the northeast of the Russian plate, *Vestnik IG Komi SC UB RAS*, January, 2019, No. 1, p. 20–28. DOI: 10.19110/2221-1381-2019-01-20-28

Ovcharenko A.V., and Balandin D.V., Estimation of the speeds of horizontal movements of the geodynamic test site of Kirov region, Ekaterinburg: IGF UB of RAS, 2009, 22 p.

Olovyanishnikov V.G., Upper Precambrian of Timan and Kanin Peninsula, Ekaterinburg: UB of RAS, 1998, 163 p.

Service of urgent reports Geophysical Survey of RAS. URL: http://www.ceme.gsras.ru/cgi-bin/new/quake_stat.pl?sta=20021426&l=0

Starovoit O.E., Seismic observations in Russia, *Zemlya i Vselennaya*, 2005, No. 2, p. 82–89.

Clarification of the geological structure and assessment of the prospects for the oil and gas potential of the Kazan-Kazhinsky aulacogen and its framing: Report on the topic No. 291 for 2002 / OOO «TP NITS – 2»; Inv. №89-02-20/1, Ukhta, 2003, 157 p. Ed. performers V.I. Bogatsky, B.P. Bogdanov.

Fedorov A.V., Asming V.E., Evtugina Z.A., and Prokudina A.V., System of autonomous seismic monitoring in European Arctic, *Seismic instruments*, 2018, v. 54, No. 1, p. 29–39.

Shchukin Yu.K., Deep structure and dynamics of the Earth's crust of the East European Platform in relation to the problem of its seismicity, *North Eurasia Earthquakes in 1995*, Ed. Starovoit O.E, Moscow: GS RAS, 2001, p. 143–150.

Shchukin Yu.K., Dynamic geology: a basis of the system for monitoring the natural processes, The Earthquakes and Microseismicity in the Problems of Recent Geodynamics of the East European Platform, Eds. Sharov N.V., Malovichko A.A., and Shchukin Yu.K., v. 1: Earthquakes, Petrozavodsk: Karel'skii nauchnyi tsentr RAN, 2007, p. 117–172.

Bogdanova S. V., Pashkevich I. K., Gorbatshev R., and Orlyuk M. I. Riphean rifting and major Palaeoproterozoic crustal boundaries in the basement of the East European Craton: geology and geophysics. Tectonophysics, 1996, v. 268, p. 1–21.

GEOFON Data Centre: GEOFON Seismic Network. Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ. Other/Seismic Network, 1993. <https://doi.org/10.14470/TR560404> Cited May 4, 2018.

Incorporated Research Institutions for Seismology, IRIS/IDA Seismic Network II. URL: <http://dx.doi.org/doi:10.7914/SN/II> Cited May 4, 2018.

International Seismological Centre, Reference Event Bulletin. URL: http://www.isc.ac.uk/cgi-bin/web-db-v4?event_id=6129217&out_format=IMS1.0&request=COMPREHENSIVE Int. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom, 2013. Cited May 4, 2018.

Kennett B.L.N., Engdahl E. R., and Buland R. Constraints on seismic velocities in the Earth from traveltimes. Geophysical Journal International, 1995, v. 122(1), p. 108–124.

Morozov A.N., Vaganova N.V., Asming V.E., Konechnaya Y.V., and Evtyugina Z.A. The instrumental seismicity of the Barents and Kara sea region: relocated event catalog from early twentieth century to 1989 // Journal of Seismology, 2018, v. 22, Issue 5, p. 1171–1209.

Norwegian Seismic Array Network. <https://www.jordskjelv.no/> Cited May 4, 2018.

Ringdal F., and Kvaerna T. A multi-channel processing approach to real time network detection, phase association, and threshold monitoring // Bulletin of the Seismological Society of America, 1989, v. 79, No 6, p. 1927–1940.

Schueller W., Morozov I. B., and Smithson S. B. Crustal and uppermost mantle velocity structure of northern Eurasia along the profile Quartz. Bulletin of the Seismological Society of America, 1997, No. 87, p. 414–426.

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

Рис. 1. Фрагменты записей вертикальной компоненты землетрясения 9 ноября 2002 г., расположенные по времени прихода первой фазы

Рис. 2. Расположение сейсмостанций, участвующих в уточнении локации землетрясения 9 ноября 2002 г. 1 – сейсмическая станция, код; 2 – положение эпицентра, полученного в программе NAS

Рис. 3. Положение эпицентра землетрясения 9 ноября 2002 г. по данным разных сейсмологических центров: 1, 2 – инструментальный эпицентр из настоящей статьи и других сейсмологических служб соответственно

Рис. 4. Схематическая карта тектонического районирования поверхности фундамента Кировско-Кажимского авлакогена и его обрамления [Уточнение..., 2003] с эпицентрами землетрясений [Носкова, Михайлова, 2017]. 1–3 – границы структур: 1 – надпорядковых, 2 – первого порядка, 3 – второго порядка; 4, 5 – эпицентры землетрясений: 4 – инструментальных, 5 – исторических

Табл. 1. Бюллетень землетрясения 9 ноября 2002 г.

Код	Станция Международное название, страна	Широта (°)	Долгота (°)	Расстояние (°)	Азимут (°)	P-волна чч:мм:сс.с	S-волна чч:мм:сс.с	Международный сейсмологически й центр (ISC)	Данная работа
AMD	Amderma, Russia	69.7607	61.6782	11.0	22.1	06:49:51.30	06:51:49.71	–	+
APA	Apatity, Russia	67.5690	33.4050	10.4	323.3	06:49:44.70	06:51:37.50	+	
APA0	Apatity Array Site A0, Russia	67.6061	32.9923	10.6	323.3	06: 49:46.55	06:51:39.87	+	+
ARA0	ARCESS Array Site A0, NORSAR, Norway	69.5349	25.5059	13.9	323.4	06:50:30.47	06:52:57.69	+	+
ARC2	ARCESS Array Site C2, NORSAR, Norway	69.5383	25.5228	13.9	323.4	06:50:30.93	06:52:58.40	–	+
ARE0	ARCESS Array Site E0, NORSAR, Norway	69.5348	25.5056	13.9	323.4	06:50:30.90	–	+	+
ARHR	Arkhangelsk, Arkhangel'skaya Oblast', Russia	64.5505	40.5148	6.3	321.0	–	06:49:58.02	–	+
ARU	Arti, Sverdlovskaya Oblast', Russia	56.4293	58.5615	5.8	123.2	06:48:43.10	06:49:45.84	+	+
BGCA	Bogoin, Central African Republic	5.1761	18.4242	57.1	216.7	06:57:19.10	–	+	+
BRVK	Borovoye, Kazakhstan	53.0581	70.2828	13.2	112.3	06:50:21.17	06:52:39.71	+	+
CLL	Collm, Sachsen,Germany	51.3076	13.0026	22.0	263.0	06:52:14.00	06:56:06.00	+	+
DOMB	Dombas, Norway	62.0423	9.0641	19.4	293.3	06:51:42.11	–	+	+
DPC	Dobruska-Polom, Czech Republic	50.3501	16.3221	20.9	257.4	06:52:04.10	–	+	+
EIL	Elat, Israel	29.6698	34.9511	31.5	204.5	06:53:41.05	–	+	+

FIA0	FINESS Array Site A0, Finland	61.4436	26.0771	11.6	287.5	06:49:58.47	06:52:02.69	+	+
FIC1	FINESS Array Site C1, Finland	61.4384	26.0596	11.6	287.5	06:49:58.59	06:52:03.36	-	+
HFC2	Hagfors New Array Site C2, Sweden	60.1334	13.6945	17.7	286.3	06:51:20.20	06:54:28.47	-	+
HFS	Hagfors, Sweden	60.1334	13.6945	17.7	285.8	06:51:18.55	06:54:26.68	+	+
ILAR	Eielson Array, Alaska, U.S.A.	64.7713	-146.8866	52.7	8.6	06:56:48.11	-	+	+
INK	Inuvik, Canada	68.3065	-133.5254	50.0	1.5	06:56:25.92	-	+	+
KAF	Kangasniemi, Finland	62.1128	26.3061	11.5	290.2	06:49:57.30	-	+	+
KEV	Kevo, Finland	69.7553	27.0067	13.6	325.1	06:50:26.80	-	+	
KHC	Kasperske Hory, Czech Republic	49.1309	13.5782	23.1	258.0	06:52:21.20	-	+	+
KIV	Kislovodsk, Stavropol'skiy Kray, Russia	43.9553	42.6863	16.5	198.0	06:51:05.23	06:53:58.86	+	+
KK31	Karatay Array, Kazakhstan	43.1034	70.5115	20.9	133.8	06:52:02.23	-	+	+
KONO	Kongsberg, Norway	59.6491	9.5982	19.8	286.2	06:51:41.21	06:55:32.76	+	+
KSP	Ksiaz, Poland	50.8428	16.2931	20.7	258.4	06:52:02.00	-	+	+
KTK1	Kautokeino, Norway	69.0117	23.2371	14.4	319.6	06:50:35.18	06:53:11.91	+	+
KURK	Kurchatov, Kazakhstan	50.7154	78.6202	18.6	106.7	06:51:32.98	06:54:49.03	+	+
LOF	Lofoten, Norway	68.1310	13.5420	17.4	312.5	06:51:22.43	-	+	+
LVZ	Lovozero, Karel'skaya Oblast', Russia	67.8979	34.6514	10.3	326.8	06:49:43.03	06:51:33.51	+	+
MK31	Makanchi Array, Kazakhstan	46.7937	82.2904	23.0	110.2	06:52:22.99	-	+	+

MKAR	Makanchi Array Beam Reference Point, Kazakhstan	46.7936	82.2903	23.0	110.2	06:52:21.57	–	+	+
MLR	Muntele Rosu, Romania	45.4908	25.9450	20.1	234.5	06:51:51.08	–	+	+
MNK	Minsk, Belarus	54.5021	27.8833	12.9	254.0	06:50:19.00	–	+	+
MOL	Molde, Norway	62.5700	7.54800	20.0	295.3	06:51:49.95	–	+	+
MOR8	Moi Rana, Norway	66.1713	14.4411	16.8	306.1	06:51:09.56	–	+	+
MORC	Moravsky Beroun, Czech Republic	49.7768	17.5425	20.7	255.2	06:52:01.22	06:55:41.37	–	+
MOS	Moscow, Moskovskaya Oblast', Russia	55.7383	37.6250	7.7	241.8	06:49:07.49	06:50:31.64	+	+
NAO01	NORSAR Array Site 01A01, Norway	60.8442	10.8865	18.9	289.6	06:51:35.94	06:54:54.90	+	+
NOA	NORSAR Array, Norway	61.0397	11.2147	18.9	289.6	06:51:30.14	06:54:50.50	+	+
NSS	Namsos, Norway	64.5300	11.9670	17.8	300.5	06:51:21.94	–	+	+
NUR	Nurmijarvi, Finland	60.5090	24.6490	12.4	282.7	06:50:09.30	–	+	+
OBN	Obninsk, Russia	55.1138	36.5687	8.5	241.2	06:49:22.10	06:50:52.75	+	+
OJC	Ojcow, Poland	50.2195	19.7984	19.4	252.9	06:51:43.70	06:55:08.80	+	+
PRU	Pruhonice, Czech Republic	49.9883	14.5417	22.0	258.6	06:52:17.40	–	+	+
PSZ	Piszkesteto, Hungary	47.9184	19.8944	20.9	248.4	06:52:02.84	06:55:42.31	+	+
PUL	Pulkovo, Russia	59.7728	30.3222	9.7	277.3	06:49:32.49	06:51:17.84	+	+
SPA0	Spitsbergen Array Site A0, NORSAR, Norway	78.1777	16.3700	21.0	341.7	06:52:02.86	06:55:46.21	+	+
SUW	Suwalki, Poland	54.0125	23.1808	15.5	258.6	06:50:53.03	–	+	+

SVE	Sverdlovsk, Sverdlovskaya Oblast', Russia	56.8271	60.6319	6.5	114.7	06:48:52.70	–	+	
TRO	Tromso, Norway	69.6325	18.9281	16.0	319.4	06:50:59.08	–	+	+
VOR	Voronezh, Russia	51.7311	39.2000	10.1	219.3	06:49:42.00	–	+	
VRAC	Vranov, Czech Republic	49.3082	16.5935	21.5	254.9	06:52:08.34	–	+	+
VRSR	Storozhevoye, Russia	51.2150	39.1900	10.5	218.7	06:49:45.18	06:51:39.01	+	+
ZAL	Zalesovo, Altayskiy Kray, Russia	53.9366	84.7981	19.7	92.4	06:51:46.17	–	+	+
ZRNK	Zerenda, Kazakhstan	52.9508	69.0041	12.7	115.3	06:50:14.28	06:52: 27.52	+	+
CHKZ	Chkalovo, Kazakhstan	53.6761	70.6152	12.9	110.1	06:50:17.77	06:52:32.45	+	+

Табл. 2. Параметры механизма очага землетрясения 9 ноября 2002 г.

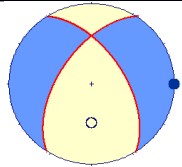
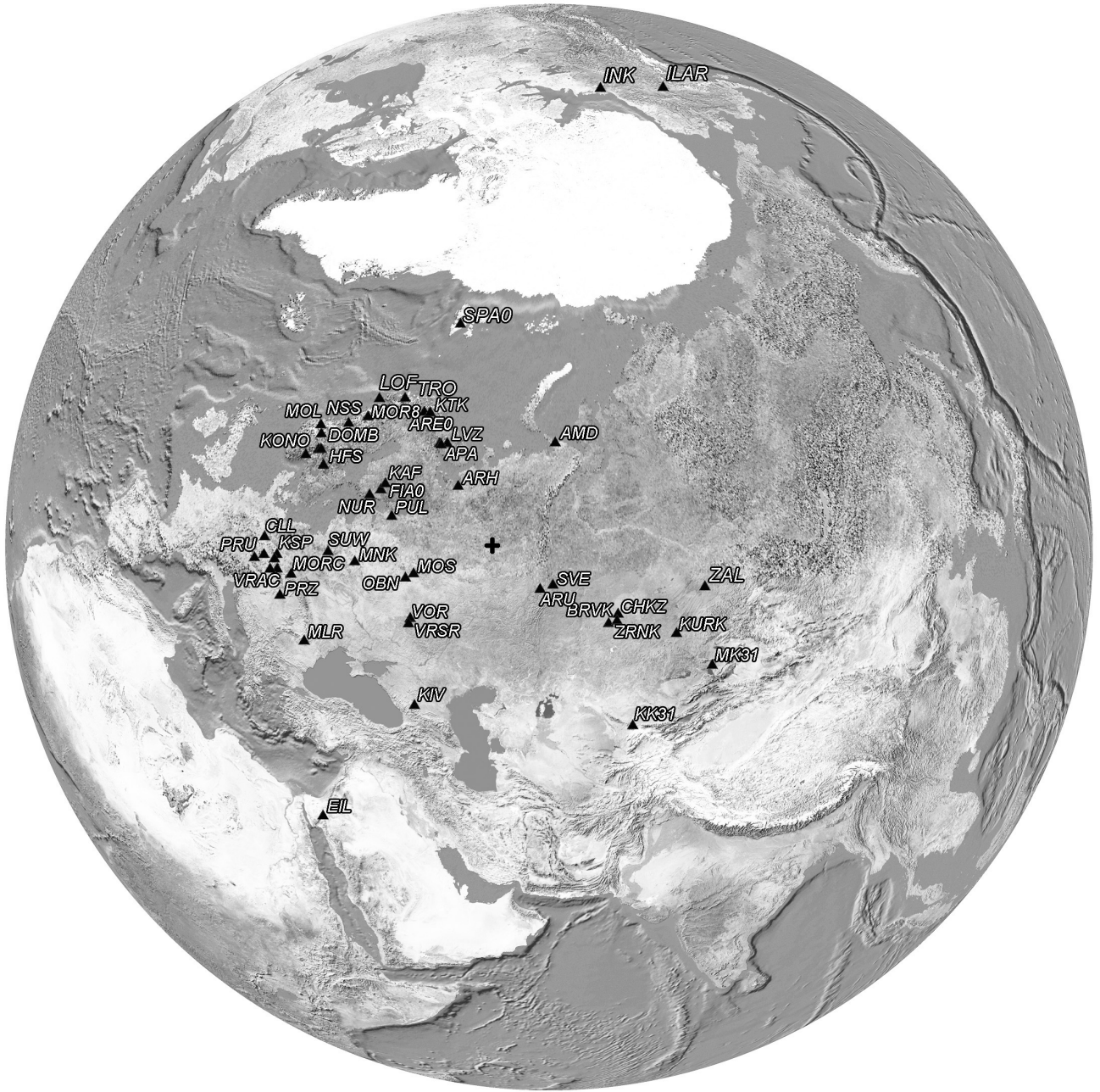
t_0 чч:мм:с	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Диаграмма (Double Couple)
	T		N		P		NP1			NP2			
	PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP	
06:47:17	0	90	40	0	50	180	327	57	-140	213	57	-40	

Табл. 3. Основные параметры землетрясения 9 ноября 2002 г. в 06^h47^m по данным различных сейсмологических центров и служб

Агентство	t_0 , ч мин с	Гипоцентр			Эллипс ошибок		Магнитуда
		ϕ° , N	λ° , E	h , км	S_{maj}	S_{min}	
наст. ст., уточнение	06:47:17. 9	59.93	49.7 6	16	10.7	7.7	$M_s=3.4/5$
ЕГС РАН, Обнинск (OBGSR) http://www.ceme.gsras.ru/	06:47:15. 3	60.35	50.1 7	40			$m_b=3.6/3$
IRIS http://ds.iris.edu/	06:47:13	60.10	49.6 0	23.3			$m_b=4.1$
EMSC http://www.webdc.eu	06:47:12	60.16	49.8 2	2			$m_b=4.1$
USGS http://www.webdc.eu	06:47:13	59.87	49.9 8	10			$m_b=4.1$
BER http://www.isc.ac.uk/	06:47:12. 8	59.72	49.6 9	16	0.4	0.2	
NEIC http://www.isc.ac.uk/	06:47:13. 9	59.87	49.9 7	10f	12.3	6.9	$m_b=4.1$
MOS http://www.isc.ac.uk/	06:47:14. 1	60.07	49.7 2	33	11.7	8.6	$m_b=4.1$
IDC http://www.isc.ac.uk/	06:47:14. 6	59.83	49.7 5	0f	20.5	14.4	$m_b=3.8$
NNC http://www.isc.ac.uk/	06:47:25. 8	60.38	52.3 6		88.4	12.4	
ISC http://www.isc.ac.uk/	06:47:13. 7	60.10	49.6 0	23	7.4	5.1	$m_b=3.8$
NORSAR (reviewed regional bulletin November 2002) http://www.norsardata.no	06:47:20. 5	60.12	49.11	7	0.4	0.2	3.97/4
NORSAR (GBF Bulletins – 2002) http://www.norsardata.no	06:47:12	59.48	49.2 4				3.97/4

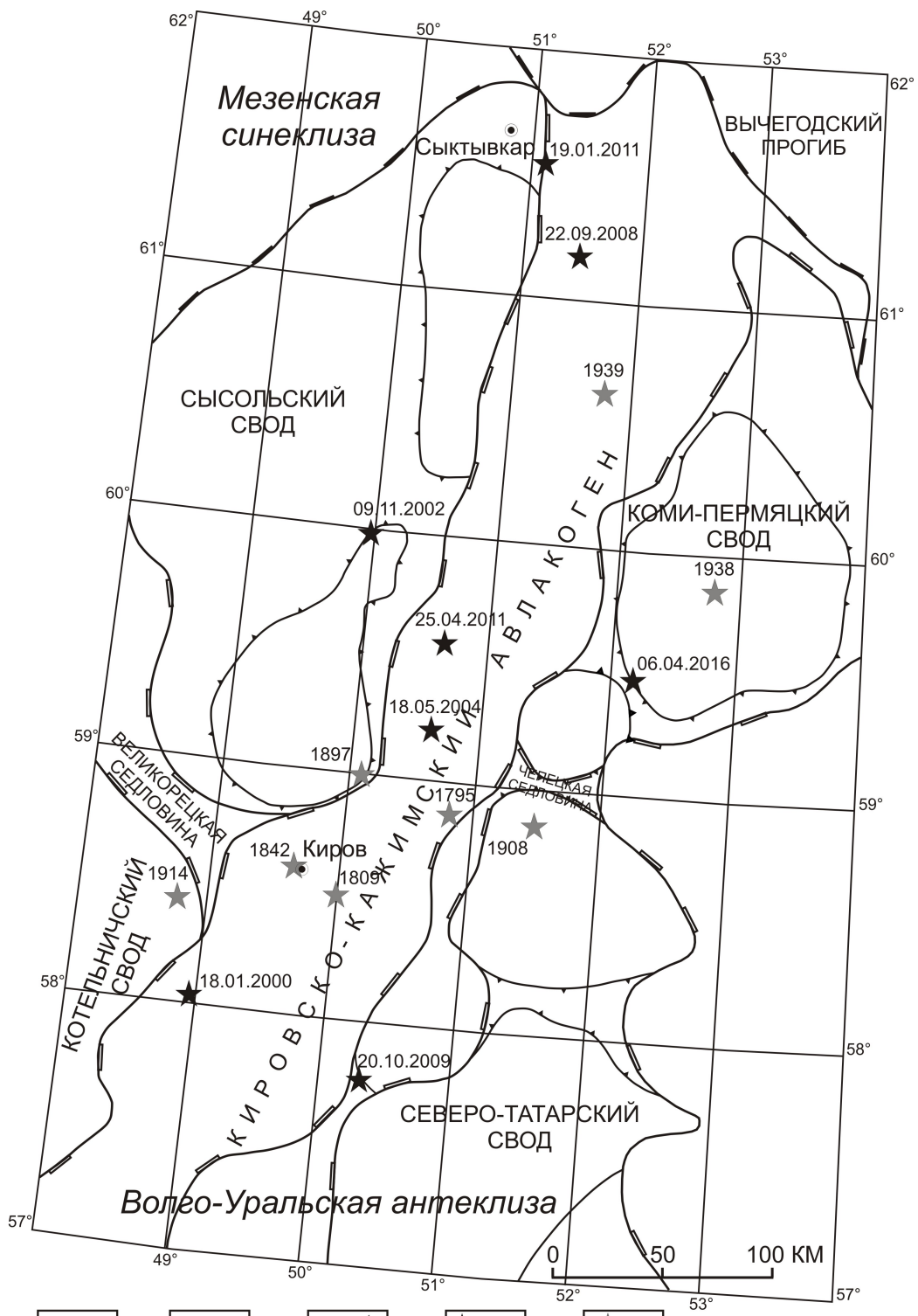
*f – фиксированная глубина



▲ MOS 1

+ 2





- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

