

НИКОЛЬСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 31 марта 2000 года

с $K_p=10.8$, $I_0=5$ (Воронежская область)

Л.И. Надёжка¹, И.Н. Сафронич¹, С.П. Пивоваров¹, И.П. Габсатарова²,

Р.С. Михайлова², Е.А. Бабкова²

¹Воронежский государственный университет, г. Воронеж, nadezhka@geophys.vsu.ru

²Геофизическая служба РАН, г. Обнинск, ira@gsras.ru

31 марта 2000 г. в 09^h39^m в Воронежской области примерно в 17–19 км восточнее городов Воробьевка и Калач зарегистрировано ощутимое землетрясение с $K_p=10.8$ [1] и интенсивностью 5 баллов по шкале MSK-64 [2]. Название ему дано по ближайшему к эпицентру селу Никольское. По своей энергии оно существенно для всей Восточно-Европейской платформы. Запись землетрясения (рис. 1) получена на всех трех сейсмических станциях ВКМ: двух цифровых – «Сторожевое» (VRSR), «Дивногорье» (VORD), и одной аналоговой – «Воронеж» (VOR).

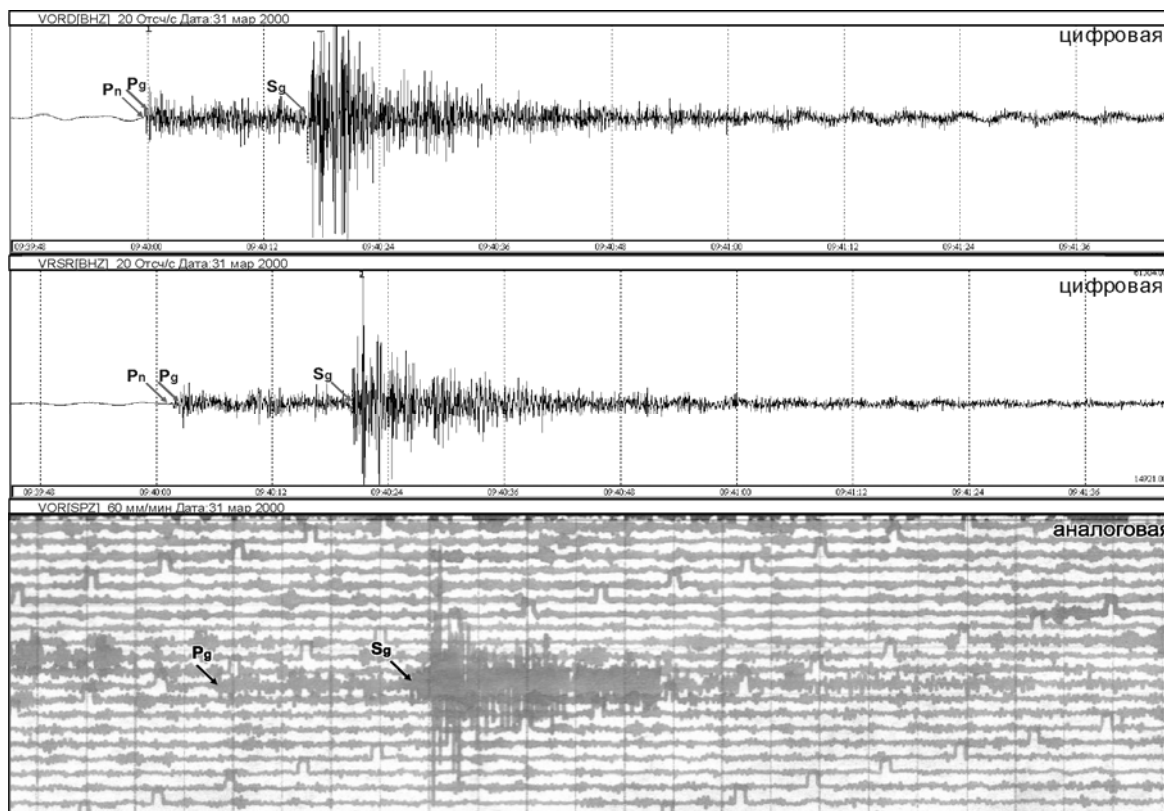


Рис. 1. Z-компоненты записи Никольского землетрясения станциями «Дивногорье», «Сторожевое» и «Воронеж»

Как видно, цифровые записи имеют классическую форму с хорошо выраженными группами продольных и поперечных волн, довольно четко выделяются в первых вступлениях волны P_n и P_g . Вступления продольных волн на аналоговой станции из-за малого ($V_{\max}=5000$) увеличения нечеткие. Знак первого движения виден на цифровых записях, он положительный, что соответствует волне сжатия.

Группа поперечных S -волн выделяется на всех станциях по всем каналам через 17–20 с после первого вступления P -волн. Наиболее представительной в этой группе является интен-

сивная волна S_g , вступление которой четко выделяется даже на записях вертикальной компоненты всех станций (рис. 1). В записи поперечных волн выделяются также обменные и отраженные волны.

Поверхностная волна R_g на рис. 2 практически не выделяется, хотя на записях массовых химических взрывов в промышленных карьерах она является наиболее интенсивной и присутствует всегда (с периодом около 2 с). Отсутствие поверхностных волн на записях Никольского землетрясения свидетельствует о его тектонической природе. В целях сравнительного сопоставления на рис. 2 показаны цифровые записи на станции «Сторожевое» взрыва из карьера Павловский и Никольского землетрясения (нефильтрованная и фильтрованная в полосе 0.3–1 Гц). На нефильтрованной записи вертикальной компоненты взрыва (рис. 2а, верхние три сейсмограммы) видно, что они обогащены низкими частотами, а после фильтрации в полосе 0.3–1 Гц отчетливо видна нормальная дисперсия в волне R_g для периодов от 1.5 до 3.2 с. Для взрыва максимум записи имеет место на вертикальной компоненте в волне R_g , для землетрясения – на горизонтальной компоненте N–S и относится к поперечной волне $S_g(L_g)$.

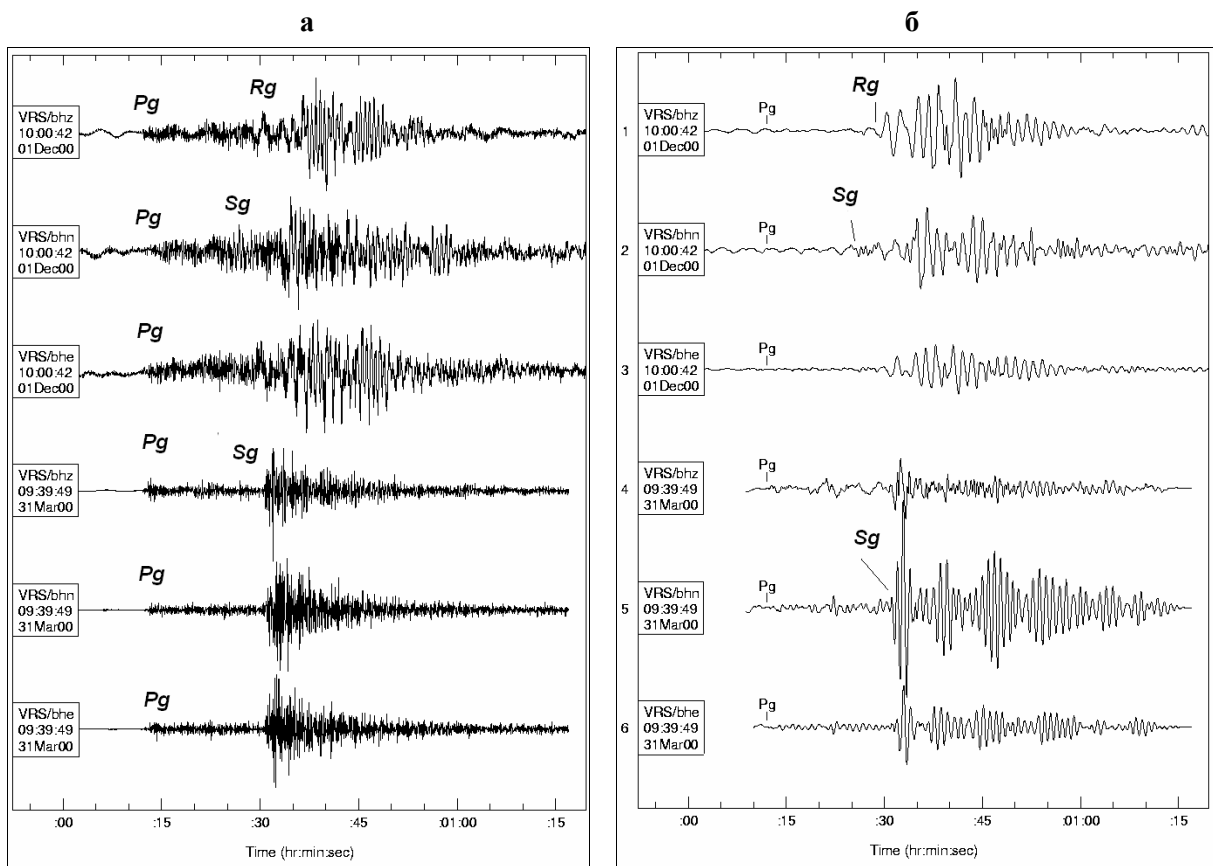


Рис. 2а, б. Сравнение записей не фильтрованных (а) и фильтрованных в полосе частот 0.3–1 Гц (б) станций «Сторожевое» взрыва 1 декабря (в Павловском карьере) и Никольского землетрясения 31 марта

Спектры взрыва и землетрясения по этим записям изображены на рис. 3, откуда видна заметная их разница: спектр Никольского землетрясения обогащен высокими частотами, в спектре взрыва преобладают низкочастотные колебания.

На рис. 4 приведена стандартная для ВКМ обработка землетрясения. Для локации использовались пары волн P_g и S_g по названным выше трем станциям. Волны P_n в расчет не включались из-за трудностей их выделения на аналоговой записи. В результате были получены следующие координаты инструментального эпицентра: $\varphi=50.60^\circ\text{N}$, $\lambda=41.19^\circ\text{E}$. Магнитуда $MPSP$, рассчитанная по P -волнам указанных станций, равна 3.1, глубина очага по данным ВКМ составила $h=5$ км.

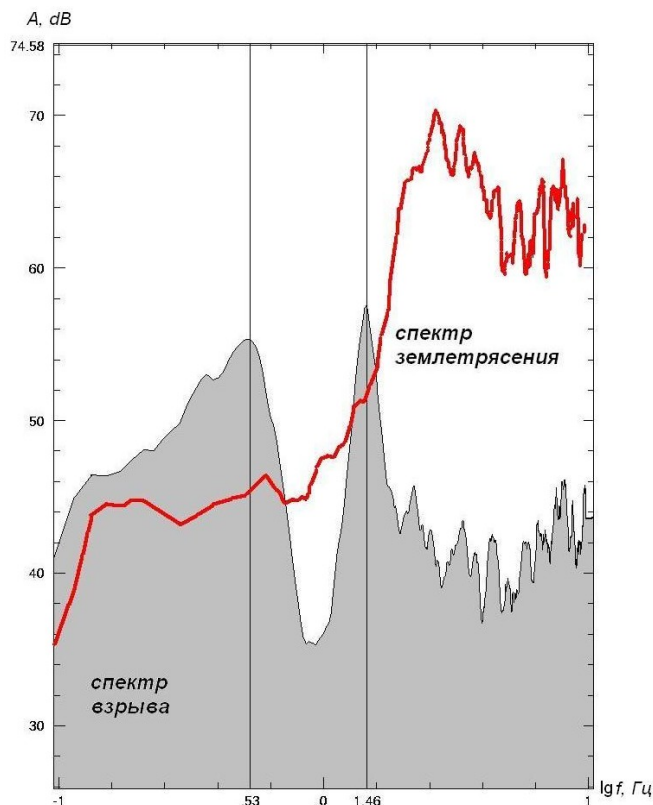


Рис. 3. Сравнение амплитудных спектров смещения Никольского землетрясения 31 марта и взрыва в Павловском карьере 1 декабря 2000 г. по записи станцией «Сторожевое» в окне 50 с, построенных программой Geotool

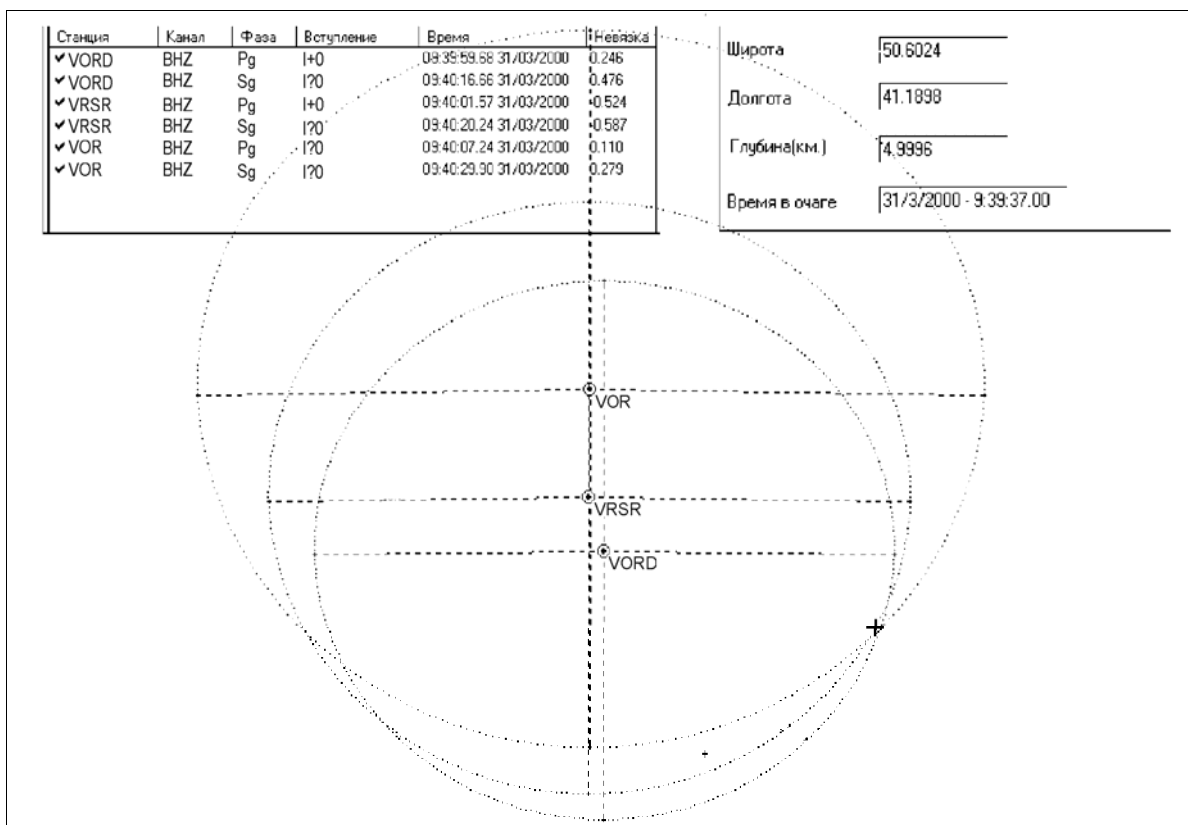


Рис. 4. Система засечек по трем станциям ВКМ для локация Никольского землетрясения (использована программа WSG)

Параметры Никольского землетрясения были независимо определены также сейсмологическими центрами EIDC (Международным центром данных [3], Австрия, Вена), HEL (Институтом сейсмологии Хельсинского университета [4], Финляндия, Хельсинки), ISC (Международным сейсмологическим центром [5], Великобритания, Berkshire). Кроме того, в Обнинске в ИОЦ была произведена стандартная сводная обработка данных при производстве Оперативного сейсмологического бюллетеня [6], предусматривающая получение параметров гипоцентров с использованием первых вступлений *P*-волн и обобщенного годографа Джеффриса-Буллена [7]. Все эти данные представлены в табл. 1. На рис. 5 показано положение эпицентров землетрясения по данным этих центров и локальной сети ВКМ. Ближе всех к локальному эпицентру расположен эпицентр EIDC, остальные три удалены к северу.

Таблица 1. Основные параметры Никольского землетрясения по данным ВКМ в сопоставлении с определениями других агентств

Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр					Магнитуда	Сеть			
			φ°, N	$\delta\varphi^\circ$	λ°, E	$\delta\lambda^\circ$	h , км		n стан- ций	Min dist, °	Max dist, °	GAP
Воронеж макросейсм. эпицентр	09:39:37		50.60 50.56		41.19 41.25		5f	$MPSP=3.06$	3			
MOS	09:39:31.60	1.98	51.022	0.23	41.8130	0.11	10f	$MPSP=4.0/1$	9	1.53	20.15	184°
ISC	09:39:33.45	1.10	50.881	0.29	41.223	0.13	10f		16	1.53	20.15	184°
HEL	09:39:45.50	1.60	51.13	0.21	40.784	0.14	10f	$ML=3.6/7$	11	12.6	17.86	329°
REB EIDC	09:39:32.56	8.29	50.5278		41.0268		0f	$ML=3.8/3, m_b=3.9/1$	4	13.73	20.46	328°
По 18 с/ст	09 39 37.25	0.60	50.835	0.11	41.224	0.08	10f	$K_p=10.8/2, MPSP=4.0/2$				

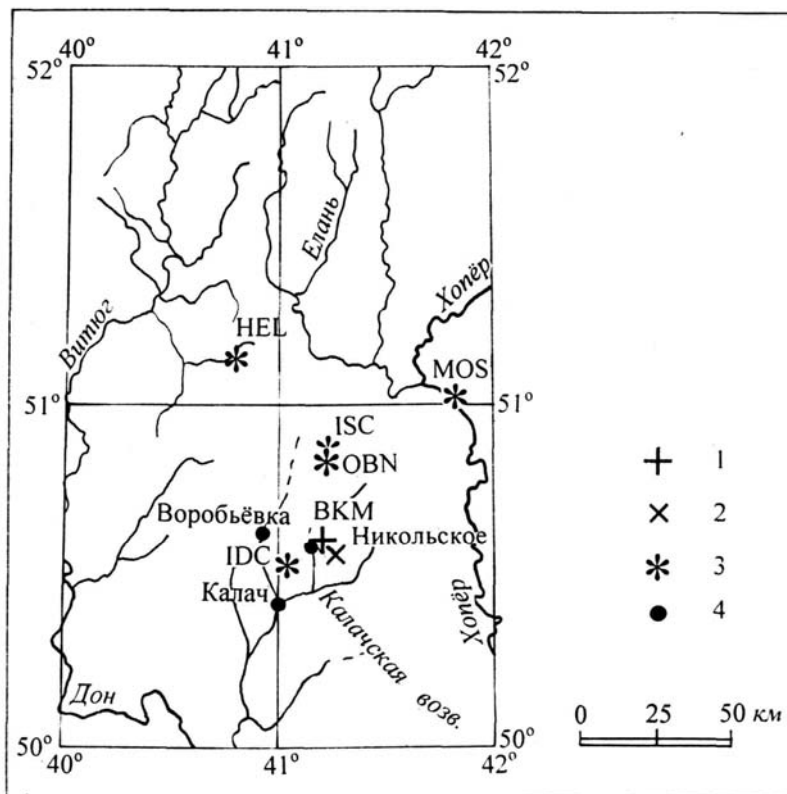


Рис. 5. Сопоставление решения эпицентра землетрясения 31 марта по данным сети сейсмических станций ВКМ с решениями других агентств

1, 2 – эпицентр, инструментальный и макросейсмический соответственно; 3 – эпицентр по данным других агентств; 4 – населенный пункт.

Следует заметить, что глубина очага по данным этих агентств, практически, не определяется, а принимаются фиксированные (f) значения, равные 0 или 10 км (табл. 1), что естественно при таком расположении станций. Известно, что когда нет данных станции, близко (30–50 км) расположенной к эпицентру, то фокальная глубина и не может быть сколько-нибудь достоверно определена при использовании только первых вступлений.

Разброс данных послужил причиной проведения работ по уточнению основных параметров исследуемого землетрясения. Кроме того, предполагалось, что введение в обработку дополнительных вторичных фаз, включающих продольные и поперечные волны на региональных расстояниях, может улучшить ситуацию статистического анализа данных и позволит получить некоторую оценку глубины очага. На рис. 6а, б показаны трехкомпонентные записи на станциях «Обнинск» и «Кисловодск».

Для уточнения локации была выбрана программа LocSat [8] с использованием годографа IASPEI 91 [9]. Программа LocSat позволяет производить локацию очага с применением уверенно выделяемых вторичных фаз Pg , Sn , Lg на региональных расстояниях.

Дополнительно были собраны фрагменты цифровых записей станций европейских государств, размещаемые на информационных сайтах центров: ORFEUS-Нидерланды – <http://orfeus.knmi.nl/>, GEOPHON-Германия – http://www.gfz-potsdam.de/geofon/new/wf_get.html, и по запросу из EIDC СТВТО-Австрия. Оказалось, что, несмотря на небольшую магнитуду, землетрясение зарегистрировано 18 станциями на различных расстояниях (рис. 7), среди которых 10 станций расположены на Скандинавском полуострове, 6 станций Геофизической службы РАН – на Русской платформе и Северном Кавказе, 2 станции национальной сети Польши. Окончательно сформированная «виртуальная» сеть имела ближайшие станции, расположенные примерно в 140 км от эпицентра («Сторожевое», Россия), а наиболее удаленную – высокочувствительная группа ARCES, Норвегия, эпицентральное расстояние – примерно 20°. Параметры Никольского землетрясения по данным «виртуальной» сети приведены в нижней строке табл. 1 и на рис. 5 (OBN), откуда видно, что «виртуальный» эпицентр смещен к северу от локального эпицентра ВКМ и, главное, от макросейсмического, потому не может быть использован для анализа. Тем не менее полученная информация полезна для дальнейших наблюдений сейсмичности территории ВКМ. И, прежде всего, это касается новой оценки энергии землетрясения на уровне $K_p=10.8$, характеризующей достаточно высокий современный сейсмический потенциал этой части Восточно-Европейской платформы.

Макросейсмические данные были собраны, к сожалению, лишь в октябре 2001 г., т.е. 1.5 года спустя. Причиной столь длительной задержки обследования явилось отсутствие какой-либо официальной информации о макросейсмической ощутимости этого землетрясения по данным МЧС и административных органов районных центров городов Калач и Воробьевка, на границе которых произошло это землетрясение.

Тем не менее удалось найти немало очевидцев этого события. При этом многие описывали его так, как будто оно произошло совсем недавно. Следует заметить, что некоторые очевидцы – переселенцы из Средней Азии и Украины. Они уже имели опыт ощущения сейсмической сотрясаемости. Сбор данных проводился с использованием стандартных листов опроса. Опрос проводился в девяти населенных пунктах (г. Калач и восьми селах), где постройки, как правило, одноэтажные, деревянные, обложенные кирпичом. Всего было опрошено около 100 очевидцев (у прохожих на улицах, в сельских администрациях, школах, на почте, в магазинах и в отдельных домах). Все они однозначно указывают на то, что землетрясение произошло в обеденный перерыв, что хорошо согласуется со временем в очаге [1]. Балльность определялась по международной шкале MSK-64 [2] в соответствии с описанием макросейсмических эффектов. В сложных неоднозначных случаях значение балльности определялось как среднее по нескольким свидетельствам.

Наиболее сильные сотрясения отмечены в с. Краснополье, особенно на двух его улицах – Ленинской и Советской. Все очевидцы описывают, что слышали гул и почувствовали короткий горизонтальный толчок. Некоторые из них отметили даже направление движения, близкое к северному, причем интенсивность толчка, по описанию одного очевидца, сравнивалась с «врезанием в дом тяжелого грузовика». Большинство людей с ул. Ленинской выбежали на улицу. По их словам, они подумали, что взорвался резервуар с газом. Все очевидцы указывали на качание люстр, звон посуды и перемещение не закрепленных легких предметов. Некоторые

обратили внимание на то, что качался их дом. Произошедшее событие обсуждали всем селом, но решили, что это было «транзитное» землетрясение, поскольку местных ранее не было. Именно по этой причине и не сообщили в соответствующие инстанции. Наиболее сильные сотрясения отмечены в южной половине села Краснополье, в другой половине землетрясение ощутили лишь отдельные лица, находившиеся в покое. Так, отдыхавший на кровати пожилой человек рассказал, как его «вдруг подбросило на кровати». На основе этих данных интенсивность сотрясений в этом селе оценивается в $I=5$ баллов.

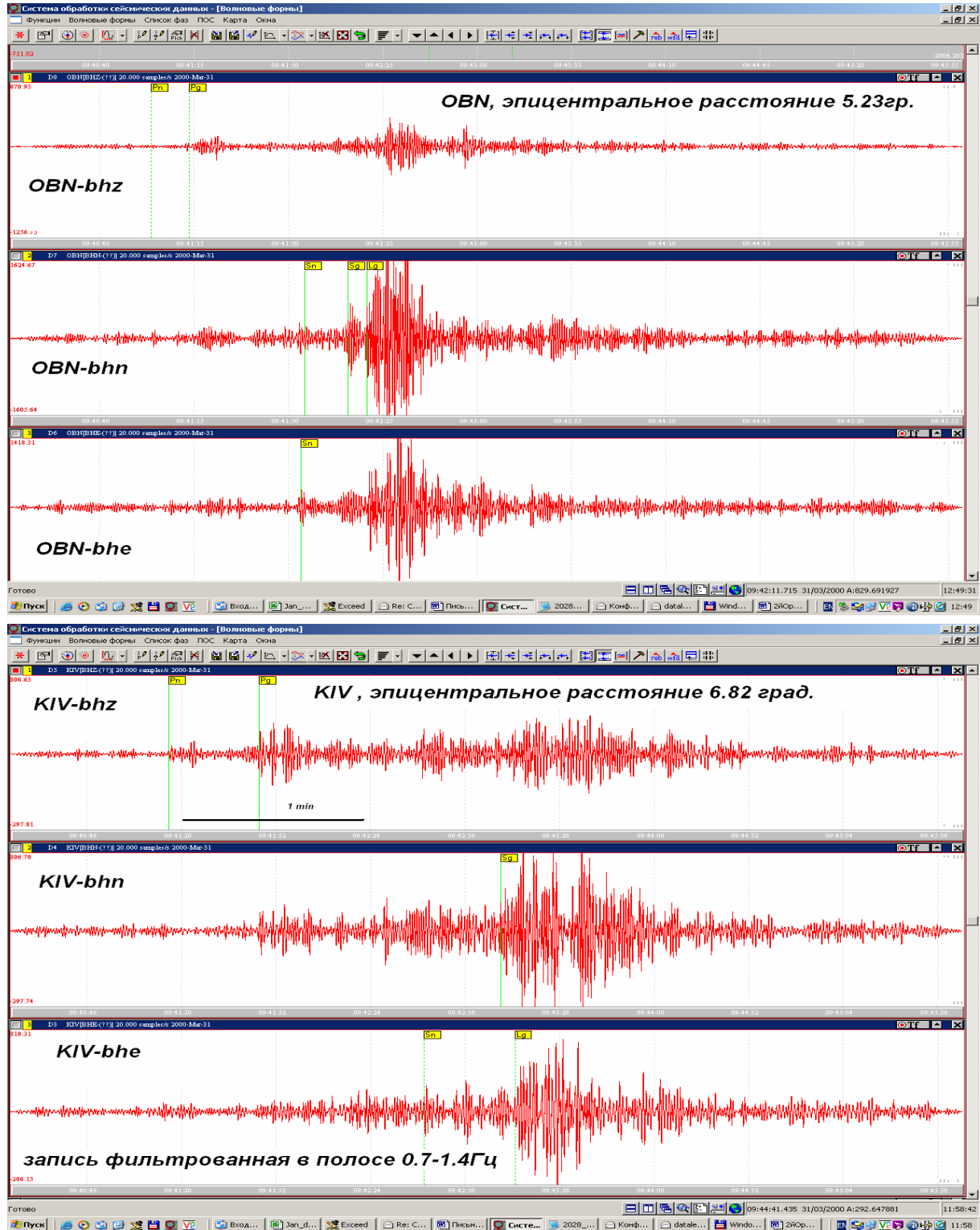


Рис. 6. Цифровые записи Никольского землетрясения на станциях «Обнинск» и «Кисловодск»

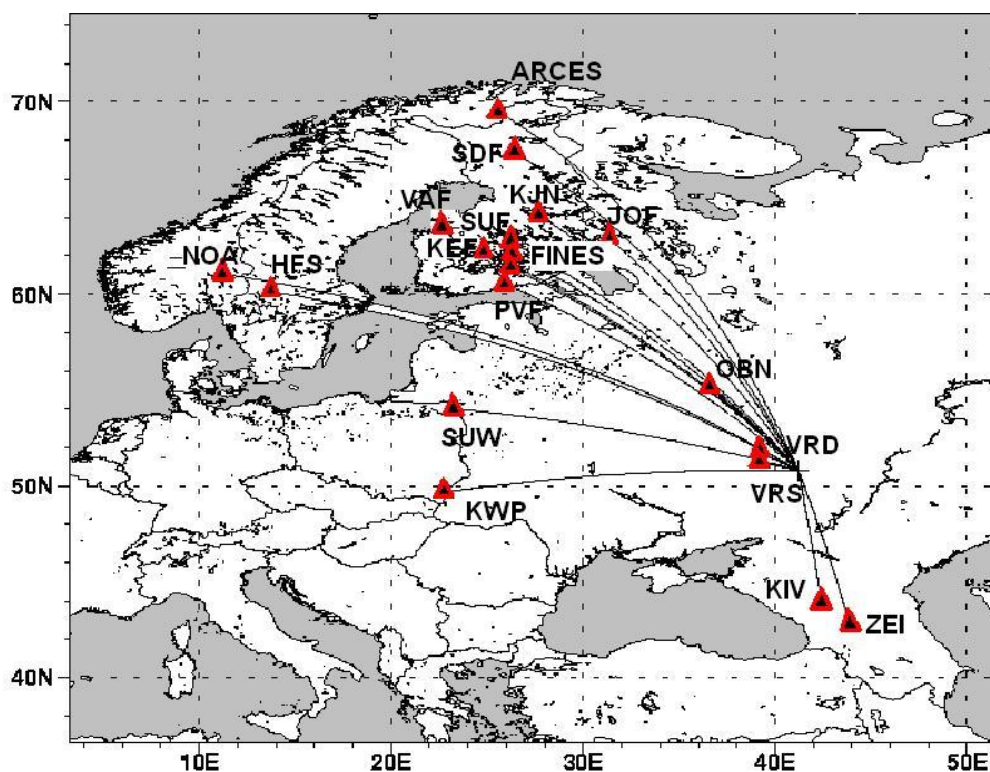


Рис. 7. Положение станций, зарегистрировавших Никольское землетрясение 2000 г.

Коды и названия этих станций в России (VRS – «Сторожевое», VRD – «Дивногорье», OBN – «Обнинск», KIV – «Кисловодск», ZEI – «Цей», APA – «Апатиты»), в Польше (SUW – «Сувалки», KWP – «Kalwaria Paclawska»), в Финляндии (PVF – «Pernaja», JOF – «Joensuu», NUR – «Nurmijärvi», FINES – «FINES Array», KAF – «Kangasniemi», SUF – «Sumiainen», KEF – «Keuruu»; KJN – «Kajaani», VAF – «Ylistaro», SDF – «Sodankyla»), в Швеции (HFS – «Hagfors») и Норвегии (NOA – «NORSAR Array», ARCES – «ARCESS Array»).

В с. *Никольском*, жители ощущали землетрясение также довольно сильно, но на улицу выбежали отдельные люди. Также, как и в с. Краснополье, люди слышали гул из-под земли, ощущали сотрясение земли, как от проезжающего тяжелого трактора. При этом лица, находившиеся в помещении администрации, бросились смотреть в окно. Сотрудница администрации, находившаяся в помещении, сообщила, что услышала гул и увидела, как угол комнаты наклонился к ней. Азимут направления, откуда пришел гул, – примерно $AZM=120^\circ$. На почте отметили, что затрясся прикрученный к стене тяжелый сейф. Жительница села сообщила, что задрожали стекла, звенела посуда в течение почти 30 с, подумала, что это землетрясение, испугалась, выбежала на крыльцо к мужу, который работал во дворе, но ничего особенного не заметил. Отдельные люди ощущали землетрясение на улице: женщина, проходившая по улице, ощутила покачивание, и ей показалось, что нарушилась координация. Мужчина, коловший дрова, запомнил, что без видимых причин упало большое полено. Большинство очевидцев запомнили звон стекол и посуды. Макросейсмические эффекты наиболее сильно проявились на левом берегу р. Нагорная (большинство людей находились на левом берегу, в центре села), но и на правом берегу замечены отдельные проявления. В северной части с. Никольского женщине, стоявшей в комнате, показалось, что качался шкаф, гула не слышала. В южной части этого же села другая женщина доила корову в летней кухне и ощутила колебания, как будто проехал трактор, хотя корова не среагировала. На основе приведенных описаний интенсивность сотрясения в с. Никольском составила $I=4-5$ баллов.

В центре *колхоза Энгельса*, возле с. *Манино*, в двухэтажном кирпичном здании правления колхоза в кабинете инспектора по кадрам (на втором этаже) сидели несколько человек. Внезапно услышали гул из-под земли, ощутили один толчок, при этом закачался большой металлический сейф. Подумали, что взорвалась котельная в подвале правления. В одноэтажном деревянном доме мужчина отметил, что дом вдруг содрогнулся, как будто бы об стену ударился тяжелый предмет. Гул из-под земли не запомнил. В одноэтажном доме на границе с. Манино с колхозом Энгельса мужчина сидел за столом, ощутил один толчок, как удар, гула не слышал.

Азимут, откуда был толчок, оценил примерно в 290° – 310° . В южной части села, вдоль дороги в Волгоградскую область, отмечалось, что у многих качались люстры и звенела посуда. Колыхания были интерпретированы как транзитное землетрясение. Можно считать, что в колхозе Энгельса, расположенном на массиве, интенсивность сотрясения составила $I=4$ балла, а в с. Манино, расположенном в долине, – около 3–4 балла.

В с. Подгорном к югу от эпицентра в ходе опроса были выявлены единичные ощущения. На ул. Заречной под горой показалось, что проехал большой трактор, был слышен гул, слегка звенела посуда. Направление на источник звука, показанное свидетельницей, имело азимут $AZM=30$ – 45° . Милиционер вспомнил, что люди рассказывали о качании люстр и звоне посуды. По этим данным в с. Подгорная интенсивность сотрясения оценена в $I=4$ балла.

В с. Коренном, восточнее эпицентра, в одноэтажном деревянном доме, обложенном кирпичом, был замечен один толчок, в результате которого дрогнула мебельная стенка, зазвенела посуда. Сотрудница администрации сообщила, что в деревянном одноэтажном доме, обложенном пеноблоками, качалась люстра, звенели стекла. Аналогичные описания дали еще несколько человек. Интенсивность сотрясений составила $I=3$ –4 балла.

В с. Нижний бык в кирпичном двухэтажном административном здании на втором этаже почувствовали толчок, услышали дребезжание стекол. Землетрясение ощущали в южной части села. Рассказывали, что те, кто находился в покое, почувствовали толчок, сообщали о качании лампочек, легком звоне посуды. Здесь интенсивность сотрясения составила $I=3$ –4 балла.

В с. Верхний бык отмечены единичные ощущения людей, находившихся в покое. Так, пекарь сообщила, что она лежала, когда заметила, что закачалась люстра с востока на запад, слегка зазвенела посуда, причем толчка не ощутила. Интенсивность сотрясений в с. Верхний бык – $I=3$ –4 балла.

В с. Калач на расстоянии примерно 22 км от эпицентра землетрясение также ощущалось, но слабо. Есть свидетельство о раскачивании люстр и звоне посуды, движении стакана по гладкому столу. Семья заместителя главы администрации ощутила это событие в виде толчка и покачивания. Его помощник сообщил, что в это время он сидел дома, обедал, и у него по столу начали двигаться ложка и стакан. Поэтому интенсивность сотрясения здесь можно оценить в $I=3$ балла.

В совхозе Краснопольский опросы были проведены в школе и среди людей, стоявших в очереди в центре села. Но очевидцев землетрясения найдено не было, хотя там проживают много беженцев из Средней Азии. Однако, по сведениям жителей из с. Краснополье, в совхозе были их знакомые, которые ощущали это землетрясение.

В с. Рудня, расположенном западнее эпицентра, никто из шести человек, опрошенных на улице, ничего особенного не вспомнил. Опрашивали людей в церкви, которые также ничего не запомнили, и в селе никто разговоров о землетрясении не вел.

В с. Воробьевка опрос людей на улице и в районной администрации не выявил очевидцев землетрясения, хотя дежуривший сотрудник МЧС вспомнил, что его знакомый из с. Никольское рассказывал об этом землетрясении.

Полученные данные обследования об интенсивности сотрясений в разных пунктах сведены в табл. 2.

Таблица 2. Макросейсмические данные о Никольском землетрясении 31 марта 2000 г. в $09^{\text{h}}39^{\text{m}}$ с $K_p=10.8$

№	Пункт	Δ , км	№	Пункт	Δ , км
1	<u>5 баллов</u>	6	6	с. Коренное	15
	с. Краснополье		7	с. Нижний бык	16
2	<u>4–5 баллов</u>	7	8	с. Верхний бык	17
	с. Никольское		9	<u>3 балла</u>	
3	<u>4 балла</u>	11		г. Калач	22
	колхоз Энгельса		10	<u>Не ощущалось</u>	
4	с. Подгорная	13	10	совхоз Краснопольский	11
	<u>3–4 балла</u>	14	11	с. Рудня	20
5	с. Манино		12	г. Воробьевка	26

На рис. 8 представлены приближенные изосейсты Никольского землетрясения и изображенные стрелками направления на эпицентр по описанию очевидцев. Последнее наблюдение достаточно представительно и потому интересно, т.к. точка их пересечения близка к геометрическому центру первой изосейсты. По совокупности всех приведенных данных параметры макросейсмического эпицентра равны $\varphi=50.56^{\circ}\text{N}$, $\lambda=41.25^{\circ}\text{E}$. Из сопоставления эпицентров, макросейсмического и инструментального, на рис. 8 видно смещение первого из них к юго-западу на расстояние ~ 7 км.

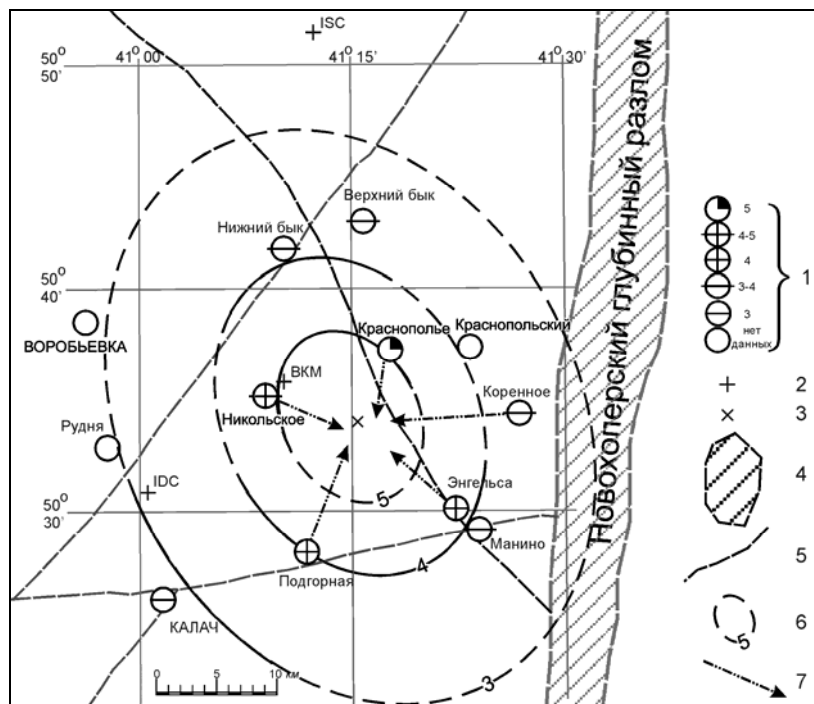


Рис. 8. Карта изосейст Никольского землетрясения 31 марта 2000 г. с $K_p=10.8$

1 – интенсивность сотрясений в баллах; 2, 3 – эпицентр, инструментальный и макросейсмический соответственно; 4 – Новохоперский глубинный разлом I порядка; 5 – тектоническое нарушение более высокого порядка; 6 – изосейста; 7 – направление на эпицентр по описаниям очевидцев.

Л и т е р а т у р а

1. Пивоваров С.П. (отв. сост.), Надёжка Л.И., Сафронич И.Н. Воронежский кристаллический массив. (См. раздел VI (Каталоги землетрясений) в наст. сб. на CD).
2. Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага). Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
3. Reviewed Event Bulletin of the CTBT_IDC, Австрия, Вена.
4. Daily bulletins of seismic events in Northern Europe // Bulletin retrieval by day number (Day-Of-Year) in Helsinki format. – Helsinki: <http://www.seismo.helsinki.fi/bul/index.html>
5. Bulletin of the International Seismological Centre for 2000. – Berkshire: ISC, 2002.
6. Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2000 год / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ЦОМЭ ГС РАН, 2000–2001.
7. Jeffreys H., Bullen K.E. Seismological Tables. – London: 1967. – 50 с.
8. Bratt S.R. and T.C. Bache. Locating events with a space network of regional arrays // Bull. Seis. Soc. Am. – 1988. – 78. – С. 780–798.
9. IASPEI 1991, Seismological Tables / Ed. Kennet B.L.N. – Canberra: Res. School of Earth Sc. Austral. Nat. Univ., 1991. – 167 p.