

УДК 550.348.(470.13)

## УТОЧНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЯДА СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ, ПРОИЗОШЕДШИХ В ВОРКУТИНСКОМ РАЙОНЕ РЕСПУБЛИКИ КОМИ В 1971–2016 гг.

© 2018 г. Н.Н. Носкова<sup>1</sup>, В.Э. Асминг<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Институт геологии имени академика Н.П. Юшкина, Коми научный центр, Уральское отделение Российской академии наук, г. Сыктывкар, Россия*

<sup>2</sup> *Кольский филиал Федерального исследовательского центра “Единая геофизическая служба Российской академии наук”, г. Апатиты, Россия*

Проанализирована сейсмическая обстановка в Воркутинском районе Республики Коми, где ведется разработка Печорского угольного бассейна. По данным сейсмологических центров *IRIS*, *ISC*, *IDC*, *NORSAR*, в названном районе с 1971 по 2016 гг. произошло 11 сейсмических событий. Выполнена интерпретация записей этих событий; с привлечением записей региональных сейсмических станций уточнена локация событий с использованием программы *NAS* по фазам *P*- и *S*-волн из бюллетеней *ISC*.

Характер волновой картины сейсмических событий и горнодобывающая активность в рассматриваемом районе дают основание для выводов о техногенном происхождении сейсмических событий вблизи шахтных полей. Так, выяснилось, что из 11 представленных в названных каталогах событий 1971–2016 гг. только одно, произошедшее на Полярном Урале в 2012 г., возможно, является землетрясением. События 1998, 2004, 2011, 2015, 2016 гг. – горные удары в шахтах; событие 2005 г. – техногенное землетрясение; события 1971, 1974 гг. – мирные ядерные взрывы; природа события 1997 г. остается неясной. Полученные результаты важны для правильной оценки уровня сейсмической опасности вблизи данного горнопромышленного узла, поскольку они позволяют исключить завышение уровня сейсмичности за счет включения в каталоги землетрясений событий, являющихся обрушениями на угольных шахтах Воркуты.

В настоящее время на территории Республики Коми функционируют три сейсмологических пункта Института геологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. Однако без привлечения данных других сейсмологических центров точный расчет координат эпицентров сейсмических событий невозможен из-за высокого уровня техногенных помех в местах установки станций. Для сейсмологического мониторинга, надежной регистрации локальных и региональных сейсмических событий необходимы модернизация и расширение сети сейсмостанций в Республике Коми.

**Ключевые слова:** Воркутинский горнодобывающий район, угольные шахты, сейсмическая станция, землетрясение, горный удар, эпицентр.

### Введение

Воркутинский район Республики Коми расположен в пределах западного склона Полярного Урала, для которого характерен низкий уровень сейсмичности. В слабоактивных областях уточнение физических параметров и, главное, природы сейсмических событий имеет огромное значение при определении уровня сейсмической опасности. Особенно актуально это для исследуемого района, который является одним из важнейших горнопромышленных районов России, перспективных на освоение разных видов минерального сырья. Территория Полярного Урала включает основные промышленно освоенные и разведанные месторождения Печорского угольного бассейна, частично охватывает Тимано-Печорскую нефтегазоносную провинцию. Разработка угольных месторождений Воркутинского угленосного района ведется на трех месторождениях –

Воркутском (шахты “Северная”, “Воркутинская”, “Комсомольская”, “Заполярная”), Воргашорском (шахта “Воргашорская”), Юньягинском (разрез “Юньягинский”).

Информация о землетрясениях на территории Полярного Урала представлена на сайте консорциума *IRIS*<sup>1</sup>; данные об этих событиях имеются также в бюллетенях Международного сейсмологического центра *ISC*<sup>2</sup>, из которых авторами была сделана дополнительная выборка по району Полярного Урала, позволившая добавить в исследования события 2011, 2015 и 2016 гг. Координаты и магнитуды добавленных событий рассчитаны в Международном центре данных *IDC*. Заимствованные из каталогов *IRIS* и *ISC* основные параметры сейсмических событий, произошедших в исследуемом районе в 1971–2016 гг., приведены в табл. 1.

**Таблица 1.** Основные параметры представленных в каталогах *IRIS* и *ISC* сейсмических событий, произошедших на Полярном Урале в 1971–2016 гг.

| Дата          | Время в очаге, $t_0$ | $\varphi$ , °с.ш. | $\lambda$ , °в.д. | $H$ , км | Магнитуда | Интерпретация авторов     |
|---------------|----------------------|-------------------|-------------------|----------|-----------|---------------------------|
| 02.07.1971 г. | 17:00:01             | 67.66             | 62.00             |          | $m_b=4.7$ | ядерный взрыв             |
| 29.08.1974 г. | 14:59:58             | 67.23             | 62.14             |          | $m_b=5.2$ | ядерный взрыв             |
| 12.01.1997 г. | 09:37:16             | 68.07             | 62.72             |          | $m_b=3.4$ | –                         |
| 14.07.1998 г. | 22:05:44             | 68.13             | 63.80             |          | $M_L=3.6$ | горный удар               |
| 03.08.2004 г. | 15:33:38             | 68.12             | 65.16             | 0*       | $m_b=3.4$ | горный удар               |
| 23.05.2005 г. | 19:17:12             | 67.75             | 64.19             | 10       | $m_b=3.6$ | техногенное землетрясение |
| 16.07.2011 г. | 14:00:43.06          | 67.816            | 64.103            |          | $m_b=3.3$ | горный удар               |
| 24.12.2012 г. | 06:22:36             | 66.88             | 64.29             | 10       | $m_b=3.3$ | землетрясение             |
| 08.06.2015 г. | 22:06:42.94          | 67.563            | 63.721            |          | $m_b=2.7$ | горный удар               |
| 22.08.2015 г. | 22:24:48.64          | 67.576            | 63.970            |          | $m_b=3.3$ | горный удар               |
| 30.04.2016 г. | 11:46:31.53          | 67.705            | 64.016            |          | $m_b=3.7$ | горный удар               |

*Примечание.* Здесь и далее в табл. 3–8 символом \* отмечены значения фиксированной глубины.

### Исходные данные и методы исследования

Уточнение параметров эпицентров воркутинских событий производилось методом *Generalized beamforming* [Ringdal, Kvaerna, 1989] в усовершенствованном виде, реализованном в программе *NAS*, которая в свою очередь является подпрограммой системы *NSDL* [Федоров и др., 2018], предназначенной для организации автоматического мониторинга сейсмической активности в каком-либо регионе с помощью отдельных сейсмостанций или их произвольной сети. При вычислении параметров гипоцентров событий использовалась скоростная модель для Восточно-Европейской платформы [Schueller, Morozov, Smithson, 1997], дополненная глубокими слоями модели *AK135*. Определение магнитуд сейсмических событий выполнялось в программном комплексе *WSG* [Красилов, Коломиец, Акимов, 2006].

В подавляющем большинстве случаев бюллетени *ISC* событий Полярного Урала за 1971–2016 гг. содержат данные четырех скандинавских сейсмических групп *NORSAR* (*ARCES*, *SPITS*, *FINES*, *NORES*), цифровые записи которых и использовались нами. Дополнительно были задействованы сейсмограммы станций Института геологии Коми НЦ УрО РАН (станции Сыктывкар, Пожег), Федерального исследовательского центра “Единая геофизическая служба РАН” и *IRIS* (станции Арти, Ловозеро); Архангельской

<sup>1</sup> *Incorporated Research Institutions for Seismology*, США: <http://ds.iris.edu> (дата обращения 25.05.2017).

<sup>2</sup> *International Seismological Centre*. <http://www.isc.ac.uk/> (дата обращения 25.05.2017).

сейсмической сети (станции Амдерма, Лешуконское); Института сейсмологии Хельсинского университета Сейсмической сети Финляндии (станция *Joensuu*)<sup>1</sup>.

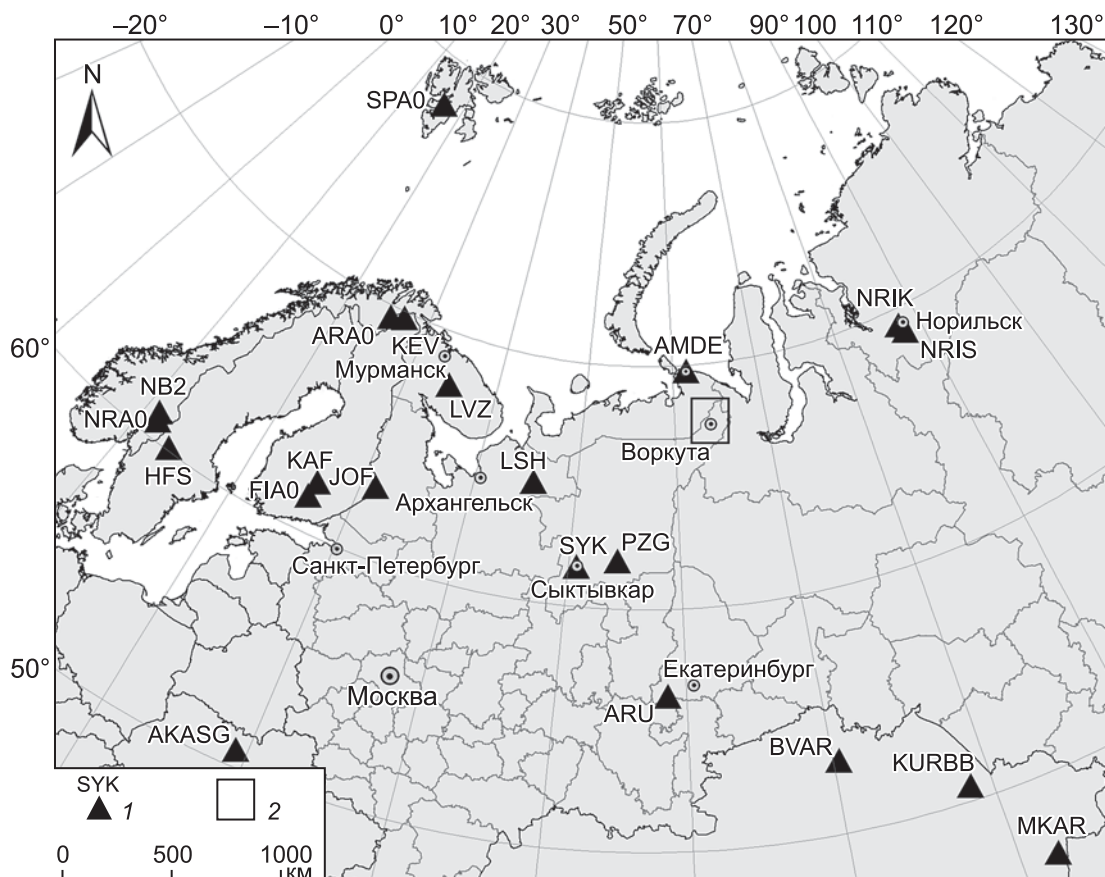
Из бюллетеня *ISC* при работе с программой *NAS* были взяты записи вступлений *P*- и *S*-волн, зафиксированные российской станцией Норильск, а также станциями Сейсмической сети Финляндии (станции *Kangasniemi*, *Kevo*), Шведского агентства оборонных исследований (станция *Hagfors*), норвежского геоинформационного центра *NORSAR* (станция *NORSAR Subarray 2B*), Международной системы мониторинга Института геофизических исследований Национального ядерного центра Республики Казахстан (станции *Borovoye Array*, *Kurchatov Array*, *Makanchi Array*) и Национального космического агентства Украины (станция *Malin Array*).

Сведения о перечисленных станциях с указанием их международных кодов приведены в табл. 2; расположение станций см. на рис. 1. Практически все станции включены в международную систему контроля за выполнением Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний.

**Таблица 2.** Сведения о сейсмических станциях

| Станция  |                 |           | Координаты |          | Высота<br><i>h</i> , м | Год<br>открытия |
|--|-----------------|-----------|------------|----------|------------------------|-----------------|
| Название                                       | Код             | Страна    | φ, °с.ш.   | λ, °в.д. |                        |                 |
| <i>Malin Array Beam Reference Point</i>        | AKASG           | Украина   | 50.701     | 29.224   | 160                    | 2002            |
| Амдерма  | AMDE            | Россия    | 69.767     | 61.683   | 48                     | 2010            |
| <i>ARCESS Array Site A0</i>                    | ARA0<br>(ARCES) | Норвегия  | 69.535     | 25.506   | 403                    | 1990            |
| Арти   | ARU             | Россия    | 56.429     | 58.561   | 260                    | 1988            |
| <i>Borovoye Array Beam Reference Point</i>     | BVAR            | Казахстан | 53.025     | 70.388   | 420                    | 2001            |
| <i>FINESS Array Beam Reference Point</i>       | FIA0<br>(FINES) | Финляндия | 61.444     | 26.077   | 156                    | 1992            |
| <i>Hagfors</i>                                 | HFS             | Швеция    | 60.133     | 13.694   | 296.7                  | 1969            |
| <i>Joensuu</i>                                 | JOF             | Финляндия | 62.918     | 31.312   | 180                    | 1981            |
| <i>Kangasniemi</i>                             | KAF             | Финляндия | 62.113     | 26.306   | 205                    | 1977            |
| <i>Kevo</i>                                    | KEV             | Финляндия | 69.755     | 27.007   | 80                     | 1964            |
| <i>Kurchatov Array</i>                         | KURBB           | Казахстан | 50.622     | 78.530   | 200                    | 1995            |
| Лешуконское                                    | LSH             | Россия    | 64.879     | 45.734   | 60                     | 2006            |
| Ловозеро                                       | LVZ             | Россия    | 67.898     | 34.651   | 630                    | 1992            |
| <i>Makanchi Array Beam Reference Point</i>     | MKAR            | Казахстан | 46.794     | 82.290   | 615                    | 2000            |
| <i>NORSAR Subarray 2B Beam Reference Point</i> | NB2<br>(NOA)    | Норвегия  | 61.040     | 11.215   | 717                    | 1971            |
| <i>NORESS Array Site A0</i>                    | NRA0<br>(NORES) | Норвегия  | 60.735     | 11.541   | 302                    | 1985            |
| Норильск                                       | NRIC            | Россия    | 69.340     | 87.555   | 215                    | 2011            |
| Норильск                                       | NRIS            | Россия    | 69.006     | 87.996   | 498                    | 1998            |
| Пожег  | PZG             | Россия    | 61.977     | 54.334   | 137                    | 2014            |
| <i>Spitsbergen Array Site A0, Svalbard</i>     | SPA0<br>(SPITS) | Норвегия  | 78.178     | 16.370   | 323                    | 1992            |
| Сыктывкар                                      | SYK             | Россия    | 61.646     | 50.732   | 159                    | 1996            |

<sup>1</sup> Сейсмограммы зарубежных станций получены через электронные ресурсы *GEOFON*, *IRIS*, *NORSAR*.



**Рис. 1.** Расположение сейсмостанций, записи которых использовались авторами при уточнении локации сейсмических событий, произошедших в Воркутинском районе Республики Коми в 1971–2016 гг.: 1 – сейсмические станции с указанием международного кода; 2 – граница района исследований

**Fig. 1.** Location of seismic stations whose records were used to refine the location of seismic events that occurred in the Vorkuta region, Komi Republic, in 1971–2016: 1 are seismic stations with international codes; 2 is the area studied

### Результаты исследований

**События 02.07.1971 г. и 29.08.1974 г.** (см. табл. 1) относятся к мирным ядерным взрывам, производимым Министерством геологии СССР в период с 1965 по 1988 гг. по программе глубинного сейсмического зондирования земной коры в целях поиска структур, перспективных для разведки полезных ископаемых. Первый ядерный взрыв в рамках этой программы был выполнен 02.07.1971 г. в Коми АССР на профиле “Глобус-4” в 25 км к юго-западу от г. Воркута в скважине ГБ-4 с координатами 67.283 °с.ш., 63.467 °в.д. Мощность взрыва составила 2.3 кт при глубине заложения 542 м; время в очаге  $t_0=17:00:01.13$ , магнитуда  $m_b=4.7$  [Sultanov, Murphy, Rubinstein, 1999; Ядерные ..., 2000]. Второй ядерный взрыв в рамках той же программы был произведен на территории Коми АССР 29.08.1974 г. в 15:00:00.39 на профиле “Горизонт-1” в скважине Г-1 (67.085 °с.ш., 62.625 °в.д.); мощность заряда – 7.6 кт, глубина заложения – 583 м, магнитуда  $m_b=5.0$  [Sultanov, Murphy, Rubinstein, 1999].

**События 12.01.1997 г., 03.08.2004 г., 16.07.2011 г.** (см. табл. 1) первоначально были отнесены нами к ложным срабатываниям автоматической системы обработки

[Носкова, 2017]. Однако при обзоре аварий на шахтах Воркутинского угленосного района, выполненном в процессе написания данной статьи, выяснилось, что 16.07.2011 г. около 18 ч по московскому времени в одном из проходческих забоев на глубине ~740 м произошло обрушение породы. Эта авария была результатом динамического горного явления на шахте “Северная” компании “Воркутауголь”<sup>1</sup>. Ранее, 03.08.2004 г., на этой же шахте произошло обрушение вмещающих пород на глубине 565 м в вентиляционном бремсберге<sup>2</sup>.

Вероятно, названные шахтные обрушения и были зарегистрированы автоматической системой обработки как землетрясения, но наверняка утверждать это нельзя, поскольку, во-первых, неизвестно точное время возникновения чрезвычайных происшествий – во всех источниках оно приблизительное и разное. Так, авария 03.08.2004 г. согласно одним источникам, произошла в 19:30 по московскому времени, согласно другим – в 20:00; время обрушения 16.07.2011 г. по одним источникам – 20:20, по другим – 20:30.

Во-вторых, стоит подчеркнуть, что вступлений волн на записях групп *ARCES*, *SPITS*, *FINES*, *NORES* во временных интервалах, указанных в бюллетене *ISC*, визуально нами обнаружено не было. Качество записей станции Амдерма за 16.07.2011 г. также не позволяет сделать однозначного вывода. Рассматриваемые события не выявлены и на дополнительно использованных нами записях станций *Borovoye Array*, *Kurchatov Array*, Норильск и Арти. Тем не менее, мы считаем, что совпадения не случайны, и указанные в каталогах *ISC* события 2004 и 2011 гг. являются обрушениями на шахте “Северная”, так как времена событий, приводимые в каталоге *ISC*, близки к времени аварий на шахте.

Событие 12.01.1997 г. также может быть либо событием в пределах воркутинских шахтных полей, либо результатом ложного срабатывания автоматической системы обработки. На сейсмограммах, полученных 12.01.1997 г. группами *NORSAR* и станцией Норильск, вступления сейсмических волн не просматриваются.

Для однозначного вывода о происхождении сейсмических событий, присутствующих в каталогах зарубежных служб, необходимо проведение дополнительных исследований с привлечением записей близких станций. Возможно, свет в этом вопросе могли бы пролить данные Института динамики геосфер РАН, полученные комплексом *GITS* в шахтном поле шахты “Комсомольская”, либо данные станции, расположенной в 12 км от названного шахтного поля [Беляева и др., 2009].

Следует отметить, что значения магнитуд рассматриваемых сейсмических событий, если таковые имеются, явно завышены. Сейсмические события с магнитудами 3–3.5 уверенно фиксируются станциями Горного института УрО РАН (Пермь), Архангельской сейсмологической сети, Института геологии Коми НЦ УрО РАН на региональных расстояниях.

Далее приводится последовательное описание сейсмических событий 1998, 2005, 2012, 2015<sup>3</sup> гг., локация которых уточнялась авторами.

**Локация события 14.07.1998 г.** (см. табл. 1) уточнялась с использованием программы *NAS* по фазам из бюллетеня *ISC* сейсмологического центра *EIDC* и добавленных к ним вступлений *P*- и *S*-волн на записях станции Арти и *P*-волны на записях станции *NORESS Array*. Расчет проводился по 12 вступлениям сейсмических фаз *P*- и *S*-волн на записях станций Норильск, Арти, *ARCESS Array*, *Spitsbergen Array*, *Kangasniemi*, *FINESS Array*, *Hagfors*, *NORESS Array*, *NORSAR Array*; эпицентральные

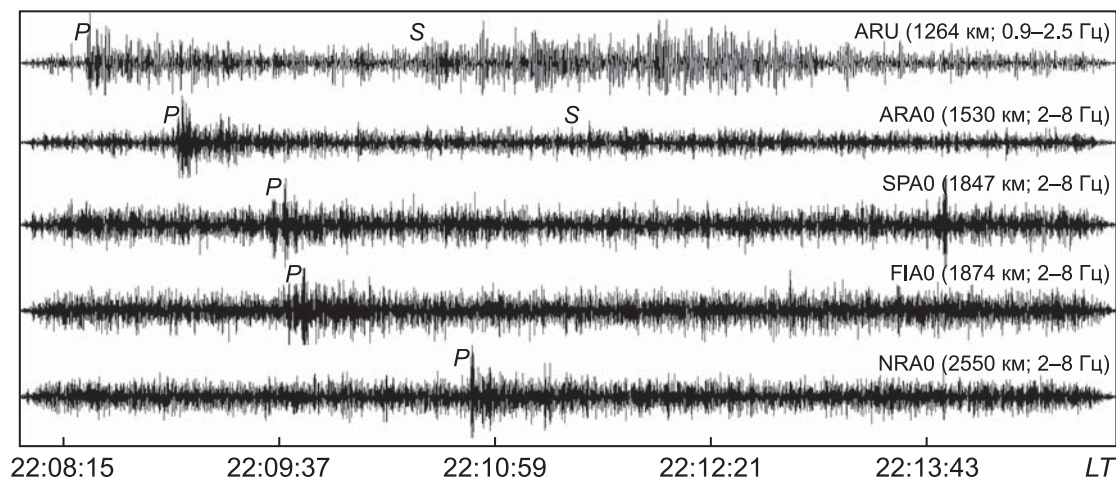
<sup>1</sup> <http://11.mchs.gov.ru/operationalpage/digest/item/1248011/> (дата обращения 13.11.2017).

<sup>2</sup> <http://www.zyugane.info/articles/page-160.html> (дата обращения 13.11.2017).

<sup>3</sup> В 2015 г. были зарегистрированы два события.

расстояния составляли от 1011 (станция Норильск) до 2550 км (станция *NORSAR Array*).

Примеры записей данного события пятью из перечисленных станций приведены на рис. 2; параметры, рассчитанные для этого события, в сопоставлении с решениями других сейсмологических центров – в табл. 3. Полученная при уточнении магнитуда события  $M_s=2.7$  определена по записям станции Арти.



**Рис. 2.** Сейсмическое событие 14.07.1998 г., произошедшее на шахте “Воргашорская”. Фрагменты записей вертикальной компоненты станциями Арти (ARU), *ARCESS Array* (ARA0), *Spitsbergen Array* (SPA0), *FINESS Array* (FIA0), *NORESS Array* (NRA0). Здесь и на рис. 3–7 рядом с кодами станций указаны эпицентральные расстояния ( $R$ , км) и параметры частотных фильтров ( $f$ , Гц)

**Fig. 2.** Vertical components of the seismic event on July 14, 1998 at the Vorgashorskaya mine recorded at different stations. Here and in Figs. 3–7, station codes are given together with epicentral distances and filter parameters

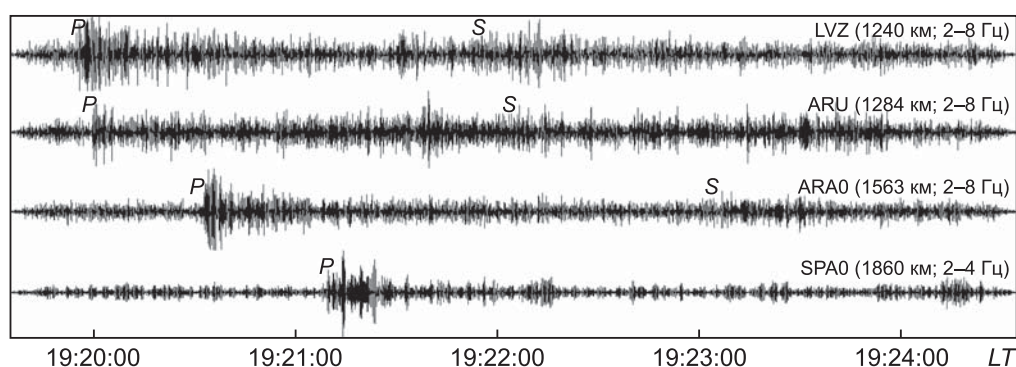
**Таблица 3.** Параметры события 14.07.1998 г. по данным разных сейсмологических центров

| Источник   | Время в очаге,<br>$t_0$ , чч:мм:сс | $\varphi$ , °с.ш. | $\lambda$ , °в.д. | Эллипс ошибок, км |              | Магнитуда              |
|--|------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------|------------------------|
|  |                                    |                   |                   | $R_{\min}$        | $R_{\max}$   |                        |
| ИГ Коми НЦ УрО РАН,<br>Россия  | <b>22:05:43.9</b>                  | <b>67.579</b>     | <b>63.559</b>     | <b>16.33</b>      | <b>19.98</b> | $M_s=2.7$              |
| <i>EIDC</i> , Австрия<br><a href="http://www.isc.ac.uk/">http://www.isc.ac.uk/</a><br><i>IRIS</i> , США<br><a href="http://ds.iris.edu">http://ds.iris.edu</a> | 22:05:44.1                         | 68.134            | 63.798            | 24.4              | 83           | $m_b=3.6$<br>$M_L=3.8$ |
| <i>NORSAR</i> , Норвегия<br><a href="http://www.norsardata.no">http://www.norsardata.no</a>  | 22:05:37.0                         | 69.65             | 66.68             |                   |              |                        |

*Примечание.* Здесь и далее в табл. 4–8 в первой строке утолщенным шрифтом выделены значения, полученные авторами при уточнении локации событий.

Согласно нашим расчетам, рассматриваемое событие произошло на 63 км южнее, чем это указано в бюллетенях, – не в Ненецком автономном округе, а в городском округе Воркута Республики Коми. Полученные координаты 67.579 °с.ш. и 63.559 °в.д. соответствуют шахтному полю шахты “Воргашорская”, что позволяет считать событие техногенным. На сейсмограммах события (см. рис. 2) присутствуют  $P$ -волны и плохо выделяются или отсутствуют  $S$ -волны.

**Событие 23.05.2005 г.** (см. табл. 1) пересчитано по 13 сейсмическим фазам на записях десяти станций из бюллетеня *ISC* – Сыктывкар, Арти, *Kevo*, *ARCESS Array*, *Spitsbergen Array*, *FINESS Array*, *Hagfors*, *NORSAR Subarray 2B*, *NORSAR Array*, к которым добавлены фазы *P*- и *S*-волн по записям станции Ловозеро и *S*-волн по записям станции Арти; эпицентральные расстояния – 931–2589 км. На рис. 3 представлены записи этого события четырьмя из названных станций; параметры события см. в табл. 4. Как и для события 14.07.1998 г., выделение *S*-волны на записях проблематично или невозможно.



**Рис. 3.** Фрагменты записей вертикальной компоненты сейсмического события 23.05.2005 г. станциями Ловозеро (LVZ), Арти (ARU), *ARCESS Array* (ARA0), *Spitsbergen Array* (SPA0)

**Fig. 3.** Vertical components of the seismic event on May 23, 2005, 30 km northeast of Vorkuta recorded at different stations

**Таблица 4.** Параметры события 23.05.2005 г. по данным разных сейсмологических центров

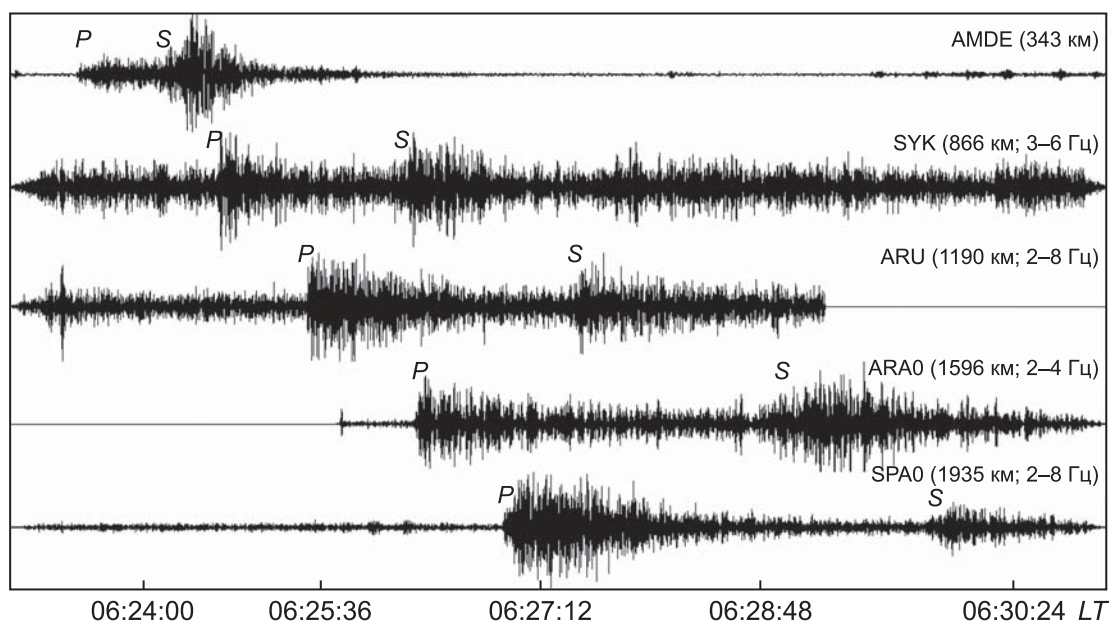
| Источник   | Время в очаге,<br>$t_0$ , чч:мм:сс | $\varphi$ , °с.ш. | $\lambda$ , °в.д. | Эллипс ошибок, км |            | Магнитуда              |
|--|------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------|------------------------|
|  |                                    |                   |                   | $R_{\min}$        | $R_{\max}$ |                        |
| ИГ Коми НЦ УрО РАН,<br>Россия  | 19:17:15.8                         | 67.693            | 64.586            | 19.49             | 48.44      | $M_s=2.4$              |
| <i>MOS</i> , Россия;<br><i>CSEM</i> , Франция<br><a href="http://www.isc.ac.uk/">http://www.isc.ac.uk/</a><br><i>IRIS</i> , США<br><a href="http://ds.iris.edu">http://ds.iris.edu</a> | 19:17:12.6                         | 67.747            | 64.192            | 19.6/34.3         | 38.6/85.9  | $m_b=3.6$              |
| <i>IDC</i> , Австрия<br><a href="http://www.isc.ac.uk/">http://www.isc.ac.uk/</a>  | 19:17:14.1                         | 68.073            | 65.007            | 45.3              | 111.9      | $m_b=3.2$<br>$M_L=2.4$ |
| <i>NORSAR</i> , Норвегия<br><a href="http://www.norsardata.no">http://www.norsardata.no</a>  | 19:17:23.74                        | 67.827            | 63.341            |                   |            |                        |

Уточненный эпицентр события смещен на 18 км к юго-востоку от эпицентра, указанного в каталогах *IRIS*, *MOS*, и находится в 30 км к северо-востоку от г. Воркуты и в 8 км к юго-востоку от места слияния рек Малая и Большая Сырьяга.

Событие сопровождалось макросейсмическим эффектом, о чем сообщалось в местных средствах массовой информации<sup>1</sup>, однако надо отметить, что макросейсмические проявления зачастую отмечались и при обрушениях на шахтах Воркутского угольного месторождения.

**Событие 24.12.2012 г.** (см. табл. 1) – это землетрясение, которое было зарегистрировано большим числом сейсмостанций по всему миру и подробно рассмотрено в [Конечная и др., 2013; Носкова, 2016]. На рис. 4 в качестве примера приведены фрагменты записей этого события пятью станциями с эпицентрными расстояниями от

<sup>1</sup> URL: <http://www.zyryane.info/articles/page-1232.html> (дата обращения 25.05.2017).



**Рис. 4.** Расположенные по времени прихода первой фазы фрагменты записей вертикальной компоненты землетрясения, произошедшего на Полярном Урале 24.12.2012 г. Приведены записи станций Амдерма (AMDE), Сыктывкар (SYK), Арты (ARU), *ARCESS Array* (ARA0) и *Spitsbergen Array* (SPA0)

**Fig. 4.** Fragments of vertical component records of the earthquake in the Polar Ural on December 24, 2012 located according to the arrival time of the first phase

345 до 1938 км. Можно видеть, что характер волновой картины землетрясения отличается от картины других рассматриваемых в данной статье событий, произошедших в районе г. Воркута и относимых авторами к техногенным.

При уточнении локации землетрясения 24.12.2012 г. использовались 104 вступления сейсмических волн на 76 станциях, расположенных по всему миру при эпицентральных расстояниях от 343 до 8477 км и практически полном азимутальном окружении. Как и в остальных случаях, при расчетах использовалась программа *NAS*. Полученные параметры события – время в очаге  $t_0=06:22:44.1$ ; координаты  $66.841^\circ$  с.ш.,  $64.339^\circ$  в.д.; магнитуды  $M_s=3.2$  и  $M_L=3.9$ ; энергетический класс  $K_p=10.6$  – хорошо согласуются с решениями, полученными в других сейсмологических центрах (табл. 5).

Землетрясение 24.12.2012 г. произошло в 80 км к югу от Воркутинского горно-промышленного узла. В целях надежного определения природы этого сейсмического события были выполнены дополнительные исследования [Конечная и др., 2013], в ходе которых записи сейсмической станции Амдерма (AMDE) обрабатывались с использованием совокупности критериев и программного обеспечения, разработанных в Кольском филиале ЕГС РАН [Асминг и др., 2010; Годзиковская, Асминг, Виноградов, 2010].

Результаты анализа позволяют с большой долей вероятности считать событие 24.12.2012 г. тектоническим, однако проведенные исследования не претендуют на роль исчерпывающих. Поскольку профессионального обследования эпицентральной области события 24.12.2012 г., подобного, например, обследованиям, выполняемым под руководством Т.Г. Раутиан [Альварес, Годзиковская, Раутиан, 1983], не проводилось, то при отсутствии экспериментального материала по рассматриваемой территории невозможно однозначно определить природу данного события. Настоящая работа является



Таблица 5. Параметры события 24.12.2012 г. по данным разных сейсмологических центров

| Источник   | Время в очаге, $t_0$<br>чч:мм:сс | $\varphi$ , °с.ш. | $\lambda$ , °в.д. | Эллипс ошибок, км |             | Магнитуда                           | $h$ , км |
|--|----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------|-------------------------------------|----------|
|  |                                  |                   |                   | $R_{\min}$        | $R_{\max}$  |                                     |          |
| ИГ Коми НЦ УрО РАН   | <b>06:22:44.1</b>                | <b>66.841</b>     | <b>64.339</b>     | <b>7.23</b>       | <b>9.92</b> |                                     |          |
| ИГ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар [Носкова, 2016]  | 06:22:39                         | 66.768            | 64.360            |                   |             | $M_S=3.2$                           | 11       |
| ЕГС РАН, Обнинск [Габсатарова и др., 2014]   | 06:22:34.2                       | 66.68             | 64.21             | 8.89              | 13.33       | $M_L=3.4$                           |          |
| АСС, Архангельск [Конечная и др., 2013]  | 06:22:39.1                       | 66.47             | 64.73             |                   |             | $M_L=3.8$                           | 10       |
| ISC, Англия<br><a href="http://www.isc.ac.uk">http://www.isc.ac.uk</a>   | 06:22:40.88                      | 66.624            | 63.754            | 4.92              | 6.0         | $m_b=4.0$<br>$M_S=3.1$              | 35*      |
| ISCJB, Англия<br><a href="http://www.isc.ac.uk">http://www.isc.ac.uk</a>   | 06 22 38.87                      | 66.649            | 64.002            | 4.70              | 3.53        |                                     | 3*       |
| IDC, Австрия<br><a href="http://www.isc.ac.uk">http://www.isc.ac.uk</a>  | 06:22:36.80                      | 66.813            | 64.4027           | 9.4               | 13.4        | $M_L=3.9$<br>$m_b=3.8$<br>$M_S=3.2$ | 0*       |
| NNC, Казахстан<br><a href="http://www.isc.ac.uk">http://www.isc.ac.uk</a>  | 06:22:49.02                      | 66.176            | 64.274            | 32.6              | 41.9        | $m_b=4.0$                           | 60.2     |
| IRIS, USGS, NEIC, США<br><a href="http://ds.iris.edu">http://ds.iris.edu</a><br><a href="http://www.orfeus-eu.org">http://www.orfeus-eu.org</a><br><a href="http://www.isc.ac.uk">http://www.isc.ac.uk</a> | 06:22:36                         | 66.88             | 64.29             | 4.7               | 7.0         | $m_b=4.1$                           | 10*      |
| EMSC, Франция<br><a href="http://www.orfeus-eu.org">http://www.orfeus-eu.org</a>   | 06:22:34                         | 66.94             | 64.50             |                   |             | $m_b=3.9$                           | 2.0      |
| NORSAR, Норвегия<br><a href="http://www.norsardata.no">http://www.norsardata.no</a>  | 06:22:39.15                      | 66.94             | 63.95             |                   |             | $m_b=4.47$                          |          |

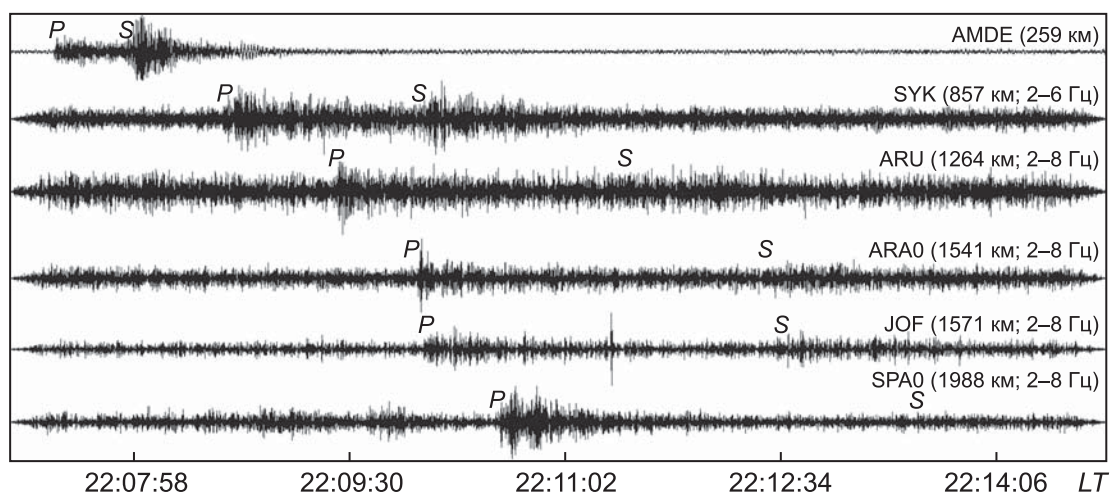
первой, посвященной идентификации событий для территории исследования; материалы, необходимые для определения природы сейсмических событий, произошедших на ней, только начинают накапливаться.

Эпицентр землетрясения 24.12.2012 г. расположен в зоне выхода на поверхность сутуры Главного Уральского надвига под северной частью Войкаро-Сынинского офиолитового аллохтона. Гипоцентр события находился на глубине 11 км, что может быть обусловлено смещением по ранее заложенным аллохтонным пластинам тектонических покровов Урала.

**Событие 08.06.2015 г.** (см. табл. 1) произошло на шахте “Комсомольская” и имело широкий резонанс в средствах массовой информации Республики Коми<sup>1</sup>. Жители нескольких районов г. Воркута чувствовали толчки, похожие на землетрясение, наблюдали, как в квартирах дрожали мебель, цветочные горшки, оконные стекла. Фрагменты записей вертикальной компоненты этого сейсмического события приведены на рис. 5.

Уточнение локации события 08.06.2015 г. с использованием программы *NAS* выполнялось по 16 сейсмическим фазам на записях станций Норильск, Арти, *ARCESS Array*, *FINESS Array*, *Makanchi Array*. Дополнительно использовались записи станций Амдерма, Лешуконское, *Joensuu*, *Spitsbergen Array*. Эпицентральные расстояния составляли от 259 (станция Амдерма) до 2524 км (станция *Makanchi Array*).

<sup>1</sup> <http://gazetamv.ru/wp-content/uploads/2015/06/21m.pdf> (дата обращения 25.05.2017),  
<http://gazetamv.ru/wp-content/uploads/2015/06/22m.pdf> (дата обращения 25.05.2017).



**Рис. 5.** Сейсмическое событие 08.06.2015 г., произошедшее на шахте “Комсомольская”. Фрагменты записей вертикальной компоненты станциями Амдерма (AMDE), Лешуконское (LSH), Арти (ARU), *ARCESS Array* (ARA0), *Joensuu* (JOF), *Spitsbergen Array* (SPA0)

**Fig. 5.** Vertical components of the seismic event on June 8, 2015 at the Komsomolskaya mine recorded at different stations

Полученные координаты  $67.5382^{\circ}$  с.ш.,  $63.7659^{\circ}$  в.д. близки к данным *IDC*  $67.5629^{\circ}$  с.ш.,  $63.7206^{\circ}$  в.д., приводимым на сайте *ISC* (табл. 6). Энергетический класс по Т.Г. Раутиан и магнитуды определены по станциям Амдерма и Лешуконское.

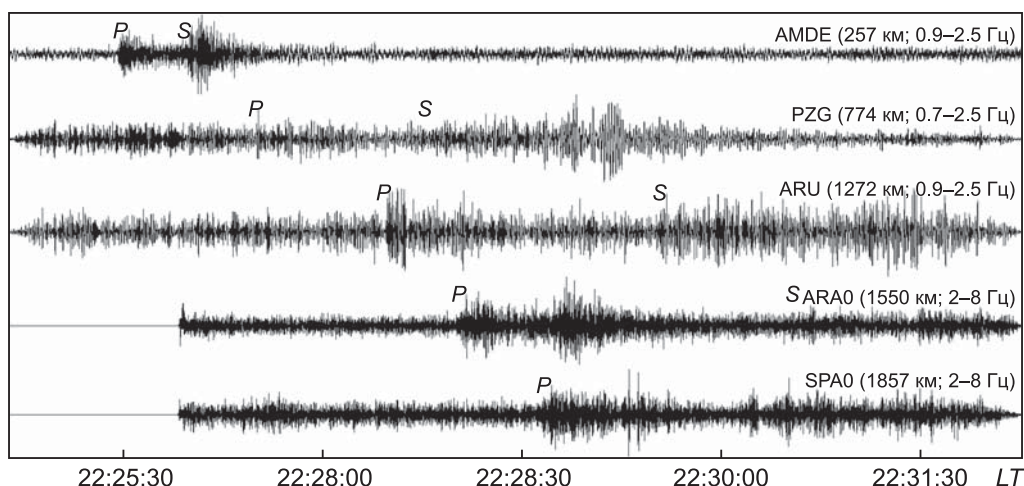
**Таблица 6.** Параметры события 08.06.2015 г. по данным разных сейсмологических центров

| Источник  | Время в очаге<br>$t_0$ , чч:мм:сс | $\varphi$ , °с.ш. | $\lambda$ , °в.д. | Эллипс ошибок, км |            | Магнитуда                           |
|---|-----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------|-------------------------------------|
|   |                                   |                   |                   | $R_{\min}$        | $R_{\max}$ |                                     |
| ИГ Коми НЦ УрО РАН  | 22:06:44.2                        | 67.538            | 63.766            | 15.86             | 16.64      | $K_p=9.0$<br>$M_L=3.1$<br>$M_s=2.5$ |
| <i>IDC</i> , Австрия<br><a href="http://www.isc.ac.uk">http://www.isc.ac.uk</a>             | 22:06:42.94                       | 67.563            | 63.721            | 17.4              | 25.0       | $M_L=2.8$<br>$m_b=2.7$              |
| <i>NORSAR</i> , Норвегия<br><a href="http://www.norsardata.no">http://www.norsardata.no</a> | 22:06:50.0                        | 68.00             | 62.67             |                   |            |                                     |

Динамическое явление с энергией  $E=21\,231$  Дж произошло в южном блоке шахты “Комсомольская” внутри горного массива на глубине 781 м (в границах отработки Воркутского месторождения) на участке лавы 312-Ю пласта “Тройного”. Поле шахты расположено на западном крыле Воркутской мульды на расстоянии 11 км от г. Воркута. Шахта работает на глубинах  $\sim 1100$  м и является самой глубокой шахтой России.

**Событие 22.08.2015 г.** (см. табл. 1) лоцировалось с использованием программы *NAS* по 18 вступлениям *P*- и *S*-волн станций Норильск, Арти, *ARCESS Array*, *Borovoye Array*, *Spitsbergen Array*, *FINESS Array*, *Kurchatov Array*, *Hagfors*, *Makanchi Array*, *NORSAR Array*, *Malin Array*, к которым из бюллетеня *ISC* были добавлены фазы по записям станций Пожег, Амдерма и *S*-волна по записям станции Арти. Фрагменты использованных записей пяти из перечисленных станций приведены на рис. 6.

Ближайшая станция Амдерма удалена от эпицентра на 260 км, самая далекая – *Malin Array* – на 2640 км. Как можно видеть в табл. 7, полученные при пересчете координаты хорошо согласуются с данными *IDC*.



**Рис. 6.** Сейсмическое событие 22.08.2015 г., произошедшее на шахте “Северная”. Фрагменты записей вертикальной компоненты станциями Амдерма (AMDE), Пожег (PZG), Арти (ARU), ARCESS Array (ARA0), Spitsbergen Array (SPA0)

**Fig. 6.** Vertical components of the seismic event on August 22, 2015 at the Severnaya mine recoded at different stations

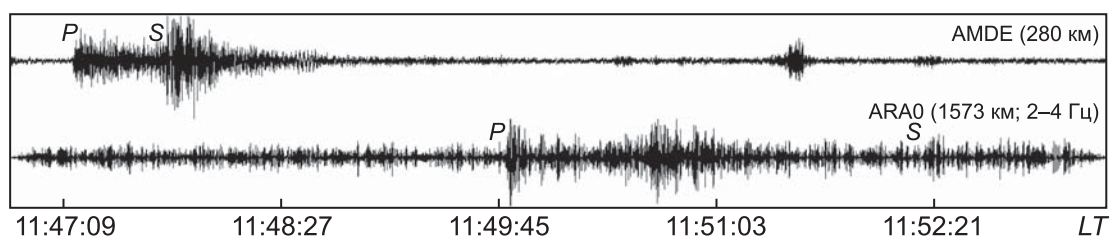
**Таблица 7.** Параметры события 22.08.2015 г. по данным разных сейсмологических центров

| Источник  | Время в очаге, $t_0$ ,<br>чч:мм:сс | $\varphi$ , °с.ш | $\lambda$ , °в.д. | Эллипс ошибок, км |            | Магнитуда                           |
|---|------------------------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------|-------------------------------------|
|   |                                    |                  |                   | $R_{\min}$        | $R_{\max}$ |                                     |
| ИГ Коми НЦ УрО РАН  | 22:24:49.9                         | 67.602           | 64.023            | 12.19             | 14.84      | $K_p=8.9$<br>$M_L=3.0$<br>$M_s=2.5$ |
| IDC, Австрия<br><a href="http://www.isc.ac.uk">http://www.isc.ac.uk</a>   | 22:24:48.64                        | 67.576           | 63.970            | 13.5              | 24.6       | $M_L=3.2$<br>$m_b=3.3$              |
| NORSAR, Норвегия<br><a href="http://www.emsc-csem.org/Earthquake/alert/?id=ZMG58;NEWS&amp;date=2015-08-22">http://www.emsc-csem.org/Earthquake/alert/?id=ZMG58;NEWS&amp;date=2015-08-22</a> | 22:25:30.59                        | 68.00            | 62.67             |                   |            |                                     |

Энергетический класс по Т.Г. Раутиан ( $K_p=8.9$ ) и локальная магнитуда ( $M_L=3.0$ ) рассматриваемого события определены по записям станции Амдерма; магнитуда  $M_s=2.5$  рассчитана по записям станций Пожег и Арти. Событие также имело макросейсмические проявления – жители Воркуты ощущали подземные толчки, которые, по их свидетельствам, были в два раза сильнее толчков при описанном выше событии 08.06.2015 г.<sup>1</sup> Поскольку данное событие произошло в шахтном поле шахты “Северная” в 10 км к северу от г. Воркута, то его можно классифицировать как техногенное.

**Событие 30.04.2016 г.** (см. табл. 1), произошедшее в пределах городского округа Воркута, было зарегистрировано станциями сейсмологической службы NORSAR и станцией Амдерма (рис. 7). Уточнение локации этого события выполнялось с применением программы NAS по записям станции Амдерма и вступлениям фаз P- и S-волн из бюллетеня IDC центра ISC (станции ARCESS Array, Spitsbergen Array, FINESS Array) при эпицентральных расстояниях от 280 (станция Амдерма) до 1913 км (станция FINESS Array). Информация о событии имеется на сайтах европейских сейсмологических центров ISC и NORSAR и приведена в табл. 8.

<sup>1</sup> <https://komiinform.ru/news/126532/> (дата обращения 25.05.2017).



**Рис. 7.** Сейсмическое событие 30.04.2016 г., произошедшее в шахтном поле шахты “Воркутинская”. Фрагменты записей вертикальной компоненты станциями Амдерма (AMDE) и ARCESS Array (ARA0)

**Fig. 7.** Vertical components of the seismic event on April 30, 2016 in the mine field of the Vorkutin-skaya mine recorded at stations AMDE and ARAO

**Таблица 8.** Параметры события 30.04.2016 г. по данным разных сейсмологических центров

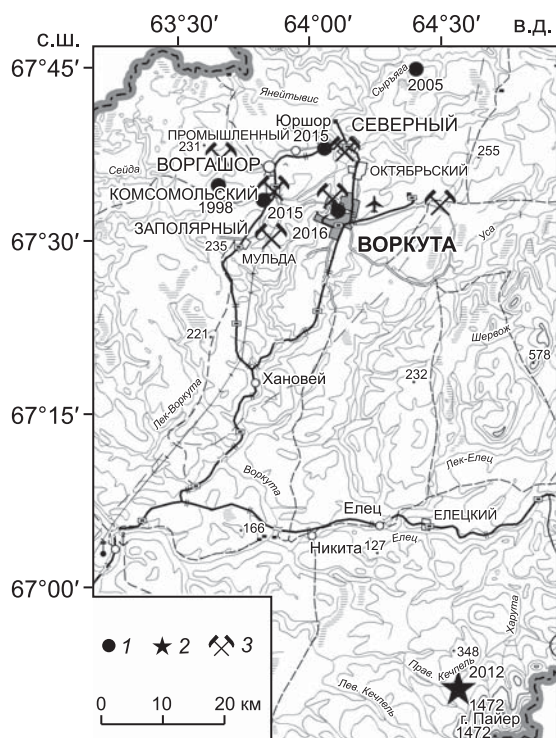
| Источник  | Время в очаге,<br>$t_0$ ,<br>чч:мм:сс | $\varphi$ , °с.ш. | $\lambda$ , °в.д. | Эллипс ошибок, км |            | Магнитуда              |
|---|---------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------|------------------------|
|   |                                       |                   |                   | $R_{\min}$        | $R_{\max}$ |                        |
| Институт геологии Коми НЦ<br>УрО РАН  | 11:46:31.9                            | 67.507            | 64.035            | 29.39             | 47.80      | $K_p=8.7$<br>$M_L=3.0$ |
| IDC, Австрия<br><a href="http://www.isc.ac.uk">http://www.isc.ac.uk</a>             | 11:46:31.53                           | 67.705            | 64.016            | 20.8              | 60.0       | $M_L=3.1$<br>$m_b=3.7$ |
| NORSAR, Норвегия<br><a href="http://www.norsardata.no">http://www.norsardata.no</a> | 11:46:27.0                            | 67.59             | 64.94             |                   |            | 2.89                   |

Разброс координат эпицентра, рассчитанных разными службами, достигает 40 км. По нашим расчетам эпицентр находится на 22 км южнее, чем по данным IDC, и расположен в шахтном поле шахты “Воркутинская”. Следовательно, и это событие является техногенным.

### Обсуждение результатов

К сожалению, качество используемых только в региональной зоне сейсмических записей не позволяет применить критерии идентификации землетрясений и техногенных событий, накопленные в Кольском филиале ЕГС РАН. Однако характер зарегистрированных сейсмическими станциями волновых картин и горнодобывающая активность в регионе дают основания для выводов о техногенной природе сейсмических событий, произошедших вблизи шахтных полей (рис. 8). Отметим, что при этом мы имеем дело с разными проявлениями техногенной сейсмичности.

Динамические явления, регистрируемые сейсмическими станциями в региональной зоне на шахтах Воркутинского угленосного района, являются горными ударами, под которыми мы понимаем термин, предложенный в ряде работ (см., например, [Петухов, Литвин, Кучерский, 1969; Петухов, 1972; Маловичко, Завьялов, Козырев, 2000]). Взрывы в пределах шахтных полей Воркутинского бассейна региональные сейсмические станции не фиксируют. Геодинамические явления, в том числе пылегазовые взрывы, были зафиксированы только комплексом GITS, установленным в шахтном поле шахты “Комсомольская”. Информация от GITS дополнялась данными станции геодинамического мониторинга SDAS Института динамики геосфер РАН, расположенной в 12 км от названного шахтного поля [Беляева и др., 2009].



**Рис. 8.** Схема расположения эпицентров сейсмических событий, произошедших в пределах городского округа Воркута, с указанием года и типа события, составленная с использованием данных, опубликованных в Интернете: <http://gis.rkomi.ru/GisViewer/RKomiMap>

1 – техногенные события; 2 – землетрясения; 3 – шахты

**Fig. 8.** The layout of epicenters of seismic events that occurred within the Vorkuta city district. Based on <http://gis.rkomi.ru/GisViewer/RkomiMap>. 1 are technogenic events, 2 are earthquakes, 3 are mines

Сейсмическое событие 23.05.2005 г. произошло в 22 км к северо-востоку от шахты “Северная” и Юньягинского угольного разреза, т.е. вблизи угольных месторождений, добыча которых может стимулировать перераспределение напряжений в тектонических структурах и, соответственно, их сброс в виде индуцированных (наведенных) землетрясений [Пустовитенко, Кульчицкий, 2000]. Так как очаг этого события находится за пределами горных выработок, вслед за авторами работы [Ловчиков, 2008; Адушкин, 2016] мы относим его к техногенным землетрясениям.

Таким образом, из 11 сейсмических событий на Полярном Урале, включенных в каталоги *IRIS*, *ISC*, *NORSAR*, *EMSC*, землетрясением, вероятно, является только одно, а именно событие 24.12.2012 г. События 1998, 2004, 2011, 2015, 2016 гг. – это горные удары в шахтах, 2005 г. – техногенное землетрясение; два события (1971, 1974 гг.) – мирные ядерные взрывы; природа события 1997 г. остается неясной. Проведенные исследования важны для правильной оценки сейсмичности данного горнодобывающего региона, поскольку позволяют избежать завышения уровня сейсмической опасности в связи с включением в каталоги землетрясений обрушений на угольных шахтах Воркуты.

Сегодня все шахты Воркуты работают на очень больших глубинах. Обрушение основной кровли, оставшейся после отработки пласта, может произойти одновременно на большом пространстве; при этом обваливаются миллионы тонн породы и происходит сдвиг – небольшое локальное землетрясение<sup>1</sup>. Кроме того, данные по отработке лав центрального блока шахты “Комсомольская” в сопоставлении с регистрируемой сейсмической активностью свидетельствуют о том, что активизация динамической активности, повышение напряжений в краевых частях и целиках происходят в результате наложения техногенных напряжений на уже существующие в массиве тектонические напряжения. Эти напряжения вызваны зависанием консолей пород основной кровли как за лавой, так и над монтажными камерами, с “пригрузкой” вышележащих целиков. Все

<sup>1</sup> URL: <http://gazetamv.ru/wp-content/uploads/2015/06/22m.pdf> (дата обращения 25.05.2017).

последующие просадки пород основной кровли также сопровождаются перераспределением напряжений в массиве, что и провоцирует усиление сейсмической активности [Логинов, Беляева, Мулев, 2009].

Активное развитие геодинамических явлений в шахтных полях свидетельствует о наличии высоких тектонических напряжений в массиве Печорского угольного бассейна и его энергонасыщенности. За 80-летний период на Воркутском месторождении было добыто 870 млн. тонн коксующихся углей, что является существенным фактором дестабилизации среды и нарушения природного равновесия [Адушкин, 2016].

Следует отметить, что лоцирование техногенных событий в районе г. Воркута в основном выполнено с большой возможной погрешностью (эллипсы ошибок велики, см. табл. 3–8). Это обусловлено малым количеством сейсмических станций, их конфигурацией, отсутствием близких станций<sup>1</sup>, а также значительной брешью в азимутальном распределении сейсмических станций относительно эпицентра (см. рис. 1). Так, станции сети *NORSAR*, регистрирующие воркутинские события и записи которых использовались нами, расположены в узком азимутальном створе – 267–330°.

Самые большие эллипсы ошибок получены для событий 2005 г. ( $R_{\min}=19.49$  км,  $R_{\max}=48.44$  км) и 2016 г. ( $R_{\min}=29.39$  км,  $R_{\max}=47.80$  км). При расчетах для события 2005 г. использовалось 13 фаз десяти станций в азимутальном створе 196–328°; событие 2016 г. лоцировано по 6 фазам четырех станций в азимутальном створе 267–342°. Тем не менее, например, для обрушения 08.06.2015 г. параметры эллипса ошибок составили  $R_{\min}=15.86$  км,  $R_{\max}=16.64$  км; однако точка локации этого события при пересчете по программе *NAS* попала на шахту “Комсомольская”, и достоверно известно, что именно там оно и произошло. Весомый вклад в уменьшение погрешностей расчетов вносит привлечение сейсмических вступлений на записях станции Норильск, так как в северо-восточном, восточном и юго-восточном направлениях от Воркуты мы не располагаем данными других региональных станций. Привлечение записей этой станции при обработке для событий 1998, 2015 гг. заметно уменьшает эллипс ошибок.

Станции службы *NORSAR*, обладающие высокой чувствительностью (аппаратура станций объединена в апертурные группы) и имеющие географически выгодное положение на территории Скандинавского полуострова, успешно регистрируют события малых магнитуд природного и техногенного характера на территории северо-западной части Восточно-Европейского кратона [Маловичко и др., 2007]. Сейсмическое группирование позволяет повысить отношение сигнал/шум и улучшить качество определения типа сигналов. Мировая практика сейсмических наблюдений на примере зарубежных (*GERESS*, *ARCESS Array*, *Spitsbergen Array*, *FINESS Array* и др.) и отечественных (сейсмические группы “Апатиты”, “Михнево”, “Лунино” и др.) сейсмологических центров доказала эффективность применения малоапертурных сейсмических групп для регистрации слабых сигналов.

На территории Республики Коми функционируют три сейсмологических пункта ИГ Коми НЦ УрО РАН, расположенные на юге республики – в г. Сыктывкар, с. Грива Койгородского района и с. Пожег Усть-Куломского района. Однако в настоящее время из-за высокого уровня техногенных помех в местах установки названных станций точный расчет координат эпицентров сейсмических событий невозможен без привлечения записей других сейсмологических центров.

Имеющиеся станции не обеспечивают должного уровня мониторинга территории Республики Коми, особенно ее северных районов. Для сейсмологического контроля, надежной регистрации локальных и региональных сейсмических событий необходимы

<sup>1</sup> Так, записи станции Амдерма привлекались лишь при лоцировании событий 2015–2016 гг.

модернизация и расширение сети сейсмостанций в регионе, что позволит более обоснованно подходить к проблеме получения оперативной информации о природе событий, определения их точного местоположения и раннего оповещения об авариях в шахтах Печорского угольного бассейна.

Авторы глубоко признательны коллегам из ЕГС РАН Архангельска и Перми за предоставленные записи сейсмических событий.

### Литература

- Адушкин В.В.* Тектонические землетрясения техногенного происхождения // *Физика Земли*. 2016. № 2. С.22–44.
- Альварес Л., Годзиковская А.А., Раутиан Т.Г.* Сейсмичность и сейсмический режим Кубы и прилегающих акваторий // *Исследования сейсмичности малоактивных сейсмических зон (Центральная Куба)*. М.: Наука, 1983. С.57–81.
- Асминг В.Э., Кременецакая Е.О., Виноградов Ю.А., Евтюгина З.А.* Использование критериев идентификации взрывов и землетрясений для уточнения оценки сейсмической опасности региона // *Вестник МГТУ*. 2010. Т. 13, № 4. С.998–1007.
- Беляева Л.И., Гончаров А.И., Иванов Н.В., Куликов В.И.* Возможные катастрофические геодинамические явления в Воркутинском угольном бассейне // *Проблемы взаимодействующих геосфер*. М.: ГЕОС, 2009. С.155–162.
- Габсатарова И.П., Баранов С.В., Голубева И.В., Дягилев Р.А., Маловичко Д.А., Надёжка Л.И., Асминг В.Э., Нахшина Л.П., Коломиец О.А., Белевская М.А., Варлашова Ю.В., Верхоланцев Ф.Г., Верхоланцева Т.В., Пивоваров С.П., Скоркина А.А., Старикович Е.Н.* Каталог землетрясений Восточно-Европейской платформы, Урала и Западной Сибири в 2012 г. с  $M \geq 1.3$  // *Землетрясения России в 2012 году*. Обнинск: ГС РАН, 2014. С.119–120.
- Годзиковская А.А., Асминг В.Э., Виноградов Ю.А.* Ретроспективный анализ первичных материалов о сейсмических событиях, зарегистрированных на Кольском полуострове и прилегающей территории в XX веке / Отв. ред. А.Н. Виноградов. М.: Ваш полиграфический партнер, 2010. 130 с.
- Конечная Я.В., Ваганова Н.В., Морозов А.Н., Носкова Н.Н.* Землетрясение на Полярном Урале 24 декабря 2012 года // *Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Материалы Восьмой Международной сейсмологической школы*. Обнинск: ГС РАН, 2013. С.179–183.
- 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.
- Ловчиков А.В.* Современное состояние проблемы регистрации, прогноза и предупреждения горно-тектонических ударов в рудниках // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2008. № 5. С.173–183.
- Логонов А.К., Беляева Л.И., Мулев С.Н.* Результаты сейсмического контроля на шахте “Комсомольская” ОАО “Воркутауголь” // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2009. № 6. С.347–352.
- Маловичко А.А., Завьялов А.Д., Козырев А.А.* Горные удары // *Природные опасности России*. Т. 2. Сейсмические опасности / Под ред. Г.А. Соболева. М.: Крук, 2000. С.243–293.
- Маловичко А.А., Габсатарова И.П., Чепкунас Л.С., Старовойт О.Е.* Инструментальные сейсмологические наблюдения на Восточно-Европейской платформе // *Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы* Кн.1. Землетрясения / Под ред. Н.В. Шарова, А.А. Маловичко, Ю.К. Щукина. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. С.14–59.

- Носкова Н.Н.* Новые данные о сейсмичности северной части Урала // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2016. № 3 (255). С.3–12.
- Носкова Н.Н.* Уточнение локации некоторых сейсмических событий на Полярном Урале за 1997–2016 гг. // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Материалы XII Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. С.250–254.
- Петухов И.М.* Горные удары на угольных шахтах. М.: Недра, 1972. 212 с.
- Петухов И.М., Литвин В.А., Кучерский Л.В.* Горные удары и борьба с ними на шахтах Кизеловского бассейна. Пермь: Пермиздат, 1969. 217 с.
- Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е.* Сейсмический мониторинг районов добычи полезных ископаемых юга Украины // Инженерная защита территорий и объектов в связи с развитием опасных геологических процессов. 2000. С.17–21.
- Федоров 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.
- Ядерные испытания СССР. Т. 4. Использование ядерных взрывов для решения народнохозяйственных задач и научных исследований. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2000. 200 с.
- Ringdal F., Kvaerna T.* A multi-channel processing approach to real time network detection, phase association, and threshold monitoring // Bull. Seismol. Soc. Am. 1989. Vol. 79, N 6. P.1927–1940.
- Schueller W., Morozov I.B., Smithson S.B.* Crustal and uppermost mantle velocity structure of northern Eurasia along the profile Quartz // Bull. Seismol. Soc. Am. 1997. V. 87, N 2. P.414–426.
- Sultanov D.D., Murphy J.R., Rubinstein Kh.* A Seismic Source Summary for Soviet Peaceful Nuclear Explosions // Bull. Seismol. Soc. Am. 1999. V. 89, N 3. P.640–647.

#### Сведения об авторах

**НОСКОВА Наталия Николаевна** – кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник, Институт геологии имени академика Н.П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения РАН. 167982, Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54. Тел.: +7(8212) 245-181. E-mail: nataliyageo@mail.ru

**АСМИНГ Владимир Эрнестович** – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Кольский филиал Федерального исследовательского центра “Единая геофизическая служба РАН”. 184209, Апатиты, ул. Ферсмана, д. 14. Тел.: +7 (81555) 627-20. E-mail: asmingve@mail.ru

## UPDATE OF PARAMETERS OF SOME SEISMIC EVENTS IN THE VORKUTA AREA WITHIN 1971–2016

N.N. Noskova<sup>1</sup>, V.E. Asming<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Institute of Geology of the Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia*

<sup>2</sup> *Kola Branch of the Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia*

**Abstract.** The seismic situation in the area of Vorkuta city district, Komi Republic, is analyzed. Coal is mined here at the Pechora coal basin. IRIS, ISC, IDC, and NORSAR seismic centers reported about 11 earthquakes on the territory indicated within 1971–2016. We have interpreted waveforms of these events and relocated their epicenters using P and S phases from the ISC bulletins and local seismic stations. The wave pattern of seismic events and the mining activity in the region suggested the technogenic origin of seismic events near the mine fields. The research establishes that out of the 11 events analyzed only one event in 2012, the Polar Ural, could be an earthquake; the 1998, 2004, 2011, 2015, and 2016 events are rock bursts in coal mines; the 2005 event is a technogenic earthquake; the 1971 and 1974 events are peaceful nuclear explosions; and the nature of 1997 event



is unclear. The results obtained are important for correct estimation of seismicity in this mining region to avoid overestimation of seismic level due to technogenic events in Vorkuta coal mines included in earthquake catalogs.

Presently three seismic stations of the Institute of Geology of the Komi Science Center, the Ural Branch, RAS, operate on the territory of the Komi Republic. However, without data from other seismological centers, the accurate location of epicenters is impossible due to a high level of cultural noise near the stations. The seismological monitoring and reliable registration of local and regional seismic events require modernization and expansion of the network of seismic stations in the republic.

**Keywords:** Vorkuta mining district, coal mines, seismic station, earthquake, rock burst, epicenter.

## References

- Adushkin V.V. Tectonic earthquakes of anthropogenic origin, *Izv. Phys. Solid Earth*, 2016, no. 2, pp. 22-44.
- Alvares L., Godzikovskaya A.A., and Rautian T.G., Seismicity and seismic regime of Cuba and the adjacent waters), *Issledovaniya seismichnosti maloaktivnykh seismicheskikh zon (tzentral'naya Kuba)* (Seismicity studies of low seismic zones (Central Cuba), Moscow: Nauka, 1983, pp. 57-81.
- Asming V.E., Kremenetskaya E.O., Vinogradov Yu.A., and Evtyugina Z.A., Criteria of explosions and earthquakes identification for estimation of seismic danger of the region, *Vestnik MGTU*, 2013, vol. 13, no. 4, pp. 998-1007.
- Belyaeva L.I., Goncharov A.I., Ivanov N.V., and Kulikov V.I., The probable catastrophic events in the Vorkuta coal basin, *Problemy vzaimodeistviyushikh geosfer* (Problems of Interactions between the Geospheres), Moscow: GEOS, 2009, pp. 155-163.
- Fedorov A.V., Asming V.E., Evtyugina Z.A., and Prokudina A.V. System of autonomous seismic monitoring in European Arctic, *Seismicheskie Pribory* (Seismic instruments), 2018, vol. 54, no. 1, pp. 29-39.
- Gabsatarova I.P., Baranov S. V., Golubeva I.V., Dyagilev R.A., Malovichko A.A., Nadezhka L.I., Asming V.E., Nakhshina L.P., Kolomiets O.A., Belevskaya M.A., Varlashova Yu.V., Verkhholantsev F.G., Verkhholantseva T.V., Pivovarov S.P., Skorkina A.A., and Starikov E.N. Catalog of earthquakes of the East European Platform, the Urals and Western Siberia in 2012,  $M \geq 1.3$ , East-European platform, Ural Mountains and Western Siberia, *Zemletryaseniya Rossii v 2012 godu* (Earthquakes in Russia in 2012), Obninsk: GS RAS, 2014, pp. 119-120.
- Godzikovskaya, A.A., Asming, V.E. and Vinogradov Yu.A., *Retrospektivnyi analiz pervichnykh materialov o seismicheskikh sobyitiyakh, zaregistrirovannykh na Kol'skom poluostrove i prilgayushchei territorii v XXI veke* (Retrospective Analysis of Primary Data on Seismic Events Recorded in the Kola Peninsula and Adjacent Areas in the 21st Century), ed. A.N. Vinogradov, Moscow: Vash poligraf. partner, 2010.
- Konechnaya Ya.V., Vaganova N.V., Morozov A.N., and Noskova N.N. Earthquake in Polar Urals 24 December 2012, *Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannykh* (Modern methods of processing and interpretation of seismological data), Proc. 8th Int. Seismol. Conf., Obninsk: GS RAS, 2013, pp. 179-183.
- Krasilov S.A., Kolomiets M.V., and Akimov A.P. Organization of Digital Seismic Data Processing Using a Software Package WSG, *Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannykh* (Modern methods of processing and interpretation of seismological data), Proc. Int. Seismol. School, Obninsk: GS RAS, 2006, pp. 77-83.
- Lovchikov A.V., The current state of the problem of registration, forecast and warning of rockbursts in mines, *Mining information and analytical bulletin*, 2008, no. 5, pp. 173-183.
- Loginov A.K., Belyayeva L.I., and Mulev S.N., The results of seismic control at the underground pit "Komso-molskaya" JSC "Vorkutaugol", *Gornyy Mining information and analytical bulletin*, 2009, no. 6, pp. 347-352.
- Malovichko A.A., Gabsatarova I.P., Chepkunas L.S., and Starovoyt O.E., Instrumental Seismological Observations on the East European Platform, *Zemletryaseniya i mikroiseimichnost v zadachakh sovremennoi geodinamiki Vostochno-Evropeiskoi platformy* (Earthquakes and Microseismicity in Modern Geodynamics Problems of the East European Platform), ed. N.V. Sharov, A.A. Malovichko, Yu.K. Shchukin, vol. 1, Petrozavodsk: KNTs RAN, 2007, pp. 14-59.
- Malovichko A.A., Zavialov A.D., and Kozyrev A.A., Rockbursts, *Prirodnye opasnosti Rossii. tom 2, Seismicheskie opasnosti* (Natural hazards in Russia, vol. 2. Seismic hazard), ed. G.A. Sobolev, Moscow: Kruk, pp. 243-293.
- Noskova N.N., New data on northern Urals seismicity, *Vestnik IG Komi SC UB RAS*, 2016, no. 3, pp. 3-12.

- Noskova N.N. Update of location of some seismic events on the Polar Urals for 1997–2016 *Sovremennyye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannykh* (Modern methods of processing and interpretation of seismological data), Proc. XII Int. Seismol. Conf., Obninsk: GS RAS, 2017, pp. 250-254.
- Petukhov I.M., *Gornyye udary na ugolnykh shakhtakh* (Rockbursts in coal mines), Moscow: Nedra, 1972.
- Petukhov I.M., Litvin V.A., and Kucherskiy L.V., *Gornyye udary i borba s nimi na shakhtakh Kizelovskogo basseyna* (Rockbursts and their control in the Kizilovsky basin mines), Perm: Permizdat, 1969.
- Pustovitenko B.G., and Kulchitskiy V.E., Seismic monitoring of mining areas in the south of Ukraine, *Inzhenernaya zashchita territorii i obyektov v svyazi s razvitiyem opasnykh geologicheskikh protsessov* (Engineering protection of territories and objects due to hazardous geological processes), 2000, pp. 17-21.
- Ringdal F. and Kvaerna T. A multi-channel processing approach to real time network detection, phase association, and threshold monitoring, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 1989, vol. 79, no. 6, pp. 1927-1940.
- Schueler W., Morozov I.B., and Smithson S.B., Crustal and uppermost mantle velocity structure of northern Eurasia along the profile Quartz, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 1997, vol. 87, no. 2, pp. 414-426.
- Sultanov D.D., Murphy J.R., and Rubinstein Kh. A Seismic Source Summary for Soviet Peaceful Nuclear Explosions, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 1999, vol. 89, no. 3, pp. 640-647.
- Yadernye ispytaniya SSSR* (USSR Nuclear tests), vol. 4, Sarov: RFYaTs–VNIIEF, 2000.