

АНАЛИЗ ЛОКАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ ЗАПАДНОЙ  
ЧАСТИ ПОЛУОСТРОВА ТАЙМЫР ПО ДАННЫМ  
СЕЙСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ «КОЛБА»Я. В. Конечная<sup>\*1,2</sup>  и Г. Н. Антоновская<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика  
Н. П. Лаврова УрО РАН, Архангельск, Россия

<sup>2</sup>Единая геофизическая служба Российской академии наук, Обнинск, Россия

\* **Контакт:** Я. В. Конечная, yanakon@mail.ru

В последние годы в западной части полуострова Таймыр ведется активная разработка угольных месторождений и проводятся работы, связанные с созданием соответствующей инфраструктуры (порты, дороги и т.д.). Установленная в октябре 2020 года сейсмическая станция «Колба», входящая в состав уникальной научной установки «Архангельская сейсмическая сеть», регулярно регистрирует локальные сейсмические события, естественная природа которых ставится под сомнение. За период с октября 2020 г. по февраль 2023 г. на расстояниях до 200 км от станции зарегистрировано 150 сейсмических событий. Для очистки сейсмического каталога от событий техногенной природы мы использовали следующие критерии: локация событий по данным сейсмической станции «Колба», анализ волновых форм и спектрально-временных (СВАН) диаграмм, расчет соотношения амплитуд объемных волн  $S/P$ , анализ суточного распределения событий и их магнитудный диапазон. Сложность заключается в отсутствии регионального годографа для данного района, что сказывается на точности локации сейсмических событий. Использованный набор критериев позволил провести очистку сейсмического каталога и отнести все 150 событий к техногенной сейсмичности. Наиболее эффективными критериями являются анализ сонограмм событий и соотношение  $S/P$ . В отдельных случаях по виду волновых форм также можно определить принадлежность события к определенному промышленному объекту (в частности, к порту Бухта Север).

**Ключевые слова:** Полуостров Таймыр, землетрясение, техногенное событие, критерии определения природы событий

**Цитирование:** Конечная, Я. В. и Антоновская Г. Н. Анализ локальной сейсмичности западной части полуострова Таймыр по данным сейсмической станции «Колба» // Russian Journal of Earth Sciences. — 2023. — Т. 23. — ES5008. — DOI: 10.2205/2023es000858 — EDN: JLBHNY

### Введение

В связи с расширением деятельности по разведке и добыче ресурсов на арктическом континентальном шельфе необходимым условием освоения территорий является минимизация воздействия процессов естественного и искусственного происхождения на инженерно-технические объекты. Возведение хранилищ углеводородного сырья, прокладка трубопроводов и пр. требует более тщательной оценки сейсмической опасности района их размещения.

Северный морской путь (СМП) является важнейшей частью инфраструктуры экономического комплекса Крайнего Севера и связующим звеном между российским Дальним Востоком и западными районами страны. На сегодняшний день трасса СМП крайне неравномерно охвачена инструментальными сейсмическими наблюдениями по причине суровых климатических и неблагоприятных географических условий, финансовой дороговизны проведения экспедиционных работ. Начиная с 2011 г., благодаря

<https://elibrary.ru/jlbhny>

Получено: 31 мая 2023 г.

Принято: 22 июня 2023 г.

Опубликовано: 30 декабря 2023 г.



© 2023. Коллектив авторов.

усилиям сотрудников Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. академика Н. П. Лаверова Уральского отделения РАН (ФИЦКИА УрО РАН), стали развиваться инструментальные сейсмические наблюдения на побережье Карского моря и арктических российских архипелагах Земля Франца-Иосифа, Северная Земля и Новая Земля [Антоновская и др., 2022a]. Кольским филиалом Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН» (ФИЦ ЕГС РАН) установлены новые станции на севере Кольского полуострова и на полуострове Ямал. Якутским филиалом ФИЦ ЕГС РАН установлены новые станции на севере Якутии [ФИЦ ЕГС РАН, 1993].

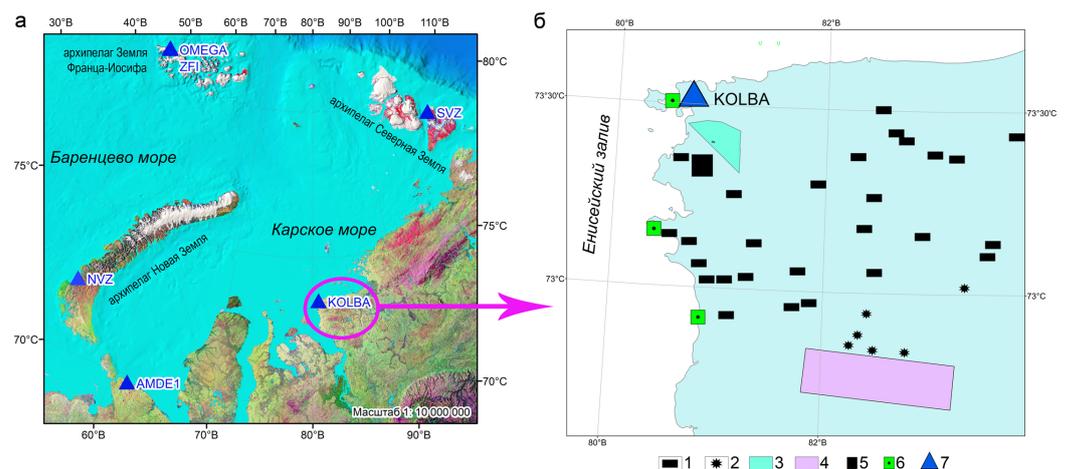
Стационарная широкополосная сейсмическая станция «Колба», вошедшая в состав Архангельской сейсмической сети ФИЦКИА УрО РАН, была открыта 11 октября 2020 г. Станция установлена в районе пгт. Диксон Таймырского Долгано-Ненецкого района Красноярского края на территории геофизической станции «Колба» им. В. В. Ходова Северного управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (см. рис. 1). Международный и региональный код станции – KOLBA, ее координаты:  $\varphi = 73,529^\circ\text{N}$ ,  $\lambda = 80,701^\circ\text{E}$ ,  $h = 11$  м.

Первые результаты работы станции «Колба» подробно проанализированы в работе [Антоновская и др., 2022b], в которой были представлены результаты оценки уровня микросейсмического фона и возможности сейсмической станции при проведении регионального мониторинга. В работе [Антоновская и др., 2022b] упоминались локальные сейсмические события, природа которых ассоциировалась либо с техногенной деятельностью в районе порта Бухта Север, либо с динамикой разломных зон рассматриваемого района. Однако, более подробного анализа проявления локальной сейсмичности рассмотрено не было, что послужило основанием для данной работы. Очистка сейсмических каталогов от техногенных событий всегда была актуальной задачей, особенно после установки новой станции в малоизученном районе. Цель проведенных исследований – на основании подобранных критериев дать обоснованный ответ о природе зарегистрированных локальных событий: землетрясения или техногенные события.

По данным открытых источников [Корабел.ру, 2021; Роснефть, 2021; Свинцова, 2022] в западной части Таймырского полуострова в последние 3–5 лет отмечаются активные работы по освоению угольных месторождений и возведению необходимой инфраструктуры (строительство морских портов, терминалов, железных и автомобильных дорог). Основные месторождения и промышленные объекты показаны на рис. 1.

В западной части Таймырского полуострова расположены сразу несколько крупных промышленных объектов. Наиболее известным является Норильский промышленный район (или Норильский рудный район), в котором находятся 8 рудников и шахт, 2 обогатительные фабрики и 3 металлургических завода [Энциклопедия Красноярского края, 2015]. На протяжении всего периода работы сейсмическая станция «Колба» фиксирует техногенные события, связанные с деятельностью Норильского рудного района. Мониторинг локальной сейсмичности этого промышленного района обеспечивает станция «Норильск» (NRİK). Сейсмической станцией «Колба» регистрируются лишь наиболее сильные события. Они были рассмотрены в [Антоновская и др., 2022b] и относятся к региональным техногенным сейсмическим событиям.

В 2020 г. начато строительство обогатительного комбината на одном из крупнейших в мире Сырадасайском угольном месторождении (рис. 1) [Недра-Эксперт, 2018с; Свинцова, 2022] и строительство морского порта Енисей [Дела.ру, 2023; Корабел.ру, 2021], который будет грузовым терминалом месторождения. В 2021 г. начата реализация проекта по строительству нефтеналивного терминала порт Бухта Север [Роснефть, 2021; 2023], расположенного в 42 км от сейсмической станции «Колба». Продолжается обустройство магистрального нефтепровода общей протяженностью более 400 км. Лемберовская площадь (рис. 1), в состав которой входят Нижнелемберовское и Малолемберовское месторождения угля, также открыта относительно недавно – в 2018 году [Neftegaz.ru, 2020; Недре-Эксперт, 2018a,b]. Добываемый уголь будет поставляться на экспорт по Севморпути через порт Диксон.



**Рис. 1.** Физико-географическая карта с расположением сейсмических станций Архангельской сейсмической сети ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН (а) и действующие промышленные объекты в западной части полуострова Таймыр с указанием ряда полезных ископаемых (б). Некоторые полезные ископаемые: 1 – каменный уголь, 2 – драгоценные и поделочные камни. Угольные месторождения: 3 – Малолемберовское, 4 – Сыродасайское, 5 – Нижнелемберовское. 6 – порты, сверху вниз: Диксон, Бухта Север, Енисей. 7 – сейсмическая станция «Колба».

#### Данные и методы

Сейсмическая станция «Колба» оснащена высокочувствительной аппаратурой фирмы Nanometrics (Канада) – широкополосным сейсмометром TC-120s и регистратором Centaur. Данные поступают на сервер лаборатории сейсмологии ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН по протоколу SeedLink через сеть Интернет. Исходные данные представляют собой непрерывную сейсмическую запись в частотном диапазоне от 0,033 до 25 Гц с частотой опроса 50 отсч/с.

Обработка сейсмических данных проводится в программном комплексе WSG (Windows Seismic Grapher) совместной разработки Единой геофизической службы РАН и НПП «Геотех» [Акимов и Красилов, 2020]. Первичный просмотр предполагает анализ исходной записи на предмет выявления телесеизмических, региональных и локальных сейсмических событий с занесением информации в станционный бюллетень. В ходе регионального мониторинга данные сейсмической станции «Колба» подключаются к сводной обработке региональных землетрясений по данным Архангельской сейсмической сети (АСС) с привлечением исходных записей сейсмических станций международных и региональных сейсмологических агентств.

События, зарегистрированные только сейсмической станцией «Колба» и невыявленные на записях других станций, обрабатываются в программе EventLocator [Асминг, 2011]. Эпицентр определяется по вычисленному эпицентральному расстоянию и обратному азимуту. Это, безусловно, менее надежный метод локации, но он позволяет получить в первом приближении представление о распределении эпицентров событий.

Ввиду отсутствия регионального скоростного годографа для полуострова Таймыр при обработке в программе EventLocator используется скоростная модель BARENTS для определения координат землетрясений и времени в очаге (разработка Кольского филиала ФИЦ ЕГС РАН [Kremenetskaya et al., 2001]). Для определения значений локальной магнитуды  $M_L$  используется уточненная шкала для западной части Евразийской Арктики [Морозов и др., 2020].

Основой для анализа служит скомпилированный каталог сейсмических событий, зарегистрированных сейсмической станцией «Колба» в период с октября 2020 г. по февраль 2023 г. на расстояниях до 200 км от станции, включающий 150 сейсмических событий.

В условиях отсутствия каких-либо опорных данных (образцы волновых форм, достоверная информация о месте, времени и способах проведения промышленных взрывов, отсутствие событий на записях других сейсмических станций) по техногенной сейсмичности в западной части полуострова Таймыр критерии определения природы событий сводятся к рассмотрению следующих косвенных признаков:

- Локация события вблизи промышленного объекта. В обычных случаях точность локации сейсмического события является решающим фактором определения его природы: если событие произошло в районе действующего добывающего предприятия, то велика вероятность, что это взрыв. События, произошедшие вне промышленных объектов, требуют более тщательного анализа, поскольку во многих случаях, на основании только сейсмических записей, невозможно определить, является ли данное событие взрывом или землетрясением. Однако, именно в случае регистрации событий сейсмической станцией «Колба» в западной части полуострова Таймыр и возникла ситуация, когда локация не является ключевым критерием в силу обработки данных по одной станции.
- Анализ СВАН-диаграмм и волновых форм сейсмических событий. Одним из более или менее стабильных критериев идентификации техногенных событий является спектральный анализ сейсмической записи. В работе представлены СВАН-диаграммы (или сонограммы), построенные в программе Geopsy. Известно [Асминг и др., 2010], что сонограммы карьерных взрывов имеют характерные «полосы» в области высоких частот. Наличие в сейсмическом сигнале на протяжении всей записи события одной и той же частоты свидетельствует о техногенной природе данного события, чего никогда не наблюдается для землетрясений. Анализ волновых форм является субъективным критерием, связанным с опытом интерпретатора. Однако, со временем интерпретатор может сформировать представление о типичной записи техногенного события, связанного с конкретным промышленным районом.
- Анализ соотношения  $S/P$ . Отношение амплитуд объемных  $P$  и  $S$  волн является распространенным критерием идентификации техногенных событий. Согласно работе [Асминг и др., 2010] отношения  $S/P$  для землетрясений должны весьма отличаться от отношения амплитуд объемных волн в большую сторону по сравнению с техногенными событиями. Иными словами, для землетрясений характерны высокие значения соотношения  $S/P$  (больше 3–4). Однако, могут быть исключения. Некоторые региональные и локальные землетрясения могут иметь амплитуды  $P$  превышающие  $S$  (малое значение  $S/P$ ). Это объясняется геологическими особенностями трассы прохождения сейсмических волн.
- Анализ суточного распределения сейсмических событий. Может служить важным дополнением к остальным критериям, поскольку распределение событий в рабочие часы указывает на их техногенную природу.
- Анализ магнитудного диапазона зарегистрированных событий. Если магнитуды всех событий имеют низкие значения (например,  $M_L < 3,0$ ), то вероятно их техногенная природа. Технология взрывных работ всегда ограничена некой максимальной массой взрывчатого вещества, и взрывы не могут быть сколько угодно сильными [Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, 2020].

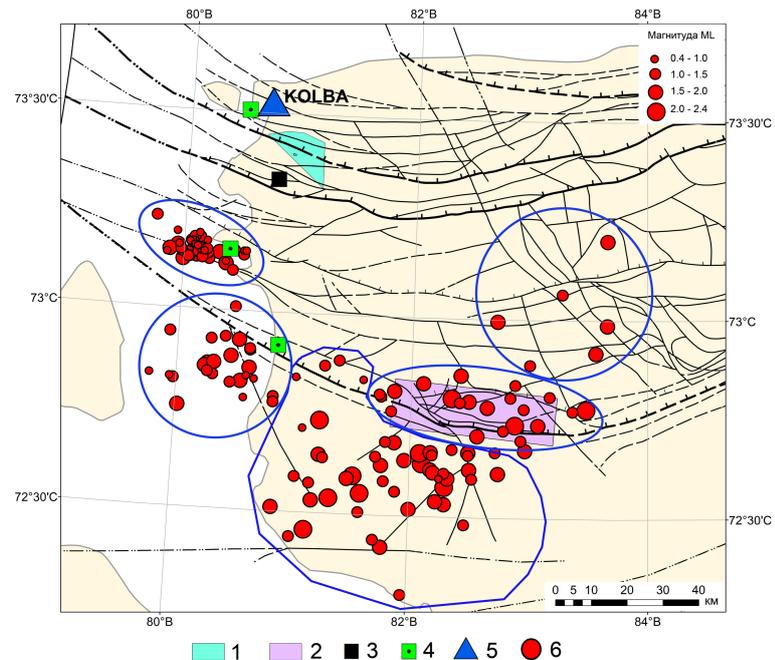
Несмотря на то, что по отдельности каждый признак не является прямым доказательством техногенной природы событий, их совокупность можно принять в качестве решения об исключении события из сейсмического каталога или пометки его как события техногенной природы.

### Результаты исследования и их обсуждение

Все локальные сейсмические события, содержащиеся в скомпилированном каталоге, зарегистрированы только сейсмической станцией «Колба». Распределение эпицентров событий показано на рис. 2. Эпицентральные расстояния составляют от 42 до 165 км. Ошибка в локации событий, связанная с неточностью определения обратного азимута

( $\pm 10^\circ$ ), оценивается в 7–8,5 км для порта Бухта Север и 12–29 км для всех остальных событий. Следует заметить, что эта погрешность варьируется вдоль направления долготы. Значения локальных магнитуд  $M_L$  находятся в диапазоне от 0,4 до 2,4.

Выделено несколько групп событий (рис. 2), связанных с локацией вблизи промышленных объектов: порт Бухта Север, порт Енисей, Сырадасайское месторождение, южнее Сырадасайского месторождения, севернее Сырадасайского месторождения. В районе Нижнелемберовского угольного месторождения и порта Диксон событий не зарегистрировано.



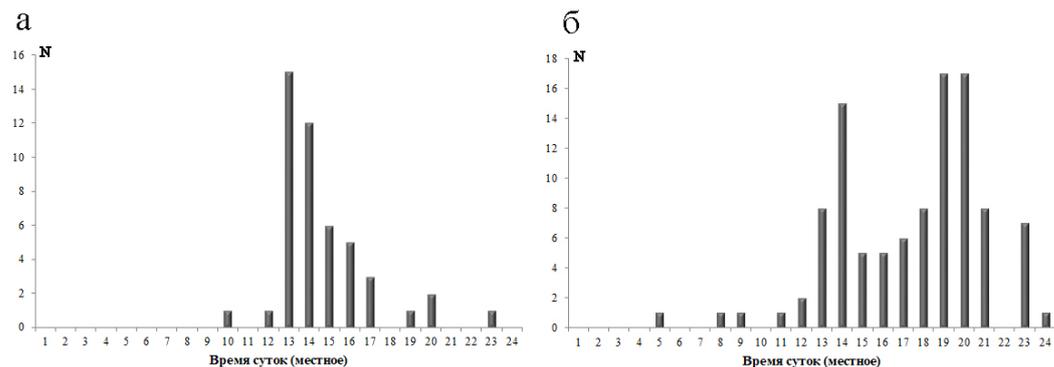
**Рис. 2.** Карта распределения эпицентров локальных сейсмических событий по данным сейсмической станции «Колба» за период с октября 2020 г. по февраль 2023 г. Угольные месторождения: 1 – Малолемберовское, 2 – Сырадасайское, 3 – Нижнелемберовское. 4 – порты, сверху вниз: Диксон, Бухта Север, Енисей. 5 – сейсмическая станция «Колба». 6 – локальные события. Синими линиями выделены группы событий. Черными линиями показаны разрывные нарушения различного типа.

Очевидно, что локация событий, как критерий распознавания техногенных событий, в данном случае оправдывает себя лишь частично. Более приемлемая локация, с учетом оценки погрешности, получена лишь для порта Бухта Север. Как было сказано ранее, это связано с определением параметров эпицентров по данным одной сейсмической станции «Колба». Кроме того, отсутствие регионального годографа также сказывается на точности локации сейсмических событий.

Диаграммы суточного распределения сейсмических событий в районе порта Бухта Север и связке порт Енисей – Сырадасайское месторождение показаны на рис. 3.

Как видно из рис. 3, практически все локальные сейсмические события зарегистрированы в дневное время с пиковыми значениями в 13–14 часов и в 19–20 часов. Причем время происхождения многих событий укладывается в интервал несколько минут, например, с 18:47 до 18:57 зафиксировано 11 событий. Подобное распределение указывает на проведение работ в районе промышленных объектов, а, следовательно, и на техногенную природу анализируемых событий.

Для всех событий было определено соотношение  $S/P$ , которое является одним из критериев распознавания техногенных событий. Количество событий и среднее  $S/P$  в зависимости от района приведено в табл. 1. Очевидно, что события вне зависимости от района имеют низкие значения  $S/P$  (меньше 3,0). Отсутствие в выборке событий с высокими значениями  $S/P$  вероятнее всего свидетельствует об отсутствии в ней землетрясений.



**Рис. 3.** Суточное распределение (по местному времени) локальных сейсмических событий, зарегистрированных сейсмической станцией «Колба»: а) – в районе порта Бухта Север; б) – в районе порта Енисей и Сырадасайского месторождения.

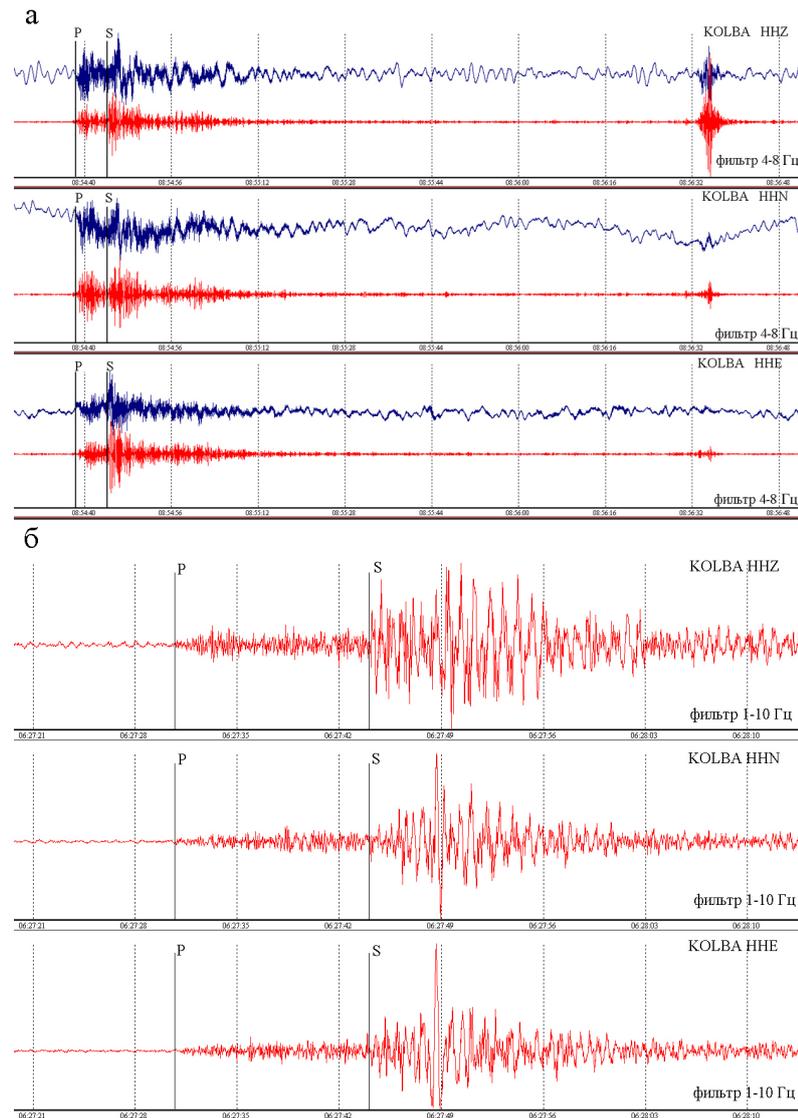
В районе порта Бухта Север, где летом 2021 г. начаты строительные работы, выделено 46 сейсмических событий за период с октября 2020 г. по февраль 2023 г. (рис. 4а) с магнитудами  $M_L$  от 0,7 до 1,8. Волновая картина подобных событий имеет характерный для взрывов вид. Из-за малых эпицентральных расстояний объемная S-волна и поверхностные волны не успевают сформироваться и приходят на станцию практически одновременно. Фазы объемных волн выделяются не только на фильтрованной записи, но и на исходном сигнале. Отмечается наличие акустического сигнала на записях более сильных событий. Стоит отметить, что волновые формы событий из района порта Бухта Север аналогичны взрывам из карьера Покровское (Архангельская область) на записях станции «Андозеро».

Остальные события, относящиеся к связке порт Енисей – Сырадасайское месторождение имеют более классический вид записей (рис. 4б) и похожи друг на друга. Из-за эпицентральных расстояний, превышающих 100 км, выделение фаз практически во всех случаях происходит с помощью высокочастотных фильтров, а объемные и поверхностные волны уже успевают сформироваться. Акустические сигналы отсутствуют.

Более информативным инструментом для идентификации техногенных событий является анализ СВАН-диаграмм (или сонограмм). Для всех групп событий, зарегистрированных сейсмической станцией «Колба», были получены СВАН-диаграммы по районам регистрации: порт Бухта Север, порт Енисей, южнее и севернее Сырадасайского месторождения и район самого месторождения (рис. 5). Очевидно, что все они содержат «полосы» в области высоких частот. Многие события, особенно лоцированные в Енисейском заливе, имеют 2–3 «полосы», что свидетельствует о характере работ, связанных с подводными взрывами. Максимумы амплитуд в выделенных «полосах» составляют, как правило, 9,5 Гц, 11,5 Гц, 13,5 Гц, 16,5 Гц и 19,5 Гц.

**Таблица 1.** Количество и средние значения  $S/P$  для разных районов

| Район                                 | N, шт. | Среднее $S/P$ | Среднеквадратичное отклонение $S/P$ |
|---------------------------------------|--------|---------------|-------------------------------------|
| порт Бухта Север                      | 46     | 1,39          | 0,61                                |
| порт Енисей                           | 24     | 2,36          | 0,41                                |
| южнее Сырадасайского месторождения    | 53     | 1,96          | 0,48                                |
| севернее Сырадасайского месторождения | 6      | 1,90          | 0,41                                |
| Сарыдагайское месторождение           | 20     | 2,09          | 0,62                                |



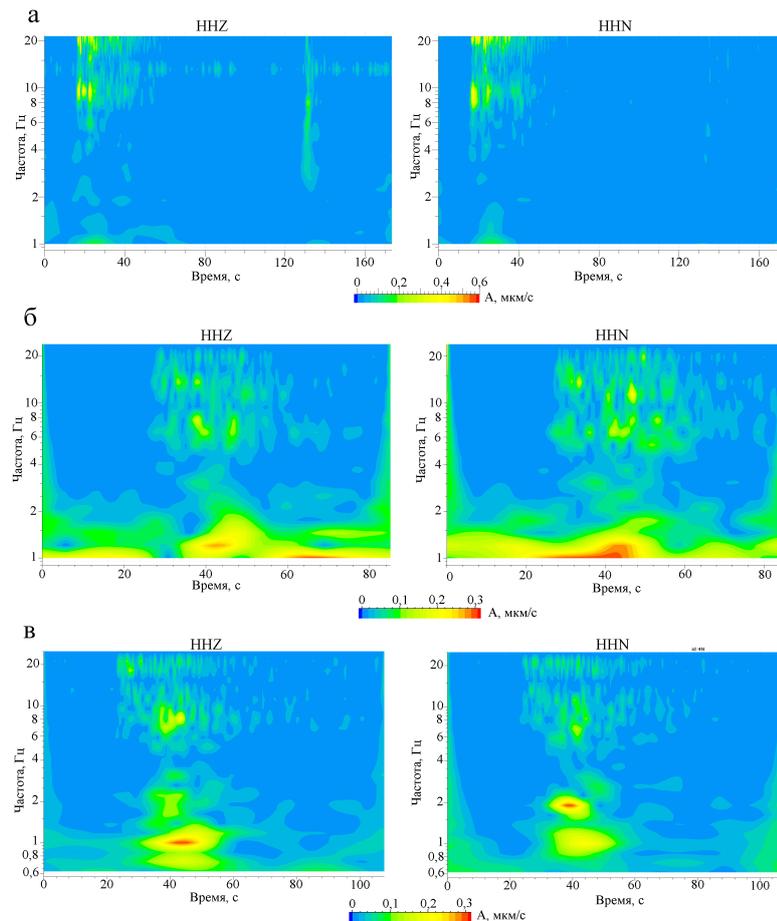
**Рис. 4.** Волновые формы локальных сейсмических событий, зарегистрированных сейсмической станцией «Колба»: а) – в районе объекта порт Бухта Север 09.10.2022 г.; б) – южнее Сырадасайского месторождения 02.12.2022 г.

На СВАН-диаграммах в районе порта Бухта Север выделяется акустический сигнал, но нет поверхностной волны. В других районах, напротив, – на низких частотах выделяется поверхностная волна (до 2 Гц), а акустический сигнал отсутствует.

### Заключение

Сформулированные критерии идентификации техногенных событий на сейсмических записях позволили определить природу зарегистрированных сейсмической станцией «Колба» событий. Даже несмотря на отсутствие данных других сейсмических станций и большой разброс в локациях событий относительно промышленных объектов, нам удалось сделать вывод об их техногенной природе и исключить их из сейсмического каталога. Из 150 зарегистрированных событий не выявлено ни одного землетрясения.

Наиболее значимыми критериями для определения природы событий мы выделяем СВАН-диаграммы, соотношения  $S/P$  и суточное распределение событий. Для порта Бухта Север волновая форма также указывает на техногенную природу и может быть использована в качестве дальнейшего идентификатора природы событий. Локация и значения магнитуд всех событий являются косвенными признаками.



**Рис. 5.** СВАН-диаграммы локальных сейсмических событий, зарегистрированных сейсмической станцией «Колба» для вертикального (Z) и горизонтального (N) каналов: а) – порт Бухта Север 09.10.2022 г.; б) – порт Енисей 15.10.2021 г.; в) – южнее Сырадасайского месторождения 18.12.2022 г.

В дальнейшем, в ходе просмотра записей и рутинной обработки событий полуострова Таймыр, следует придерживаться следующего алгоритма. Во-первых, по типу волновой формы определить события, относящиеся к порту Бухта Север. Во-вторых, оценить время в очаге. Этого будет достаточно для занесения события в группу с техногенной природой. Для других событий следует провести более углубленную интерпретацию с расчетом отношения  $S/P$  и построением сонограмм.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках темы государственного задания Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лавёрова Уральского отделения Российской академии наук, № гос. регистрации 122011300389-8.

### Список литературы

- Neftegaz.ru. Нижнелемберовское каменноугольное месторождение. — 2020. — URL: <https://neftegaz.ru/tech-library/mestorozhdeniya/555891-nizhnelembervskoe-kamennougolnoe-mestorozhdenie/> (дата обр. 23.05.2023).
- Акимов А. П., Красилов С. А. Программный комплекс WSG «Система обработки сейсмических данных»: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020664678 от 16.11.2020. — 2020. — URL: <http://www.gsras.ru/new/soft/WSG/>.
- Антоновская Г. Н., Конечная Я. В., Ваганова Н. В. и др. Вклад уникальной научной установки «Архангельская сейсмическая сеть» в изучение сейсмичности Российской Арктики // Геодинамика и тектонофизика. — 2022а. — Т. 13, № 2. — DOI: [10.5800/GT-2022-13-2-0587](https://doi.org/10.5800/GT-2022-13-2-0587).

- Антоновская Г. Н., Морозова Е. Р., Конечная Я. В. *и др.* Оценка регистрационных возможностей сейсмической станции «Колба» для мониторинга западного сектора Российской Арктики // Сейсмические приборы. — 2022b. — Т. 58, № 4. — DOI: [10.21455/si2022.4-8](https://doi.org/10.21455/si2022.4-8).
- Асминг В. Э. Программный комплекс EL (ELRESS). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011619620 от 20.10.2011. — 2011. — URL: <http://www.krsc.ru/?q=ru/EL> (дата обр. 23.05.2023).
- Асминг В. Э., Кременецкая О. Е., Виноградов Ю. А. *и др.* Использование критериев идентификации взрывов и землетрясений для уточнения оценки сейсмической опасности региона // Вестник МГТУ. — 2010. — Т. 3, № 4/2. — С. 998–1007.
- Дела.ru. На Таймыре строят глубоководный порт для нового угольного терминала. — 2023. — URL: <https://dela.ru/news/279567/> (дата обр. 23.05.2023).
- Корабел.ру. В строящийся порт «Енисей» смогут заходить крупные суда. — 2021. — URL: [https://www.korabel.ru/news/comments/na\\_taymyre\\_aktivno\\_idet\\_stroitelstvo\\_morskogo\\_porta\\_enisey.html](https://www.korabel.ru/news/comments/na_taymyre_aktivno_idet_stroitelstvo_morskogo_porta_enisey.html) (дата обр. 23.05.2023).
- Морозов А. Н., Ваганова Н. В., Асминг В. Э. *и др.* Шкала ML для западной части Евразийской Арктики // Российский сейсмологический журнал. — 2020. — Т. 2, № 4. — С. 63–68. — DOI: [10.35540/2686-7907.2020.4.06](https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.4.06).
- Недра-Эксперт. Лемберовская площадь. — 2018a. — URL: <https://www.nedraexpert.ru/subsurface/77251/1> (дата обр. 23.05.2023).
- Недра-Эксперт. Месторождение Малолемберовское. — 2018b. — URL: <https://www.nedraexpert.ru/subsurface/1200037878/1> (дата обр. 23.05.2023).
- Недра-Эксперт. Сырадасайское месторождение. — 2018с. — URL: <https://www.nedraexpert.ru/subsurface/1200006811/1> (дата обр. 23.05.2023).
- Роснефть. «Роснефть» приступила к реализации проекта по строительству нефтеналивного терминала порт «Бухта Север». — 2021. — URL: <https://www.rosneft.ru/press/releases/item/206295/> (дата обр. 23.05.2023).
- Роснефть. Результаты ПАО «НК «РОСНЕФТЬ» за 12 мес. 2022 г. по МСФО. — 2023. — URL: <https://www.rosneft.ru/press/releases/item/214041> (дата обр. 23.05.2023).
- Свинцова Е. На Сырадасайском месторождении на Таймыре отгрузили первую партию угля. — 2022. — URL: <https://neftegaz.ru/news/coal/753225-na-syradasayskom-mestorozhdenii-na-taymyre-otgruzili-pervuyu-partiyu-uglya/> (дата обр. 23.05.2023).
- Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. Приказ №494 от 3 декабря 2020 Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения». — 2020. — URL: [http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&link\\_id=0&nd=602020534](http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&link_id=0&nd=602020534) (дата обр. 16.06.2023).
- ФИЦ ЕГС РАН. Сеть сейсмических станций. — 1993. — URL: <http://www.ceme.gsras.ru/new/struct/> (дата обр. 23.05.2023).
- Энциклопедия Красноярского края. Норильский рудный район. — 2015. — URL: <http://my.krskstate.ru/docs/minerals/norilskiy-rudnyy-rayon/> (дата обр. 23.05.2023).
- Kremenetskaya E., Asming V., Ringdal F. Seismic Location Calibration of the European Arctic // Pure and Applied Geophysics. — 2001. — Vol. 158, no. 1. — P. 117–128. — DOI: [10.1007/p100001151](https://doi.org/10.1007/p100001151).

# LOCAL SEISMICITY ANALYSIS OF THE WESTERN PART OF THE TAIMYR PENINSULA ACCORDING TO THE DATA OF THE SINGLE SEISMIC STATION “KOLBA”

Ya. V. Konechnaya<sup>\*\*</sup>,<sup>1,2</sup> , and G. N. Antonovskaya<sup>1</sup>, 

<sup>1</sup>N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russia

<sup>2</sup>Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences, Obninsk, Russia

**\*\*Correspondence to:** Ya. V. Konechnaya, yanakon@mail.ru

In recent years, active development of coal deposits and works related to the creation of appropriate infrastructure (ports, roads, etc.) have been carried out in the western part of the Taimyr peninsula. The main objects are the port Buhta Sever (oil loading terminal), the Syradasay coal deposit and the port Yenisei. Work is also underway in the Lembersk coal mine and the associated port Dixon.

The single seismic station “KOLBA” of the Arkhangelsk seismic network installed in October 2020 near Dixon regularly registers local seismic events, the natural nature of which is questioned. From October 2020 to February 2023, 150 seismic events with a magnitude range of ML from 0.4 to 2.4 were registered at distances up to 200 km from the seismic station. The purpose of our research is to give a reasonable answer on the basis of selected criteria about the nature of registered local events: earthquakes or man-made events. Cleaning seismic catalogs from man-made events has always been an urgent task, especially after the installation of each new seismic station in a little-studied area of the Arctic.

The difficulty in determining the event nature lies in the absence of a regional hodograph and any reference data such as samples of waveforms, reliable information about the place, time and methods of industrial explosions, the absence of these events on the records of other seismic stations. In this regard, we have defined a set of criteria for determining the nature of events, which are reduced to the consideration of indirect signs. These are the location of an event near an industrial facility, the analysis of spectral-time diagrams and waveforms of seismic events, the analysis of the amplitudes ratio of volume and *S/P* waves, the daily distribution of seismic events and the magnitude range of recorded events. Despite the fact that individually each criteria is not a direct proof of the man-made events nature, their totality can be taken as a decision to exclude the event from the seismic catalog.

In the process of determining the epicenters of events, we identified several groups related to various industrial facilities. The daily distribution diagram shows that local seismic events were recorded in the daytime with peak values at 13–14 hours and at 19–20 hours, which indicates the technogenic nature of events. The *S/P* ratio is  $< 3.0$  for all events, which most likely also indicates a technogenic nature, as with the presence of “bands” in the high frequency range on the spectral-time diagrams. The developed set of criteria for the identification of technogenic events allowed us to clean up the seismic catalog and attribute all 150 events to the manifestation of technogenic seismicity. The most effective criteria are the analysis of spectral-time diagrams, the *S/P* ratio and the daily distribution of events. In some cases, by the waveform types, it is also possible to determine whether an event belongs to a certain industrial facility (in particular, to the port of Buhta Sever).

Received: 31 May 2023

Accepted: 22 June 2023

Published: 30 December 2023



© 2023. The Authors.

**Keywords:** Taimyr Peninsula, earthquake, technogenic event, criteria for determining the events nature

**Citation:** Konechnaya, Ya. V., and G. N. Antonovskaya (2023), Local Seismicity Analysis of the Western Part of the Taimyr Peninsula According to the Data of the Single Seismic Station “KOLBA”, *Russian Journal of Earth Sciences*, 23, ES5008, <https://doi.org/10.2205/2023ES000858> EDN: JLBHNY

## References

- Akimov A. P., Krasilov S. A. Software complex WSG “Seismic data processing system”: Certificate of state registration of the computer program No. 2020664678 dated 16.11.2020. — 2020. — URL: <http://www.gsras.ru/new/soft/WSG/>.
- Antonovskaya G. N., Konechnaya Y. V., Vaganova N. V., *et al.* Contribution of the unique scientific facilities “Arkhangelsk seismic network” to the Russian Arctic seismicity study // *Geodynamics & Tectonophysics*. — 2022a. — Vol. 13, no. 2. — DOI: [10.5800/GT-2022-13-2-0587](https://doi.org/10.5800/GT-2022-13-2-0587).
- Antonovskaya G. N., Morozova E. R., Konechnaya Y. V., *et al.* Evaluation of the registration capabilities of the Kolba seismic station for monitoring the western sector of the Russian Arctic // *Seismic Instruments*. — 2022b. — Vol. 58, no. 4. — DOI: [10.21455/si2022.4-8](https://doi.org/10.21455/si2022.4-8).
- Asming V. E. EL software package (ELRESS). Certificate of state registration of a computer program No. 2011619620 dated 10/20/2011. — 2011. — URL: <http://www.krsc.ru/?q=ru/EL> ; (date of access 23.05.2023).
- Asming V. E., Kremenetskaya O. E., Vinogradov Y. A., *et al.* Using the criteria for identifying explosions and earthquakes to refine the assessment of the seismic hazard of the region // *Bulletin of MSTU*. — 2010. — Vol. 3, no. 4/2. — P. 998–1007.
- Dela.ru. A deep-water port for a new coal terminal is being built in Taimyr. — 2023. — URL: <https://dela.ru/news/279567/> ; (date of access 23.05.2023).
- Encyclopedia of the Krasnoyarsk Territory. Norilsk ore district. — 2015. — URL: <http://my.krskstate.ru/docs/minerals/norilskiy-rudnyy-rayon/> ; (date of access 23.05.2023).
- Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision. Order No. 494 of December 3, 2020 On approval of Federal norms and rules in the field of industrial safety “Safety rules for the production, storage and use of explosive materials for industrial use”. — 2020. — URL: [http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&link\\_id=0&nd=602020534](http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&link_id=0&nd=602020534) ; (date of access 16.06.2023).
- Geophysical Survey of Russia Academy of Sciences. Network of seismic stations. — 1993. — URL: <http://www.ceme.gsras.ru/new/struct/> ; (date of access 23.05.2023).
- Korabel.ru. Large ships will be able to enter the Yenisei port under construction. — 2021. — URL: [https://www.korabel.ru/news/comments/na\\_taymyre\\_aktivno\\_idet\\_stroitelstvo\\_morskogo\\_porta\\_enisey.html](https://www.korabel.ru/news/comments/na_taymyre_aktivno_idet_stroitelstvo_morskogo_porta_enisey.html) ; (date of access 05/23/2023).
- Kremenetskaya E., Asming V., Ringdal F. Seismic Location Calibration of the European Arctic // *Pure and Applied Geophysics*. — 2001. — Vol. 158, no. 1. — P. 117–128. — DOI: [10.1007/pl00001151](https://doi.org/10.1007/pl00001151).
- Morozov A. N., Vaganova N. V., Asming V. E., *et al.* The ML scale in western Eurasian Arctic // *Russian Journal of Seismology*. — 2020. — Vol. 2, no. 4. — P. 63–68. — DOI: [10.35540/2686-7907.2020.4.06](https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.4.06).
- Nedra-Expert. Lemberovskaya Square. — 2018a. — URL: <https://www.nedraexpert.ru/subsurface/77251/1> ; (date of access 23.05.2023).
- Nedra-Expert. Malolemberovskoye field. — 2018b. — URL: <https://www.nedraexpert.ru/subsurface/1200037878/1> ; (date of access 23.05.2023).
- Nedra-Expert. Syradasayskoye field. — 2018c. — URL: <https://www.nedraexpert.ru/subsurface/1200006811/1> ; (date of access 23.05.2023).
- Neftegaz.ru. Nizhnelembrovskoe coal field. — 2020. — URL: <https://neftegaz.ru/tech-library/mestorozhdeniya/555891-nizhnelembrovskoe-kamennougolnoe-mestorozhdenie/> ; (date of access 23.05.2023).
- Rosneft. Rosneft has begun implementing a project to build an oil terminal at the Bukhta Sever port. — 2021. — URL: <https://www.rosneft.ru/press/releases/item/206295/> ; (date of access 23.05.2023).
- Rosneft. Performance results of PJSC “OC ROSNEFT” for 12 months. 2022 according to International Financial Reporting Standards. — 2023. — URL: <https://www.rosneft.ru/press/releases/item/214041> ; (date of access 23.05.2023).
- Svintsova E. The first batch of coal was shipped at the Syradasai field in Taimyr. — 2022. — URL: <https://neftegaz.ru/news/coal/753225-na-syradasayskom-mestorozhdenii-na-taymyre-otgruzili-pervuyu-partiyu-uglya/> ; (date of access 23.05.2023).