УДК 622.83.001

Бессарабова Алина Андреевна,
аспирантка, гр. ГПс-251, II курс (КузГТУ, г. Кемерово),
Научный руководитель: Фомин Анатолий Иосифович,
д. т. н., профессор АОТП (КузГТУ, г. Кемерово)

Bessarabova Alina Andreevna,
graduate student, gr. GPS-251, II year (KuzGTU, Kemerovo),
Scientific supervisor: Anatoly Iosifovich Fomin, Doctor of Technical Sciences,
Professor of AOTP (KuzSTU, Kemerovo)

ВОЗМОЖНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО АНАЛИЗА СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ КУЗБАССА ПО ОТКРЫТЫМ ДАННЫМ

POSSIBILITIES OF SPATIAL ANALYSIS OF SEISMIC ACTIVITY IN KUZBASS BASED ON OPEN DATA

Аннотация. По открытым каталогам и научным публикациям рассмотрены районы повторяющейся сейсмической активности в Кузбассе. На схеме показаны пять опубликованных кластеров: Бачатский, Калтанско-Алардинский, Талдинский, Краснобродско-Киселёвский и район шахты «Распадская».

Abstract. Open catalogues and scientific publications are used to review areas of repeated recorded seismic activity in Kuzbass. The map shows five clusters described in published sources: Bachatsky, Kaltan–Alardinskaya, Taldinsky, Krasnobrodsk–Kiselyovsk, and the Raspadskaya mine area.

Введение. Кемеровская область (Кузбасс) является одним из наиболее сейсмически активных регионов России. На его территории регистрируются и природные землетрясения, и сейсмические события, связанные с горными работами [1]. Для предварительной оценки геодинамической обстановки важны не только интенсивность сотрясений, но и расположение эпицентров, глубина очагов и повторяемость событий.

Цель работы. Выявить районы повторяющейся сейсмической активности в Кузбассе по открытым данным, сопоставить основания их выделения и определить ограничения пространственного анализа.

Задачи исследования:

1. рассмотреть конкретные примеры событий и районов сейсмического мониторинга Кузбасса;

2. сопоставить опубликованные значения и типы магнитуд для Бачатского землетрясения и определить правило хранения параметров в сводном каталоге;

3. предусмотреть фильтрацию промышленных взрывов из каталога;

4. обозначить на схеме опубликованные районы повторяющейся сейсмической активизации и сопоставить основания их выделения;

5. предложить методику картографирования и расчёта плотности сейсмических событий;

6. определить ограничения метода и отделить зарегистрированную активность от оценки риска.

Предмет исследования. Пространственное распределение эпицентров и опубликованных районов активизации, характеристики магнитуд и глубин, а также повторяемость событий во времени.

Гипотеза. Открытые каталоги и научные публикации позволяют выявить несколько районов повторяющейся зарегистрированной сейсмической активности. Однако границы таких районов и происхождение всех входящих в них событий нельзя надёжно установить без сопоставимого каталога, проверки промышленных взрывов и анализа полноты сети наблюдений.

Методы. Анализ научных публикаций и открытых каталогов, сравнение каталожных параметров, картографирование опубликованных районов активизации и оценка ограничений исходных данных. Количественный пересчёт плотности по полному ряду индивидуальных записей в рамках данной работы не выполнялся.

Событие 10 октября 2026 года. Согласно исходной публикации Алтае-Саянского филиала ФИЦ ЕГС РАН, ощутимое землетрясение произошло в 07:47 по местному времени. В опубликованном решении указаны координаты 54,064° с. ш., 86,434° в. д., локальная магнитуда $M_L = 4{,}4$, глубина очага около 14 км и расчётная интенсивность 5 баллов [2].

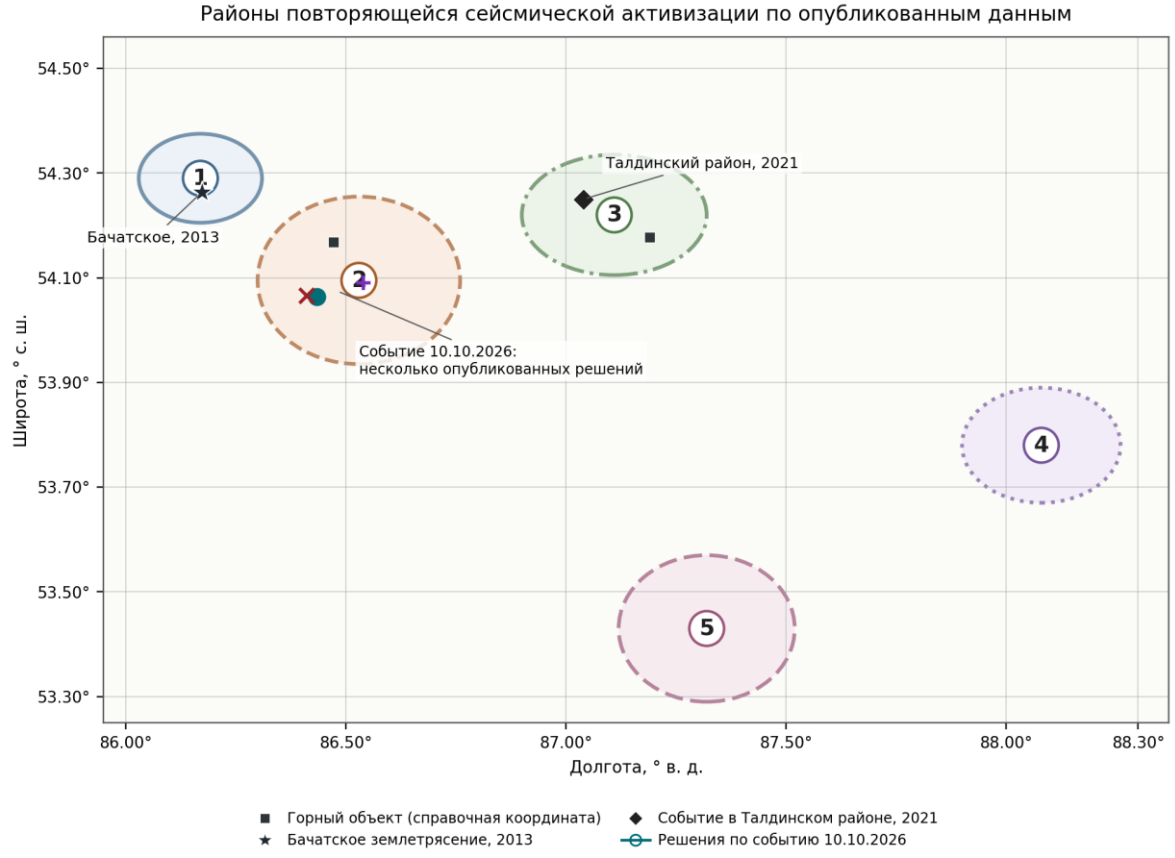
Сопоставление решений для события 10 октября 2026 года. USGS/NEIC приводит для этого события координаты 54,066° с. ш., 86,411° в. д., магнитуду mb = 4,7 и глубину 10 км [4]. В исследовательском обзоре также упоминается оперативная карточка АСФ ФИЦ ЕГС РАН с координатами 54,09° с. ш., 86,54° в. д. и магнитудой 4,9 [3].

Бачатское землетрясение 18 июня 2013 года. Событие произошло в районе разреза «Бачатский». По данным детального исследования, локальная магнитуда составила $M_L = 6{,}1$ при максимальной наблюдённой интенсивности $I_0 = 7$ [5]; для решения ASGSR в той же статье указаны координаты 54,2608° с. ш., 86,1608° в. д. и глубина 3,6 км. При составлении каталога нужно сохранять выбранное решение и его источник. В публикации также описаны интенсивный афтершоковый процесс (около 5000 афтершоков) и более ранние периоды активизации в районе разреза [5].

Район Калтанского разреза и шахты «Алардинская». Еманов, Еманов и Фатеев изучали сейсмическую активизацию с помощью временной сети станций. В исследуемом районе одновременно действовали открытые и подземные горные работы, наблюдалась связь событий с тектоническими нарушениями [6]. Авторы описали общую активизацию около трёх близко расположенных разрезов и локальную группу над подземными выработками. Для группы у шахты «Алардинская» характерно большое количество маломагнитудных событий; наиболее сильные события у горных объектов достигали $M_L = 3 - 4$, а основные глубинные диапазоны составляли 1–1,5 и 2–3 км [6].

В отличие от эпицентров конкретных землетрясений, Калтанско-Алардинская зона представляет собой район наблюдаемой активизации. На рис. 1 она обозначена ориентировочным контуром, основанным на описании опубликованного исследования, а не как точечное событие или официальная граница опасности.

На рисунке 1 обобщены пять районов повторяющейся концентрации зарегистрированных событий, описанных в открытых публикациях. Номера зон соответствуют таблице 1.



Цифры 1–5 соответствуют таблице 2. Контуры — ориентировочные области опубликованных кластеров, а не расчётные границы риска.

Рисунок 1 — Схема пяти районов повторяющейся сейсмической активизации по опубликованным данным.

Примечание. Овалы обозначают ориентировочные области, в которых источники описывают повторяющуюся активизацию; они не рассчитаны по равномерной сетке 10 × 10 км и не являются официальными границами сейсмической опасности. Квадратами показаны справочные координаты горных объектов [7–11], звёздочкой — Бачатское землетрясение 2013 г. [5], ромбом — событие в Талдинском районе 2021 г. [3,9]. Несколько символов у Краснобродско-Киселёвской зоны показывают разные опубликованные решения события 10.10.2026 [2,3]. Зоны выделены по описаниям кластеров в обзоре и профильных исследованиях [3,5,6]; это реконструкция, по опубликованным сведениям, а не независимый расчёт по всем исходным записям.

Таблица 1. Районы повторяющейся сейсмической активности, описанные в открытых источниках

Район и период	Основания выделения по источникам
1. Бачатская зона 2012–2014 гг.	Главный толчок $ML = 6{,}1 (I_0 = 7)$ и длительная афтершоковая последовательность; в детальном локальном каталоге описано около 5 000 афтершоков. Опубликовано пространственное совпадение части очагов с карьером и отвалами [5,3].
2. Краснобродско-Киселёвская зона 2020–2026 гг.	В каталоге 2020 г. три события $ML = 4{,}1$; 3,9 и 4,9 классифицированы как техногенные. В обзоре отмечены повторные события в 2023–2026 гг.; для события 10.10.2026 опубликованы заметно различающиеся координатные решения [2,3].
3. Талдинский район 2021 г.; активизация описана также в 2019–2023 гг.	Для события 12.08.2021 опубликованы $ML = 5{,}6$ и глубина около 3 км. Оно произошло в районе Талдинского разреза [3,9].
4. Район шахты «Распадская» 2019–2023 гг.	В опубликованном обзоре отмечен кластер зарегистрированных событий около «Распадской». Район также назван одним из участков, где сеть наблюдений недостаточно плотная для детальных выводов [3].
5. Калтанско-Алардинская зона с конца 2016 г.; исследование опубликовано в 2019 г.	Временная сеть выявила активизацию у нескольких близко расположенных разрезов и отдельную локальную группу над подземными работами шахты «Алардинская». В публикации приведены характерные интервалы глубин 1–1,5 и 2–3 км и события ML до 3–4 у горных объектов [6].

В открытом исследовательском обзоре объединённый ряд за 10.10.2006–10.10.2026 включает 4 977 записей, классифицированных использованными источниками как землетрясения; автор обзора сообщает, что семь широких аналитических зон содержат около 82 % записей [3]. Эти числа приведены как результат опубликованного исследования и не являются самостоятельным пересчётом в данной работе. Границы зон в обзоре были выбраны после просмотра скоплений; следовательно, показатель 82 % нельзя трактовать как независимую статистическую проверку или как долю техногенных землетрясений.

Проверка и сопоставимость исходных данных. Перед нанесением событий на карту необходимо проверить координаты, время, глубину и магнитуду, а также тип записи в каталоге. Данные разных источников могут отличаться не только из-за точности определения, но и потому, что используются разные шкалы магнитуд.

Предлагаемая методика пространственного анализа.

Подготовка таблицы. Для каждого события фиксируются дата и время, координаты, тип и значение магнитуды, глубина, источник решения, класс события (природное, техногенное, взрыв или неопределённое) и качество координат. Исходные параметры сохраняются для повторной проверки расчётов и влияния фильтрации.

Карта эпицентров и районов активизации. На карту наносятся проверенные эпицентры, отдельные точки горных объектов и ориентировочные области повторяющихся кластеров. Событие и объект добычи обозначаются разными символами. Район активизации выделяется только при наличии опубликованного описания повторяемости или анализа пространственного скопления; он не должен строиться исключительно по факту близости к шахте.

Расчёт плотности. Для предварительного сравнения территорию можно разделить на одинаковые ячейки, например 10 × 10 км, а затем подсчитать число отфильтрованных землетрясений в каждой ячейке за единый период наблюдений. Среднегодовая плотность событий рассчитывается по формуле (1). Размер ячейки 10 × 10 км является исследовательским выбором, а не нормативом. Расчёт следует повторить для другой сетки, чтобы проверить, не зависит ли результат от выбранной геометрии.

$$D = \frac{N}{S \cdot T} \qquad (1)$$

где D — среднегодовая плотность зарегистрированных событий, событий/(км²·год); N — число отфильтрованных событий в ячейке; S — площадь ячейки, км²; T — период наблюдений, лет.

Эти показатели нельзя смешивать при сравнении ячеек. Пример иллюстрирует формулу и не является рассчитанным показателем для конкретного

района Кузбасса. Для фактического результата необходимо обработать исходный каталог и отфильтровать подтверждённые взрывы.

Практический результат. На основе открытых публикаций и описаний каталогов на схеме показаны пять районов повторяющейся сейсмической активизации: Бачатский, Краснобродско-Киселёвский, Талдинский, район «Распадской» и Калтанско-Алардинский. Для каждого приведены временные рамки, свидетельства и ограничения интерпретации. Это зоны, описанные в источниках, а не новые контуры, самостоятельно рассчитанные по полному каталогу.

Заключение. На основе анализа открытых каталогов и профильных научных публикаций выделены пять районов повторяющейся сейсмической активизации в Кузбассе: Бачатский, Калтанско-Алардинский, Талдинский, Краснобродско-Киселёвский и район шахты «Распадская». Для каждого района определены временные рамки и основания выделения согласно источникам.

Пространственный анализ эпицентров позволяет визуализировать скопления событий и сопоставить их с действующими горными объектами, однако выявленные контуры являются ориентировочными. Они отражают опубликованные в литературе зоны наблюдаемой активизации и не могут рассматриваться как официальные границы сейсмической опасности или расчетные изолинии риска.

Сопоставление данных различных агентств (ASGSR, NEIC/USGS) для Бачатского землетрясения 2013 г. и события 10.10.2026 г. показало значительный разброс координатных и энергетических решений. Это требует сохранения исходных параметров каждого каталога и отказа от автоматического усреднения данных при картографировании.

Таким образом, открытые источники позволяют провести обзорное районирование и выявить участки повторяющихся толчков. Однако для перехода от качественной оценки к количественному расчету геодинамического риска необходимы согласованный каталог с проверенными координатами, подтвержденная классификация происхождения событий и данные о локальных инженерно-геологических условиях.

Список литературы

1. Yakovlev D. V., Lazarevich T. I., Tsirel S. V. Natural and Induced Seismic Activity in Kuzbass // Journal of Mining Science. 2013. Vol. 49, No. 6. P. 862–872. DOI: https://doi.org/10.1134/S1062739149060038

2. Алтае-Саянский филиал ФИЦ ЕГС РАН. Важнейшие результаты работ Алтае-Саянского филиала за 2023 г. Раздел о каталоге сейсмических событий Алтае-Саянского региона за 2001–2023 гг. URL: https://asgsr.ru/node/138 (дата обращения: 28.10.2026).

3. Алтае-Саянский филиал ФИЦ ЕГС РАН. В Кузбассе 10 октября 2026 г. произошло ощутимое землетрясение. URL: https://asgsr.ru/node/168 (дата обращения: 29.10.2026).

4. Зубкова Н., Северин С. Н., Светлов В. А. Когда добыча сдвигает землю: что известно о техногенных землетрясениях Кузбасса. Исследовательский материал, 11 октября 2026 г. URL: https://nataliazubkova.com/ru/work/kogda-dobycha-sdvigaet-zemlyu/ (дата обращения: 29.10.2026).

5. Еманов А. Ф., Еманов А. А., Фатеев А. В. Бачатское техногенное землетрясение 18 июня 2013 г. с ML = 6,1, I_0 = 7 (Кузбасс) // Российский сейсмологический журнал. 2020. Т. 2, № 1. С. 48–61. DOI: https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.1.05

6. Еманов А. А., Еманов А. Ф., Фатеев А. В. Мониторинг сейсмической активизации в районе Калтанского разреза и шахты Алардинская (Кузбасс) // Вопросы инженерной сейсмологии. 2019. Т. 46, № 3. С. 5–15. DOI: https://doi.org/10.21455/VIS2019.3-1

7. Global Energy Monitor. Bachatsky Coal Mine. Global Coal Mine Tracker. Координаты объекта (WGS 84): 54,299431° с. ш., 86,145779° в. д. URL: https://www.gem.wiki/Bachatsky_coal_mine (дата обращения: 29.10.2026).

8. Global Energy Monitor. Taldinsky Coal Mine. Global Coal Mine Tracker. Координаты объекта (WGS 84): 54,177222° с. ш., 87,190556° в. д. URL: https://www.gem.wiki/Taldinsky_Coal_Mine (дата обращения: 29.10.2026).

9. Global Energy Monitor. Krasnobrodsky Coal Mine. Global Coal Mine Tracker. Координаты объекта (WGS 84): 54,167753° с. ш., 86,473257° в. д. URL: https://www.gem.wiki/Krasnobrodsky_Coal_Mine (дата обращения: 29.10.2026).

10. Global Energy Monitor. Raspadskaya Coal Mine. Global Coal Mine Tracker. Координаты объекта (WGS 84): 53,784142° с. ш., 88,082391° в. д. URL: https://www.gem.wiki/Raspadskaya_Coal_Mine (дата обращения: 29.10.2026).

11. Global Energy Monitor. Alardinskaya Coal Mine. Global Coal Mine Tracker. Координаты объекта (WGS 84): 53,414136° с. ш., 87,315216° в. д. URL: https://www.gem.wiki/Alardinskaya_Coal_Mine (дата обращения: 29.10.2026).