

## Южно-Кузбасская техногенная сейсмическая активизация (Калтанский угольный разрез и шахта «Алардинская»)

<sup>1,2</sup>А.А. Еманов, <sup>1,3</sup>А.Ф. Еманов, <sup>1,2</sup>А.В. Фатеев

<sup>1</sup>АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск; <sup>2</sup>ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск;

<sup>3</sup>НГУ, г. Новосибирск

В самой южной части Кузнецкого угольного бассейна в районе поселков Калтан и Малиновка в последнем квартале 2016 г. проявила себя новая сейсмическая активизация. С конца октября до конца 2016 г. произошло шесть землетрясений с магнитудой  $M_L$  [1] от 3.5 до 4, которые ощущались в окружающих поселках. Департаментом угольной промышленности администрации Кемеровской области был проведен целый ряд совещаний с привлечением АСФ ФИЦ ЕГС РАН, МЧС, Ростехнадзора, угледобывающих предприятий, проводящих горные работы вблизи активизированной области. По результатам этих совещаний в конце ноября 2016 г. было принято решение установить временную сейсмическую сеть в районе активизированной области для получения детальных сведений о происходящих сейсмических процессах, запланировать и начать строительство и оснащение трех стационарных сейсмических станций. Установка и сопровождение временной сейсмической сети выполнялось Алтае-Саянским филиалом ФИЦ ЕГС РАН.

Начальный этап исследований описан в [2], в этой статье представлено продолжение исследований с временной сетью станций, которая завершила свою работу только в 2018 г., а весь 2017 г. осуществлялся непрерывный мониторинг активизированной зоны (табл. III.10).

**Таблица III.10. Сведения о сейсмических станциях АСФ ФИЦ ЕГС РАН в районе Калтанского разреза в 2016–2017 гг.**

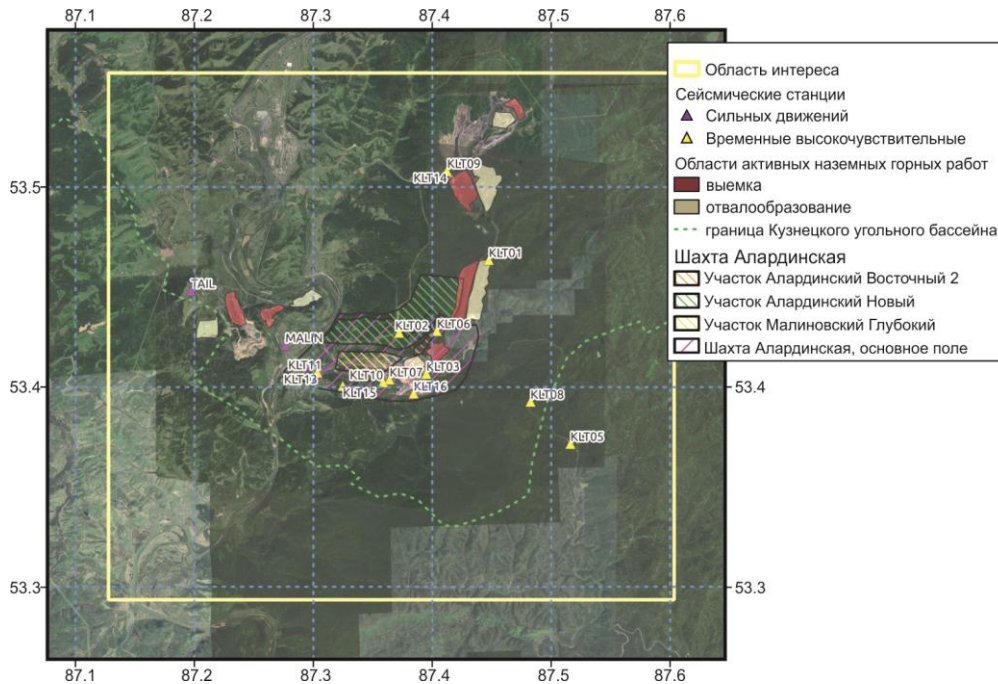
Код станции	Координаты и высота над уровнем моря			Период работы
	φ, °N	λ, °E	h, м	
KLT01	53.464	87.447	425	01.12.2016 – 2018
KLT02	53.427	87.372	514	30.11.2016 – 2018
KLT03	53.407	87.395	341	01.12.2016 – 2018
KLT04	53.401	87.325	295	01.12.2016 – 2018
KLT05	53.372	87.516	429	01.12.2016 – 2018
KLT06	53.428	87.404	383	14.02.2017 – 2018
KLT07	53.404	87.364	397	14.02.2017 – 2018
KLT08	53.393	87.483	531	15.02.2017 – 2018
KLT09	53.508	87.412	288	28.03.2017 – 2018
KLT10	53.402	87.359	389	28.03.2017 – 2018
KLT11	53.408	87.303	242	29.03.2017 – 2018

Примечание – Оборудование на всех станциях – СК-1П и Байкал АС-75.

Нужно отметить, что существующая сейсмическая сеть в Кемеровской области к началу данной сейсмической активизации позволяла надежно фиксировать и локализовать сейсмические события, начиная с магнитуды 2. При этом в относительной близости от активизированной области находились две станции сильных движений – «Малиновка» (MALIN) и «Тайлеп» (TAIL). Данные акселерометрических станций использовались для уточнения параметров сильных сейсмических событий, но их невозможно использовать для обнаружения слабых сейсмических событий.

Непосредственно в районе активизации 1 декабря 2016 г. началась установка временной сейсмической сети из пяти чувствительных велосиметрических станций.

На станциях использовались датчики СК-1П с собственным периодом 1 с, предварительные усилители и регистраторы Байкал АС-75. Такая конфигурация оборудования имеет собственные шумы ниже модели низких собственных шумов Земли NLNM в полосе от 0.14 до 10 Гц, что позволяет гарантированно регистрировать все сейсмические события, которые могут быть выделены на микросейсмическом фоне. В зимний период станции устанавливались на грунт под снег, после схода снежного покрова оборудование переставлено в грунт и полностью закопано. Все пункты наблюдения показаны на рис. III.31.



**Рис. III.31. Сейсмическая сеть в зоне активизации.**

Показаны районы активного ведения горных работ наземным способом и проекции на поверхность лицензионных участков шахты «Алардинская»

Обработка данных сейсмической сети выполнялась в пакете SeisComP3 [3]. Для определения координат сейсмических событий использовался пакет HYPO71 [4, 5]. При локации использовалась слоистая скоростная модель, составленная по данным ГСЗ в Кузнецкой котловине и приведенная в табл. III.11. Скорости поперечных волн получались из скорости продольных волн с коэффициентом 1.73. В данной модели скорости выше, чем в модели, используемой для обработки записей сейсмических событий центральной части Кузнецкой котловины, что более соответствует временам прихода сейсмических волн для южной части котловины.

**Таблица III.11. Скоростная модель продольных волн**

Глубина (км)	0	2	4	8	10	13	15	20	30	40	55
$V_p$ (км/с)	4.5	5.67	5.83	5.86	6.01	6.25	6.40	6.55	6.75	8.10	8.17

Следует отметить, что при обработке более крупных сейсмических событий использовались данные всех доступных станций в Алтае-Саянском регионе, но, поскольку скоростная модель неоднородна, наибольший вес давался близким станциям.

По данным сводной обработки, в районе Калтанского угольного разреза и шахты «Алардинская» за период 01.01.–31.12.2017 г. зарегистрировано 1072 землетрясения с  $ML=0-3.4$ , каталог их параметров приведен в [6]. Кроме того, в каталоге [6] опубликованы параметры 570 взрывов, зарегистрированных в 2017 г. в этом районе. Печатный вариант каталога землетрясений содержит параметры 23 событий с  $ML \geq 1.7$  [7].

На карту сейсмических событий (рис. III.32) нанесены эпицентры 1388 землетрясений и 899 карьерных взрывов за период с 01.09.2016 г. по 01.09.2018 года. Взрывы были разделены на достоверно известные и предполагаемые. В достоверно известные попали взрывы, информация о которых поступила от горнодобывающих компаний, и взрывы, от которых на временных сейсмических станциях наблюдалась инфразвуковая волна после сейсмического события.

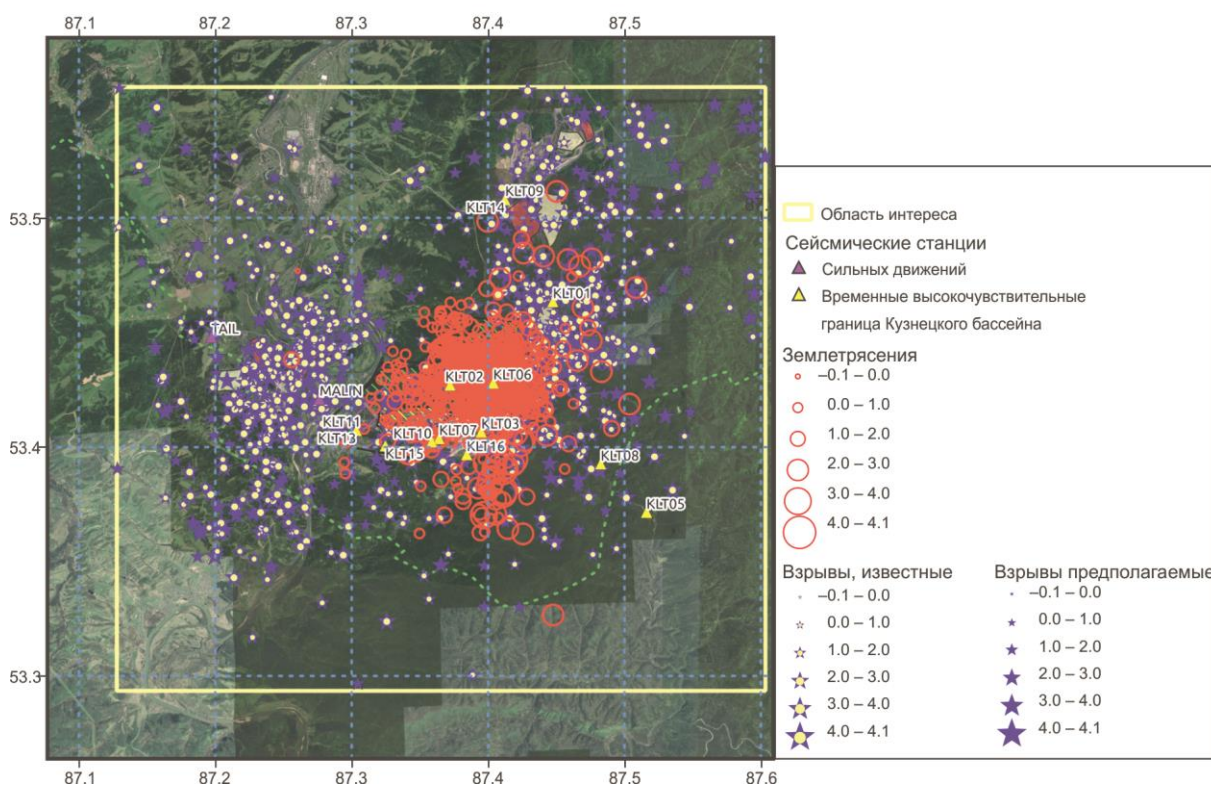


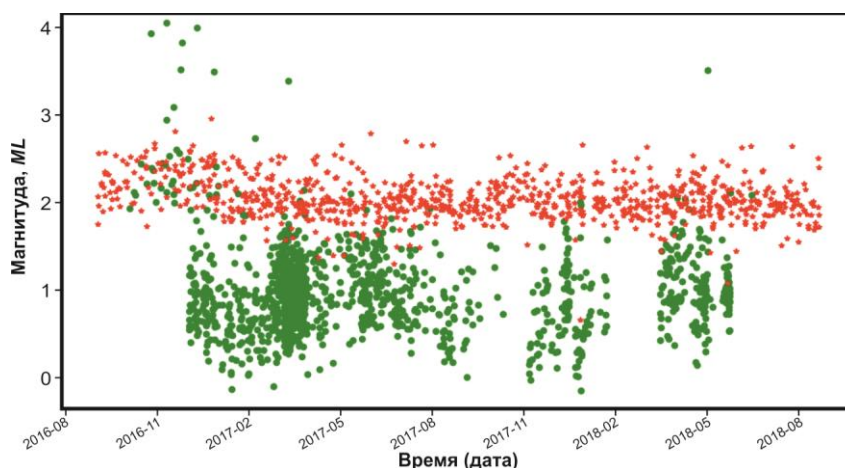
Рис. III.32. Карта эпицентров сейсмических событий за период 01.09.2016 г. – 01.09.2018 г.

Точность локации взрывов хуже, чем точность локации землетрясений по нескольким причинам:

- взрывы производятся на борту карьера, и поэтому сейсмическая волна от взрыва к станциям, которые находятся с противоположной стороны, идет не напрямую, а огибает выработку, что приводит к задержкам времен вступлений на части станций;
- взрывы – короткозамедленные, и на далеких станциях не всегда виден взрыв первого заряда, тогда как на близких он виден.

Для всех сейсмических событий, попадающих в указанную на рис. III.32 область, построена временная развертка в зависимости от магнитуды события. Результирующий график показан на рис. III.332. Здесь видно начало активизации с целым рядом землетрясений с  $ML \sim 4$ . Сильные события с магнитудой в диапазоне 3–4 видны только в начале данной активизации (с ноября 2016 г. по январь 2017 г.), и затем – два события с  $ML > 3$  на протяжении всего периода наблюдений.

Вместе с началом работы временной сети появилась возможность регистрации сейсмических событий малых энергий, это очень четко видно на рис. III.33. Хорошо выделяется большая группа событий малых энергий (магнитуда  $0 \div 2$ ) в марте 2017 г., сейсмическая активизация, которую можно связать с шахтой «Алардинская». Отметим, что и в дальнейшем периодически возникали небольшие активизации, когда за небольшим промежутком времени происходило большое количество событий.

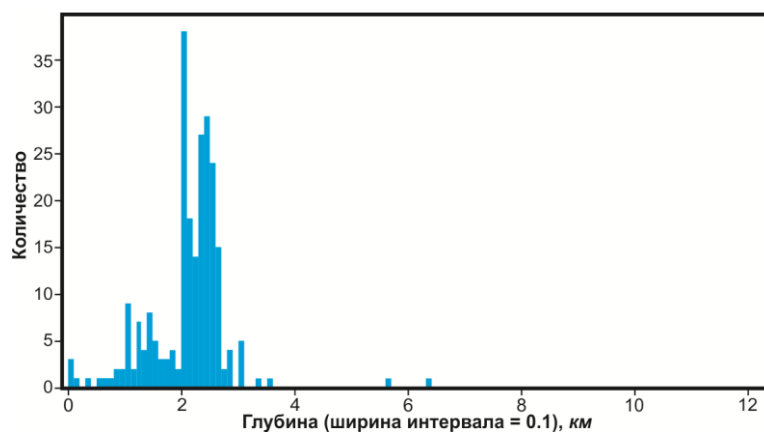


**Рис. III.33. Временная развертка сейсмического процесса в зоне активизации.**  
Красные точки – промышленные взрывы на карьерах, зеленые точки – землетрясения

Общий заряд взрывов с марта 2017 г. был уменьшен в два раза, что привело к увеличению количества взрывов. Поскольку взрывы – короткозамедленные, это не должно было сказаться на магнитуде, но, тем не менее, на рис. III.33 видно некоторое снижение магнитуд общей массы взрывов. Это говорит о том, что параметры взрывания подбирались не совсем оптимально.

На рис. III.34 показано распределение количества землетрясений с наиболее точным определением глубин (класс А) по глубинам, для которых удовлетворяются следующие условия:

- глубина сейсмического события не была фиксирована оператором, а вычислялась итерационно;
- количество использованных фаз вступлений сейсмических волн – не менее 12;
- среднеквадратичная невязка  $RMS$  – не более 0.5 с.



**Рис. III.34. Распределение количества землетрясений класса А по глубинам**

Класс В – это все землетрясения, не попавшие в класс А.

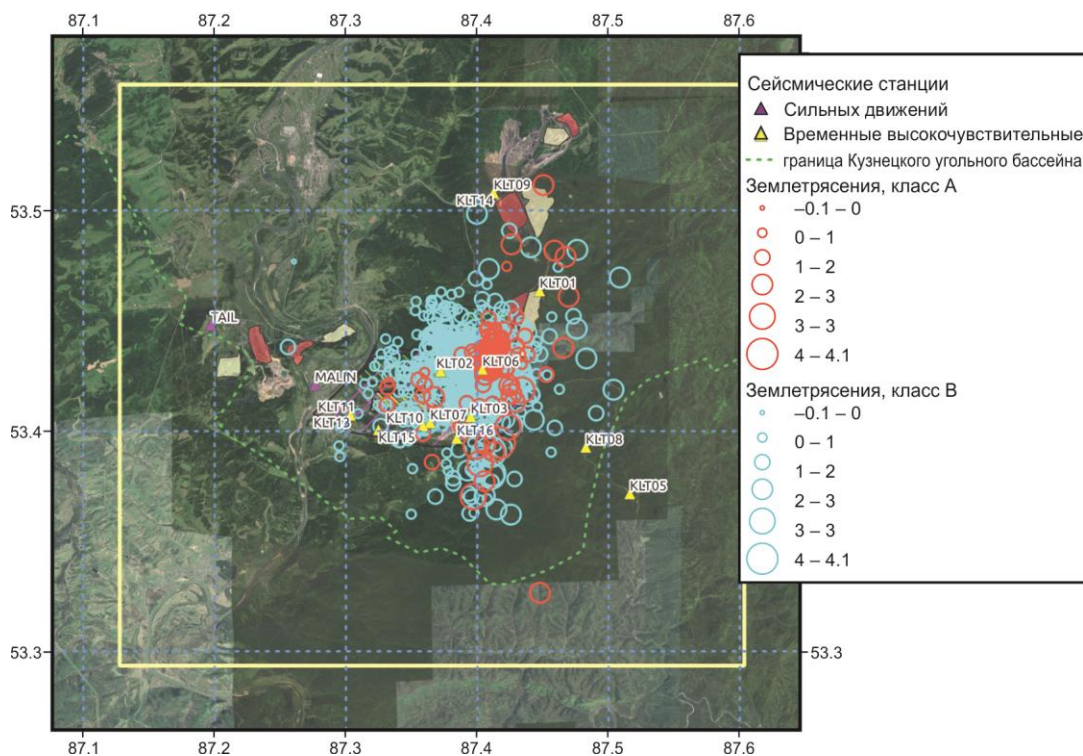
На рис. III.34 можно заметить двухмодальное распределение: с первой модой – до 2 км глубины, со второй – более 2 км. Только отдельные единичные события имели глубину более 3 км.

Введенные классы точности также меняют и пространственную картину активизации (рис. III.35). Можно выделить несколько активизированных областей:

- «южная» активизация, которая располагается с юга от зон ведения горных работ. К ней приурочено большинство землетрясений с магнитудой  $ML$  более 2. Нужно отметить, что область этой активизации вытянута и простирается с юга на север;
- активизация в районе шахты «Алардинская» участка «Алардинский Восточный 2». Здесь произошло большое количество слабых сейсмических событий, в частности,

отмеченная на рис. III.32 область с высокой плотностью сейсмических событий в марте 2017 г. также относится к этой активизации. В западной части активизации выделяется две группы землетрясений с классом точности А: с восточной и западной границ участка «Малиновский Глубокий» шахты «Алардинская». Этой активизации также соответствуют землетрясения с  $ML$  меньше 2;

– с севера и востока активизированной области также видна некоторая группа событий с не очень четко оконтуренной формой. Эта группа также хорошо выделяется в событиях с  $ML$  больше 2. Можно предположить, что это менее активное продолжение линейной зоны «южной» активизации.



**Рис. III.35. Карта землетрясений.**

*Землетрясения разбиты по классам точности, размер кружка показывает магнитуду, цвет – класс точности: красный – класс А, голубой – класс В*

Рассмотрим немного более детально «южную» активизацию. Как мы уже отмечали, этой активизации соответствуют наиболее сильные землетрясения с  $ML$  больше 3.5. Зона линейно вытянута с юга на север с небольшим отклонением на восток.

Попробуем оценить техногенную нагрузку: вплотную к зоне активизации подходит основное поле шахты «Алардинская»; на поверхности, в районе пункта наблюдения KLT16, находятся поверхностные отвалы, отвалообразование в настоящий момент не ведется, отвалы сформированы; на Осинниковском поле Калтанского угольного разреза в настоящий момент производится выемка, а отвалообразование ведется в старый разрез, засыпая его.

В рельефе достаточно четко выделяется долина ручья Теш, которая по простиранию близка к простиранию линейной зоны «южной» активизации. Можно предположить наличие тектонического нарушения вдоль долины ручья. Совпадение по простиранию говорит о том, что в этой зоне активизировалась второстепенная разломная зона. В работе [8] в данной области не выделяются блокоразделяющие разломы, вся активизированная область относится к одному блоку, таким образом, при этой активизации идет разрушение этого блока.

Причины «южной» активизации:

- наличие тектонического нарушения и тектонических напряжений,
- комбинирование наземных и подземных горных работ.

Как уже говорилось ранее, эта активизация характеризуется большим количеством слабых землетрясений с  $M_L$  меньше 2.

Техногенная нагрузка здесь и подземная, и наземная. Непосредственно в области активизации находится наземная выработка Калтанского угольного разреза. Также в активизированной области находится основное поле шахты «Алардинская». Следует обратить внимание, что активизировалась область изменения простираения участка «Алардинский Восточный 2», при неравномерности горизонтальных напряжений сложная фигура будет являться концентратором напряжений.

Большинство событий происходит на глубине, начиная с 2 км, а это явно ниже всех выработок и свидетельствует о том, что происходит перераспределение напряжений, измененных горными работами, на территории, превышающей область самих горных работ.

Отметим, что пространственное положение событий «южной» активизации, а также событий активизации шахты «Алардинская» находится на продолжении линий достоверного тектонического контакта [9]. Можно предположить, что в этих местах идет процесс распространения движения по локальным разломным зонам, активизированный интенсивными горными работами на разрезах и шахтах.

### Выводы

Рассмотрена сейсмическая активизация в районе поселков Калтан и Малиновка, выделены несколько элементов активизированной зоны. Определены глубины землетрясений, количество землетрясений имеет двухмодальное распределение с модами 1–1.5 и 2–3 км. Показано, что активизированные области находятся на окончаниях известных зон тектонических нарушений.

### Литература

1. *Bormann P.* Magnitude of seismic events // *New manual of seismological observatory practice (NMSOP-2)* // *Bibliothek Wissenschaftspark Albert Einstein [Web Site]* / Ed. P. Bormann. – 2012. – URL: <http://bib. telegrafenberg.de/publizieren/vertrieb/nmsop/>. – P. 3-16 – 3-49.
2. *Еманов А.А., Еманов А.Ф., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В.* Результаты детального сейсмического мониторинга. Изучение наведенной сейсмичности на юге Кузбасса в районе открытых и подземных горных работ // *Землетрясения России в 2016 году*. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 117–122.
3. *Weber B., Becker J., Hanka W., Heinloo A., Hoffmann M., Kraft T., Pahlke D., Reinhardt J., Thoms H.* SeisComp3 – automatic and interactive real time data processing // *Geophys. Res. Abstracts in EGU General Assembly*. – 2007. – Vol. 9, N 09219.
4. *Lee W.H.K., Lahr J.C.* HYPO71 (revised): A computer program for determining hypocenter, magnitude and first motion pattern of local earthquakes // *USGS Open File Report*. – 1975. – P. 1–116.
5. *Lee W.H.K., Lahr J.C., Valdes C.M.* The HYPO71 Earthquake Location Program // *International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology*. – 2003. – P. 1641–1642. Crossref. Web.
6. *Part\_IV-2017. 17\_Kuzbass\_2017.xls* // *Землетрясения России в 2017 году*. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – Приложение на CD-ROM.
7. *Подкорытова В.Г. (отв. сост.), Денисенко Г.А., Еманов А.А., Манушина О.А., Подлипская Л.А., Шаталова А.О., Шевелёва С.С., Шевкунова Е.В.* Каталоги землетрясений по различным регионам России. Калтанский угольный разрез и шахта «Алардинская», Кузбасс // *Землетрясения России в 2017 году*. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 192.
8. *Новиков И.С., Черкас О.В.* Основные черты новейшей блоковой делимости Кузбасса // *Геоморфология и картография. Материалы XXXIII Пленума геоморфологической комиссии РАН*. – Саратов: Изд-во Саратовского университета, 2013. – С. 419–423.
9. *Геологическая карта СССР. Масштаб: 1:200 000. Серия Кузбасская. Лист N-45-XXII. 1963 г.* / Сост. И.П. Максимов, ред. П.Н. Васюхичев / Министерство геологии и охраны недр СССР. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр, 1963.