

## Наблюдения временными сетями

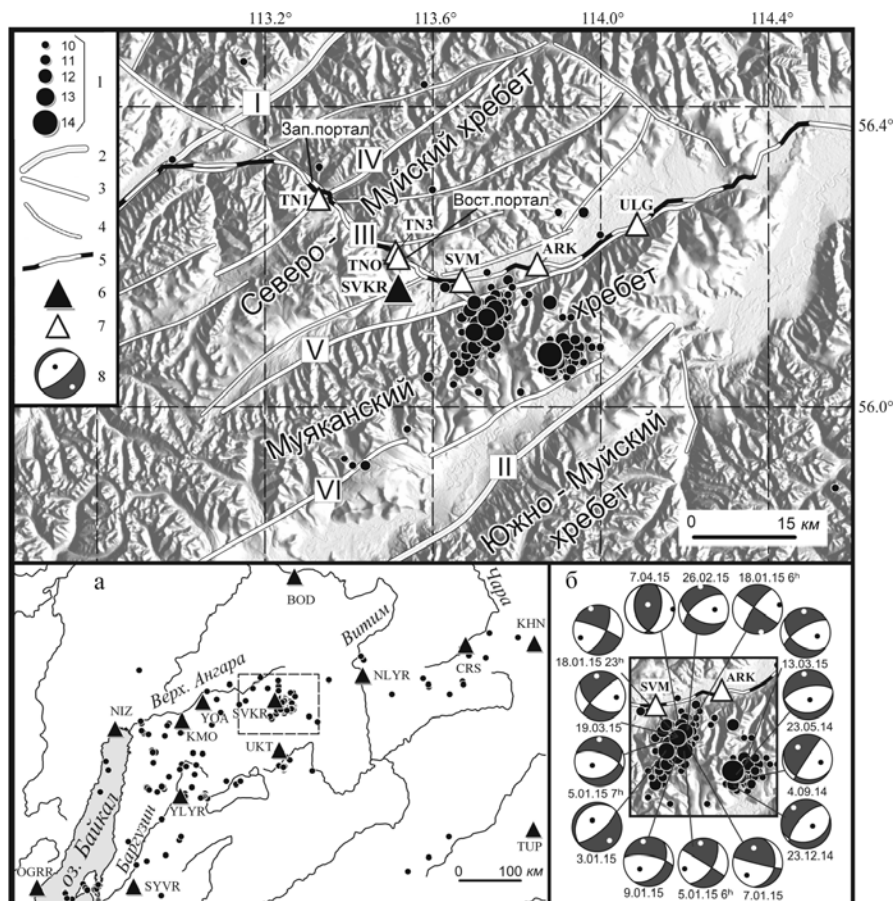
### Эпицентральная область

### Муяканской последовательности землетрясений (Бурятия)

*Н.А. Гилёва, О.К. Масальский, Е.А. Кобелева*

Байкальский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск

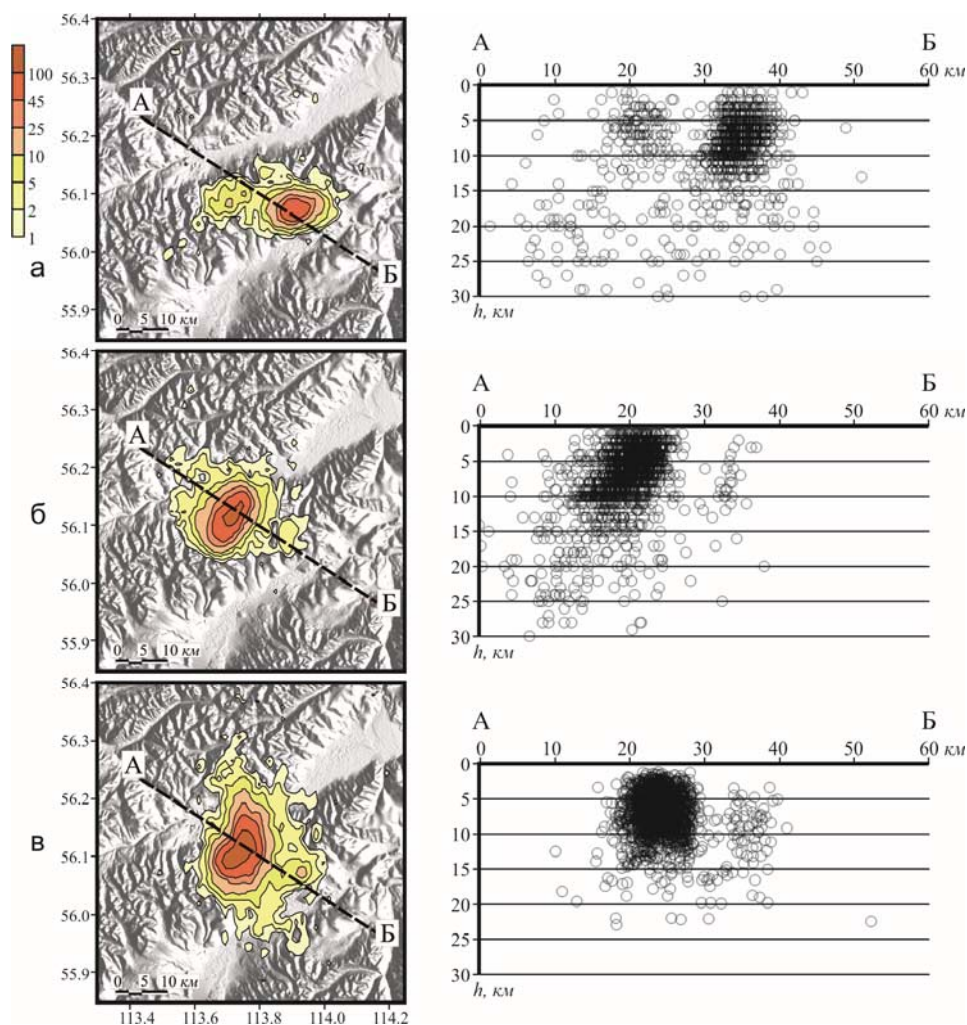
Территория Северо-Муяканского района Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) всегда отличалась повышенной сейсмической активностью (рис. III.12) [1]. В районе известны палеосейсмо-дислокации, свидетельствующие о древних землетрясениях: Муяканская, ( $\varphi=56.15^{\circ}\text{N}$ ,  $\lambda=113.80^{\circ}\text{E}$ ), Ковоктинская ( $\varphi=56.12^{\circ}\text{N}$ ,  $\lambda=113.03^{\circ}\text{E}$ ) и др. [2]. По историческим данным, наиболее сильным было Северобайкальское землетрясение 29 апреля 1917 г. ( $\varphi=56.0^{\circ}\text{N}$ ,  $\lambda=113.8^{\circ}\text{E}$ ,  $M=6.6$ ) [3], а за инструментальный период наблюдений – Муяканское 11 ноября 1962 г. ( $\varphi=55.90^{\circ}\text{N}$ ,  $\lambda=113.12^{\circ}\text{E}$ ,  $M=5.8$ ) [3]. Кроме того, на данной территории наблюдались крупные роевые и афтершоковые последовательности [4–6].



**Рис. III.12. Схема разломных структур Северо-Муяканского района БРЗ по [4, 7] и сейсмичность за период 2014–2016 гг. из [6].**

1 – эпицентры землетрясений с  $K \geq 10$  ( $M \geq 3$ ); активные разломы (2–4): 2 – межблоковые (I – Северо-муяканский, II – Верхнемуяканский), 3 – внутриблоковые (III – Перевальный, IV – Ангараканский, V – Муяканский, VI – Южномуяканский), 4 – локальные внутриблоковые; 5 – железная дорога; 6, 7 – региональные и локальные сейсмические станции; 8 – стереограммы фокальных механизмов из [6] (с датами) в проекции нижней полусферы (выходы осей напряжений сжатия и растяжения обозначены черными и белыми точками (врезка б)). На врезке «а» показана сейсмичность Северо-Восточного Прибайкалья за период 2014–2016 гг., пунктиром выделен Северо-Муяканский район

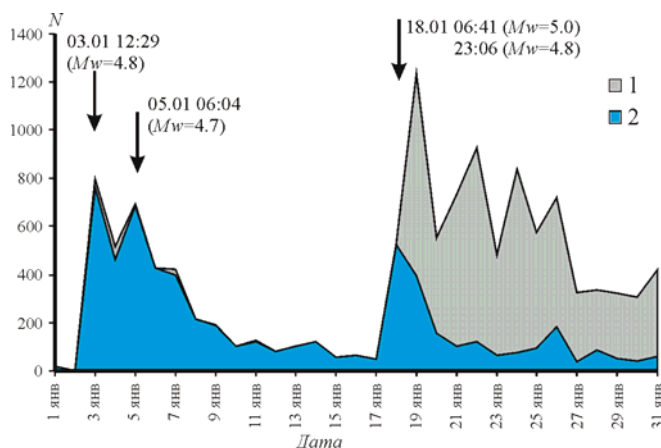
Со второй половины апреля 2014 г. в Муяканском хребте в 25 км к юго-востоку от Восточного портала Северомуйского тоннеля появилась новая крупная сейсмическая активизация. Главный толчок с  $M (M_w)=5.5$  ( $K_p=14.3$ ) произошел 23 мая 2014 г. в 19<sup>h</sup>42<sup>m</sup>, при этом наибольшая интенсивность сотрясений  $I_{max}=4-5$  баллов наблюдалась в Северомуйске (29 км) [8]. Повышенная активность в районе главного толчка (юго-восточный склон Муяканского хребта) продолжалась до июля. Далее процесс распространился на запад, где образовался новый кластер (рис. III.12), локализованный в 10 км к северо-западу от главного толчка, ближе к трассе БАМ и Восточному portalу тоннеля. События регистрировались в этих двух компактных областях попеременно, а иногда и одновременно. В общей сложности до конца 2014 г. активность была выше в восточном кластере ( $N=1907$ ,  $K_p=5.6-14.3$ ), чем в западном ( $N=291$ ,  $K_p=5.6-10.9$ ) (рис. III.12, III.13 а).



**Рис. III.13. Карты плотности эпицентров (слева) и разрезы А – Б по глубине (справа) для трех периодов наблюдений:**  
**а – 01.04.–31.12.2014 г.; б – 01.01.–18.01.2015 г.; в – 19.01.–31.01.2015 г.**

$n$  – число землетрясений на единичной площадке осреднения размером  $\varphi=0.01^\circ$  и  $\lambda=0.02^\circ$

С 3 января 2015 г. процесс активизировался, почти полностью переместившись в западный кластер (рис. III.13 б, в), и, хотя суммарная выделившаяся энергия в январе 2015 г. была меньше ( $K_{pmax}=13.3$ ), чем в мае 2014 г., число землетрясений значительно возросло (с  $N=10-20$  в сутки в декабре 2014 г. до  $N=400-800$  за период 3–8 января) (рис. III.14). Жители ближайшего населенного пункта поселка Северомуйск в течение января 21 раз ощущали сотрясения  $I=2-5$  баллов [9].



**Рис. III.14. Распределение количества землетрясений во времени за январь 2015 г.:**

1 – число всех зарегистрированных землетрясений, 2 – число землетрясений с  $K_p \geq 6$ , единичный интервал – 1 сутки. Стрелки указывают моменты сильных землетрясений с  $M_w > 4.6$

Байкальским филиалом ФИЦ ЕГС РАН при содействии сотрудников Восточно-Сибирской железной дороги (ВСЖД) была развернута временная сеть из шести сейсмостанций на период 19 января – 5 марта 2015 г. (рис. III.12, табл. III.3). Три из них были установлены в помещениях железнодорожных станций БАМ «Северомуйск», «Аркум» и «Ульги», которые представляют собой железобетонные здания с бетонным основанием, расположенные вдоль железной дороги на насыпи. Другие три станции стояли в основном Северомуйском тоннеле и в обходных тоннелях также на бетонных основаниях.

**Таблица III.3. Параметры временных сейсмических станций БФ ФИЦ ЕГС РАН**

| Код станции | Место установки  | Координаты и высота над уровнем моря |          |      | Дата и время открытия | Дата и время закрытия | Тип прибора (а) или (v), тип станции |
|-------------|--|--------------------------------------|----------|------|-----------------------|-----------------------|--------------------------------------|
|             |  | φ, °N                                | λ, °E    | h, м |                       |                       |                                      |
| SVM         | Ст. «Северомуйск», пост ЭЦ, помещение аккумуляторной           | 56.1685                              | 113.6719 | 672  | 19.01.2015<br>02:54   | 04.03.2015<br>01:57   | СК-1П(v),<br>Байкал-ACN              |
| TN3         | Обходной тоннель № 3, насосная № 1                             | 56.2064                              | 113.5138 | 887  | 19.01.2015<br>06:18   | 05.03.2015<br>06:54   | СК-1П(v),<br>Байкал-ACN              |
| ARK         | Ст. «Аркум», пост ЭЦ, помещение аккумуляторной                 | 56.1910                              | 113.8507 | 637  | 20.01.2015<br>03:01   | 04.03.2015<br>04:38   | СК-1П(v),<br>Байкал-ACN              |
| ULG         | Ст. «Ульги», пост ЭЦ, помещение аккумуляторной                 | 56.2435                              | 114.0868 | 624  | 20.01.2015<br>04:56   | 04.03.2015<br>02:24   | СК-1П(v),<br>Байкал-ACN              |
| TNO         | Основной Северомуйский тоннель, подходная выработка ствола № 3 | 56.2018                              | 113.5191 | 796  | 21.01.2015<br>04:24   | 05.03.2015<br>01:12   | A1638(a),<br>Байкал-ACN              |
| TN1         | Обходной тоннель № 1, компрессорная                            | 56.2782                              | 113.3308 | 1033 | 21.01.2015<br>07:59   | 05.03.2015<br>04:41   | СК-1П(v),<br>Байкал-ACN              |

Питание регистраторов, расположенных на железнодорожных станциях, осуществлялось с аккумуляторов, а регистраторы, расположенные в основном и обходных Северомуйских тоннелях, были подключены к бесперебойному питанию ВСЖД. Так как временные станции не имели доступа к сети интернет, то раз в неделю производилось чтение данных с регистраторов. Одновременно с чтением данных производился осмотр аппаратуры и обслуживание аккумуляторов. Удалось получить непрерывные данные за полтора месяца для всех шести временных станций без перерывов регистрации.

К сожалению, невозможно было в условиях сибирской зимы значительно приблизиться к эпицентру землетрясения, а тем более окружить его пунктами наблюдения. Временные станции обеспечили эпицентральные расстояния  $\Delta=5-35$  км, но все они располагались односторонне (рис. III.12). Детальная обработка обширного материала локальной сети осуществлялась с привлечением данных ближайших региональных станций (шесть региональных станций с  $\Delta < 200$  км), обеспечивающих окружение эпицентрального поля (рис. III.12 а).

К моменту выхода настоящего сборника детально обработан материал наблюдений за Муяканской активизацией за период с ее начала 01.04.2014 г. по 31.01.2015 г. ( $N=15646$  с  $K_{\max}=14.3$ ). Землетрясений с  $M \geq 3$  ( $K_p \geq 10$ ) за этот период зарегистрировано  $N=125$ . Заметим, что примерно столько же толчков произошло за 20 предшествующих лет для всего Северо-Муйского района в границах рис. III.12. В настоящем сборнике представлен каталог землетрясений всей зоны Прибайкалья и Забайкалья с  $K_p \geq 9$  за 2015 г. [9, 10], 67% которого составляют события Муяканской последовательности. Приведен также каталог землетрясений Муяканского эпицентрального поля с представительного энергетического класса  $K_p \geq 5.6$  за период действия локальной сети 19–31 января 2015 г. ( $N=1455$ ) [11, 12]. Всего за первые 13 суток (19–31 января) действия локальной сети зарегистрировано 7771 землетрясение с  $K_p=3–11$  (рис. III.13 в, III.15). С работой локальной сети в среднем в семь раз возросло число регистрируемых землетрясений в сутки за счет слабых событий, что наглядно иллюстрирует рис. III.14.

На рис. III.15 представлены графики повторяемости, построенные по представительным энергетическим классам, для трех отдельных периодов наблюдений и суммарно для всего интервала с 01.04.2014 г. по 31.01.2015 года. Отметим уменьшение доли числа слабых землетрясений по отношению к сильным ( $\gamma = -0.43 \pm 0.01$ ) в период 1–18 января 2015 г. по сравнению с предшествующим периодом в 2014 г. ( $\gamma = -0.57 \pm 0.01$ ), а также с дальнейшими наблюдениями с использованием данных локальной сети 19–31 января ( $\gamma = -0.52 \pm 0.01$ ). Суммарный график за весь период дает стандартный угол наклона графика повторяемости  $\gamma = -0.48 \pm 0.01$ .

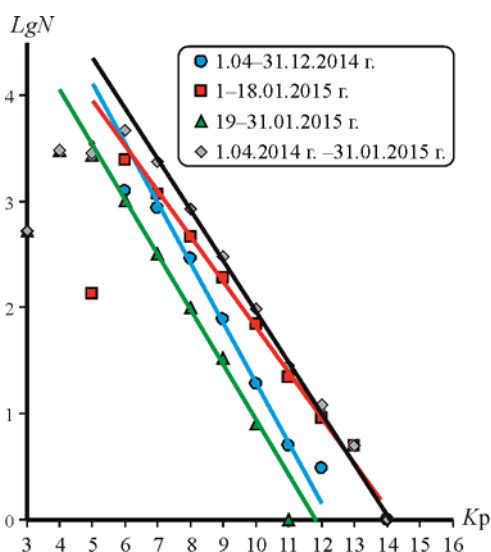


Рис. III.15. Графики повторяемости землетрясений Муяканской последовательности, построенные за различные периоды регистрации

В период наблюдений региональной сетью землетрясения с  $K_p=6$  не являются представительными, что видно из графика (синие и красные значки на рис. III.15). Локальная сеть повышает уровень представительности – землетрясения с  $K_p=6$  становятся представительными (зеленые значки), и почти полностью обеспечивается регистрация землетрясений с  $K_p=5$ .

Локальная сеть улучшила точность локализации землетрясений. По данным локальной сети (рис. III.13 в), для землетрясений с  $K_p \geq 6$  ошибка определения глубины в 77% случаев не превышает 3 км [12], тогда как в период работы региональной сети (рис. III.13 а, б) ошибки определения глубины только в 8% случаев находятся в тех же пределах. Удалось установить, что гипоцентры (рис. III.13) большинства землетрясений Муяканской последовательности располагаются на малых глубинах ( $h=4–10$  км), причем глубины несколько меньше (на 1–2 км) в западном кластере, чем в восточном.

Энергетический максимум Муяканской последовательности в 2015 г. пришелся на январь, но и далее сейсмический процесс в Муяканском хребте продолжился, по крайней мере, до конца 2016 года. Предстоит детальная обработка обширного материала, полученного локальной и региональной сетями Байкальского филиала, что позволит детальнее изучить процесс Муяканской активизации. Практический аспект исследований заключается в выявлении степени влияния данной активизации на сейсмическую безопасность Северомуйского тоннеля.

### Литература

1. *Голенецкий С.И., Кочетков В.М., Солоненко А.В. и др.* Геология и сейсмичность зоны БАМ. Сейсмичность. – Новосибирск: Наука, 1985. – 192 с.
2. *Чипизубов А.В., Смекалин О.П., Семёнов Р.М., Имаев В.С.* Палеосейсмичность Прибайкалья // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2009. – Т. 36, № 1. – С. 7–22.
3. *Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г.* – М.: Наука, 1977. – 536 с.
4. *Кочетков В.М., Боровик Н.С., Мишарина Л.А., Солоненко А.В., Аниканова Г.В., Солоненко Н.В., Мельникова В.И., Гилева Н.А.* Ангараканский рой землетрясений в Байкальской рифтовой зоне (условия возникновения и особенности развития). – Новосибирск: Наука, 1987. – 81 с.
5. *Гилёва Н.А., Мельникова В.И.* Детальные сейсмологические исследования в Северо-Муйском районе Байкальской рифтовой зоны // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Девятой Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 127–130.
6. *Мельникова В.И., Гилёва Н.А., Середкина А.И.* Новые данные о сейсмической активности Северо-Муйского района в 2014–2016 годах // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). Материалы совещания. Вып. 14. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2016. – С. 196–198.
7. *Замараев С.М., Грабкин О.В., Мазукабзов А.М., Лаценов В.А., Мельников А.И.* Геология и сейсмичность зоны БАМ (от Байкала до Тынды). Структурно-вещественные комплексы и тектоника. – Новосибирск: Наука, 1983. – 189 с.
8. *Гилёва Н.А., Хайдурова Е.В. (отв. сост.), Леонтьева Л.Р., Анисимова Л.В., Хамидулина О.А., Меньшикова Ю.А., Тигунцева Г.В., Андрусенко Н.А., Дреннова Г.Ф., Курилко Г.В., Хороших М.Б., Дворникова Г.Ф., Павлова Л.В., Терёшина Е.Н., Зиброва Е.С., Борисова О.А., Папкина А.А., Архипенко Н.С., Федюшкина Я.И., Галактионова Н.Н., Середкина А.И.* Каталоги землетрясений по различным регионам России. Прибайкалье и Забайкалье // Землетрясения России в 2014 году – Обнинск: ГС РАН, 2016. – С. 118–124.
9. *Гилёва Н.А., Хамидулина О.А. (отв. сост.), Леонтьева Л.Р., Дреннова Г.Ф., Тигунцева Г.В., Меньшикова Ю.А., Курилко Г.В., Емельянова Л.В., Радзиминович Я.Б., Середкина А.И.* Каталоги землетрясений по различным регионам России. Прибайкалье и Забайкалье // Землетрясения России в 2015 году – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 125–132.
10. *Part\_IV-2015. 05\_Lake-Baykal-and-Transbaykal-regions\_2015.xls* // Землетрясения России в 2015 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD-ROM.
11. *Гилёва Н.А., Хамидулина О.А. (отв. сост.) Меньшикова Ю.А., Дреннова Г.Ф., Курилко Г.В., Емельянова Л.В., Сенотрусова Т.Е., Павлова Л.В., Архипенко Н.С., Терёшина Е.Н., Мазаник Е.В., Инешина М.Ф., Федюшкина Я.И., Папкина А.А., Галактионова Н.Н.* Каталоги землетрясений по различным регионам России. Муяканская последовательность землетрясений (Бурятия) за период с 19 по 31 января 2015 г. // Землетрясения России в 2015 году – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 174–176.
12. *Part\_IV-2015. 15\_Muyakan-swarm-Baykal\_2015.xls* // Землетрясения России в 2015 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD-ROM.