

П. Г. Дядьков^{1, 2}, М. П. Козлова^{1, 3}, Д. А. Кулешов^{1, 3}*

Паузы молчания перед Байкальскими землетрясениями

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация

² Новосибирский национальный исследовательский государственный университет,
г. Новосибирск, Российская Федерация

³ Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики,
г. Новосибирск, Российская Федерация

* e-mail: KozlovaMP@ipgg.sbras.ru

Аннотация. Для Байкальского региона выполнен анализ изменений во времени интервалов между последовательными сейсмическими событиями ($M \geq 3.1$) для периода с 01.01.2022 г. по 15.05.2023 г. Выявлены паузы сейсмического молчания длительностью до 20 дней, которые, как правило, сопровождалось землетрясениями с $M \sim 4.5-5.5$. На основе совместного анализа полученных данных с результатами тектономагнитного мониторинга обсуждается возможный физический механизм изменения состояния сейсмической среды перед сильными землетрясениями.

Ключевые слова: землетрясение, пауза молчания, Байкальский регион, тектономагнитный мониторинг, модель подготовки землетрясения

P. G. Dyadkov^{1, 2}, M. P. Kozlova^{1, 3}, D. A. Kuleshov^{1, 3}*

Silence pauses before the Baikal earthquakes

¹ Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk,
Russian Federation

² Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation

³ Siberian State University of Telecommunications and Information Science, Novosibirsk,
Russian Federation

* e-mail: KozlovaMP@ipgg.sbras.ru

Abstract. For the Baikal region, the time intervals between successive seismic events ($M \geq 3.1$) for the period from 01.01.2022 to 15.05.2023 have been analyzed. Pauses of seismic silence lasting up to 20 days, which were accompanied by earthquakes with $M \sim 4.5-5.5$ as a rule, have been revealed. Analysis of the received data with the results of tectonomagnetic monitoring discusses a possible physical mechanism of change in the condition of the seismic medium before strong earthquakes.

Keywords: earthquake, silence pause, Baikal region, tectonomagnetic monitoring, earthquake preparation model

Введение

Байкальская рифтовая зона является одним из наиболее сейсмоактивных регионов России. Только за период с начала 2022 до мая 2023 года здесь произошло больше 130 землетрясений магнитудой 3.1 – 5.5.

В 1965-1968 гг. был предложен метод долгосрочного сейсмического прогноза (десятки и сотни лет), основанный на закономерностях размещения веро-

ятных мест следующих сильнейших землетрясений – «сейсмических брешей» для Курило-Камчатского региона [1]. В 1996 году Г.А. Соболев с соавторами [2] предложили выделять зоны «сейсмических затиший» методом, основанным на алгоритме RTL. Такой предвестник можно зафиксировать уже за несколько лет до готовящегося сейсмического события. В 2012 году представлен новый среднесрочный предвестниковый эффект – «пауза молчания», наблюдаемая перед наиболее сильными землетрясениями на Курилах и Камчатке [3].

Авторы перечисленных выше работ пользовались преимущественно данными каталогов камчатских землетрясений. Ранее нами был предложен и реализован алгоритм выделения зон сейсмических затиший для байкальского региона [4]. Настоящая работа – апробация некоторых алгоритмов построения графиков, иллюстрирующих возникновение аномального хода сейсмического режима при подготовке байкальских землетрясений.

Методика исследования и результаты

Методика построения графиков для выделения эпизодов сейсмического «молчания» во времени состоит в следующем. Вводится параметр A_i , который показывает во сколько раз интервал между соседними сейсмическими событиями превышает средний интервал за длительный промежуток времени. Средний период времени для одного события задается следующим соотношением:

$$T_{cp} = T_L / N \quad (1)$$

где T_L – длительный интервал времени, N – число событий за интервал T_L .

Параметр A_i рассчитывается по формуле:

$$A_i = T_i / T_{cp} \quad (2)$$

где T_i – временной интервал между 2-мя соседними событиями:

$$T_i = t_{i+1} - t_i \quad (3)$$

На рисунке 1 показан пример для построения такого графика для событий класса 9.5 и выше.

Второй алгоритм – построение графиков с эпизодами сейсмического «молчания» во времени с накоплением (рис. 2). Весь исследуемый период разбивается на равные интервалы, например, по 11 дней. Подсчитывается число событий для каждого одиннадцатидневного интервала. Устанавливается, сколько событий должно произойти за этот интервал по норме. Недостающие для нормы события прибавляются к событиям в следующем 11-дневном периоде.

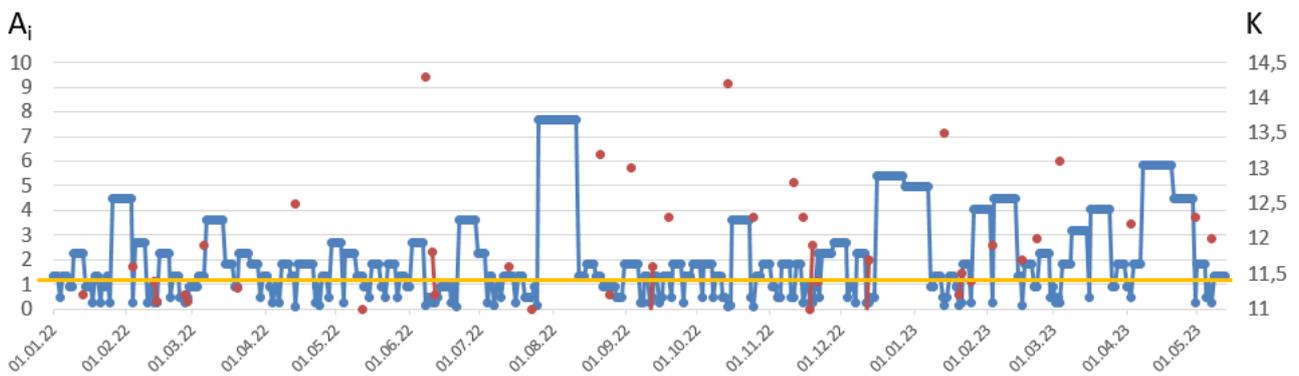


Рис. 1. Обработка методом построения зависимости A_i от времени. Синяя кривая – паузы молчания за период с 01.01.2022 г. по 15.05.2023 г. Красные точки – землетрясения с $K \geq 11$

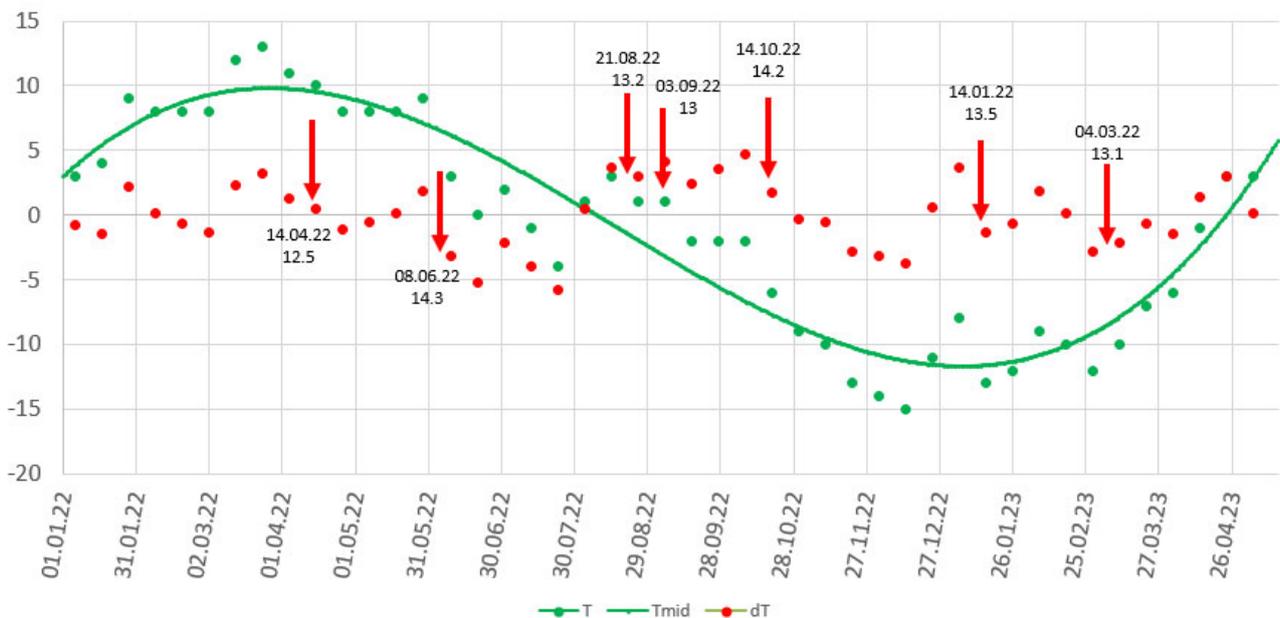


Рис. 2. Пример обработки методом построения зависимости A_i от времени с накоплением. Разбиение на интервалы по 11 дней, $N=0$ – норма (для 11-дневного интервала – 5 событий), $N > 0$ – дефицит событий, $N < 0$ – превышение событий относительно нормы. Линия тренда – полином 6-й степени. Красные точки – значения A_i после исключения тренда

Как видно из рисунка 2, большая часть землетрясений с $M \geq 4.5$ происходит после экстремумов на кривой с красными точками. Это указывает на коллективное поведение тектонических структур Байкальской рифтовой зоны. То есть, подготовка единичного умеренного или сильного ($M \geq 4.5$) сейсмического события ощущается на региональном уровне всей зоной, в которой оно готовится.

Ранее мы уже сопоставляли аномалии сейсмического режима в районе озера Байкал с тектономагнитными аномалиями, полученными в результате долговре-

менных тектономагнитных наблюдений, выполняемых на Байкальской сети пунктов [5]. На рисунке 3 представлена карта-схема расположения стационарных пунктов геомагнитных наблюдений. Сопоставление графика зависимости A_i от времени для событий с $M \geq 3.1$ (рис. 4а) с графиком изменения аномального магнитного поля dT в пункте Стволовая относительно пункта Энхалук (рис. 4 б, в) показывает, что перед землетрясением 3.02.2016 г с $M=5$ наблюдалось длительная (21 день) пауза молчания, в этот же период в магнитном поле зафиксировано бухтообразное изменение.

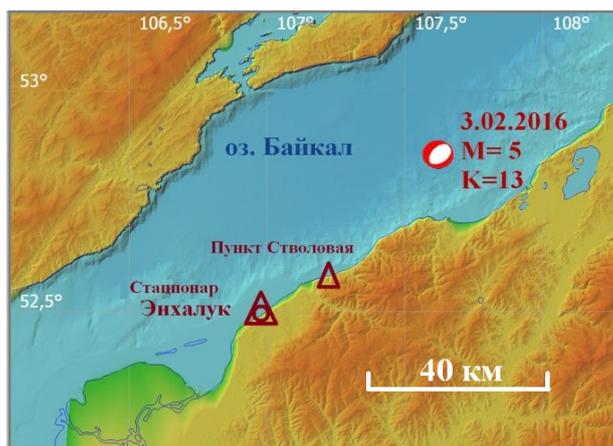


Рис. 3. Механизм очага и эпицентр землетрясения 3 февраля 2016 г. Карта-схема расположения стационарных пунктов геомагнитных наблюдений и эпицентра землетрясения 3 февраля 2016 года с $M=5$

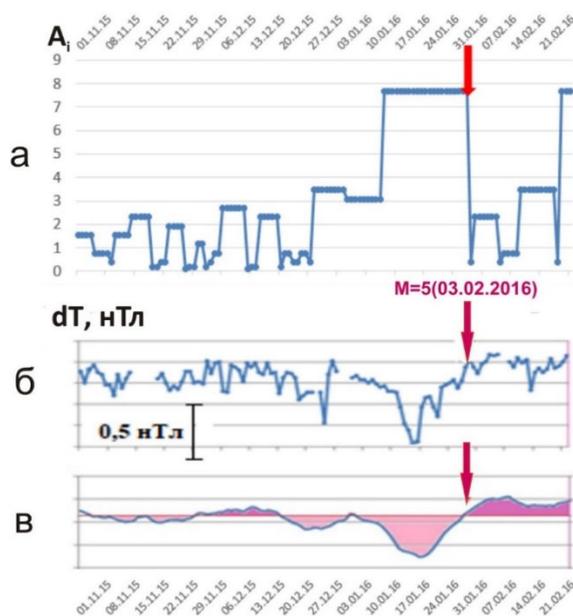


Рис. 4. а. – График зависимости A_i от времени для событий с $M \geq 3.1$ за период с 01.11.2015 года до 28.02.2016 года. б. – Ежедневные значения разности изменения аномального магнитного поля dT перед землетрясением 3.02.2016 г с $M=5$ в пункте Стволовая относительно пункта Энхалук. в. – Разности, осредненные по 5 суткам

Обсуждение результатов

Если бухтообразное изменение в магнитном поле связано с уменьшением касательных напряжений в достаточно обширной области, окружающей будущий очаг, то это может объясняться развитием деформационных процессов в области формирования разрыва (модель ЛНТ) [6].

Альфа стадия модели консолидации также может сопровождаться падением касательных напряжений в блочной среде. Однако, восстановление уровня касательных напряжений непосредственно перед землетрясением после бухтообразного изменения требует дополнительного анализа и развития моделей подготовки [7].

Необходимо также иметь ввиду возможность варианта объяснения выявленных эпизодов молчания некоторыми изменениями свойств среды за счет действия каких-то внешних глобальных или мегарегиональных факторов. В этом случае эпизоды молчания перед умеренными и сильными землетрясениями могут рассматриваться как следствия этих изменений в среде.

Заключение

Для периода 01.01.2022 – 15.05.2023 гг. выявлены эпизоды сейсмического молчания (для $M \geq 3.1$) длительностью до 20 дней, которые, как правило, сопровождаются умеренными и сильными землетрясениями с $M \geq 4.5$.

Совпадение эпизода молчания перед землетрясением с $M=5$, произошедшим 3 февраля 2016 г, с бухтообразной тектономагнитной аномалией в пункте Стволовая может свидетельствовать о том, что причиной выявленных эпизодов молчания является спад касательных напряжений в обширной области, окружающей будущий очаг землетрясения. Однако это утверждение является предварительным и требует более детального анализа как фактических данных, так и результатов моделирования.

Благодарности

Работа выполнена в рамках проекта государственного задания ИНГГ СО РАН № FWZZ-2022-0019 "Механизмы воздействия природных и техногенных факторов на процессы в геосферах по результатам мониторинга естественных геофизических полей".

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федотов С.А. Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги – М.: Наука, 2005. – 303 с.
2. Соболев Г.А., Тюпкин Ю.С., Смирнов В.Б., Завьялов А.Д. Способ среднесрочного прогноза землетрясений // Доклады Академии наук. – 1996. – Т. 347. – № 3. – С. 405-407.
3. Тихонов И.Н. Паузы молчания перед сильными землетрясениями Курило-Камчатской зоны // Тихоокеанская геология. – 2012. – Т. 31. – № 1. – С. 88-95.
4. Дядьков П.Г., Романенко Ю.М., Михеева А.В. О методике построения карт сейсмических затиший по аномалиям выделения сейсмической энергии // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2018. – Т. 4. – С. 26-31.
5. Дядьков П.Г., Романенко Ю.М., Дучкова А.А., Козлова М.П., Кулешов Д.А., Цибизов Л.В. О критериях выделения областей подготовки сильных байкальских землетрясений на ос-

нове анализа сейсмического режима и результатов тектономагнитного мониторинга // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № S36. – С. 11-18.

6. Мячкин В.И., Костров Б.В., Соболев Г.А. Основы физики очага и предвестники землетрясений // Физика очага землетрясений. – М.: Наука, 1975. – С. 6-29.

7. Добровольский И.П. Математическая теория подготовки и прогноза тектонического землетрясения – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 240 с.

© П. Г. Дядьков, М. П. Козлова, Д. А. Кулешов, 2023