

*А. В. Беляшов\**

## **Уточненная методика локализации землетрясений в районе Центрального Байкала**

Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, г. Новосибирск,  
Российская Федерация

\* e-mail: BelyashovAV@ipgg.sbras.ru

**Аннотация.** В ходе обработки архивных записей землетрясений в районе Центрального Байкала (2001 год) установлено, что корректное определение значений  $T_0$  и  $V_p/V_s$  по графикам Вадати для отдельных событий затруднительно. Усовершенствование методики локализации землетрясений проведено путем построения суммарного графика Вадати по всем обрабатываемым событиям с фиксацией угла наклона срединной линии  $V_p/V_s$ . Для исключения переноса локальных ошибок в суммарный график Вадати предложено проведение процедуры предварительной локализации по каждому из землетрясений. С помощью фиксированного наклона линии  $V_p/V_s$  определены входные расчетные параметры для всех событий и проведена релокация коровых землетрясений 2001 года.

**Ключевые слова:** землетрясения Центрального Байкала, график Вадати, локализация событий

*A. V. Belyashov\**

## **Improved Central Baikal earthquakes localization technique**

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

\*e-mail: BelyashovAV@ipgg.sbras.ru

**Abstract.** During the Central Baikal earthquakes archival records (2001) analysis it was found that the correct determination of  $T_0$  and  $V_p/V_s$  values is difficult for the separate events. Improvement of the earthquakes localization technique using the integrated Wadati diagram plotting for all of the analyzed events with the  $V_p/V_s$  median line fixation has been done. For the avoidance of local errors moving to the integrated Wadati diagram it has been suggested to carry out the preliminary localization procedure of each earthquake. Using the fixed slope of  $V_p/V_s$  line the entering designed parameters for all the events has been defined and 2001-year crust events relocation has been carried out.

**Keywords:** Central Baikal earthquakes, Wadati diagram, events localization

### ***Введение***

В статье [1] на примере событий Кударинского землетрясения (произошедшего в декабре 2020 г., [2]) описана методика локализации коровых землетрясений в районе Центрального Байкала, основанная, в том числе, на максимально точном определении на графиках Вадати таких параметров, как время в очаге ( $T_0$ ) и  $V_p/V_s$ . Графики Вадати, при этом, строились отдельно и независимо для каждого из сейсмических событий.

В ходе обработки архивных сейсмических записей землетрясений Центрального Байкала (за 2001 год) с использованием указанной методики автор столкнулся с определенными трудностями – для ряда событий решение по локализации либо не подбиралось вообще, либо приобретало аномальные значения. Обратил на себя внимание факт, что проблемные события отличались повышенными значениями параметра  $V_p/V_s$  ( $\geq 1.77$ ).

Концепция определения  $T_0$  и  $V_p/V_s$  по графикам Вадати для целей локализации гипоцентров землетрясений описана в работах [3, 4], но при этом отмечено, что использование этой методики для отдельных событий может приводить к значительным ошибкам [5]. Авторы указанных работ предлагают сначала строить суммарный график Вадати по всем включенным в обработку событиям из целевого региона, фиксировать срединный тренд в качестве наклона линии  $V_p/V_s$  и использовать этот фиксированный наклон при определении  $T_0$  для отдельных событий.

В соответствии с этими предложениями проведена попытка модифицировать методику локализации коровых землетрясений в районе Центрального Байкала.

В работе задействованы данные, полученные на УНУ «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира».

### *Материалы*

Использованы записи землетрясений, зарегистрированных сетью сейсмических станций Байкальского и Бурятского филиалов ФИЦ ЕГС РАН в 2001 г. Исходная информация о событиях ( $T_0$  и координаты гипоцентра) получена на сайте Международного сейсмологического центра (МСЦ, [www.isc.ac.uk](http://www.isc.ac.uk)), отобраны решения Байкальского регионального сейсмологического центра ГС СО РАН (ВУКЛ).

В обработку приняты события, соответствующие следующим основным требованиям:

– зарегистрированные не менее, чем 5 сейсмическими станциями с максимально возможным азимутальным покрытием и эпицентрными расстояниями не более 110 км;

– с высоким качеством сигнала и хорошо читаемыми вступлениями Р- и S-волн.

Для 2001 г. набралось 26 землетрясений, пригодных к обработке. На рис. 1 представлено распределение эпицентров указанных событий в пределах изучаемой территории.

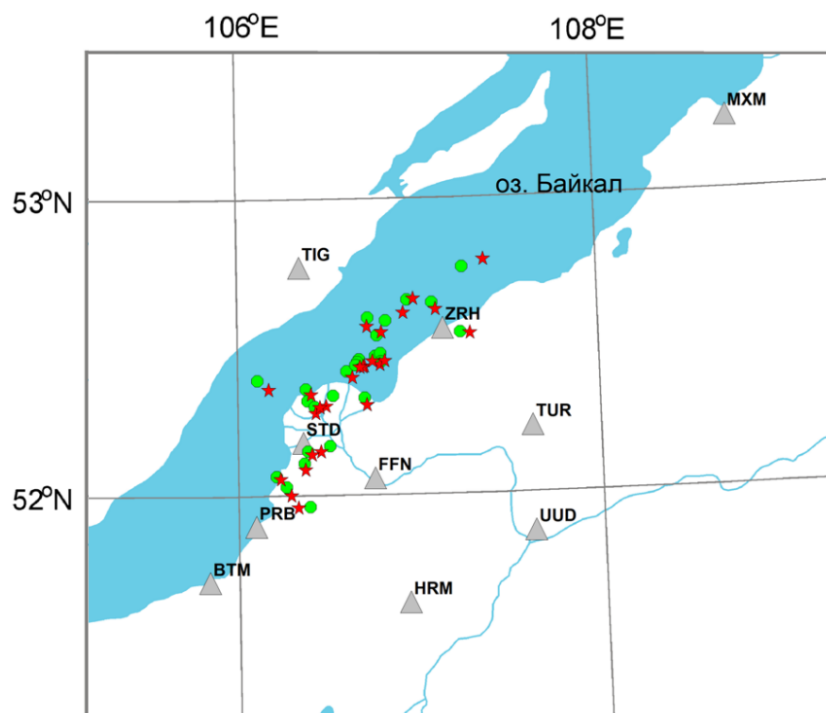


Рис. 1. Распределение эпицентров землетрясений 2001 года в районе Центрального Байкала: зеленые кружки – данные портала МСЦ ([www.isc.ac.uk](http://www.isc.ac.uk)), красные звездочки – релоцированные события, серые треугольники – сейсмические станции Байкальского и Бурятского филиалов ФИЦ ЕГС РАН (с кодовым названием)

### *Процедура предварительной локализации*

Недостаток предложенной в работах [3, 5] методики определения угла наклона линии  $V_p/V_s$  через суммарный график Вадати заключается в том, что при приведении к нулю графиков Вадати для отдельных событий все локальные ошибки будут перенесены в суммарный график, что снижает достоверность результирующей линии  $V_p/V_s$ . На рис. 2 представлен суммарный график Вадати для землетрясений в районе Центрального Байкала за 2001 год, отобранных в обработку. Черными крестиками представлены исходные данные, при этом значения параметра  $V_p/V_s$  (ограниченные оранжевыми линиями) изменяются в широком диапазоне от 1.6 до 1.9. Срединный тренд (обозначен черной пунктирной линией) соответствует углу наклона линии  $V_p/V_s$  со значением 1.71.

Для построения более корректного суммарного графика Вадати предлагается проводить процедуру предварительной локализации по каждому из событий с целью определения относительно точного значения  $T_0$ . Предварительная локализация проводилась решением прямой задачи простейшим способом (засечек на плоскости) с использованием однородной модели со скоростью Р-волны 6.15 км/с. Выполнялся перебор решения по глубине (с точностью подбора 1 км), критериями правильного решения являлись величина среднеквадратичного отклонения временной невязки и разброс постанционных значений параметра  $V_p/V_s$  – выбиралось решение с их минимальными значениями.

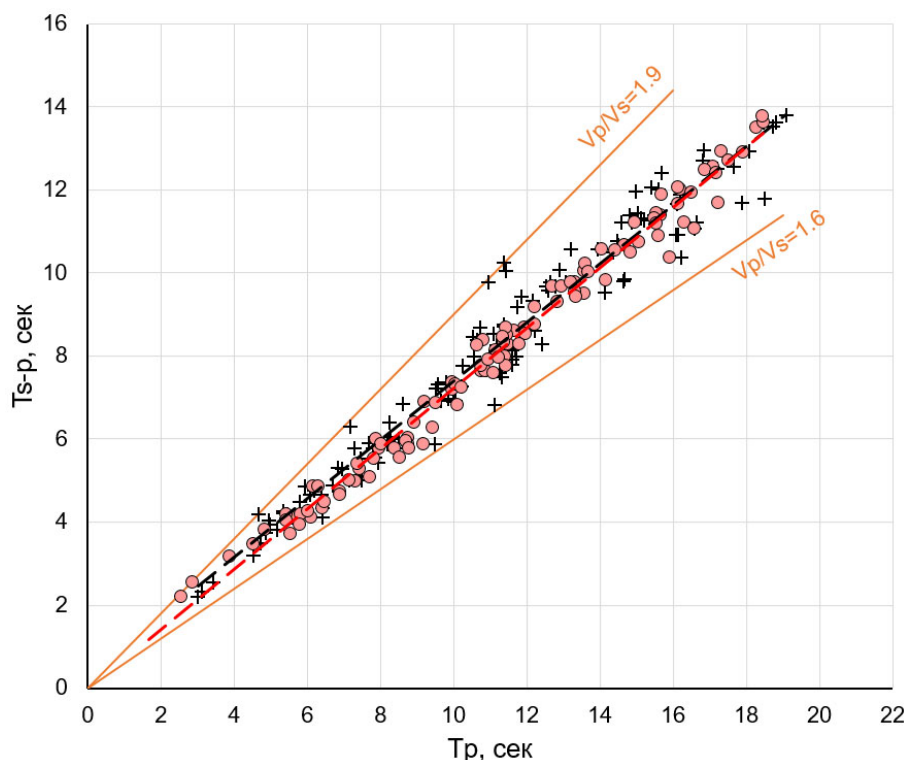


Рис. 2. Суммарный график Вадати для архивных событий 2001 г.: черным цветом обозначены исходные данные, красным – результат предварительной локализации (крестики и кружки – времена на станциях; пунктирные линии – срединные тренды, определяющие угол наклона линии  $V_p/V_s$ )

Результат предварительной локализации представлен на графике Вадати (рис. 2) в виде красных кружков. Отмечается более плотная концентрация точек с меньшим разбросом значений относительно исходных данных. Срединный тренд (обозначен красным пунктиром) соответствует углу наклона линии  $V_p/V_s$  со значением 1.73. Различие в определении  $T_0$  для углов наклона срединных трендов в исходном виде ( $V_p/V_s=1.71$ ) и после предварительной локализации ( $V_p/V_s=1.73$ ) лежит в диапазоне от 0.1 до 0.6 сек (в зависимости от времени пробега), что существенно превышает максимальную ошибку определения  $T_0$  при локализации, составляющую 0.04 сек. Это подтверждает актуальность проведения процедуры предварительной локализации.

### ***Релокация архивных событий***

Полученный в результате предварительной локализации наклон линии параметра  $V_p/V_s$  (соответствующий величине 1.73) был задействован для определения  $T_0$  и постанционных значений  $V_p/V_s$  для каждого из обрабатываемых сейсмических событий. В программе Nupoellipse [6] с использованием многокомпонентной скоростной модели проведена финальная локализация гипоцентров событий в районе Центрального Байкала по методике, описанной в [1]. Результат сопоставления эпицентрии релоцированных данных относительно исходных представлен на рис. 1, количественные различия составляют:

- по эпицентрии – от 1.8 до 8.7 км при среднем значении 3.5 км;
- по глубине – от 0.6 до 15.3 км при среднем значении 6.1 км.

### ***Благодарности***

Работа выполнена в рамках проекта ФНИ № FWZZ-2022-0021 “Региональные особенности структуры земной коры и верхов мантии платформенных и складчатых областей Сибири, их напряженно-деформированное состояние по данным сейсмологии, гравиметрии и геомеханики”.

Особая благодарность за предоставление исходных сейсмических записей сотрудникам Бурятского филиала ФИЦ ЕГС РАН и ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ).

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Беляшов А. В., Предеин П. А. Методические аспекты локализации коровых землетрясений в центральной части озера Байкал на примере Кударинского события // Геофизика. – 2022. – № 6. – С. 16-22.
2. Тубанов Ц. А., Санжиева Д. П.-Д., Кобелева Е. А., Предеин П. А., Цыдыпова Л. Р. Кударинское землетрясение 09.12.2020 г. ( $m_w = 5.5$ ) на озере Байкал: результаты инструментальных и макросейсмических наблюдений // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2021. – Т. 48. – №4. – С. 32-47.
3. Бурмин В. Ю., Шумлянская Л. А. Современная сейсмичность Крыма // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2015. – Т. 42. – №2. – С. 5-16.
4. Славина Л. Б., Кучай М. ., Лиходеев Д. В., Абдуллаева Р. Р. Оценка напряженно-деформированного состояния зон сеймотектонической активности по кинематическому параметру  $V_p/V_s$  на примере структур Большого Кавказа, Куринской депрессии, Закавказья и Западного Прикаспия // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2017. – Т. 44. – №1. – С. 31-56.
5. Бурмин В. Ю. Мажорантные оценки погрешностей в определении  $T_0$  и  $V_p/V_s$  по графику Вадати // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XVI Международной сейсмологической школы. – Обнинск, 2022. – С. 23.
6. Lahr C. HYPOELLIPSE: A Computer Program for Determining Local Earthquake Hypocentral Parameters, Magnitude, and First-Motion Pattern. – U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, 2012. – 119 p.

© А. В. Беляшов, 2024