

## ПРОГНОЗ МАГНИТУДЫ КАМЧАТСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПО ДЕПРЕССИИ УНЧ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Щекотов А.Ю.<sup>1</sup>, Потанин М.Е.<sup>2</sup>, Кобзев В.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, [oldresident@yandex.ru](mailto:oldresident@yandex.ru)

<sup>2</sup>КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, [geofizik@emsd.ru](mailto:geofizik@emsd.ru)

### Введение

Лаборатория геофизических исследований Камчатского филиала Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН» (КФ ФИЦ ЕГС РАН) проводит геомагнитные наблюдения с использованием трехкомпонентного магнитометра-вариометра, установленного на комплексной геофизической обсерватории (КГО) «Карымшина» (52.827° с.ш., 158.132° в.д.) (рис. 1). Цель работ – поиск геомагнитных предвестников землетрясений.

Магнитометр-вариометр включает в себя три идентичных по конструкции индукционных датчика поля. Принцип индукционного датчика основан на явлении электромагнитной индукции – возникновении ЭДС в измерительной катушке при изменении проходящего через ее контур магнитного потока. Изменение потока в катушке может быть связано с вариациями величины или направления измеряемого поля во времени.

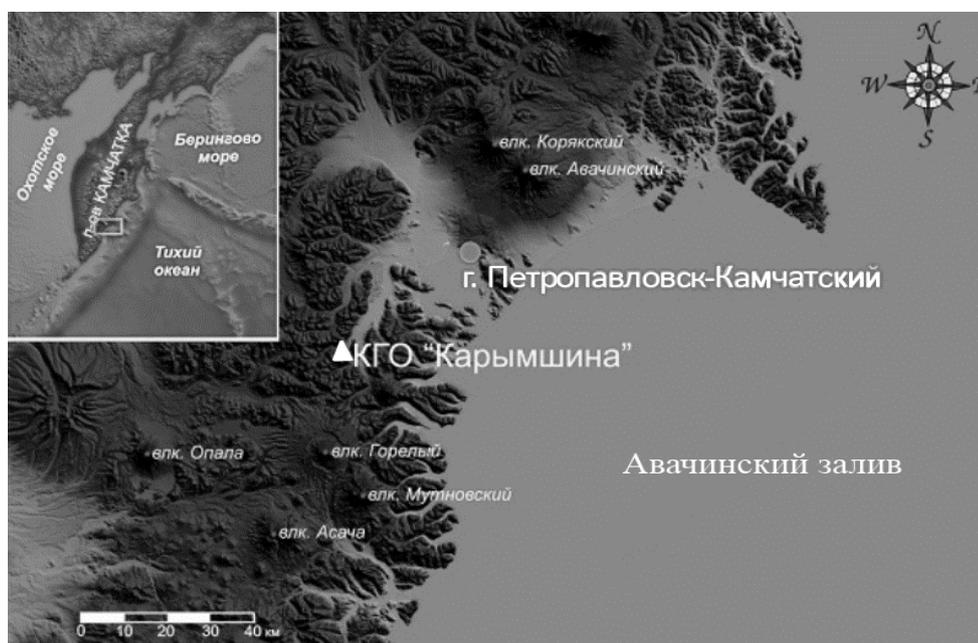


Рис. 1. Карта-схема расположения КГО «Карымшина».

Каждый датчик помещен в пластиковый, ударопрочный, влагозащищенный корпус и состоит из индукционной катушки с сердечником из аморфного сплава и предварительного усилителя. Использование усилителя позволяет значительно понизить уровень шумов на частотах ниже 10 Гц. Параметры всех трех датчиков идентичны с отклонением менее 3% в абсолютных величинах коэффициента преобразования и не более 2° по фазе.

Для подавления сейсмических, ветровых, акустических и других видов помех датчики помещены в бетонный бокс, наполненный сухим песком. Датчики горизонтальных компонент H и D были ориентированы вдоль магнитного меридиана и перпендикулярно к нему. Датчик Z регистрирует вертикальную компоненту геомагнитного поля.

В качестве АЦП с 2011 г. используется регистратор GSR-24, который находится на удалении 100 м от места закладки датчиков в защитном сооружении и подключен к датчикам кабельной линией. 16 октября 2013 г. запущена новая система передачи геомагнитных данных на приемный центр в г. Петропавловске-Камчатском, обеспечивающая их получение в режиме реального времени. Аналоговый сигнал от магнитометра по кабельной линии передается на АЦП, где оцифровывается с частотой 100 Гц. Далее через канал Wi-Fi данные передаются на стационар КГО «Карымшина», где

они временно хранятся на кольцевом буфере обмена, и затем передаются по каналам Internet на приемный центр КФ ФИЦ ЕГС РАН. Данные передаются и хранятся на буфере обмена в формате MSEED и затем помещаются в архив данных, который хранится в лаборатории геофизических исследований. Оператором осуществляется ежедневный контроль качества данных геомагнитных наблюдений и их передача в ИФЗ РАН для дальнейшей обработки и анализа с целью выделения сигналов подготовки землетрясений.

### Оценка магнитуды землетрясения по величине депрессии вариаций УНЧ магнитного поля

Депрессия – это ослабление компонент геомагнитного поля по данным регистрации магнитометром-вариометром. В качестве меры депрессии использовалась величина обратная минимальной усредненной спектральной плотности  $P_{xx}$  в полосе 0.01–0.1 Гц:  $Dep_x = 1/P_{xx}$ , где  $x$  – одна из горизонтальных компонент; или ее нормированная вариация  $dDep = (Dep - \text{mean}(Dep))/\text{mean}(Dep)$ . Время усреднения выбиралось в несколько суток, таким, чтобы устранить влияние дрейфа поля, связанного с геомагнитной активностью. Впоследствии величина  $dDep$  не использовалась в связи с ее неопределенностью в оценке эффекта из-за неоднозначности времени усреднения.

На рис. 2 показан пример депрессии перед землетрясением с магнитудой  $M_s = 6.6$ . На левой панели показаны эволюция геомагнитной активности ( $K_p$ ), сейсмической активности ( $K_s$  – энергетический класс землетрясения) и депрессии  $dD$  во временной окрестности землетрясения +/-15 сут.

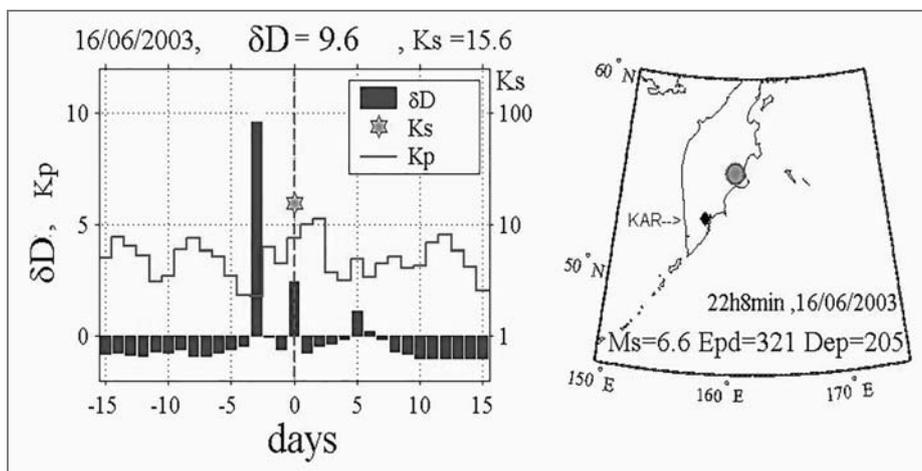


Рис. 2. Левая панель – эволюция депрессии, геомагнитной и сейсмической активности в окрестности землетрясения. Справа – карта региона с параметрами землетрясения.

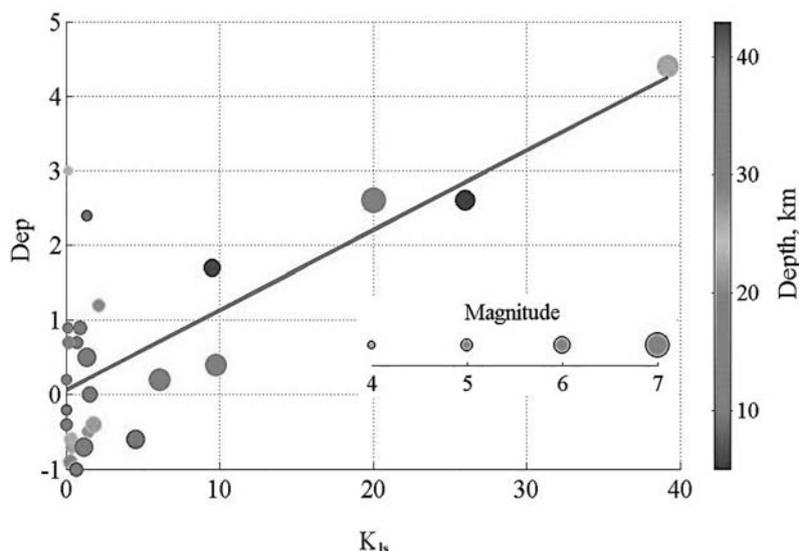


Рис. 3. Зависимость амплитуды депрессии от локальной сейсмичности.

Основное свойство депрессии – примерно линейная зависимость ее амплитуды от локальной сейсмичности [1], величина которой оценивается коэффициентом локальной сейсмичности  $K_{LS}$ , введенным О. Молчановым и равным:

$$K_{LS} \sim \frac{10^{0.75ML}}{10(R+100)}, \quad (1)$$

где  $ML$  – локальная магнитуда,  $R$  – эпицентральное расстояние, км.

Величина  $R$  оценивается по положению источника атмосферного КНЧ-излучения на частотах от единиц до десятков Гц, полагая, что это излучение вызвано инъекцией газов из зоны подготовки землетрясения. На рис. 4 показана темно-серой толстой линией область пересечения основного лепестка излучения с областью глубоководного желоба. Эпицентр корового землетрясения, как правило, располагается к западу от этой области на небольшом расстоянии. Подставляя величину  $R$  в выражение (1), можно оценить  $K_{LS}$  для известных событий.

Как уже упоминалось, амплитуда депрессии линейно зависит от величины  $K_{LS}$ . Следовательно, по величине депрессии можно оценить  $K_{LS}$  будущего события, а по КНЧ излучению – расстояние до эпицентра  $R$  и оценить магнитуду будущего события по формуле:

$$M_L = (\log_{10}(K_{LS}) + 1 + \log_{10}(100 + R)) / 0.75 \quad (2)$$

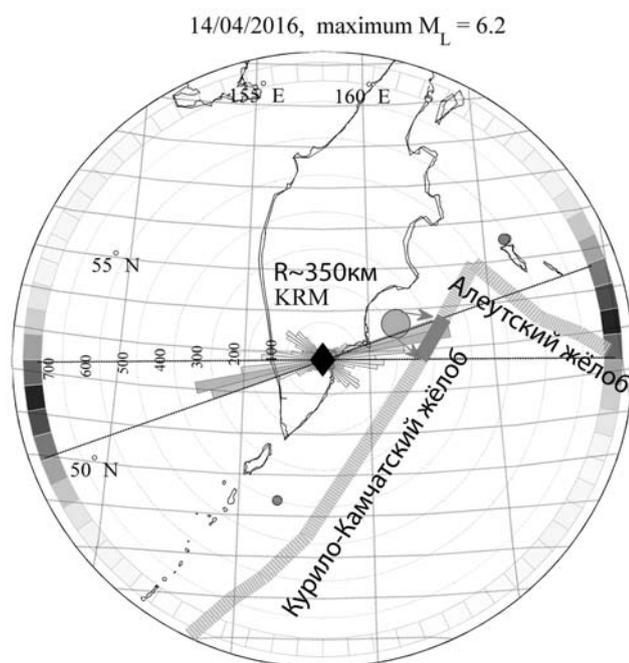


Рис. 4. Карта региона с азимутальным распределением излучения. Положение источника показано толстой серой линией.

#### Алгоритм оценки магнитуды

Фиксируем максимальную депрессию (рис. 5). В данном случае  $Dep_{max} = 27$ . Из графика зависимости  $K_{LS}$  от максимальной депрессии (рис. 6), находим среднее, минимальное и максимальное значения  $K_{LS}$  для  $Dep_{max}$ . С помощью функции Matlab, реализующей вычисление по формуле (2), оцениваем магнитуду будущего события. В данном случае с вероятностью 67 %, получаем  $ML = 6 \pm 0.3$ . В действительности, магнитуда землетрясения 14 апреля 2016 г. составила  $ML = 6.2$ .

#### Заключение

Описанный алгоритм прогноза магнитуды дает достаточно хорошую ее оценку, по крайней мере, для неглубоких и близких к желобу землетрясений, что подтверждается, в частности, приведенным примером.

Одна из возможных причин ошибочных прогнозов магнитуды связана с оценочным характером величины  $R$  – расстояния до эпицентра. Такие ситуации возникают, во-первых, в случае подготовки глубоких и далеких от желоба событий и для очень близких событий, особенно, если они находятся примерно на той же широте, что и магнитометр. В случаях, когда азимутальное распределение излучения пересекает не только Камчатский, но и Алеутский желоб, то также

возникает неопределенность в положении источника, а, следовательно, и в оценке положения очага будущего землетрясения. Две последние причины могут быть устранены при регистрации геомагнитных вариации на сети пунктов.

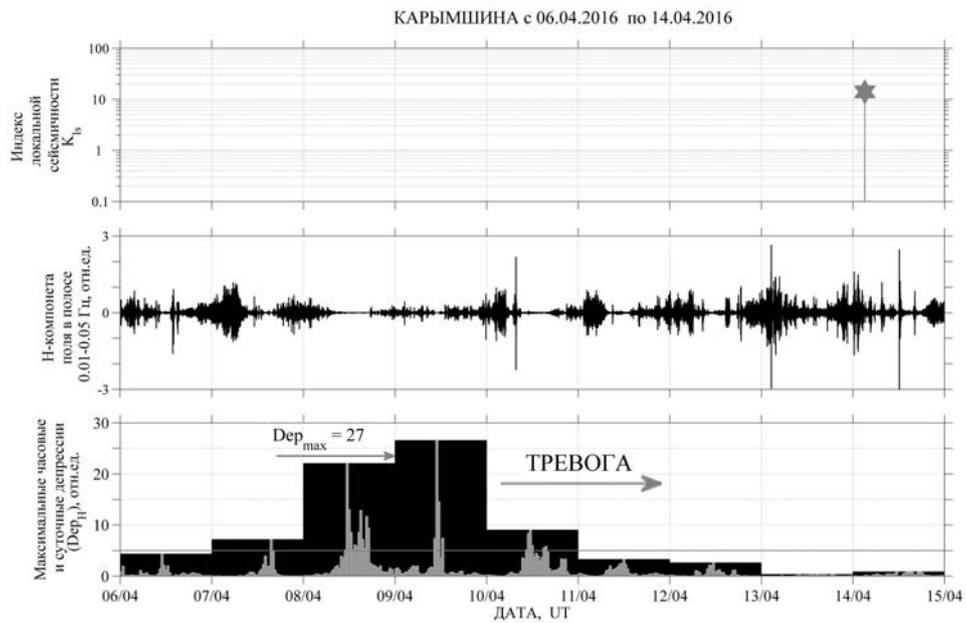


Рис. 5. Эволюция сейсмичности и депрессии.

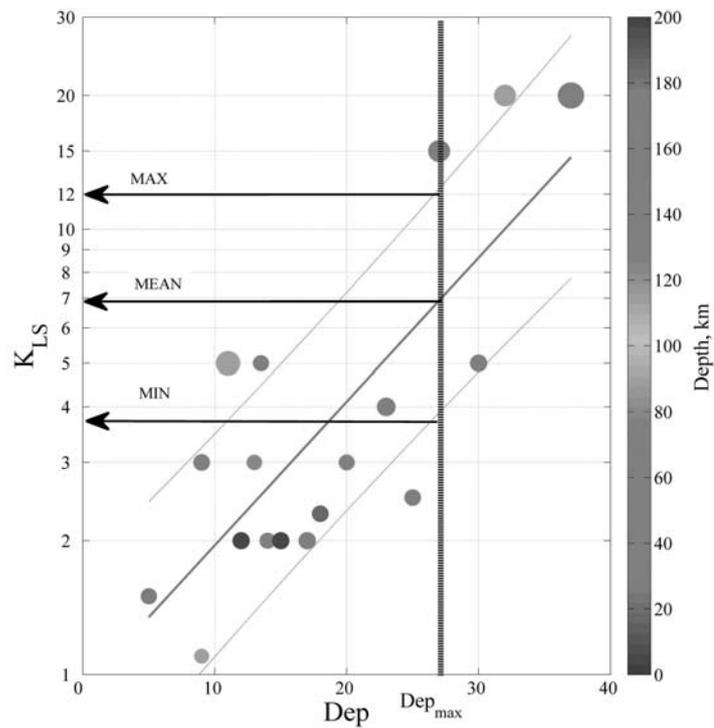


Рис. 6. Зависимость  $K_{LS}$  от максимума депрессии

### Список литературы

1. *Schekotov A., Molchanov O., Hattori K. et al.* Seismo-Ionospheric Depression of the ULF Geomagnetic Fluctuations at Kamchatka and Japan // *Physics and Chemistry of the Earth*. 2006. V. 31. P. 313–318.