

Мониторинг удельного сопротивления геосреды с использованием подземных электрических антенн: физическая основа метода и результаты

ГАВРИЛОВ В. А.

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, Россия
e-mail: vgavr@ksnet.ru

Излагается физическая основа разработанного автором метода непрерывного мониторинга удельного сопротивления горных пород, где в качестве зондирующего сигнала используется непрерывное электромагнитное излучение сверхнизкочастотного (СНЧ) диапазона техногенного или природного происхождения, а в качестве датчиков – подземные вертикальные электрические антенны. Результаты многолетних измерений на Петропавловск – Камчатском геодинамическом полигоне позволяют уверенно говорить о высокой эффективности метода и его перспективности в качестве одной из основных частей системы комплексных геофизических измерений, ориентированных на мониторинг напряженно-деформированного состояния геосреды и прогноз землетрясений.

1. Подземные электрические антенны в системе комплексных скважинных геофизических измерений Петропавловск – Камчатского геодинамического полигона. Непрерывные электромагнитные измерения с подземными электрическими антеннами на Петропавловск - Камчатском геодинамическом полигоне были начаты автором в мае 2003 г. на базе скважины Г-1. По состоянию на апрель 2016 г. такие измерения проводятся в непрерывном режиме на четырех измерительных пунктах сети комплексных скважинных измерений Петропавловск - Камчатского геодинамического полигона, созданных на базе скважин Г-1, Р-2, Е-1 и К-33. При этом применяются подземные вертикальные электрические антенны трех разных конструкций. Во всех случаях в качестве линейных элементов антенн используются обсадные колонны скважин.

Для района *скважины Р-2*, расположенной в лесном массиве в 20 км от г. Петропавловск – Камчатского на значительном удалении от техногенных источников ЭМИ, спектр ЭМИ определяется, в основном, электромагнитным излучением *естественного происхождения*. В диапазоне СНЧ естественное электромагнитное поле, регистрируемое на поверхности Земли, создается, в основном, атмосферно – электрическими разрядами. Согласно данным литературных источников, наибольшие значения амплитуды напряженности электрического поля на поверхности Земли в этом случае можно оценить величинами, не превышающими $0,45 \div 1,0$ мВ/м, что требует использования достаточно чувствительных антенных систем. В этой связи для измерений на пункте Р-2 была применена подземная электрическая антенна типа “монополь”. В качестве линейного элемента антенны была использована обсадная труба скважины, длина которой составляет около 800 м. Подземный рефлектор диаметром около 40 м, закопанный на глубине около 1,5 м, был создан радиальными и кольцевыми отрезками бронированного кабеля (рис.1). Указанную антенну в предположении идеальной проводимости поверхности земли можно рассматривать как симметричный диполь длиной $2h$ за счет зеркального отображения части антенны, погруженной в однородную изотропную геосреду. Результаты измерений, проведенные на пункте Р-2, показали, что антенны подобного типа благодаря своей высокой чувствительности целесообразно использовать при организации измерений слабых электромагнитных излучений естественного происхождения. Вместе с тем, применение подземных антенн типа “монополь” требует наличия значительной свободной площади вокруг скважины для размещения подземного рефлектора, что значительно ограничивает возможность использования антенн такого типа. В этой связи автором был разработан оригинальный вариант подземной электрической антенны, не требующий применения рефлектора. Основными

конструктивными элементами подземной электрической антенны, применяемой для измерений на скважине Г-1, являются металлическая обсадная колонна скважины длиной 2542 м и свободная жила герметичного бронированного кабеля длиной

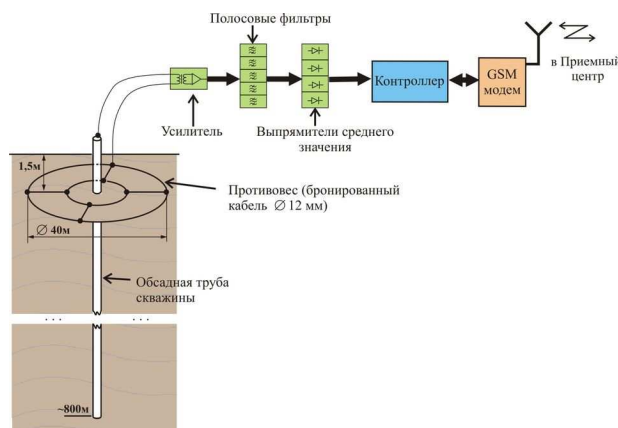


Рис. 1. Конструкция подземной электрической антенны и структурная схема измерительного тракта на пункте Р-2.

около 1000 м, опущенного в скважину [Гаврилов, 2013]. Антенны этого типа используются для измерений на скважинах Г-1 и Е-1.

Непрерывные электромагнитные измерения в сверхнизкочастотном (СНЧ) диапазон частот, проводимые с использованием подземных электрических антенн, лежат в основе разработанного автором метода непрерывного мониторинга удельного сопротивления пород прискважинной зоны [Гаврилов, 2013].

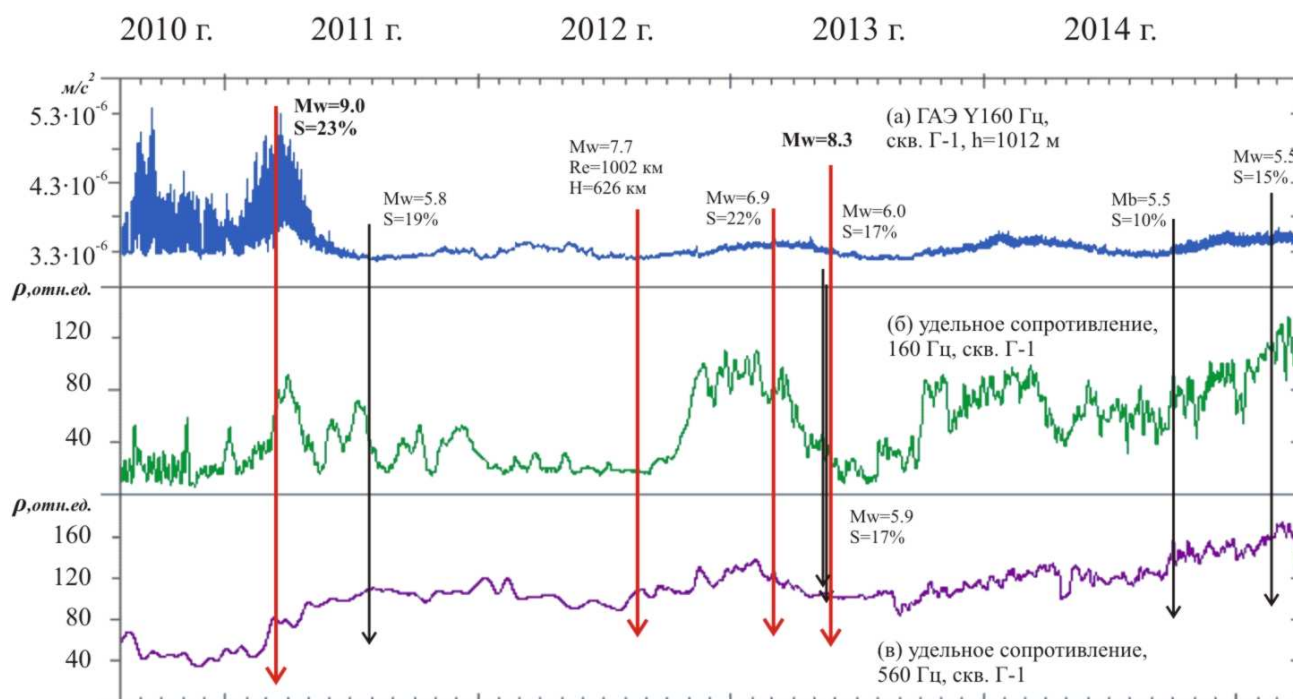


Рис. 2. Изменения удельного сопротивления пород в зоне скважины Г-1 (б, в) во временных окрестностях Тохокского мегаземлетрясения (март 2011 г.) и сильнейших камчатских землетрясений 2013 г. в сравнении с изменениями амплитуд откликов геоакустической эмиссии в зоне скважины Г-1 (а).

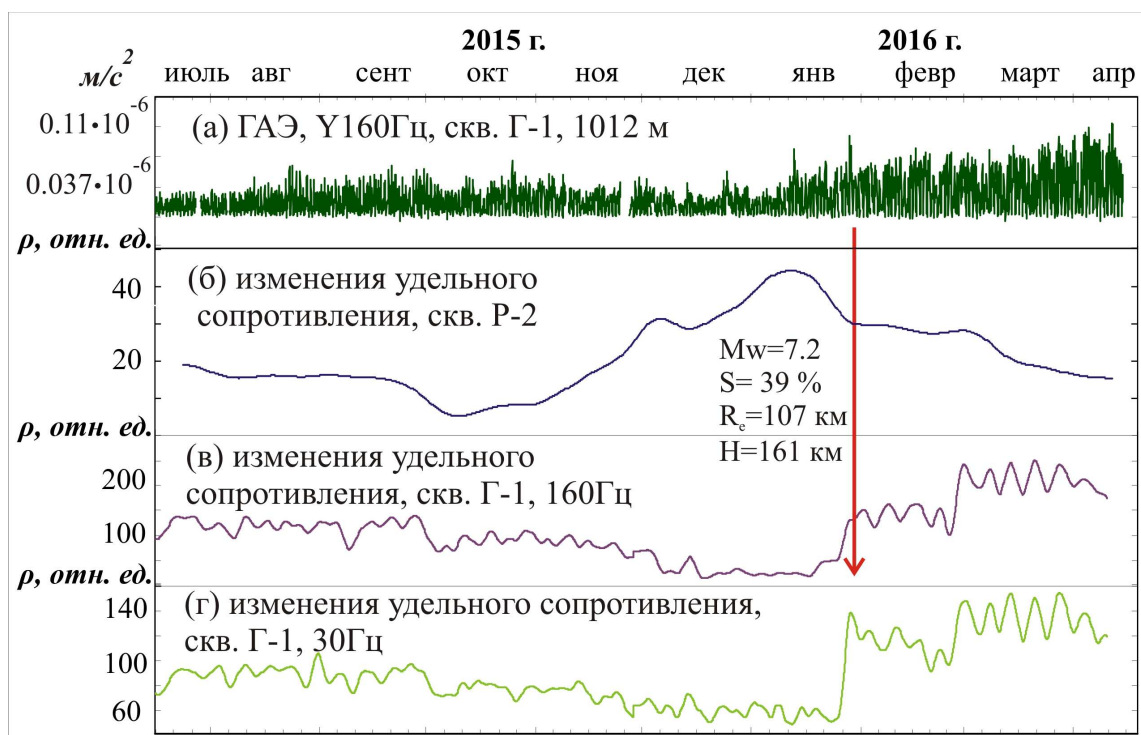


Рис. 3. Изменения удельного сопротивления пород в зонах скважины Р-2 (б) и скважины Г-1 (в, г) во временной окрестности Жупановского землетрясения (30.01.2016 г.) в сравнении с изменениями амплитуд откликов геоакустической эмиссии в зоне скважины Г-1 (а).

Физическая основа метода. Можно указать на следующие ключевые моменты, лежащие в основе метода непрерывного мониторинга удельного сопротивления пород при скважинной зоне:

- в качестве *зондирующего сигнала* используется непрерывное фоновое электромагнитное излучение техногенного или природного происхождения;
- в качестве *датчиков* используются подземные электрические антенны;
- при влажности пород, *не превышающей 4%*, имеет место *очень резкая зависимость* удельного сопротивления пород от влагонасыщенности.

Временной ряд, изменения которого отражают *изменения удельного сопротивления* пород при скважинной зоне, выделяется из исходного ряда данных электромагнитных измерений путем программной обработки [Гаврилов, 2013].

Непрерывный мониторинг удельного сопротивления пород ведется одновременно по четырем частотным каналам с центральными частотами 30, 160, 560 и 1200 Гц. *Расчетные значения глубин мониторинга* для каналов 30, 160 и 560 Гц в зоне скважины Г-1 составляют соответственно 2250 м, 950 м и 400 м.

Результаты многолетних измерений на Петропавловск – Камчатском геодинамическом полигоне указывают на высокую эффективность разработанного метода непрерывного мониторинга удельного сопротивления горных пород при оценках изменений напряженно-деформированного состояния геосреды. В качестве примеров ниже приводятся результаты мониторинга удельного сопротивления пород в зоне скважины Г-1 во временных окрестностях Тохокского мегаземлетрясения (март 2011 г.) и сильнейших камчатских землетрясений 2013 г. (рис. 2), а также данные, полученные при измерениях в зонах скважины

P-2 (б) и скважины Г-1 (в, г) во временной окрестности сильнейшего ($M_W=7.2$) Жупановского землетрясения (рис. 3). Можно отметить, что при измерениях на скважине Г-1 в качестве зондирующего источника используется техногенное электромагнитное СНЧ излучение, а при измерениях на скважине P-2 – электромагнитное излучение естественного происхождения.

Литература

1. Гаврилов В.А. О методе непрерывного мониторинга удельного электрического сопротивления горных пород / В.А Гаврилов // Сейсмические приборы. - 2013. - Т. 49. - № 3. - С. 25-38.