

**РЕЗУЛЬТАТЫ ОДНОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ЕСТЕСТВЕННЫХ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СНЧ-ОНЧ ИЗЛУЧЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ПОДЗЕМНОЙ И НАЗЕМНОЙ АНТЕНН**

**THE RESULTS OF THE SIMULTANEOUS MEASUREMENTS OF THE NATURAL
VLF-ELF ELECTROMAGNETIC EMISSIONS BY THE MEANS OF UNDERGROUND
AND ON-GROUND ANTENNAS**

В.А. Гаврилов¹, Г.И. Дружин², Е.В. Полтавцева¹

¹*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,*

²*Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН*

The paper provides the compared results from measurements of the natural electromagnetic emission level in ULF-VLF range. The measurements were carried out during the last three years simultaneously at a G-1 station, equipped by the underground electrical antenna (Institute of Volcanology and Seismology, Far Eastern Division of the Russian Academy of Sciences) and at Karymshina station, where is used the ground magnetic antenna (Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation, Far Eastern Division of the Russian Academy of Sciences). The armoured cable conductor of the geophone more than 1 km long and a borehole casing tube are used as elements of underground electric antenna on the G-1 station. The Karymshina station is located 50 km far from the G1 station in a place where the industrial noise is low. We use for the measurement the ground multiloop frame antenna with effective area of 11250 m². The measurement result analysis shows that both observing systems before the earthquakes ($M_{LH} \geq 5.0$ within a zone with $R \leq 550$ km from the observation station) in most cases recorded the abnormal alterations of natural electromagnetic emission characteristics. This included: the distortion of diurnal variations, mid-level anomalies with unchanged amplitudes of diurnal variations. In some instances the above anomalies were recorded simultaneously at the both stations.

The significant (more than 20 dB) anomaly of changes of a minimum natural electromagnetic emission level with the help of system with the underground antenna by duration in some months was observed. This anomaly is presumably caused by largest ($M_w=8,3$) earthquake, occurred near the Simushir island (Kuril islands) in November 2006. The data of electromagnetic measurements thus are compared to the data of measurements of density and level of water in a borehole. The efficiency of application of underground electrical antenna for researches connected with monitoring of the intense - deformed condition of the geoenvironment is marked.

Надежная регистрация естественного электромагнитного излучения (ЕЭМИ) литосферного происхождения измерительными системами с антеннами, расположенными над поверхностью земли, весьма затруднена ввиду более высокой в сравнении с воздухом проводимости земли, особенно на частотах выше первых сотен Гц. По этой причине для измерений ЕЭМИ, связанных с мониторингом напряженно-деформированного состояния геосреды, логично применение подземных антенн. Большой положительный опыт в этом направлении получен, в частности, японскими исследователями К. Takahashi и Y. Fujinawa [8]. В этом случае использовалась подземная вертикальная электрическая антенна, состоящая из монополя (металлическая обсадная труба скважины длиной 300-800 м), окруженного в радиусе 10-20 м проводником, расположенным в земле на глубине около 1 м. Измерения проводились в трех диапазонах частот: $0 \div 0,7$ Гц; $0,01 \div 0,7$ Гц и 1 кГц $\div 9$ кГц.

В мае 2003 г. измерения ЕЭМИ с применением подземной вертикальной электрической антенны были начаты на пункте Г-1 Института вулканологии и сейсмологии (ИВиС) ДВО РАН. Пункт Г-1 создан на базе скважины глубиной 2542 м, расположенной в районе г. Петропавловска – Камчатского. В этом случае элементами подземной электрической антенны являются обсадная труба скважины и изолированная жила бронированного кабеля длиной более километра, опущенного в скважину. Измерения ведутся в диапазоне частот $30 \div 1200$ Гц [1].

В рамках данной работы проводилось сравнение данных трехлетних рядов измерений ЕЭМИ на пункте Г-1 с результатами, полученными на пункте Карымшина, где используется система с наземной антенной. Пункт Карымшина Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН расположен на расстоянии около 50 км от пункта Г-1 в районе с низким уровнем индустриальных помех. Целью такого сравнения являлась оценка преимуществ и недостатков измерительных систем с разными типами антенн.

Аппаратура и методика измерений. Сигнал, поступающий с выхода подземной электрической антенны на пункте Г-1, после усиления разделяется полосовыми узкополосными третьоктавными фильтрами на четыре полосы с центральными частотами 30, 160, 560 и 1200 Гц с измерением на выходах фильтров средневыпрямленных значений сигналов. Дальнейшая цифровая обработка сигналов в реальном времени производится измерительно-связным контроллером, в функции которого, в том числе, входит аналого-цифровое преобразование сигналов, вычисление их средних значений на интервале в одну минуту, а также запись данных в память для дальнейшей передачи по каналам телеметрии.

На пункте Карымшина используется наземная многовитковая рамочная магнитная антенна с эффективной площадью 11250 м². Для уменьшения влияния помех от местной сети 50 Гц, антенна вместе с предусилителем установлена на расстоянии более 200 метров от возможных источников помех. Предусилитель содержит фильтр нижних частот с частотой среза 8,5 кГц. Сигнал с выхода предусилителя разделяется узкополосными полосовыми фильтрами на полосы с центральными частотами 450, 720, 1200, 2500 и 5300 Гц. Сигналы с выходов фильтров усиливаются, детектируются для выделения огибающей, затем интегрируются однонаправленным интегратором с отношением времени заряда к времени разряда более 20, усиливаются по постоянному току и снова интегрируются с постоянной времени, равной одной минуте. При превышении на выходе окончного усилителя определенного уровня, сигнал отрицательной обратной связи поступает на усилитель переменного тока и общий коэффициент усиления уменьшается. По этой причине амплитудная характеристика измерительного тракта получается близкой к логарифмической, что позволяет увеличить динамический диапазон тракта. Однонаправленный интегратор служит для лучшего выделения шумовой составляющей сигнала и ограничения влияния импульсных атмосферных помех. Пороговая чувствительность измерительных каналов аппаратуры оценивается величиной порядка $2 \cdot 10^{-7}$ нТ/Гц^{1/2}. Аналоговые сигналы с выходов окончных усилителей подаются на входы цифровой радиотелеметрической системы, производящей измерения с частотой 1 мин⁻¹.

Основные результаты анализа данных. При сравнении результатов одновременных измерений на пунктах Г-1 и Карымшина рассматривались изменения амплитуд и искажения суточного хода, изменения среднего и минимального уровней регистрируемого ЕЭМИ, а также возмущения ЕЭМИ импульсного характера.

Суточный ход ЕЭМИ, обусловленный в первую очередь грозовыми разрядами в удаленных мировых центрах гроз [3], наиболее четко и стабильно проявлялся на канале 160 Гц системы с подземной электрической антенной. Системой с наземной магнитной антенной суточный ход наиболее четко регистрировался каналами с частотами 450 Гц и 720 Гц. На рис. 1 приведен пример регистрации суточного хода в период его отчетливого проявления по всем каналам обеих систем.

Нарушения нормального суточного хода ЕЭМИ, которые можно было бы связать с подготовкой землетрясений, были отмечены неоднократно по данным измерений обеих систем. При этом наиболее уверенные аномалии такого характера регистрировались при использовании подземной антенны по каналу 1200 Гц. Для системы с наземной магнитной антенной более характерными были возмущения ЕЭМИ импульсного характера, регистрируемые перед достаточно сильными близкими сейсмическими событиями

(рис.2,3). При этом в ряде случаев достаточно мощные всплески излучений отмечались одновременно за сутки и более на обоих измерительных пунктах: на частотах 560 и 1200 Гц при измерениях с подземной электрической антенной и на частотах 450, 1200 и 2500 Гц при измерениях с наземной антенной. О подобном характере возмущений ЕЭМИ ранее отмечалось в [5].



Рис.1. Пример регистрации суточных вариаций ЕЭМИ по различным каналам.

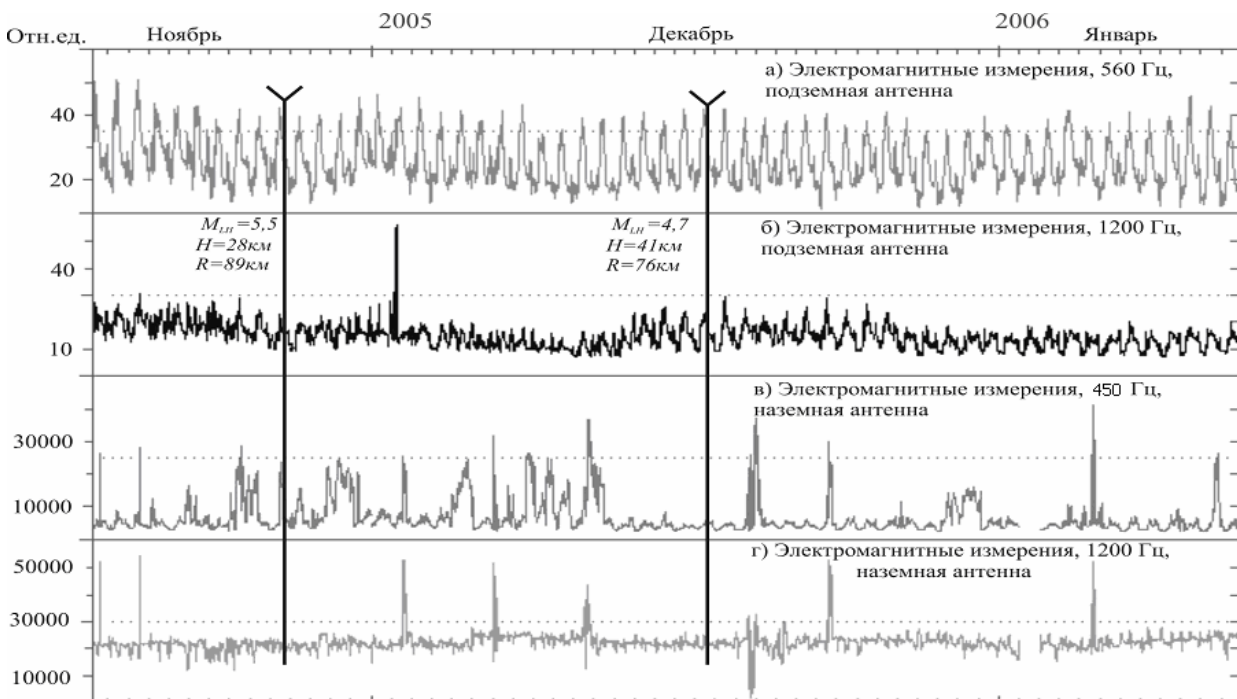


Рис.2. Пример возмущений ЕЭМИ перед близкими землетрясениями: нарушения суточного хода (каналы 1200 Гц, подземная и наземная антенны); импульсные возмущения (каналы 450 и 1200 Гц, наземная антенна).

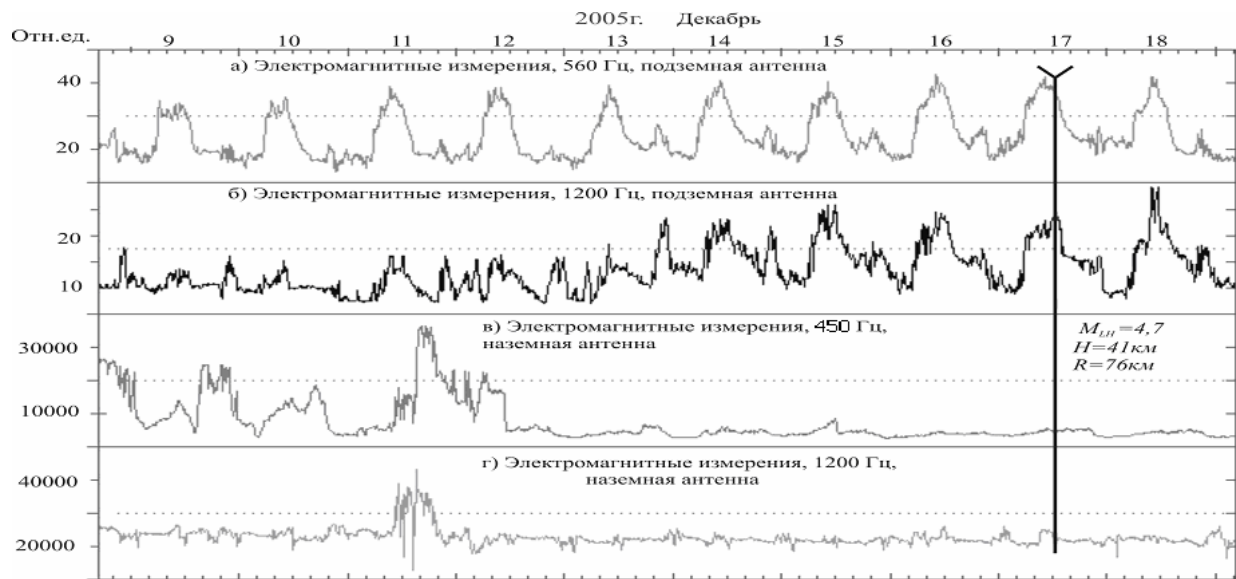


Рис.3. Пояснения те же, что и по рис.2.

Наиболее сильным сейсмическим событием, произошедшим за время одновременных измерений на двух пунктах, явилось землетрясение в районе о.Симушир (Курильские о-ва) в ноябре 2006 г. - самое сильное за время наблюдений как по магнитуде ($M_w=8,3$), так и по отношению размера очага к гипоцентральному расстоянию (29%). Аномалии ЕЭМИ, связанные по времени с указанным землетрясением, в наибольшей степени проявились на канале 160 Гц системы с подземной электрической антенной и на канале 450 Гц системы с наземной магнитной антенной (рис.4).

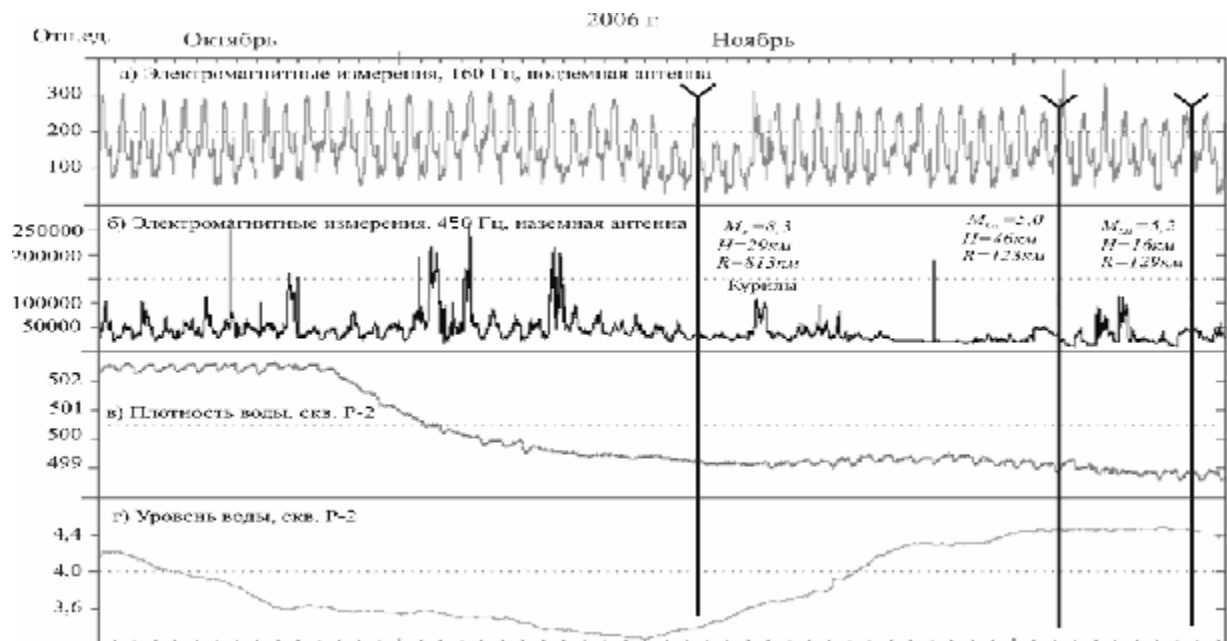


Рис.4. Аномалии ЕЭМИ, плотности и уровня воды в скважине, зарегистрированные перед Симуширским землетрясением с $M_w=8,3$.

Как видно на рис.4, для канала 160 Гц с подземной антенной аномалия проявилась в виде уменьшения амплитуды суточного хода и уменьшения минимального (фоновое) уровня ЕЭМИ. Для канала 450 Гц с наземной антенной было также зарегистрировано уменьшение амплитуды суточного хода ЕЭМИ. Кроме этого на указанном канале более чем за месяц до землетрясения были зарегистрированы достаточно мощные всплески импульсного характера, которые прекратились за несколько суток до землетрясения.

Аналогичный характер изменений ЕЭМИ отмечался ранее в [4]. Для интерпретации полученных данных нами были привлечены результаты измерений уровня и относительной плотности воды, проводимых ИВиС ДВО РАН на скважине Р-2, расположенной в 20 км от пункта Г-1. [2]. По своей физической сути изменения плотности воды в скважине зависят, прежде всего, от изменения объемов свободных и растворенных в воде газов, что в свою очередь определяется процессами трещинообразования в результате деформирования горных пород. При этом понижение относительной плотности воды означает увеличение объемов растворенных и свободных газов, что можно интерпретировать как следствие увеличения сжимающих напряжений. Изменения уровня воды в скважине в значительной мере (с учетом влияния осадков и тензочувствительности скважин) также отражают изменения напряженно-деформированного состояния геосреды [6]. При этом повышение уровня воды в скважине соответствует сжатию водоносных пород и развитию упругих деформаций, а понижение уровня воды - растяжению пород. Как следует из данных, представленных на рис.4, аномалии ЕЭМИ, зарегистрированные обеими системами, по времени совпали с резким уменьшением плотности воды и началом увеличения уровня воды в скважине Р-2. Согласно результатам измерений плотности и уровня воды в скважине непосредственно перед Симуширским землетрясением в районе Петропавловск-Камчатского геодинамического полигона отмечалось повышение уровня сжимающих напряжений. С таким выводом согласуются и результаты измерений с подземной электрической антенной, представленные на рис.4, имея в виду, что увеличение интенсивности потока газов (в том числе радиоактивных) способно вызвать изменение условий распространения ЕЭМИ и соответствующее уменьшение амплитуды суточного хода [7].

Минимальный (фоновый) уровень регистрируемого электромагнитного излучения определяется несколькими составляющими: уровнем собственных шумов измерительного тракта, уровнем внешних помех техногенного происхождения и уровнем шумов естественного, в том числе, литосферного происхождения. Исходя из известных законов электродинамики можно предположить, что изменения уровня электромагнитных шумов литосферного происхождения, связанные с изменениями напряженно-деформированного состояния геосреды, в большей степени должны проявляться при регистрации с использованием подземной антенны. В этой связи нами было проведено сравнение данных мониторинга относительной плотности воды в скважине Р-2 с данными по изменениям минимального уровня регистрируемого ЕЭМИ (рис.5).

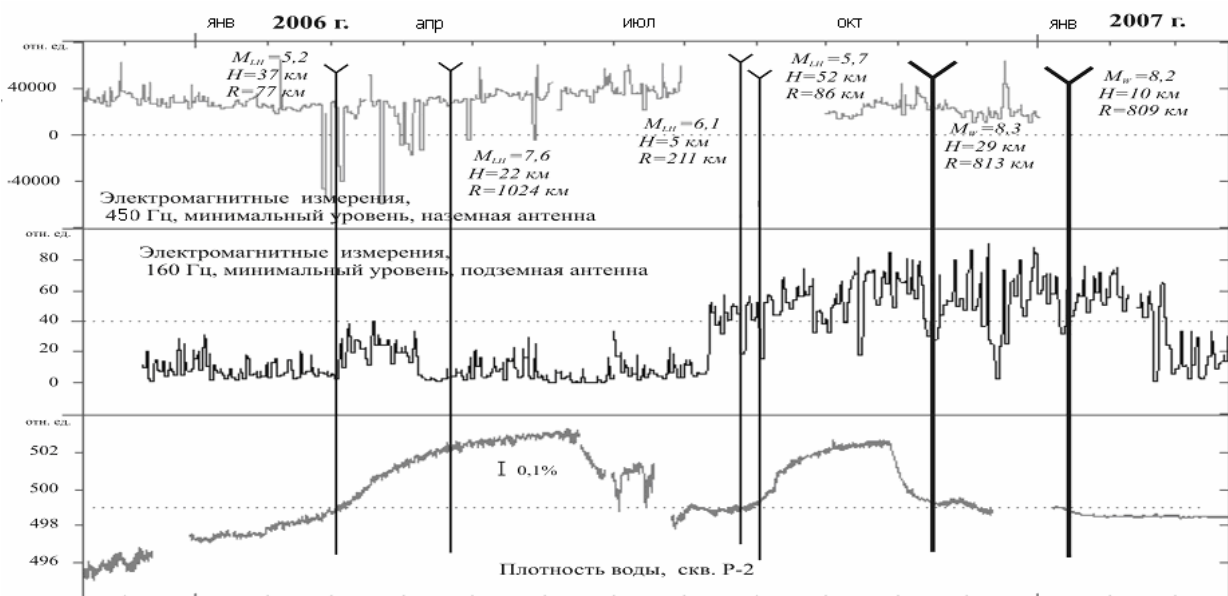


Рис.5. Изменения минимального уровня ЕЭМИ в сопоставлении с изменениями плотности воды в скважине Р-2.

Как видно из представленных на рис.5 данных, на достаточно длительном интервале (более года) системой с подземной электрической антенной зарегистрированы согласованные изменения минимального уровня ЕЭМИ и изменений плотности воды. В первую очередь это относится к интервалу август – ноябрь 2006 г., перед двумя сильнейшими землетрясениями в районе о-ва Симушир. За этот период минимальный уровень ЕЭМИ на канале 160 Гц с подземной антенной вырос в среднем примерно на 22 дБ. По данным канала 450 Гц с наземной антенны за октябрь-декабрь 2006 г. также видно, что уровень сигнала повысился в среднем на 12 дБ. Необходимо отметить, что результаты подобных измерений могут значительно зависеть от геологических условиях мест расположения пунктов наблюдений, особенностей аппаратуры и других причин. Можно предположить, что измерения с аналогичной подземной антенной в другом месте дадут другие результаты, в первую очередь, из-за геологических различий мест проведения измерений. Тем не менее, полученные результаты дают основания для вывода о том, что использование подземных электрических антенн позволяет значительно повысить эффективность измерений, проводимых в целях мониторинга напряженно-деформированного состояния геосреды.

Работа выполнена при частичной поддержке ДВО РАН (проект 06-III-A-08-327) и РФФИ (проект 06-05-96071).

Список литературы

1. Гаврилов В.А., Морозова Ю.В., Сторчеус А.В. Вариации уровня геоакустической эмиссии в глубокой скважине Г-1 (Камчатка) и их связь с сейсмической активностью // Вулканология и сейсмология. 2006. № 1. С.52-67.
2. Гаврилов В.А., Власов Ю.А., Денисенко В.П., Морозова Ю.В., Яковлева Ю.Ю. Опыт комплексных скважинных геофизических наблюдений в целях мониторинга состояния геосреды // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. Изд-во КГУ. Петропавловск-Камчатский. 2006. № 2. Вып. 8. С. 43-53.
3. Дружин Г.И., Торопчинова Т.В., Шапаев В.И. Регулярный шумовой фон в ОНЧ излучении и мировые очаги гроз // Геомагнетизм и аэрономия. 1986. Т.24. №2. С.258-264.
4. Дружин Г.И. Опыт прогноза камчатских землетрясений на основе наблюдений за электромагнитным ОНЧ излучением. Вулканология и сейсмология. №6, 2002. с. 51-52.
5. Дружин Г.И., Санников Д.В. Краткосрочные предвестники в ОНЧ излучении перед камчатскими землетрясениями // Распространение радиоволн: сборник докладов XXI Всероссийской научной конференции. Йошкар-Ола. 2005 г. Т1. С.417-420.
6. Киссин И.Г. Гидрологический мониторинг земной коры // Физика Земли. 1993. №8. С.58-69.
7. Методы анализа сейсмоэлектромагнитных процессов/ Под ред. Барсукова О.М. М.: Наука, 1991. 102 с.
8. Fujinawa Y., Takahashi K. Anomalous subsurface vertical electric field changes in VLF and ULF bands by use of borehole antennas // Techn. Note Nat. Res. Inst. Earth Sci. and Disaster Prev. 1993. №157. P.109-117.