

УДК 550.34+550.837

СПОСОБ ПРИМЕНЕНИЯ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

© 2003 И.А. Федорченко

*Институт вулканической геологии и геохимии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006,
бульвар Пийна, 9, тел. 19-68-06, e-mail: iaf@kcs.iks.ru*

Предлагается метод мониторинга вариаций кажущегося электрического сопротивления с помощью малоглубинной расстановки Шлюмберже. Изготовлен и испытан макет аппаратуры, позволяющий учитывать ход естественного электрического поля. Представлены материалы, иллюстрирующие уменьшение сопротивления на порядок за 4 часа до землетрясения с $M=7.4$. Высказаны суждения о перспективах методики.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Проблема прогноза сильных землетрясений на Камчатке, особенно для восточного побережья, стоит достаточно остро. Многочисленные работы в этой области (см., например, Соболев, 1993), несмотря на обилие анализируемых характеристик, не позволяют с уверенностью отождествлять аномальные эффекты в вариациях различных геофизических параметров с процессами подготовки сейсмического события. Вероятнее всего, это связано с тем, что обычно наблюдаются естественные поля Земли различного типа. В этой ситуации имеет место неопределенность геометрических и энергетических характеристик источника анализируемого поля. Флуктуации, обусловленные нестационарностью источника, накладывают ограничения на точность определения параметров среды (плотность, электропроводность и т.д.). Естественным образом можно предположить, что использование искусственных источников какого-либо поля с заданными параметрами, т.е. контролируемого источника, позволит с достаточной точностью фиксировать изменения в конкретных объемах среды. Наиболее просто задача решается электромагнитными методами.

ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ

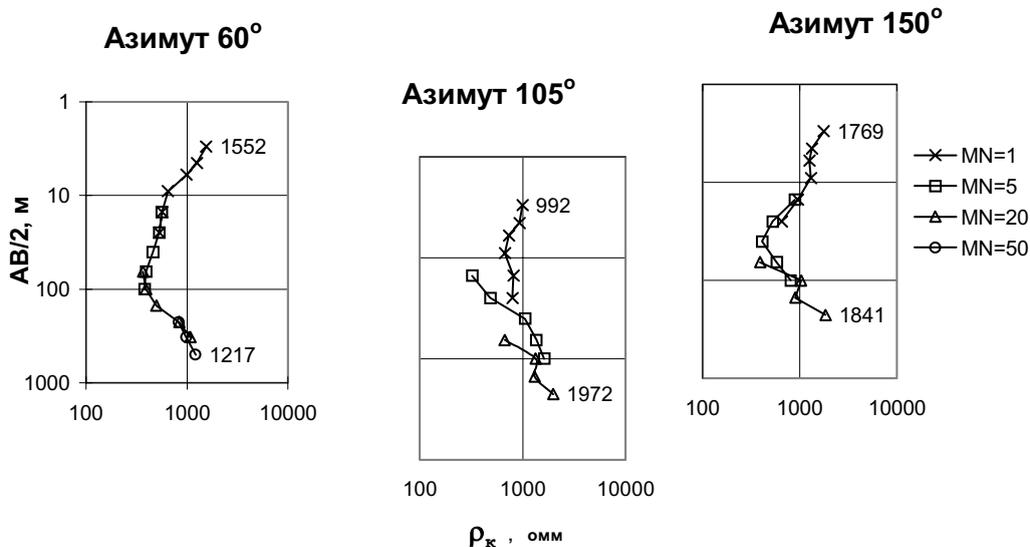
Преимущество электромагнитных методов определяется, во-первых, чувствительностью электрического сопротивления к фазовым изменениям среды. Во-вторых, обеспечить регулярные сеансы возбуждения электромагнитного поля любого типа

технически и экономически гораздо проще, чем, например, сейсмического. Кроме того, весьма вероятно, что вариации электрического сопротивления могут отображать процесс подготовки сейсмического события в приповерхностных горизонтах. В (Левин и др., 2002) показано, что реакция на изменения в области подготовки землетрясения проявляется на поверхности земли на значительных, до сотен километров, удалениях. Таким образом, на глубинах даже в первые десятки метров существует возможность фиксировать вариации сопротивления, обусловленные гидрогеодинамикой среды.

Попытки поиска предвестников землетрясений на Петропавловском геодинамическом полигоне с использованием искусственных электромагнитных полей предпринимались в ИВГиГ ДВО РАН с 1993 года. Предполагалось выполнение регулярных электромагнитных зондирований с применением мощного генератора импульсных токов (разработка НИИприбор, г. Лыткарино) индукционным методом. Генератор был установлен на Авачинском стационаре. Опытные-методические работы выполнены в полном объеме. В результате успешных запусков получен устойчивый отклик на удалении от генератора 18 км, получена частотная характеристика среды для пункта приема. Однако из-за несвоевременного и неполного финансирования работы приостановлены, а установка законсервирована на неопределенный срок.

Параллельно была сделана попытка создать метод контроля геоэлектрических параметров среды с применением слаботочного источника первичного поля, который позволил бы регистрировать изменение удельного электрического сопротивле-

а



б

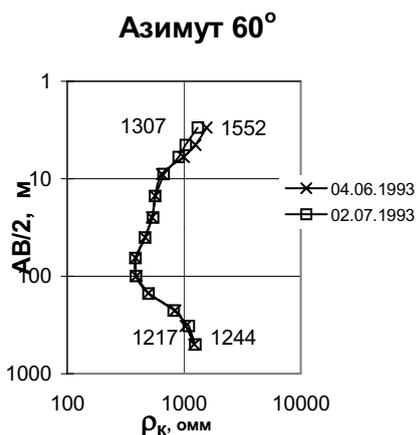


Рис. 1. Графики зависимости кажущегося сопротивления ρ_k от $AB/2$ по данным вертикального электрического зондирования (ВЭЗ), полученные в пункте Петропавловского геодинимического полигона «Верхняя Паратунка». Индексы у кривых – значения ρ_k в Ом*м для начального и конечного разносов: а - азимутальные кривые; б - графики расстановки с азимутом 60° , полученные с интервалом в 1 месяц.

ния на глубинах в первые 100 метров. При расположении такой расстановки в пределах зоны тектонической активности существуют, как указывалось выше, предпосылки регистрации гидрогеодинамического эффекта в более или менее определенном диапазоне глубин и в условиях, минимизирующих влияние поверхностных факторов.

РЕКОГНОСЦИРОВОЧНЫЕ РАБОТЫ

Местом проведения эксперимента был выбран пункт «Верхняя Паратунка» сети Петропавловского

геодинимического полигона. Пункт расположен в 70 км от областного центра на левом берегу р. Карымшина. Выбор места определен из соображений его доступности для автотранспорта и защищенности от техногенных электромагнитных помех. Для определения геометрических параметров рабочей расстановки и оценки анизотропии разреза выполнены азимутальные ВЭЗ (вертикальные электрические зондирования). Методика измерений с симметричной расстановкой (типа Шлюмберже) и процедуры определения кажущегося сопротивления общеизвестны и подробно описаны в литературе, например в работе (Краев, 1965).

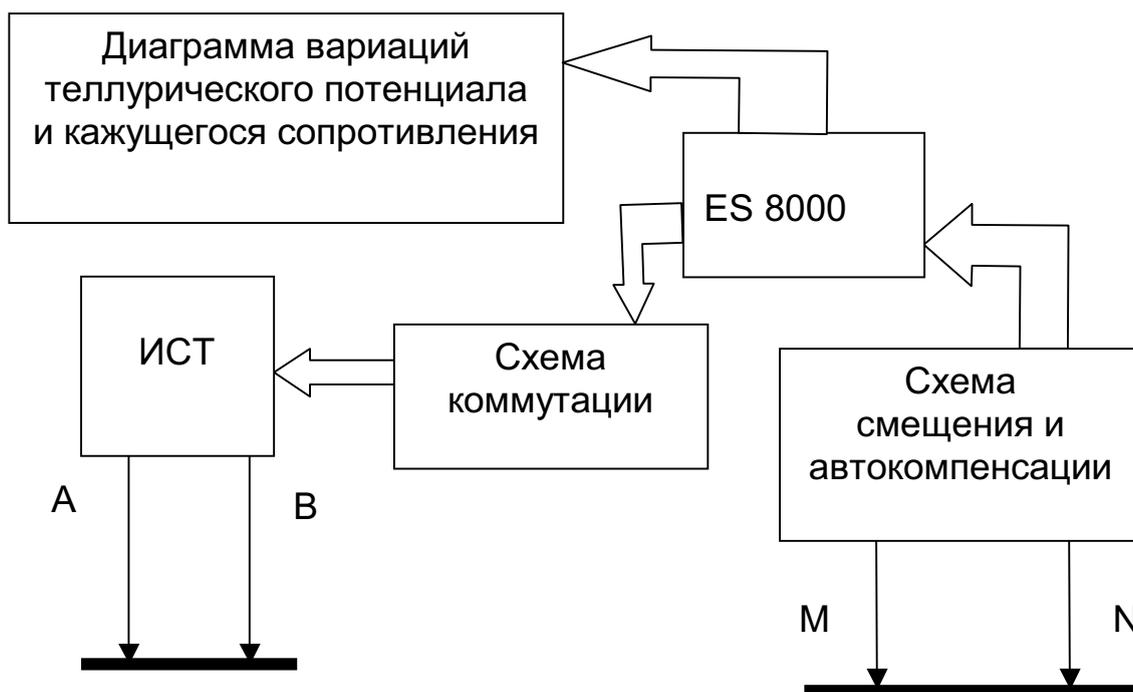


Рис. 2. Блок-схема макета “Прогноз” для регистрации вариаций кажущегося сопротивления. Пояснения в тексте.

Результаты ВЭЗ представлены на рис. 1. В общем случае, на графиках проявляется четырехслойный разрез типа QH: $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3 < \rho_4$. Наиболее явно он выражен на кривой ВЭЗ для азимута 60° , характеризующая более или менее однородную горизонтально-слоистую среду. При другой ориентировке расстановок очевидно влияние горизонтальной неоднородности – при одной и той же длине питающей линии АВ величина кажущегося электрического сопротивления ρ_k отличается при измерении на разных MN. При ориентировке 150° эффект «ворот» возникает, начиная с $AB/2 = 25$ метров. В большей мере он присутствует для азимута 105° . Поэтому для количественных оценок выбрана реализация, полученная при $Az. 60^\circ$.

Формальная палеточная обработка дала следующие результаты. Верхняя часть разреза до глубины около 5-6 метров имеет удельное сопротивление $1560 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ и, скорее всего представлена аллювием, характерным для пойменных участков. Далее, до глубины порядка 120 м выделяются два проводящих горизонта с $\rho_2 = 540$ и $\rho_3 = 130 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, отображающих область аккумуляции грунтовых вод, дренируемых через проницаемые валунно-галечниковые отложения. Ниже фиксируется высокоомный слой, не ограниченный по глубине и отображающий, вероятнее всего, присутствие водоупора. Отметим, что в данной работе не

ставилась целью детальная геологическая трактовка. Измерения носили рекогносцировочный характер для выбора оптимальных параметров установки, в первую очередь - величины линии АВ, при которой возможен контроль интервала глубин ниже области интенсивного водообмена. Результаты эксперимента дают основание считать, что при $AB/2$ более 150 метров будет контролироваться состояние высокоомного опорного горизонта. Устойчивость характеристик для такой установки иллюстрируется рисунком 1, б. Кривая ВЭЗ от 02.07.93 получена через сутки после дождя. Заметно, что явные изменения проявляются на разносах $AB/2$ меньше 15 метров.

Экспериментальные характеристики азимутальных ВЭЗ позволяют качественно оценить анизотропию кажущегося сопротивления λ_k или относительные параметры (Балеста и др.) для необходимых разносов:

$$\lambda_k^{m,n} = (\rho_k^m \rho_k^n)^{1/2},$$

где индексы m и n – азимуты расстановок. Для $AB/2 = 100$ м имеем $\lambda_k^{60,105} = 0.263$, $\lambda_k^{60,150} = 0.421$, $\lambda_k^{105,150} = 1.602$. Для $AB/2 = 150$ м и $AB/2 = 225$ м, соответственно, 0.381, 0.548, 1.437 и 0.891, 0.955, 1.071. Можно сделать вывод о том, что преобладающее направление проводящей структуры близко к 60° , причем при уменьшении разносов эффект

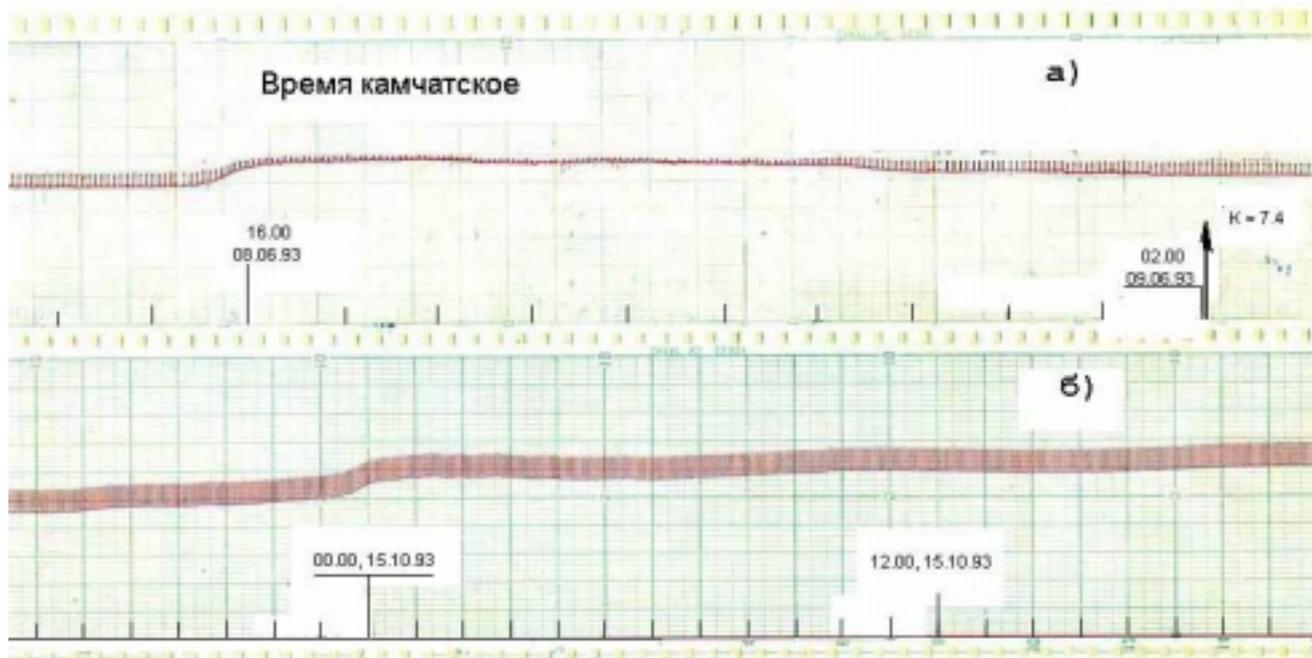


Рис. 3. Примеры записей вариаций теллурического поля (сплошная линия) и кажущегося электрического сопротивления (верхняя огибающая импульсов). Регистратор ES 8000, динамический диапазон 100 мВ/шкалу: а - временная окрестность землетрясения 09.06.93 г., 02 ч 03 мин. (время камчатское), $M=7.4$, протяжка – 200 мм/час; б - типичная форма записи в отсутствие сейсмической активности, протяжка 10 мм/час.

выражен более явно. Скорее всего, это является следствием фациальных особенностей русловой формации.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Макет аппаратуры (условно «Прогноз»), обеспечивающий включение стабильного тока в нагрузку и регистрацию отклика среды с выбираемой дискретностью, выполнен на базе регистратора ES 8000 (Япония). Блок-схема представлена на рис.2. Управление узлом коммутации тока в линии АВ осуществляется тактовым импульсом с частотой $1/24 \text{ с}^{-1}$, поступающим со схемы синхронизации регистратора. Стабилизированный ток с ИСТ (источник стабилизированного тока) поступает в АВ каждые 5 минут. Длительность питающего импульса, равная 1 мин, обеспечивает установившийся режим в среде. Сигнал с измерительной линии MN через эмиттерный повторитель, схему смещения и автокомпенсации поступает на регистратор ES 8000 и записывается на диаграммной ленте с дискретностью 6, 12, 24 с или в непрерывном режиме. Аналоговая часть всех схем выполнена на операционных усилителях К157УД2 и К140УД1208, цифровая - на микросхемах серии 561.

Энергопотребление приставки не превышает 8 мА/час. Источник тока для линии АВ – 6 последовательно соединенных аккумуляторов НКН125 (рабочее напряжение не менее 70 в, время работы без подзарядки не менее 3-х месяцев). Питание управляющего и регистрирующего блоков установки – 12 Вольт (два аккумулятора НКН55). Электроды для питающей и приемной линий, выполненные из свинцовых пластин с размерами 20 x 40 см и толщиной 0.5 см, были закопаны на глубину около 1 м. Кондукторами служили отрезки провода ГПСМП.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА, ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Геометрические параметры расстановки следующие. Длина питающей линии АВ - 200 метров, длина приемной линии MN - 40 метров, азимут расстановки - 60 градусов С-В. Сила тока I в АВ равна 15 мА, чувствительность регистратора - 10 мВ/см. Кажущееся сопротивление 840-850 Ом*м. Примеры записи вариаций представлены на рис. 3. Непрерывная реализация на диаграммах иллюстрирует ход естественного электрического поля $\Delta U_{\text{ЕП1}}$, а огибающая импульсов - $\Delta U_{\text{ЕП2}}$ при включенной АВ. Разность этих величин дает ΔU_{MN} .

СПОСОБ ПРИМЕНЕНИЯ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

Как известно (Краев, 1965), кажущееся электрическое сопротивление вычисляется следующим образом:

$$\rho_k = K(\Delta U_{MN} / I_{AB}),$$

K - геометрический коэффициент установки, для закрепленных линий является величиной постоянной, стабильность тока I_{AB} обеспечена аппаратурно. Таким образом, если откалибровать шкалу регистрации в Ом*м, величина ΔU_{MN} будет отображать истинные значения кажущегося электрического сопротивления.

Ощутимое землетрясение произошло в Авачинском заливе 9 июня 1993 г. В 02 час. 03 мин (время Камчатское) на расстоянии около 190 км от пункта регистрации. Координаты эпицентра $51^{\circ}20'$ с.ш. и $157^{\circ}80'$ в.д., глубина гипоцентра 40 км, магнитуда $M = 7.4$, энергетический класс 14.9. Момент землетрясения на диаграмме (рис. 3, а) позиционирован стрелкой. За 8 часов до землетрясения, на фоне увеличения интенсивности естественного ЭМП земли, наблюдается уменьшение кажущегося сопротивления от 840 до 84 Ом*м с релаксацией обеих составляющих за 4 часа до события. На рис. 3,б (здесь скорость развертки в два раза меньше), при изменении естественного ЭМПЗ такого же характера, землетрясений не отмечалось, а уровень сопротивления практически не менялся.

К сожалению, по причинам технического и организационного характера измерения были прерваны 30 сентября 1993 года, возобновлены лишь после землетрясения 12.10.93 г. и окончательно прекращены к весне 1994 г. В дальнейшем методика развития не получила, и зарегистрированный феномен остается не подтвержденным. Этим печальным фактом объясняется отсутствие записей во время других сейсмических событий, что не дает возможности дать полноценную статистическую оценку методики. Заметим, однако, что косвенным свидетельством возможностей способа является отсутствие на всех записях значимых изменений ΔU_{MN} в отсутствие сейсмической активности и при различных метеоусловиях. Необходимо также отметить, что в намерения автора не входило осмысление причин вариаций естественного поля

Земли. Была сделана лишь попытка их корреляции с вариациями измеряемого параметра.

ВЫВОДЫ

Анализ полученных данных позволяет надеяться на перспективность описанной методики для выявления и регистрации предвестников землетрясений в пределах Петропавловского геодинимического полигона. Современные возможности позволяют на качественно более высоком уровне осуществлять как непосредственно регистрацию, так и передачу данных в центр сбора информации. К тому же, при наличии нескольких измерительных каналов, возможно создание сети с разноориентированными датчиками, как приемных, так и питающих линий. Синхронизация коммутатора тока приемного тракта достаточно просто осуществима с помощью опорной частоты телеметрической станции. Частота коммутации и длительность токового импульса могут варьировать в зависимости от конкретных технических условий. Предварительно можно считать, что частоту коммутации можно снизить до двух – трех циклов в час при длительности импульса порядка 1 минуты.

Автор глубоко признателен Н.И. Селиверстову и В.А. Широкову за ряд ценных замечаний и советов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Балеста С.Т., Зубин М.И., Козырев А.И., Каргопольцев А.А., Федорченко И.А. Комплексные геофизические исследования геологического строения месторождений термальных вод Камчатки. М.: Наука, 1985. 111 с.

Левин В.Е., Гордеев Е.И., Бахтияров В.Ф., Касахара М. Предварительные результаты GPS мониторинга на Камчатке и Командорских островах // Вулканология и сейсмология. 2002. № 1. С. 3-11.

Краев А.П. Основы геоэлектрики. Л.: Недра, 1965. 587 с.

Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений // М.: Наука, 1993. 414 с.

ФЕДОРЧЕНКО

Electromagnetic Control Sources For Earthquake Prediction

I.A. Fedorchenko

Institute of Volcanic Geology and Geochemistry, Far East Division, Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatskii, 683006, Russia

Question of the probably application the electromagnetic control source method for the apparent resistivity monitoring is subject discussion. The measuring scheme, arrangement versions and practical diagrams is proposed. Decrease apparent resistivity before the earthquake ($M = 7.4$) from 840 to 84 Ohm is fixed.