

УДК 624.1:502/504

В.К. Хмелевской¹, М.М. Задегилова²

РАДИОВОЛНОВОЙ И ГАЗОВО-ЭМАНАЦИОННОЙ КОНТРОЛЬ ОБЪЕКТОВ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА В ЗОНАХ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОГО РИСКА

Радиоволновые и газово-эманационные геофизические методы давно применяются для изучения верхней части геологического разреза (ВЧР), т.е. на глубине несколько десятков метров. Совершенствованию этих методов и повышению точности результатов работ за счет новой техники и технологии других электроразведочных методов посвящена настоящая работа. Создан и широко опробован комплекс геофизических и геохимических методов, основанных на изучении радиополей Земли (метод РПЗ) и полей эманации радона или других газов в почве (ЭМ). Предложенные методы опробованы при изучении зон природно-техногенного риска (оползни, карст, и др.) на объектах топливно-энергетического комплекса (трубопроводы, площадки для их сооружения и др.). Они могут применяться при решении других инженерно-геологических задач ВЧР.

Ключевые слова: радиоволновые поля Земли, газовые и эманационные съемки, зоны природно-техногенного риска, топливно-энергетический комплекс, изучение верхней части разреза.

Radiowave and gas-emanation geophysical methods have long been used to study the upper part of the geological section. The present work is dedicated to perfecting these techniques and improving the accuracy of other electroprospecting methods through new techniques. Widely trialled geophysics and geochemistry complex has been made, which includes methods based on the study of the Earth radiofields (method RPGs) and the emanation of gas in the soil. The method will find application in the study of natural and man-made risks (landslides, karst, etc.) and units of fuel and energy complexes (pipelines, platforms, and other facilities).

Key words: radiowave fields of Earth, the gas and emanation shooting area of natural and industrial risks, fuel and energy complexes.

Введение. Для выявления геофизических неоднородностей и мониторинга геодинамических зон и процессов в верхней части геологического разреза (ВЧР) мощностью до нескольких десятков метров давно используются малоглубинные методы электроразведки и геохимические методы [Электроразведка, 1978, 1989; Геофизические..., 1983].

Работа посвящена комплексированию нового метода исследования радиоволнового поля Земли (РПЗ) и газово-эманационного метода (ЭМ). С помощью этих методов можно изучать строение зон природно-техногенного риска (ЗПТР) в ВЧР и подстилающих его породах и вести мониторинг опасных геодинамических процессов (ОГП).

Метод РПЗ основан на использовании радиополей длинноволновых и сверхдлинноволновых широкоэмиттерных и специальных радиостанций (частота от 10 до 200 кГц) и естественных полей Космоса, Солнца, Земли в том же диапазоне частот. Предшественниками этого метода в электроразведке были: 1) радиокомпарационное профилирование (радиокип), в котором измерялась напряженность магнитных составляющих

радиополей радиостанций (вертикальная составляющая (H_z) и полный вектор горизонтальной составляющей (H_p)), метод применяется с 1950-х гг. [Тархов, 1961]; 2) метод естественных импульсных электромагнитных полей Земли (ЕИ-ЭМПЗ) солнечно-космической и земной природы [Электроразведка..., 1989]. Кроме этих методов в метод РПЗ-ЭМ мы добавили технологию работ и приемы обработки данных из других методов электроразведки — магнитотеллурических (МТЗ) и магнитовариационных (МВЗ) зондирований, т.е. методов электроразведки, давно применяемых при глубинных исследованиях Земли и поисках разных полезных ископаемых и энергетического сырья [Бердичевский, Дмитриев, 1999, 2009; Электроразведка..., 1989; Хмелевской, 1999]. В разных вариантах магнитотеллурики (МТЗ, МВЗ и др.) используются электромагнитные поля (ЭМП) более низких частот (<1 Гц и >1 кГц).

Аппаратура и технология работ РПЗ. Для работ методами радиоволнового поля Земли (РПЗ) нужны радиоприемники с антеннами для измерения разных составляющих электромагнитного поля (ЭМП) — электрических (E_x , E_y) и магнитных (H_x ,

¹ Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геофизических методов исследования земной коры, профессор, докт. геол.-минерал. наук; e-mail: decalo@geol.msu.ru

² ООО «ГЕОТЕК», руководитель организации, кандидат тех. н.; e-mail: geotec.mz@mail.ru

H_y, H_z), оси x, y горизонтальны, ось z вертикальна. Ряд таких приемников разрабатывал и использовал для разных вариантов метода РПЗ один из авторов статьи М.М. Задегиголова [Задегиголова, 1998, 2009; Патенты РФ № 2363965, 2009; № 123546, 2012]. Вместе с опорной станцией, синхронно регистрирующей те же компоненты РПЗ, что и на рядовых точках, обеспечивается увеличение количества информации о среде, повышение точности измерений и независимость от выбора радиостанций. Вследствие затухания радиоволн таких частот (скин-эффекта) глубинности электромагнитных полей достаточно для изучения ВЧР.

Преимущества предложенного метода РПЗ в том, что не нужны источники излучения (собственные передатчики — источники ЭМП), так как ЭМП разных радиостанций с пониженными частотами (10–200 кГц) существуют практически повсеместно, а кроме того, везде имеется естественное ЭМП Земли с такими же частотами. Другое преимущество заключается в том, что можно использовать теорию МТЗ и МВЗ, созданную для плоских электромагнитных волн в дальней зоне от источников ЭМП [Бердичевский, Дмитриев, 1999, 2009; Хмелевской, 1989, 1999]. Еще одно преимущество в том, что параметры ЭМП в методе РПЗ зависят не только от удельного электрического сопротивления горных пород и геологических толщ, как в МТЗ и МВЗ, но и от диэлектрической и магнитной проницаемости, а также от других свойств (сейсмометрических, пьезоэлектрических, электроупругих и др.), которые по крайней мере статистически связаны с горно-механическими, гидрогеологическими, прочностными и другими свойствами массивов горных пород [Аксенов, 2006; Бобылева, 2010, 2015; Задегиголова, 1998, 2009].

Для повышения точности и статистической достоверности метода измеряемые (наблюдаемые) параметры в ходе компьютерной обработки можно трансформировать в интерпретационные параметры геоэлектрического разреза. Для этого рассчитываются импедансы ($Z_{xy}=E_x/H_y, Z_{yx}=E_y/H_x$), как это делается в МТЗ, или отношения магнитных компонент ($W_{xz}=H_x/H_z, W_{yz}=H_y/H_z$), как в МВЗ, их иногда называют типперами.

В результате измерения разных компонент поля и дополнительных расчетов Z, W (лучше нормировать их с аналогичными параметрами на внеаномальной опорной точке изучаемого участка) повышаются помехозащищенность, достоверность выявления аномалий на графиках и картах распределения этих параметров. Дополнительная информация может быть получена с помощью интегральных характеристик наблюдаемых или интерпретационных параметров. Смысл таких трансформаций сводится к оценке интенсивности объектов, создающих аномалии. Все расчеты проводятся на компьютере, что вместе с определением координат точек наблюдения с помощью

спутниковых систем GPS или ГЛОНАСС делает геофизическую информацию достоверной.

Технология работ методом РПЗ может включать три варианта работ:

- первичное исследование всего объекта можно проводить радиопрофилированием (РВП) с измерением ЭМП на одной частоте и с шагом несколько метров;

- постановка на выявленных аномалиях зондирования (РВЗ) с шагом ~1 м с расчетом на каждой точке нескольких из упомянутых выше интерпретационных параметров на разных частотах. На самых крупных аномалиях целесообразно ставить автоматизированные станции (системы) для регулярных повторных наблюдений, т.е. для организации автоматического мониторинга;

- при наличии приборов для газово-эманационных методов проводится мониторинг концентрации радиоактивных газов (радон, торон), метана или углекислого газа (или хотя бы одного из них). Длительность замеров в шпурах глубиной ~1 м составляет до 30 мин.

Правила выполнения геофизических исследований при инженерно-геологических изысканиях, в том числе методом ЕИМПЗ, наиболее близким предшественником метода РПЗ, приведены в качестве федеральных нормативных документов в Своде правил по инженерным изысканиям при строительстве [Свод..., 2004], где наряду с регламентирующими правилами и набором методов изысканий изложены сведения о разных методах малоуглубинной геофизики, особенностях методики работ, решаемых задачах.

Теория и практика метода РПЗ. Строгая физико-математическая теория с получением детерминированных связей между наблюдаемыми геофизическими параметрами и геоэлектрическим разрезом в методе РПЗ пока не создана. Это объясняется сложностью и многогранностью физико-геологических моделей опасных геологических процессов и зон природно-техногенного риска, разнообразием геометрии и физических свойств объектов поисков, их изменением в пространстве и во времени. Для простых моделей объектов в механике некоторые электромеханические связи установлены [Аксенов, 2006; Бобылева, 2010, 2015].

В методе РПЗ интенсивно используются вероятностно-статистические подходы к обработке данных (качественной, визуальной интерпретации). Их вполне достаточно, так как основной результат РПЗ заключается в выделении местоположения аномальных участков полей и оценке их динамики во времени (мониторинг). Критерием правильности инженерно-геологического истолкования данных, полученных методом РПЗ, и их проверки является практика изучения ОПТ и ЗПТР с помощью аэрокосмической, геодезической, инженерно-геологической, гидрогеологической,

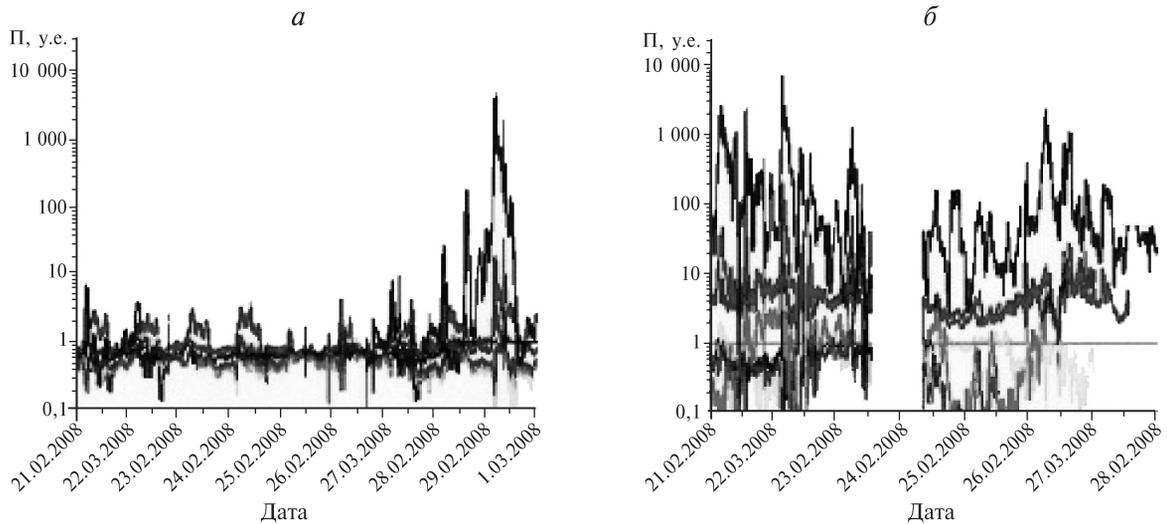


Рис. 1. Фрагменты данных РПЗ в виде записей разных параметров радиополя (П) на мониторе диспетчера (газопровода) на участке газопровода на Северном Кавказе, зарегистрированные в разные дни измерений с 21.02. по 28.03.2008: а, б — спокойные и опасные дни для активации оползня на трассе газопровода соответственно

ской, сейсмической, горно-технической и другой информации.

Создав радиоаппаратуру для РПЗ и приобрета приборы для измерения концентрации радиоактивных газов (радон, торон) или углеводородных газов (метан, углекислый газ) для работ в шпурах глубиной около 1 м, М.М. Задегиголова проводил экспериментальные работы в ряде районов страны и за рубежом [Задегиголова, 1998, 2009; Zaderigolova, 2013]. В качестве примера на рис. 1 показан фрагмент записи одного из участков газового трубопровода на Северном Кавказе в разные дни на мониторе диспетчера. На рис. 1, а по радиоволновому контролю оползень, неактивный с трубопроводом. На рис. 1, б все наблюдаемые и расчетные параметры РПЗ увеличиваются. При этом нарастание сигналов идет постепенно. На рис. 1, б видны аномальные возмущения сигналов РПЗ в стадии начала оползневого процесса, а также их максимум в период его активизации и аварии, затем параметры РПЗ приходят в нормальное состояние, что показано на рис. 2. Отметим, что по такому же закону — подъем, максимум, спад — происходят многие геофизические аномальные разрушительные процессы (землетрясения, магнитные бури, обвалы и оползни). Используя время увеличения аномальных сигналов, можно строить геофизический прогноз места и времени катастроф. Изучение первых предвестников — проблема сложная, и ее следует разрабатывать в будущем. На рис. 2 представлен пример комплексного мониторинга (РПЗ-ЭМ).

Заклучение. Охарактеризован новый комплексный подход к изучению опасных геологических процессов (ОГП) и зон

природно-техногенного риска (ЗПТР) радиоволновым и газово-эманационным методами. При разработке современного метода изучения природных и техногенных радиополей Земли использованы технологии ряда других методов электроразведки, это позволило получать не только наблюдаемые параметры поля, но и его расчетные характеристики. Для них существуют приемы статистической компьютерной обработки данных. По физическому смыслу расчетные параметры больше пригодны для геолого-геофизического истолкования.

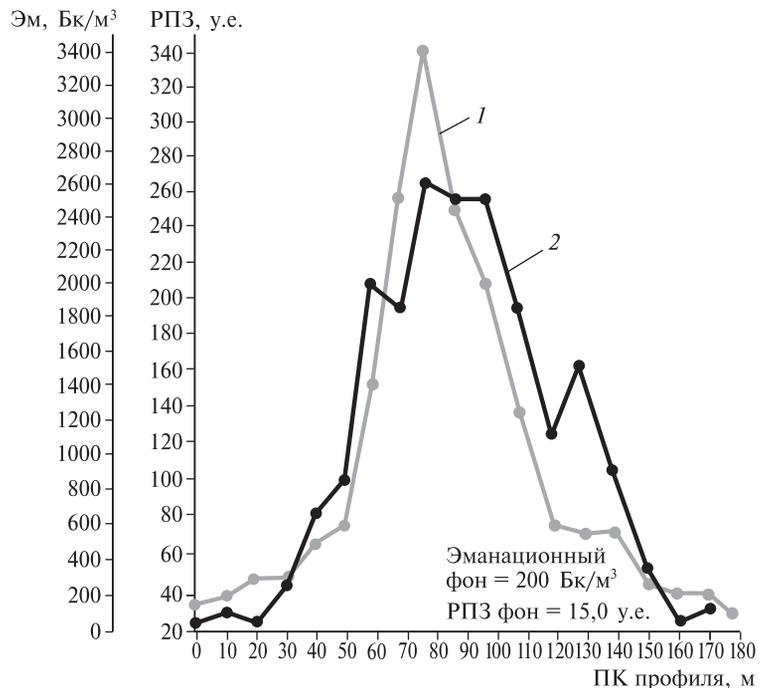


Рис. 2. Пример комплексного мониторинга опасных геодинамических процессов (движение оползня) вдоль профиля на газопроводе в районе г. Цхинвал на Северном Кавказе в июне-июле 2014 г. с резкой активацией оползневых геодинамических процессов в центре профиля: 1 — данные РПЗ; 2 — данные, полученные эманационным методом (ЭМ)

Благодаря высокому техническому и компьютерному оснащению метода РПЗ отечественной аппаратурой, разработанной М.М. Задегиоловой, повышаются точность, информативность, достоверность результатов, хотя увеличивается их стоимость. Аномалии, полученные методом

РПЗ, подтверждают данные газово-эманационных измерений в шпурах, характеризуют достоверность и объективность геофизической информации [Аксютин и др., 2015]. Метод необходимо внедрять в практику для принятия решений по предотвращению аварий эксплуатационщиками газопроводов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аксенов В.В. Электромагнитное поле Земли. Новосибирск: Изд. ИВМ и МГ СО РАН, 2006. 251 с.

Аксютин О.Е., Алимов С.В., Астанин А.Ю. и др. Радиоволновая система мониторинга опасных геологических процессов на газопроводе с Дзуарикау—г. Цхинвал // Газовая промышленность. 2015. № 3. С. 28–32.

Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Магнитотеллурические зондирования горизонтально-однородных сред. М.: Недра, 1999. 250 с.

Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Модели и методы магнитотеллурики. М.: Научный мир, 2009. 680 с.

Бобылева Т.Н. Распространение осесимметричных электроупругих волн в круговых пьезокерамических цилиндрах с осевой поляризацией // Вестн. МГСУ. 2010. № 4–3. С. 16–20.

Бобылева Т.Н. Определение резонансных частот осесимметричных колебаний упругого изотропного полого шара на основе уравнений движения Ламе // Естеств. и техн. науки. 2015. № 3 (81). С. 46–49.

Геофизические методы исследования скважин. Справочник геофизика. М.: Недра, 1983. 591с.

Задегиолова М.М. Радиоволновый метод в инженерной геологии и геоэкологии М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 320 с.

Задегиолова М.М. Обеспечение геодинамической безопасности газотранспортных систем радиоволновыми методами. М.: Научный мир, 2009. 398 с.

Завгороднев А.В., Колотовский А.Н., Задегиолова М.М. и др. Обеспечение надежности транспортировки

газа на участках развития опасных геологических процессов с использованием новых технологий диагностики // Газовая промышленность. 2011. № 10. С. 10–14.

Свод правил по инженерно-геологическим изысканиям для строительства. СП 11-105-97. Ч. VI. Правила производства геофизических исследований. М.: ПНИИС, 2004. 50 с.

Патент РФ № 2363965. Способ мониторинга локальных неоднородностей и геодинамических зон верхней части геологического разреза. Автор М.М. Задегиолова. // Бюлл. изобр. 2009. № 22.

Патент РФ № 123546. Устройство для мониторинга локальных неоднородностей геодинамических и коррозийных зон верхней части геологического разреза. Автор М.М. Задегиолова // Бюлл. изобр. 2012. № 36.

Тархов А.Г. Основы геофизической разведки методом радиокип. М.: Госгеолтехиздат, 1961. 120 с.

Электроразведка: Справочник геофизика. М.: Недра, 1978. 518 с.

Электроразведка: Справочник геофизика / Под ред. В.К. Хмелевского, В.М. Бондаренко. Кн. 1. М.: Недра, 1989. 438 с.

Хмелевской В.К. Геофизические методы исследования земной коры. Дубна: Изд-во Междунар. ун-та природы, общества и человека. Кн. 2. 1999. 438 с.

Zaderigolova M.M. Earths natural electromagnetic noises in a very-low frequency band. Chpt 1. Electromagnetic Fields. N. Y.: Nov. Publishers, 2013. Vol. 1, N 87. 432 p.

Поступила в редакцию
12.05.2015