

МОБИЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС СИНХРОННОЙ РЕГИСТРАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

А.А.Спивак, Д.Н. Локтев, С.П. Соловьев

Сформулированы основные цели и задачи оперативных инструментальных наблюдений за геофизическими полями на границе земная кора-атмосфера с помощью мобильного регистрирующего комплекса. Приведены состав и технические характеристики измерительных средств мобильной геофизической лаборатории ИДГ РАН.

Введение

Геофизические поля включают, помимо традиционно рассматриваемых физических полей: гравитационного, магнитного и электрического, также поля, сформированные постоянно проявляющимися процессами физической природы, например, поле постоянно присутствующих в верхних твердых геосферах микроколебаний (микросейсмическое поле) и поле эманаций подземных газов. Роль геофизических полей как фактора, объединяющего между собой внутренние и внешние геосферы в единую саморегулирующуюся систему, представляется весьма значительной. С помощью геофизических полей осуществляется взаимодействие между Землей и окружающем ее макрокосмосом, между разными геосферами и отдельными областями внутри каждой из них [Адушкин и др., 2006; Взаимодействие..., 1996]. Не менее значительной является информационная роль геофизических полей, которые отражают свойства и структуру геосфер, а также пространственные и временные вариации режимов геофизических процессов, что с успехом используется при решении фундаментальных и прикладных задач геофизики, например: определении закономерностей поведения внутренних и внешних оболочек Земли [Гохберг, Моргунов, Похотелов, 1988; Соболев, Демин, 1980]; установлении очаговых зон и предвестников землетрясений [Соболев, 1993; Новик, Ершов, 2001], поиска и разведки полезных ископаемых [Основы..., 1995], описании геодинамической активности локальных участков земной коры [Спивак, 2008а] и т.д.

Наибольший интерес представляет изучение геофизических полей, их преобразования и взаимодействий на границе земная кора-атмосфера, которая характеризуется высоко контрастными изменениями свойств контактирующих сред и где, по всем имеющимся данным, потоки массы и энергии значительны [Новик, 2001; Резанов, 2002]. Одновременно с этим исследование геодинамических явлений и процессов в окрестности указанной границы, изучаемые в интенсивно развивающемся в последнее время разделе науки «Приповерхностная геофизика» [Slater, 2006], важны с точки зрения определения условий обитания человека и их изменений, а также для предупреждения катастрофических последствий природ-

ных явлений, опасных для человека и результатов его деятельности [Экология..., 2006].

Повышение детальности инструментальных наблюдений при исследованиях пространственных вариаций геофизических полей требует организации наряду со стационарными станциями мобильных пунктов комплексных инструментальных наблюдений. Мобильные пункты оперативной регистрации незаменимы также при проведении площадных геофизических измерений, мониторинге удаленных районов и отдельных народнохозяйственных объектов.

В настоящей работе описывается созданный в ИДГ РАН мобильный комплекс синхронной регистрации геофизических полей.

Цели и задачи мобильного комплекса

Основные цели мобильного комплекса синхронной регистрации геофизических полей заключаются в:

1) развитии оперативных наблюдений за геофизическими полями с целью определения условий и критериев устойчивости процессов массо- и энергообмена между геосферами на границе земная кора-атмосфера по отношению к возрастающей антропогенной нагрузке, предупреждения катастрофической дестабилизации среды обитания человека при воздействиях на межгеосферные связи;

2) повышении плотности пространственных наблюдений, возможности оперативной передислокации регистрирующих средств на участки, характеризующиеся наиболее интенсивными вариациями геофизических полей и их откликом на внешние возмущения.

Помимо решения фундаментальных задач, связанных с установлением механизмов генерации и преобразования геофизических полей, организация геофизических наблюдений с помощью мобильного комплекса позволяет разрабатывать системы геодинамического обеспечения долговременной безопасной эксплуатации особо важных объектов повышенного риска (контроль геодинамической устойчивости оснований АЭС, подземных захоронений радиоактивных отходов, крупных гидротехнических сооружений), а также отдельных территорий в районах, опасных по природным и техногенным катастрофическим проявлениям (потеря несущих способностей массива горных пород, обрушение горных склонов, оползни, камменные лавины и т.п.).

В настоящее время в задачи инструментальных наблюдений с помощью мобильного комплекса входит:

1. Отработка методик проведения синхронных инструментальных наблюдений за геофизическими полями в оперативном режиме с использованием мобильных регистрирующих комплексов.

2. Проведение комплексной синхронной диагностической регистрации геофизических полей (микросейсмических колебаний, электрического поля в приземной атмосфере, электрического поля в грунте, магнитного поля на поверхности Земли, эманационных полей радона ^{222}Rn и торона ^{220}Th).

3. Создание банков данных по пространственным и временным вариациям геофизических полей с целью установления параметров геофизических полей на границе земная кора-атмосфера как граничных условий для определения возмущений верхних геосфер.



Рис. 1. Мобильная геофизическая лаборатория ИДГ РАН

Состав комплекса

Организационно мобильный комплекс регистрации геофизических полей представляет собой геофизическую лабораторию на базе автомобиля ГАЗ-27057 (рис. 1), оснащенную рядом методик, перечисленных ниже.

Регистрация микросейсмического фона выполняется в диапазоне частот: 0,5–40 Гц.

Регистрация дискретных составляющих микросейсмического фона (импульсных микросейсмических событий) осуществляется в диапазоне амплитуд от 0,01 до 100 мкм/с с помощью велосиметров и от 0,1 мм/с² (нижний предел) с помощью акселерометров (в зависимости от типа акселерометра измерения выполняются в частотных диапазонах: 0,08–1000 Гц и 0,1–4800 Гц).

Регистрация акустических колебаний в атмосфере – в диапазоне от 1 Гц до 18 кГц.

Регистрация временных вариаций трех компонент индукции магнитного поля. В зависимости от применяемого магнитометра измерения выполняются в следующих диапазонах частот: 0,01–20 Гц; 50 Гц–1,5 кГц и 500 Гц–10 кГц.

Регистрация временных вариаций вертикальной компоненты электрического поля на земной поверхности. Измерения выполняются в диапазоне частот 0–20 Гц и 1 Гц–10 кГц.

Регистрация временных вариаций горизонтальной компоненты электрического поля в грунте. Измерения выполняются в диапазоне частот 0,5–20 Гц.

Регистрация объемной активности подпочвенного радона ^{222}Rn выполняется в диапазоне $20\text{--}2\cdot 10^4$ Бк/м³.

Одновременно с регистрацией геофизических полей устанавливаются значения метеопараметров, для чего мобильная геофизическая лаборатория оснащена погодной станцией с ультрафиолетовыми и солнечными датчиками Davis Cabled Vantage Pro2 Plus 6162CEU.

Привязка к абсолютному времени проводится с помощью системы GPS. Электропитание аппаратуры производится с помощью блока автомобильных аккумуляторов, а также бортового бензинового электрогенератора.

Технические характеристики регистрирующих средств

Технические характеристики средств измерений мобильной геофизической лаборатории ИДГ РАН обеспечивают регистрацию геофизических полей в широком диапазоне регистрируемых параметров. Основные характеристики используемых в мобильном комплексе измерительных средств приведены ниже.

Регистрация микросейсмических колебаний. Регистрация фоновых и дискретных (импульсного типа) микроколебаний среды проводится с использованием сейсмоприемников СМЗ-КВ и их модификации СМЗ-КВ-Э, работающих в режиме велосиметра (табл. 1). В случае необходимости при регистрации импульсных микроколебаний использовались акселерометры типов 8306 и 4370 фирмы Bruel&Kjaer (табл. 2).

Таблица 1

Технические характеристики сейсмоприемников

Сейсмоприемник		СМЗ-КВ	СМЗ КВ-Э
Характеристики	Ед. изм.	Значения величин	
Рабочий диапазон частот	Гц	0,5–100	0,5–40
Коэффициент преобразования	В·с/м	135 ± 20	80000
Порог чувствительности	м/с	–	$2,5\cdot 10^{-9}$
Период собственных колебаний маятника	с	$2,0\pm 0,1$	$2,0\pm 0,1$
Приведенная длина маятника	м	$8,4\cdot 10^{-2}\pm 10\%$	$8,4\cdot 10^{-2}\pm 10\%$
Момент инерции маятника	кг·м	$8,5\cdot 10^{-3}\pm 10\%$	$8,5\cdot 10^{-3}\pm 10\%$
Величина воздушного затухания	–	не более 0,02	не более 0,02
Рабочий режим по температуре	°С	–10...+40	–10...+40
Габаритные размеры	мм	230×170×145	230×170×145
Масса	кг	8	8,2

Таблица 2

Технические характеристики акселерометров

Характеристика	Значение величин	
	Датчик 8306	Датчик 4370
Частотный диапазон, Гц	0,08–1000	0,1–4800
Чувствительность по заряду, пКл/(м/с ²)	1020	10,17
Чувствительность по напряжению, мВ/(м/с ²)	1020	8,85

Акустические измерения выполняются с помощью конденсаторного микрофона фирмы Briel&Kjaer типа 4147 (табл. 3).

Таблица 3

Технические характеристики микрофона 4147

Характеристики	Ед. изм.	Величина
Частотный диапазон	Гц	0,0065–1,8·10 ⁴
Динамический диапазон	дБ	~100
Чувствительность	мВ/Па	до 10

Электромагнитные измерения. Для регистрации напряженности электрического поля в атмосфере используется:

1) Электрометры ИВЭП антенного типа (пассивные электрические антенны с чувствительными электронными усилителями), обеспечивающие измерения в частотном диапазоне от 1 Гц до 10 кГц. Датчики имеют три выхода, коэффициенты передачи которых относятся как 1:10:100. Совместное использование выходов обеспечивает измерение вариаций напряженности вертикальной составляющей электрического поля в широком диапазоне амплитуд (от 0,001 В/м до 400 В/м).

При необходимости подавления низкочастотных атмосферных пульсаций возможен режим измерений в полосе 15 Гц–10 кГц. Узкополосный режекторный фильтр обеспечивает подавление промышленной помехи 50 Гц.

2) Электростатический флюксметр. Для измерений в низкочастотном диапазоне (0–20 Гц) применяется механический электрометр ИНЭП, обеспечивающий регистрацию напряженности вертикальной составляющей электрического поля в диапазоне амплитуд от 1 В/м до 2000 В/м.

Для регистрации индукции магнитного поля используются:

1) Индукционные магнитометры, состоящие из магнитного датчика и предусилителя, размещенных в цилиндрическом винипластовом корпусе, интегратора и выходного каскада.

Используются магнитометры трех типов:

– низкочастотный МИН-НЧ-001 для измерений в диапазоне 0,01–20 Гц (коэффициент передачи по полю ~3 мВ/пТл);

– среднечастотный МИН-СЧ-003 для измерений в диапазоне 50 Гц–1,5 кГц (коэффициент передачи по полю ~20 мВ/пТл);

– высокочастотный МИН-ВЧ-002 для измерений в диапазоне 500 Гц–10 кГц (коэффициент передачи по полю ~20 мВ/пТл).

Для регистрации напряженности электрического поля в грунте используется регистратор градиента потенциала электрического поля. Прибор ИЭП-002 состоит из трех свинцовых электродов размером 40×60 см, заглубляемых в грунт на расстоянии 10–100 м друг от друга, и обеспечивает измерения градиента потенциала в полосе частот от 0,5 Гц до 10 кГц в трех диапазонах чувствительности с коэффициентами передачи относящимися как 1:10:100.

Измерение объемной активности природного радона. Измерение объемной активности (относительной концентрации) природного радона в почвенной атмосфере проводится с помощью автоматизированного радиометра радона РРА-01М-03, а также сейсмическая радоновая станция СРС-05. Основные технические характеристики приборов приведены в табл. 4 и 5.

Таблица 4

**Технические характеристики
портативного радиометра радона РРА-03**

Характеристики	Ед. измер.	Значения величин
Диапазон измерения ОА радона-222	Бк/м ³	$20 \div 2 \cdot 10^4$
Диапазон измерения ОА торона-220	Бк/м ³	$20 \div 2 \cdot 10^4$
Чувствительность (не менее)	м ³ /с·Бк	$1,4 \cdot 10^{-4}$
Предел допускаемой относительной погрешности	%	10
Уровень собственного фона (не более)	Бк/м ³	7

Таблица 5

**Технические характеристики
сейсмической радоновой станции СРС-05**

Характеристики	Ед. изм.	Значения величин
Диапазон измерения ОА радона-222	Бк/м ³	$20 \div 5 \cdot 10^4$
Диапазон измерения ОА торона-220	Бк/м ³	$20 \div 2 \cdot 10^4$
Чувствительность (не менее)	м ³ /с·Бк	$0,5 \cdot 10^{-4}$
Предел допускаемой относительной погрешности	%	5
Уровень собственного фона (не более)	Бк/м ³	5

Измерения объемной активности радона проводятся на глубине около 0,8 м сенсантами, длительность которых устанавливается в соответствии с длительностью цикла отбора пробы. При проведении измерений одновременно фиксируется атмосферное давление в камере отбора пробы.

Регистрация и накопление данных выполняются с помощью программируемого регистратора RefTek (корпорация IRIS), модульного регистратора АЦП ZET 220 (производство ЗАО «ЭТМС») и универсального цифрового регистратора УЦРС-7-VTGB1 (ЗАО «ИСГИ»). Соответствующие технические характеристики регистраторов приведены в табл. 6–8.

Все регистраторы оснащены системой синхронизации от встроенных GPS-приемников.

Таблица 6

**Технические характеристики
регистратора Ref-Tek 72A-08**

Характеристики	Ед. изм.	Значения величин
Количество каналов	–	6
Динамический диапазон	дБ	130
Разрядность	Бит	24
Режим работы	–	Программируемый
Максимальная частота опроса	Гц	1000
Объем накопителя	Мб	4400

Таблица 7

**Технические характеристики
ZET 220 модуля АЦП-ЦАП**

Характеристики	Ед. изм.	Значения величин
Количество каналов	–	8
Динамический диапазон	дБ	120
Количество разрядов АЦП	–	24
Режим работы	–	Программируемый
Суммарная частота преобразования по всем включенным каналам	Гц	8000
Объем накопителя	Гб	2

Таблица 8

Технические характеристики УЦРС-7-VTGВ1

Характеристики	Ед. изм.	Значения величин
Количество каналов	–	4
Динамический диапазон	дБ	130
Количество разрядов АЦП	–	24
Режим работы	–	Программируемый
Суммарная частота преобразования по всем включенным каналам	Гц	250
Объем накопителя	Гб	8

Организация инструментальных наблюдений

Регистрация геофизических полей осуществляется на открытых площадках размером около 100×100 м. Сейсмические датчики располагаются в специально выполненных приямках. С целью определения координат очагов импульсных событий регистрация ведется синхронно в центральном пункте регистрации (3 компонента) и нескольких периферийных (одна компонента).

Для измерения объемной активности подпочвенного радона используется неглубокий шпур (глубина 0,8–1 м), в который помещается шуп с пробоотборником. Регистрация электрического поля в приземном слое атмосферы выполняется на высоте около 1 м, а в грунте – на глубине 0,8–1 м.

Измерение индукции магнитного поля на границе земная кора-атмосфера выполняется датчиками, расположенными непосредственно на поверхности грунта. При этом проводится как трехкомпонентная, так и двухкомпонентная регистрация (измерение только горизонтальных составляющих магнитной индукции).

Заключение

Созданный мобильный комплекс позволяет выполнять синхронную регистрацию геофизических полей в режиме постоянной смены участков наблюдений.

Оснащение комплекса предоставляет широкие возможности для исследования площадных характеристик геофизических полей. Структура комплекса позволяет оперативно изменять состав регистрирующих средств, а в случае необходимости – дополнять комплекс другими методиками.

Мобильный комплекс обеспечивает современный уровень исследований массовых и энергообменных процессов на границе земная кора-атмосфера, получение качественно новой информации о вариациях и преобразовании геофизических полей, более точного установления зон влияния тектонических нарушений разного ранга, отклика земной коры на слабые внешние возмущения в виде твердого прилива и барических вариаций в атмосфере.

Работа выполнена по Программе 7 ОНЗ РАН «Внутреннее строение и физические поля Земли. Динамика взаимодействующих геосфер», при финансовой поддержке РФФИ (грант 08-05-00359-а).

Литература

Адушкин В.В., Спивак А.А., Кишкина С.Б. и др. Динамические процессы в системе взаимодействующих геосфер на границе земная кора-атмосфера // Физика Земли. 2006. № 7.

Быкунов Л.Н., Анисимова Е.П., Шелковников Н.К. и др. Взаимодействие в системе литосфера-гидросфера-атмосфера // М.: Недра, 1996. 287 с.

Гохберг М.Б., Моргунов В.А., Похотелов О.А. Сейсмoeлектромагнитные явления. М.: Наука. 1988. 174 с.

Новик О.Б., Ершов С.В. Электромагнитные и тепловые сигналы из недр Земли. М.: Круглый год, 2001, 288 с.

Потапов О.А., Лизун С.А., Кондрат В.Ф. и др. Основы сейсмoeлектроразведки. М.: Недра, 1995. 268 с.

Резанов И.А. Эволюция представлений о земной коре. М.: Наука. 2002. 299 с.

Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993. 312 с.

Соболев Г.А., Демин В.М. Механoeлектрические явления в Земле. М.: Наука, 1980. 215 с.

Спивак А.А. Динамические процессы (в земной коре) на границе земная кора-атмосфера // Геофизика межгеосферных взаимодействий / под ред В.В. Адушкина: сб. научных статей ИДГ РАН. М.: ГЕОС, 2008. С. 164–184.

Экология человека в изменяющемся мире / Колл. авторов. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 570 с.

Slater L. Near-surface geophysics: new focus group // Eos, 2006. Vol. 87. No. 25. P. 248–249.