

**РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ
КОРОТКОПЕРИОДИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ГЕОМАГНИТНОГО
ПОЛЯ НА ТЕРРИТОРИИ УРАЛА**

Вишнев В.С., Астафьев П.Ф., Арзамасцев Е.В., Сарвартинов А.И., Сурина О.В. – Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург

Аннотация. Приведены результаты камеральной обработки данных измерения короткопериодических колебаний естественного электромагнитного поля Земли, полученных в ряде пунктов Уральского региона. Установлено, что нормированная амплитуда вертикальной составляющей геомагнитных вариаций при одной и той же частоте и полярности горизонтальных составляющих в зависимости от поляризации и наличия геологических неоднородностей может быть в одном и том же месте положительной и отрицательной величиной. При использовании профильных распределений этой величины в геофизической разведке необходимо учитывать ее арифметический знак и поляризацию.

Геомагнитные вариации, вертикальная составляющая, аномалия, поле, поляризация.

**OBSERVATION RESULTS OF THE VERTICAL COMPONENT
OF THE SHORT-PERIOD GEOMAGNETIC FIELD OSCILLATIONS IN THE URALS**

Vishnev V.S., Astafyev P.F., Arzamascev E.V., Sarvartinov A.I., Surina O.V. – Institute of Geophysics, UB RAS, Yekaterinburg

Abstract. The results of measurement data processing of the short-period oscillations of natural Earth's field obtained at various points of the Ural region are presented. It found that the normalized amplitude of the vertical component of geomagnetic variations with the same horizontal components polarity may be positive and negative in various time segments. When using the profile distributions of this magnitude in the geophysical exploration is necessary to consider its arithmetic sign and polarization.

Geomagnetic variations, vertical component, anomaly, field, polarization.

Введение

Короткопериодические колебания геомагнитного поля (КПК) представляют собой одно из самых частых и характерных его проявлений. Они наблюдаются и в магнитно-спокойные, и в возмущенные дни, имея похожую на синусоиду форму. Их амплитуды изменяются от долей (в зависимости от периода и широты местности) до единиц, десятков и даже сотен нанотесла, а длительность – от 0,2 до 600 и более секунд (Пудовкин и др., 1976). Благодаря чему эти вариации привлекают внимание не только как интересное и часто наблюдаемое природное явление, но и как источник весьма содержательной геологической информации (Бердичевский, 1968; Рокитянский, 1972).

Аналізу КПК посвящена обширная литература. Однако работы по особенностям распределения их вертикальной составляющей, в частности на территории

Урала, практически отсутствуют.

В статье выясняется, как влияют на основные характеристики КПК геоэлектрические неоднородности земной коры региона. Ее результаты могут быть использованы при геофизических исследованиях методами МТП, МТЗ.

Методика полевых наблюдений и обработки полученных данных

Для регистрации геомагнитных вариаций применялись (в разные годы) аналоговые и цифровые, серийно выпускаемые магнитотеллурические станции. Измерения в ряде случаев производились синхронно двумя (максимум тремя) комплектами идентичной аппаратуры, один из которых все время продолжения отдельного эксперимента был стационарным (длговременным, контрольным, базисным), остальные разворачивались, по мере отработки, на рядовых пунктах наблюдения. Регистрировались три магнитных (H_x , H_y , H_z) и

две электрических (E_x , E_y) составляющих поля в прямоугольной системе координат (ось x – на магнитный север, y – на восток, z – вертикально вниз). Наблюдения велись преимущественно по широтным пересечениям Урала, в частности по профилям ГСЗ (глубинных сейсмических зондирований), а также в точках Уральского эксперимента по геофизическому применению магнито-гидродинамического (МГД) генератора.

При обработке полевых материалов на цифровых или аналоговых записях вариаций соответствующего рядового (р) и долговременного (д) пунктов находились (используя метки таймеров станций) импульсы $E_{хд}$, $E_{уд}$, $H_{хд}$, $H_{уд}$, $H_{зд}$, $E_{хр}$, $E_{ур}$, $H_{хр}$, $H_{ур}$, $H_{зр}$, возникшие в одно и то же время, снимались их амплитуды (А), периоды (Т) и сдвиги фаз ($\Delta\Phi$). За нулевую фазу принималась линия экстремального значения импульса H_y (в одних случаях базисного, в других – того же рядового пункта). Корреляции подлежали только те из них, сдвиги фаз которых были меньше плюс (больше минус) 180 градусов.

Полученные величины заносились в соответствующий журнал и преобразовывались в графические приложения.

Результаты наблюдений и их анализ

Часть данных обработки осциллографических записей КПК представлена в таблице и на рис. 1–3. Рассматривая их, видим, что полярность и интенсивность H_z зависят не только от местоположения пункта наблюдения и частоты вариации, но и от поляризации естественного поля (например, импульс 4 и импульс 10 на точке Арти). Согласно теоретическим представлениям, в используемой системе координат в случае горизонтально-однородного геоэлектрического разреза пары E_x и H_y должны быть одного и того же, E_y и H_x – противоположного друг другу знака, сдвиги фаз взаимно перпендикулярных электрических и магнитных составляющих находиться в интервале $-90-0$ градусов, а H_z – отсутствовать. В реальности (см. таблицу), если первые две закономерности, как правило, выдерживаются, то амплитуды H_z при прохождении всех вариаций в услови-

ях сложно-построенного фундамента коренных пород Уральского региона практически всегда не равны нулю. Причем их знак иногда совпадает со знаком H_x , иногда – со знаком H_y (рис. 1), и возможны случаи, когда импульсы H_x и H_y одной полярности сопровождаются импульсами H_z или той же – или обратной полярности (рис. 2). Это, очевидно, происходит из-за того, что при разной поляризации (под которой понимается преимущественное направление вектора E (или H) на дневной поверхности) преобладающие вклады в амплитуды H_z вносят не одни и те же, а различные геоэлектрические (или различные части геоэлектрической) неоднородности.

Следовательно, измеряя H_z -составляющую КПК на каком-либо участке местности при разной поляризации геомагнитных вариаций, можно выделять аномальные эффекты от различных геологических объектов. Но для этого при построении профильных или площадных распределений H_z надо производить селекцию вариаций не только по частоте, но и по их поляризации. Отбор соответствующих колебаний H_z должен, вероятно, вестись с помощью каких-то особенностей в поведении горизонтальных составляющих, вызываемых теми же неоднородностями геологического разреза, которые ответственны и за возникновение амплитуд H_z .

Однако четкие критерии, указывающие на условия возникновения H_z -составляющей того или иного знака, из приведенной и более широкой таблицы, имеющейся у авторов, не просматриваются, так как базисные пункты при производстве этих работ были далеко от рядовых, то есть располагались в другой геологической обстановке. Действительно, амплитудные отношения и сдвиги фаз электрических и горизонтальных магнитных составляющих колебаний поля примерно одной частоты при наличии противоположных по знаку импульсов H_z бывают в равной степени очень разными и довольно близкими по величине, как на рядовом, так и на базисном пункте. А при построении полярных магнитных диаграмм, используемых в ме-

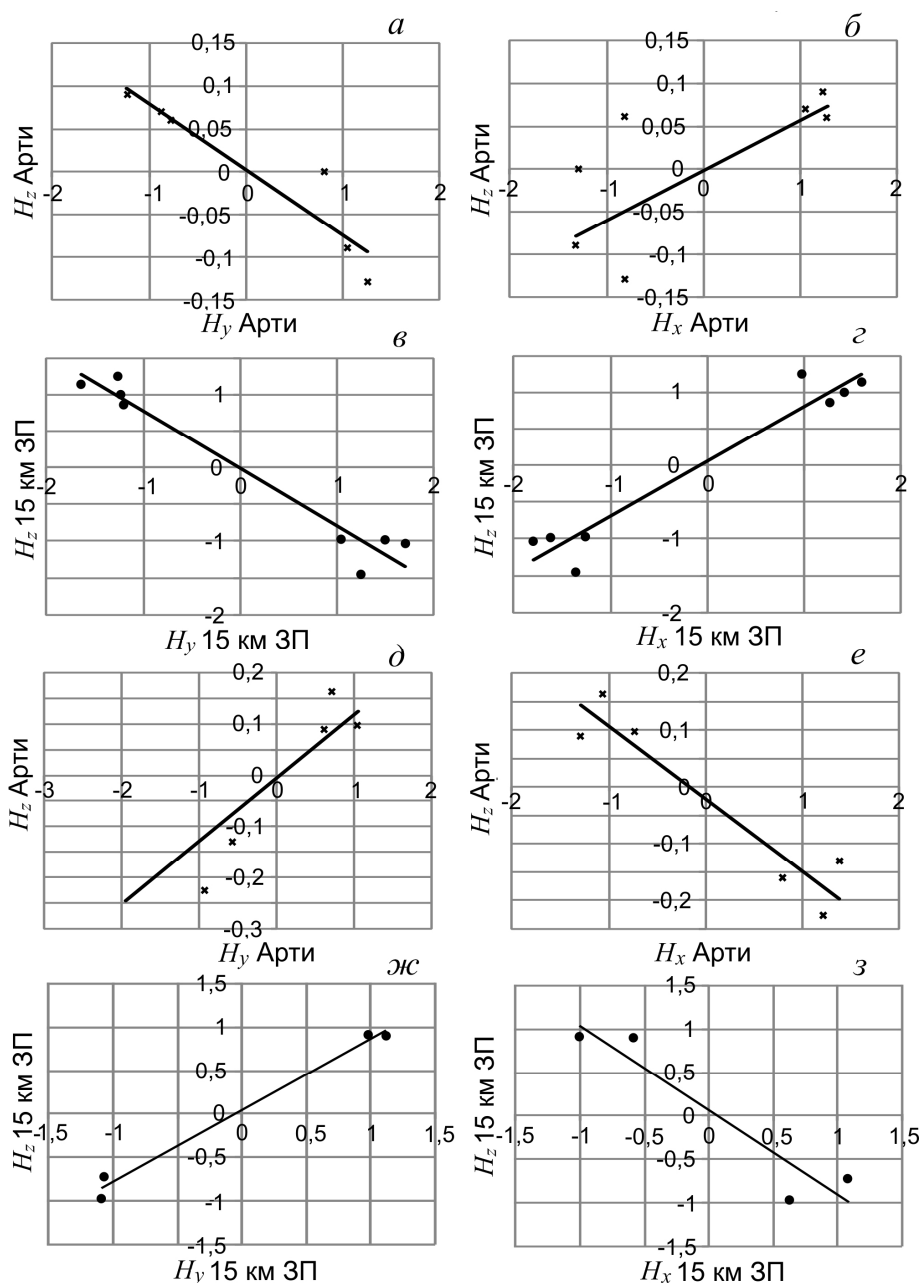


Рис. 1. Графики функций $H_z(H_i)$ при различной поляризации первичной части естественного поля:
а, б, в, г – поляризации импульсов H_z и H_x одного, H_y – противоположного знака;
д, е, ж, з – поляризации импульсов H_z и H_y одного, H_x – противоположного знака

тодах магнитовариационного профилирования и зондирования (Бердичевский, Дмитриев, 2009), знаки исходных величин из-за осреднения теряются, и выделение аномалий проводимости горных пород по профильным и площадным распределениям H_z становится проблематичным.

Сложность выработки упомянутых критериев объясняется, очевидно, тем, что в формировании отличительных особенностей горизонтальных электрических и маг-

нитны составляющих КПК больший вклад вносят неоднородности, находящиеся непосредственно под пунктом наблюдения и вблизи него, а в формирование же H_z -неоднородности, находящиеся в стороне от него.

Выявлять эти критерии, по-видимому, надо по материалам синхронных наблюдений КПК, производимым одновременно в 2–3 специальным образом расположенных пунктах. Однако такие работы на Урале не проводились.

Таблица. Результаты обработки данных измерения естественного электромагнитного поля Земли

Поле Пункт	E_x		E_y		H_x		H_y		H_z		Отношения амплитуд				Период (Т), с
	А мВ/км	$\Delta\Phi$ град	А мВ/км	$\Delta\Phi$ град	А нТл	$\Delta\Phi$ град.	А нТл	$\Delta\Phi$ град	А нТл	$\Delta\Phi$ град.	E_x/E_y	H_y/H_x	H_z/H_x	H_z/H_y	
15 км ЗП Арти	+81,7 +8,80	-43 -22	+62,5 +5,8	+44 +57	-1,80 -0,81	+120 +113	+1,71 +1,26	0 0	-1,03 -0,13	+115 +38	+1,31 +1,52	-0,95 -1,56	+0,60 +0,16	-0,60 -0,10	12
15 км ЗП Арти	-82,5 -8,90	-33 -22	-80,3 -10,8	+30 +76	+1,60 +1,24	+105 +113	-1,64 -1,23	0 0	+1,15 +0,09	+107 +64	+1,03 +0,82	-1,02 -0,99	+0,72 +0,07	-0,70 -0,07	11
15 км ЗП Арти	+79,0 +8,20	-25 -40	+85,7 +12,5	+12 +60	-1,62 -1,32	+75 +113	+1,50 +1,05	0 0	-0,93 -0,09	+105 +33	+0,92 +0,66	-0,93 -0,76	+0,57 +0,07	-0,62 -0,09	12
Григорьевка Арти	-104 -13,1	-48 -39	-153 -11,6	-45 -46	+2,46 +2,15	0 +10	-2,05 -1,78	0 0	-1,20 -0,64	-55 -13	+0,23 +1,13	-0,83 -0,83	-0,49 -0,30	+0,58 +0,35	37
Григорьевка Арти	+85,5 +12,3	-32 -40	+132 +10,0	-33 -17	-2,05 -1,87	+26 +41	+1,45 +1,32	0 0	+1,07 +1,23	-24 0	+0,65 +0,58	-0,71 -0,70	-0,52 -0,43	+0,74+ 0,61	38
Григорьевка Арти	+55,0 +5,5	-45 -35	+68,8 +12,6	-46 -21	-1,13 -1,36	+3 +54	+0,53 +0,57	0 0	+0,54 +0,19	-30 0	+0,80 +0,44	-0,47 -0,42	-0,48 -0,14	+1,02 +0,33	13
Григорьевка Арти	-33,8 -9,3	-77 -45	-68,8 -5,4	-77 -70	+0,45 +0,46	-18 0	-1,23 -1,09	0 0	-0,33 -0,24	-53 0	+0,49 +1,72	-2,73 -2,36	-0,73 -0,52	+0,27 +0,22	12
Башмаковка Арти	-18,5 -5,2	-70 -26	+8,3 +6,2	-46 -32	-1,78 -1,34	0 -7	-2,73 -1,56	0 0	+0,47 +0,19	+29 -23	-2,23 -0,84	+1,58 +1,16	-0,26 -0,14	-0,17 -0,12	47
Башмаковка Арти	+21,5 +7,2	-50 -39	-9,4 -7,8	-44 -54	+1,84 +1,50	-5 -13	+2,51 +1,50	0 0	-0,47 -0,14	+64 -46	-2,29 -0,92	+1,36 +1,00	-0,26 -0,09	-0,22 -0,13	43
Башмаковка Арти	-20,0 -6,8	-65 -26	+8,5 +7,2	-52 -73	-1,47 -1,27	-24 -36	-2,12 -1,25	0 0	+0,54 +0,19	+64 -87	-2,35 -0,94	+1,44 +0,98	-0,37 -0,15	-0,19 -0,15	37
Половинка Арти	+15,3 +6,9	-61 -58	-15,4 -4,0	-54 0	+0,51 +0,68	0 +19	+1,09 +0,86	0 0	+0,26 +0,07	-60 -41	-0,99 -1,72	+2,14 +1,26	+0,51 +0,10	+0,24 +0,08	28

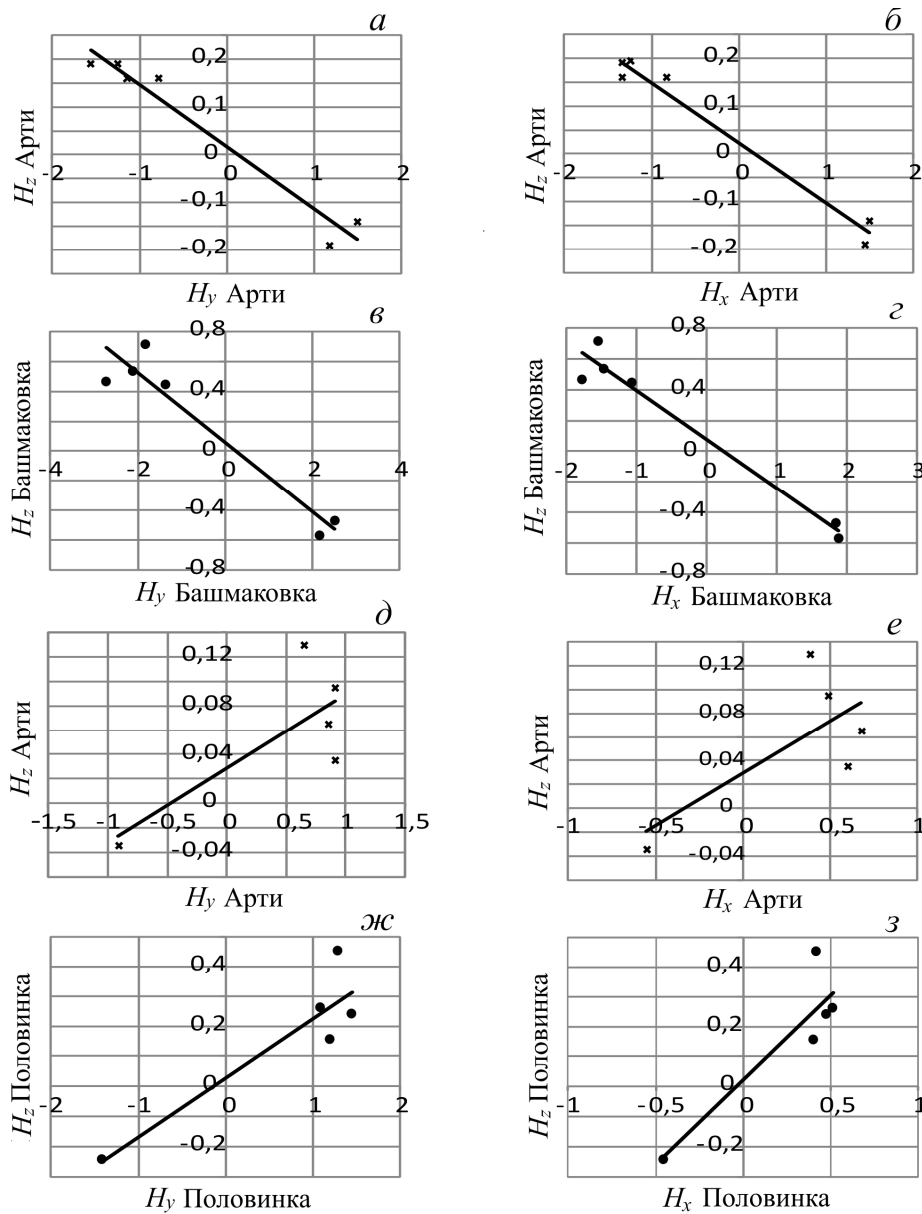


Рис. 2. Графики функций $H_z(H_i)$ при различной поляризации первичной части естественного поля:
а, б, в, г – полярности импульсов H_y и H_x одного, H_z – противоположного знака;
д, е, ж, з – полярности импульсов H_z , H_y и H_x одного и того же знака

Тем не менее, использовать H_z -составляющую геомагнитных вариаций можно и в отсутствие упомянутых критериев, производя, например, одноразовые измерения на всем исследуемом участке полевых работ, что связано с эксплуатацией огромного количества идентичной измерительной аппаратуры, но не требует нормировки, или, выбирая только E -поляризованные импульсы.

При этом отношения H_z к амплитудам горизонтальных магнитных составляющих, измеренным в базисном или том же рядовом пункте, отличаются в среднем не на

много (рис. 3), так как величины H_x и H_y поля КПК от наличия локальных неоднородностей геоэлектрического разреза зависят (по сравнению с величинами E_x , E_y) незначительно.

Пример практического использования составляющей H_z E -поляризованных импульсов геомагнитных вариаций приведен в работе (Вишнев и др., 2016). Там ее разведочные перспективы показаны, на наш взгляд, довольно убедительно.

Однако оба перечисленные случаи применения H_z для изучения геоэлектрических неоднородностей имеют свои существ-

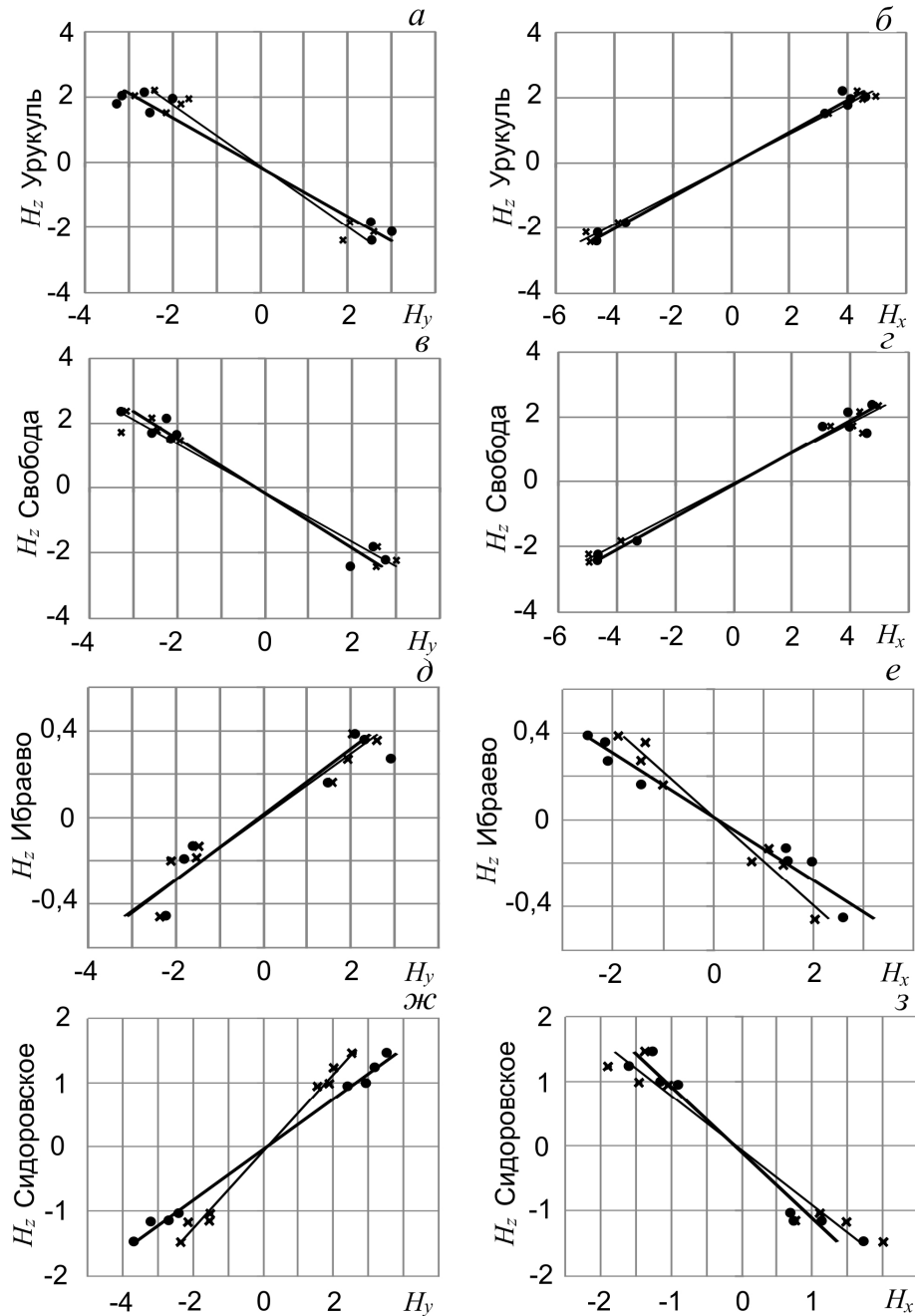


Рис. 3. Пример определения нормированных амплитуд H_z -составляющей геомагнитных вариаций: тонкие линии – график функции $H_{zp}(H_{ид})$, толстые линии – график функции $H_{zp}(H_{ip})$. $i = x, y$; крестики – исходные значения $H_{zp}(H_{ид})$, точки – исходные значения $H_{zp}(H_{ip})$, р – рядовой, д – долговременный (базисный) пункт наблюдения; а, б, в, г – Средний Урал (базисный пункт – обсерватория Арти); д, е, ж, з – Южный Урал (базисный пункт – точка Сергеевка)

венные недостатки. Реализация первого из них проблематична из-за необходимости сосредоточения в одном геофизическом исследовании большого количества идентичных электроразведочных станций. Во втором – теряется возможность использования импульсов различной поляризации естественного поля, и информативные

свойства этой компоненты реализуются только частично.

Заключение

Из приведенных данных вытекает:

1. Под воздействием геоэлектрических неоднородностей изменяются как амплитудные, так и фазовые характеристики всех составляющих короткопериодических

колебаний естественного поля. Однако амплитуды E_x , E_y искажаются сильнее, чем амплитуды H_x , H_y , стимулируя тем самым возникновение импульсов H_z .

2. Сдвиги фаз H_z и E_x , H_z и E_y , H_z и H_x , H_z и H_y , а также отношения амплитуд H_z к H_x , H_z к H_y , могут быть на одном и том же пункте местности (в зависимости от поляризации поля) и положительными и отрицательными. Это, очевидно, происходит из-за того, что при разной поляризации преобладающие вклады в амплитуды H_z вносят не одни и те же, а различные геоэлектрические (или различные части геоэлектрической) неоднородности.

Следовательно, изучая профильные или площадные распределения отношений H_z/H_x , H_z/H_y , построенные по импульсам сначала одной, затем другой, третьей и так далее поляризации, можно, вероятно, повысить детальность расчленения геоэлектрического разреза магнитовариационных методов. Но для реализации данной возможности необходимо разработать критерии разграничения КПК естественного поля по его поляризации.

Работа выполнена (частично) при поддержке Программы фундаментальных исследований ОНЗ РАН № 7 (№ 15-18-5-54).

Литература

- Бердичевский М.Н.* Электрическая разведка методом магнитотеллурического профилирования. М.: Недра, 1968. 255 с.
- Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И.* Модели и методы магнитотеллурики. М.: Новый мир, 2009. 677 с.
- Вишнев В.С., Дьяконова А.Г., Астафьев П.Ф., Сурина О.В.* Об одной особенности вертикальной составляющей геомагнитных вариаций и перспективе ее использования в электроразведке // Уральский геофизический вестник. 2016. № 1. С. 29–34.
- Пудовкин М.И., Распов О.М., Клейменова Р.Г.* Возмущения электромагнитного поля Земли. Часть II. Короткопериодические колебания геомагнитного поля. Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1976. 271 с.
- Рокитянский И.И.* Геофизические методы магнитовариационного зондирования и профилирования. Киев: Наук. Думка, 1972. 226 с.