

О ВОЗМОЖНОЙ СВЯЗИ ДЛИННОПЕРИОДНЫХ ГЕОМАГНИТНЫХ ВАРИАЦИЙ С ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИМ РЕЖИМОМ НА ГФО «МИХНЕВО»

С.А. Рябова, А.А. Спивак

Приведены результаты анализа данных инструментальных наблюдений за геомагнитными вариациями и режимом подземных вод на среднеширотной Геофизической обсерватории (ГФО) ИДГ РАН «Михнево». Определены основные периодичности и цикличности геомагнитных вариаций, показан их спорадический характер. Выявлена статистически достоверная корреляционная зависимость между годовыми вариациями магнитного типпера и уровнем подземных вод безнапорного горизонта.

Введение

Исследование вариаций магнитного поля и его передаточных функций (магнитный типпер, импеданс), которые отражают интенсивность природных и техногенных источников магнитных возмущений, содержат информацию о свойствах геофизической среды [Жданов, 1986; Мороз и др., 2006; Labson, Becker, 1987], представляет особый интерес. В этой связи представляется актуальным изучение синхронных вариаций магнитного поля на поверхности земной коры и местного гидрогеологического режима. Взаимосвязь геомагнитных вариаций и режима подземных вод определяет не только закономерности взаимодействия геосфер в приповерх-

ностной зоне Земли, но также условия среды обитания человека¹. Немаловажно и прикладное значение изучения геомагнитных вариаций различного происхождения при проведении высокоточных измерений и прецизионном производстве на микро- и наномасштабном уровнях, а также при производстве электронных элементов и микросборок для современной электронной и вычислительной техники и т.д. Значительный интерес к вариациям магнитного поля отмечается в последнее время также в связи с развитием и внедрением нанотехнологий [Нанотехнологии..., 2013].

В настоящей работе рассматриваются длиннопериодные вариации магнитного поля на земной поверхности и их возможная связь с сезонными изменениями режима подземных вод в условиях среднеширотной ГФО ИДГ РАН «Михнево».

Исходные данные

В качестве исходных данных при анализе использовались результаты синхронных наблюдений за геомагнитными вариациями и режимом подземных вод на среднеширотной ГФО «Михнево», расположенной в 85 км к югу от города Москвы (54,959°N; 37,766°E). Обсерватория удалена от крупных промышленных объектов, что позволяет выполнять корректную регистрацию геофизических полей.

Измерения локальных вариаций геомагнитного поля выполнялись в специальном стационарно оборудованном геомагнитном павильоне с помощью феррозондового магнитометра LEM1-018². В качестве исходных данных для анализа вариаций привлекались цифровые ряды, сформированные с дискретностью 1 мин.

Измерения вариаций уровня подземных вод выполнялись в скважине глубиной около 30 м с использованием стандартных электроуровнемеров и прецизионных датчиков уровня LMP308i с дискретностью 1 с и точностью измерений 0,1 мм. В качестве исходных данных привлекались ряды среднесуточных значений уровня верхнего безнапорного водоносного горизонта. Верхний безнапорный каширский водоносный горизонт приурочен к лопасненской и нарской толщам каширских отложений. Подошва каширского горизонта залегает на глубине 56,6 м. Уровень подземных вод в лопасненской толще изменяется от 25 до 26 м, в нарской варьирует от 44 до 46 м. Амплитуда сезонных вариаций каширского горизонта достигает 0,6 м. С точки зрения возможного влияния на геомагнитные вариации основной интерес представляет безнапорный водоносный горизонт, так как в этом случае вариации уровня подземных вод пропорциональны изменению мощности водопроводящего слоя, то есть фактически эффективной проводимости верхних участков земной коры.

На первом этапе данные инструментальных наблюдений, представленные в виде цифровых временных рядов, приводились к эквидистантному виду (восстановление пропусков и исключение выбросов). Затем выполнялась их проверка на случайность с использованием автокорреляционного критерия, фазово-частотного критерия Валлиса-Мура и стационарность [Закс, 1976]. Возможность корректного применения статистических методов обработки к временным рядам определя-

¹ Магнитное поле Земли представляет собой катализатор метаболических процессов как сложно организованных организмов (человек, животные), так и примитивных (вирусы, бактерии). Также геомагнитное поле является важным фактором, влияющим на такие фундаментальные свойства развития всех живых организмов, как наследственность и изменчивость [Экология..., 2006].

² Диапазон измерений $\pm 68\ 000$ нТл, разрешающая способность 10 пТл.

лась с помощью оценки, выполненной в соответствии с законом Бенфорда [Berger, 2011; Durtschi, et al., 2004].

Анализ периодичностей временных рядов выполнялся на основе вейвлет-преобразования с использованием материнского вейвлета Морле [Астафьева, 1996].

Анализ периодичностей геомагнитных вариаций и изменений уровня подземных вод

Геомагнитные вариации. Анализ данных свидетельствует о наличии сложных по характеру вариаций магнитного поля на ГФО «Михнево». На рис. 1 в качестве примера приведены некоторые результаты вейвлет-анализа (амплитуда и фаза) среднесуточных геомагнитных вариаций за весь изучаемый период (2010–2012 гг.). Из рис. 1 следует, что указанные вариации характеризуются ярко выраженными периодичностями (на рис. 1 отчетливо видны суточные вариации, а также вариации с периодами около 6, 14, 27 и ~60 сут). С большей точностью указанные периодичности выделяются на глобальном вейвлет-спектре, представленном на рис. 2 (значения характерных периодов вариаций приведены в поле рисунка). Периодичность ~14 сут с большой вероятностью связана с характерным периодом движения системы Земля-Луна вокруг ее центра тяжести. Подобный механизм не исключается при формировании 27-ми суточной периодичности, наличие которой традиционно связывают только с обращением Солнца вокруг своей оси. Однако нельзя забывать, что с близким периодом происходит обращение Луны вокруг Земли. С учетом спорадического характера [Адушкин и др., 2014] можно предполагать, что периодичность около 27 сут вызывается совокупностью двух факторов: обращением Солнца вокруг своей оси и обращением Луны вокруг Земли.

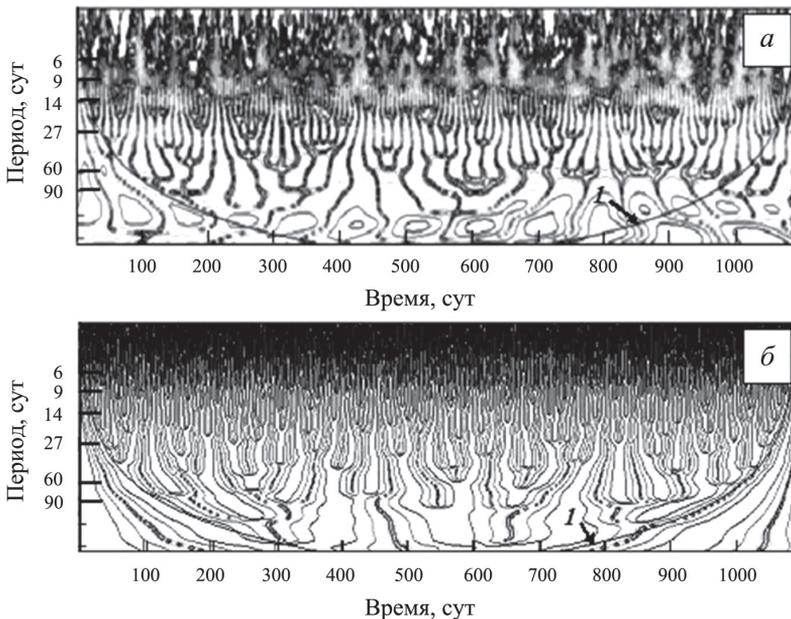


Рис. 1. Результаты вейвлет-анализа горизонтальной компоненты B_x геомагнитных вариаций за период 2010–2012 гг. (а) – амплитуда, (б) – фаза; I – конус влияния краевых эффектов)

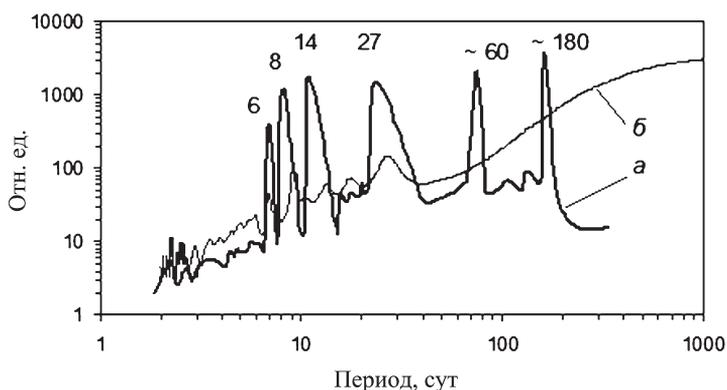


Рис. 2. Глобальный вейвлет-спектр геомагнитных вариаций (а); спектр Фурье (б). Цифры в поле рисунка – характерные периоды вариаций

Уровень подземных вод в безнапорном горизонте. Результаты регистрации среднесуточных значений уровня подземных вод h в открытой скважине на ГФО «Михнево» за период 2010–2012 гг. свидетельствуют о том, что основная по величине амплитуды вариация уровня подземных вод верхнего безнапорного горизонта характеризуется годовой периодичностью, которая определяется притоком талой воды и ее инфильтрацией в весенне-летний период.

В нашем случае наибольший интерес представляют годовые вариации h , которые проявляются наиболее ярко и вследствие этого могут оказывать наибольшее влияние на проводимость приповерхностных участков земной коры и, следовательно, на геомагнитные вариации¹.

Синхронные вариации уровня подземных вод и магнитного типпера на поверхности земной коры

В качестве характеристики геомагнитных вариаций в настоящей работе рассматривался магнитный типпер. Учитывалось, что магнитный типпер весьма чувствителен к изменениям свойств земной коры, что позволяет использовать его в качестве индикатора изменений ее структуры, напряженно-деформированного состояния, а также режимов протекающих в ней геодинамических процессов [Бердичевский и др., 2003; Labson, Becker, 1987].

Комплексные коэффициенты типпера W_{zx} и W_{zy} отражают связь величины напряженности вертикальной компоненты магнитного поля с его горизонтальными компонентами:

$$H_z = W_{zx}H_x + W_{zy}H_y \quad (1)$$

где H_x , H_y и H_z – компоненты регистрируемого магнитного поля, а W_{zx} и W_{zy} – компоненты индукционной матрицы (вектора Визе-Паркинсона).

Магнитуда типпера (абсолютное значение) T задается выражением

$$T = \sqrt{|W_{zx}|^2 + |W_{zy}|^2} \quad (2)$$

¹ Один из возможных механизмов указанного влияния представлен в статье Лосевой Т.В., Спивака А.А. и Кузьмичевой М.Ю. в настоящем сборнике.

Величины W_{xz} и W_{yz} не зависят от фактического источника тока, а определяются, в частности, электропроводностью среды. Разработанные к настоящему времени методики позволяют по данным поверхностных измерений производить не только вычисление магнитного типпера, но также выполнять подавление помех, связанных с шумами различного происхождения, и производить корректную робастную оценку типпера с учетом только магнитотеллурических источников его вариаций [Larsen et al., 1989].

Результаты расчетов демонстрируют четко выраженные годовые вариации как вещественной, так и мнимой части магнитного типпера. Известно [Бердичевский и др., 2003], что вариации передаточных функций на земной поверхности характеризуют изменения электрической проводимости приповерхностного проводящего слоя. Как отмечалось выше, увеличение толщины слоя обводненных горных пород вследствие повышения уровня подземных вод в безнапорном горизонте вызывает увеличение электрической проводимости приповерхностных участков земной коры. В связи с этим представляет интерес рассмотреть корреляционные соотношения между уровнем подземных вод и величиной магнитного типпера на поверхности земной коры. Результаты сравнения представлены на рис. 3.

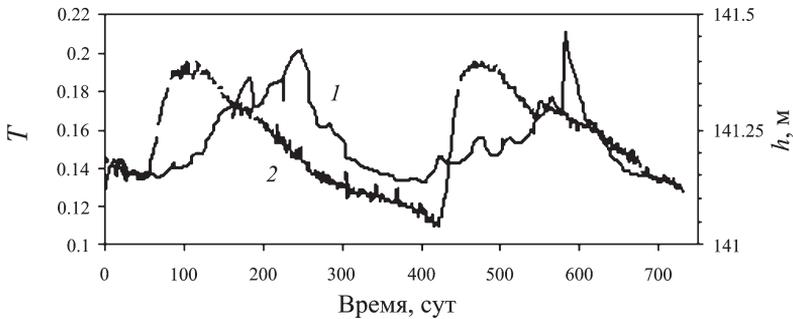


Рис. 3. Относительные вариации компоненты W_{xz} магнитного типпера (1) и уровня подземных вод безнапорного горизонта (2) на ГФО ИДГ РАН «Михнево» за период с 01.03.2010 по 31.03.2012 гг.

Оценка тесноты (силы) связи между двумя рядами (магнитный типпер и уровень подземных вод) проводилась в настоящей работе с использованием критериев линейной корреляции Пирсона и ранговых корреляций Спирмена и Кендалла. Вычисление коэффициентов корреляции по Пирсону (K_p), Спирмену (K_s) и Кендаллу (K_k) дало следующие результаты:

$$(K_p) = -0,85, (K_s) = -0,95, (K_k) = -0,78 \quad (3)$$

при статистической значимости не хуже 0,05, что свидетельствует о значимой корреляции между анализируемыми рядами.

С целью оценки возможной функциональной зависимости между вариациями магнитного типпера и уровня подземных вод, а одновременно – подтверждения статистической значимости корреляционного соотношения между вариациями h и B , оценивались коэффициенты корреляции между суррогатными рядами данных, сформированных из исходных (оригинальных) временных рядов на основе рандомизации их фазовых спектров [Moddleton, 2000], и полученными значениями (3). В нашем случае коэффициенты корреляции исходных рядов не попадают в интервал значений, соответствующих построенным случайным гистограммам, что сви-

детельствует о взаимной статистической связи между уровнем подземных вод в безнапорном горизонте и магнитным типпером.

Заключение

Таким образом, статистический анализ с проверкой достоверности и статистической значимости корреляционного соотношения с использованием рандомизированных рядов данных показал, что локальные длиннопериодные вариации магнитного типпера и сезонные вариации уровня подземных вод безнапорного водосодержащего горизонта характеризуются значимой отрицательной корреляцией.

Полученные результаты могут служить основой для разработки новых подходов к диагностике геодинамического состояния земной коры на основе анализа вариаций геофизических полей при выборе и обосновании участков под строительство особо ответственных объектов и сооружений (АЭС, подземные захоронения радиоактивных отходов и т.д.), а также для обеспечения их долговременной и безопасной эксплуатации.

Авторы выражают благодарность А.Н. Ляхову за помощь в обработке данных и ценные замечания, высказанные при обсуждении результатов исследований.

Работа выполнена при поддержке Программы 8 ОНЗ РАН «Взаимодействие геосфер: геофизические поля и массоперенос» и РФФИ (грант 14-05-00073-а).

Литература

Адушкин В.В., Спивак А.А., Харламов В.А. Особенности геомагнитных вариаций в центральной части Восточно-Европейской платформы // *Физика Земли*. 2014. № 2. С. 66–72.

Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // *Успехи физических наук*. 1996. Т. 166. № 11. С.1145–1170.

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

Жданов М.С., Электроразведка. М.: Недра. 1986. 316 с.

Закс Л. Статистическое оценивание. М.: Статистика, 1976. 600 с.

Мороз Ю.Ф., Мороз Т.А., Смирнов С.Э. Результаты мониторинга вариаций геомагнитного поля на Камчатке // *Физика Земли*. 2006. № 3. С. 49–61.

Нанотехнологии в электронике. Вып. 2/ Под ред. чл.-корр. РАН Чаплыгина Ю.А. <http://www.technosphera.ru/lib/book/310>.

Экология и человек в изменяющемся мире / Н.А. Агаджанян, С.И. Александров, О.А. Аптекаева и др. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 670 с.

Berger A. A basic theory of Benford's law // *Probability Surveys*. 2011. Vol. 8. No. 1. P. 1–126. ISSN: 1549-5787. Doi: 10.1214/11-PS175.

Durtisch C., Hillison W., Pacini C. The effective use of Benford's law to assist in detecting fraud in accounting data // *J. of Forensic Accounting*. 2004. Vol. 5. P. 17–34.

Labson V.F., Becker A. Natural field and very low-frequency tipper profile interpretation on contacts // *Geophysics*. 1987. Vol. 52. No. 12, pp. 1697–1707.

Larsen J.C. Transfer functions: smooth robust estimates by least-squares and remote reference methods // *Geophys. J.*, 1989. Vol. 99, pp. 645–663.