

ОСОБЕННОСТИ ГЕОМАГНИТНЫХ ВАРИАЦИЙ НА ГФО ИДГ РАН «МИХНЕВО»

***В.В. Адушкин, Э.М. Горбунова, В.А. Рябова,
А.А. Спивак, В.А. Харламов***

Приведены результаты анализа данных синхронных инструментальных наблюдений за фоновыми геомагнитными вариациями и сейсмическим фоном на среднеширотной геофизической обсерватории ИДГ РАН «Михнево», выполненных в период 2006–2011 гг. Определены основные периодичности и цикличности геомагнитных вариаций, показан их спорадический и самосогласованный характер. Установлена значимая корреляция между годовыми вариациями магнитного типпера и уровнем подземных вод.

Введение

Повышенный интерес к вариациям геофизических полей и магнитного поля, в частности, связан, прежде всего, с установлением условий среды обитания, которая не статична, а ее изменчивость напрямую определяет приспособленность к окружающей среде и эволюционную направленность изменений биологических организмов, в первую очередь человека [Экология..., 2006]. Электрические и магнитные поля имеют особое значение, поскольку нарушение условий передачи и восприятия органами человека электромагнитных управляющих сигналов при биоэлектромаг-

нитных резонансах – одна из основных причин разбалансировки организма, ухудшения его функционирования как с точки зрения работы отдельных органов, так и организации высшей нервной деятельности [Колесник др., 2009; Экология..., 2006; Казначеев, Михайлова, 1985]. Здесь важно отметить, что наряду с короткопериодными биоритмами (0,1–20 Гц), отвечающими за работу сердца, нервно-мышечной системы и головного мозга, у человека имеется несколько длиннопериодных биоритмов с периодами от 1 сут до 1 года, отвечающих за физическое, эмоциональное и интеллектуальное состояние организма. Биоэлектромагнитный резонанс на этих периодах вызывает весьма значимые эффекты [Экология..., 2006].

Определенное фундаментальное значение имеет изучение локальных длиннопериодных геомагнитных вариаций с точки зрения установления изменчивости электропроводности, структуры и напряженного состояния верхних участков земной коры в результате возмущений естественного и техногенного происхождения. Также, представляется естественным, что длиннопериодные геомагнитные вариации на земной поверхности могут содержать информацию о ходе геодинамических процессов как на приповерхностных участках земной коры, так и в верхних слоях литосферы.

Немаловажно и прикладное значение изучения вариаций естественного электромагнитного фона при высокоточных измерениях и прецизионном производстве на микро- и наномасштабном уровнях, например, в биотехнологии, при производстве электронных элементов и микросборок для современной электронной и вычислительной техники и т.д. Значительный интерес к вариациям магнитного и электрического поля отмечается в последнее время в связи с развитием и внедрением нанотехнологий.

Магнитное поле Земли характеризуется как иррегулярными, так и квазипериодическими вариациями, связанными с возмущающим влиянием внутренних и внешних источников. Периодичности временных геомагнитных вариаций отражают не только изменения магнитного динамо Земли, солнечной активности и, как следствие, – ионосферных и магнитосферных возмущений, но также изменения электрокинетических и геомеханических характеристик, в первую очередь структуры и напряженно-деформированного состояния приповерхностных участков земной коры [Колесник и др., 2009; Атлас..., 1994; Бердичевский и др., 2003].

В настоящей работе изучались геомагнитные вариации в широком диапазоне периодов в условиях Геофизической обсерватории «Михнево» ИДГ РАН, а также корреляционные соотношения между геомагнитными вариациями, амплитудой сейсмического фона и режимом подземных вод.

Используемые данные

В качестве исходных данных в настоящей работе использовались результаты инструментальных наблюдений, выполненных в течение 2008–2012 гг. на ГФО «Михнево»¹, расположенной в центральной части Восточно-Европейской платформы (54,960N; 37,7740E) [Адушкин и др., 2005].

Обсерватория расположена на юге Московской области вдали от крупных промышленных объектов в зоне влияния глубинной тектонической структуры – Нелидово-Рязанской шовной зоны (НРШЗ), приуроченной к долине р. Оки.

¹ Геомагнитные наблюдения выполняются силами лаборатории литосферно-ионосферных связей ИДГ РАН (зав. лаб. Б.Г. Гаврилов).

Геологическое строение территории ГФО «Михнево» характеризуется тектонической двухярусностью. Нижний структурный этаж представлен кристаллическим фундаментом, верхний – осадочным чехлом мощностью около 1,3 км, который сложен верхнепротерозойскими, девонскими, каменноугольными и мезокайнозойскими отложениями [Иванченко, Горбунова, 2008].

Анализ современного морфоструктурного плана территории исследований позволяет определить структуры, активизированные в современном поле напряжений. Рассматриваемая Нелидово-Рязанская шовная зона отнесена к структурам II порядка согласно СНиП 2.02.85-85. В ее пределах может быть выделен спрямленный субширотный Приокский участок, характеризующийся рядом геоморфологических и геологических признаков неотектонической активности. В частности, Приокский участок является границей между северным и южным морфотектоническими блоковыми структурами, которые различаются геодинамической обстановкой.

Регистрация локальных геомагнитных вариаций выполнялась с помощью трехкомпонентного феррозондового магнитометра LEMI-018, электронный блок которого обеспечивает соответствующее преобразование данных, получаемых с феррозондового датчика, их обработку и накопление с дискретностью 1 с. В качестве исходных данных для анализа вариаций привлекались цифровые ряды, сформированные с дискретностью 1 мин.

На территории ГФО «Михнево» в экспериментальных скважинах проводятся наблюдения за режимом подземных вод. Измерения вариаций уровня подземных вод выполняются с использованием стандартных электроуровнемеров и прецизионных датчиков уровня LMP308i (производство Германия) с дискретностью 1 с и точностью измерений 0,1 мм. В качестве исходных данных были рассмотрены ряды среднесуточных значений уровня верхнего безнапорного водоносного горизонта, приуроченного к лопасненской толще каширских отложений. Результаты регистрации геофизических полей на ГФО «Михнево» размещены на сайте ИДГ РАН [idg—corpmp/chph/ras/ru/~mikhnevo/data/magnet/].

Периодичность геомагнитных вариаций анализировалась на основе результатов вейвлет-анализа данных, выполненного с помощью хорошо локализованного в k - и r -пространстве вейвлета Morlet [Астафьева, 1996]:

$$\psi(r) = \exp(ik_0 r) \exp\left\{-\frac{r^2}{2}\right\}, \quad \widehat{\psi}(k) = \theta(k) \exp\left\{-\frac{(k-k_0)^2}{2}\right\},$$

где k_0 – порядок вейвлета.

Вариации магнитного типпера определялись из соотношений между вертикальной H_z компонентой магнитного поля и его горизонтальными компонентами [Бердичевский и др., 2003] в виде:

$$H_z = WH_h,$$

где W и H_h – соответственно вектор Визе-Паркинсона с компонентами W_{zx} и W_{zy} и горизонтальная составляющая магнитного поля с компонентами H_x и H_y .

При постоянной во времени ориентации координатных осей, соотношение между компонентами индукционной матрицы [W_{zx} W_{zy}] (магнитного типпера) отражают наличие геоэлектрических неоднородностей, а их вариации характеризуют, в частности, изменение электропроводности верхних участков земной коры в месте выполнения измерений [Бердичевский и др., 2003; Мороз и др., 2011].

В настоящей работе ось X была направлена на географический север. Поскольку значения компонент магнитного типпера отражают наличие геоэлектрических неоднородностей, в частности, величину электрической проводимости верхних участков земной коры,

Анализ периодичностей геомагнитных вариаций

Имеющиеся данные [Атлас..., 2002; Колесник и др., 2009; Мороз и др., 2011] свидетельствуют о том, что величина компонент геомагнитного поля не постоянна во времени. Хорошо фиксируются как медленные, так и быстрые их вариации. Временные вариации классифицируются с учетом источника их происхождения. Так, например, выделяют длиннопериодные вариации с периодом несколько лет, причиной которых являются внутренние источники Земли, регулярные вариации магнитного поля с периодом около 27 сут, связанные с солнечной активностью, иррегулярные магнитные бури и суббури (глобальные и локальные), суточные вариации и пульсации, которые вызываются внешними ионосферными и магнитосферными источниками. Также известны и другие низкоамплитудные (0,1–10 нТл) короткопериодные, например, P_c и P_i геомагнитные пульсации с периодами от 0,2 до 600 с, вызываемые ионно-циклотронными и гидромагнитными волнами в магнитосфере Земли.

Полученные данные свидетельствуют о сложном характере геомагнитных вариаций на ГФО «Михнево». В качестве примера на рис. 1 приведены результаты вейвлет-анализа геомагнитных вариаций за период февраль–август 2011 г. Из представленной скалограммы видно, что выделяется несколько хорошо выраженных периодичностей в вариациях магнитного поля Земли. Обработка всех имеющихся данных показывает, что наряду с известными вариациями с периодом около 27 суток и двумя гармониками указанной периодичности в ~6–8 и ~12–14 сут наблюдаются периодичности локальных вариаций магнитного поля Земли с периодом 57–60 сут, около 120 сут (рис. 2), а также около 1 года.

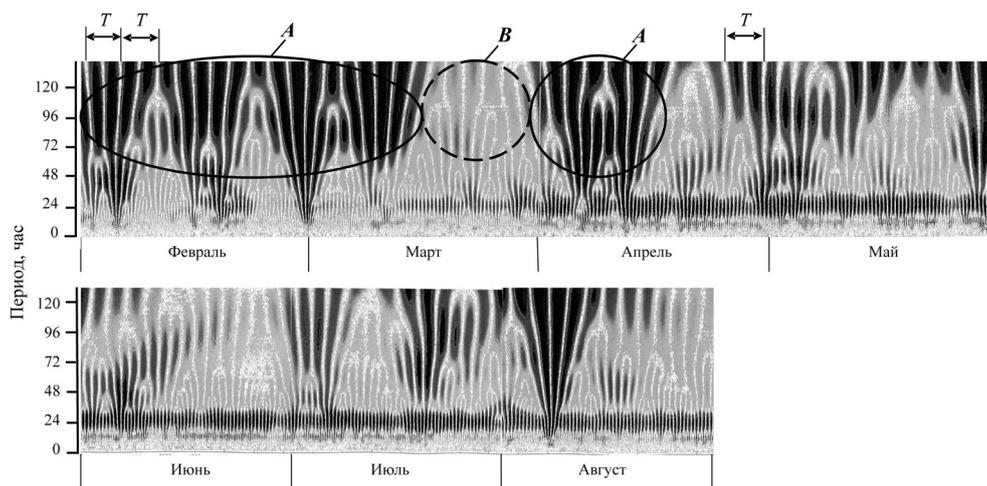


Рис. 1. Скалограмма геомагнитных вариаций в диапазоне периодов 0–6 сут. T – примеры выделения 6-ти суточных периодичностей; A и B – примеры наличия ярко выраженных периодичностей геомагнитных вариаций и их деградации

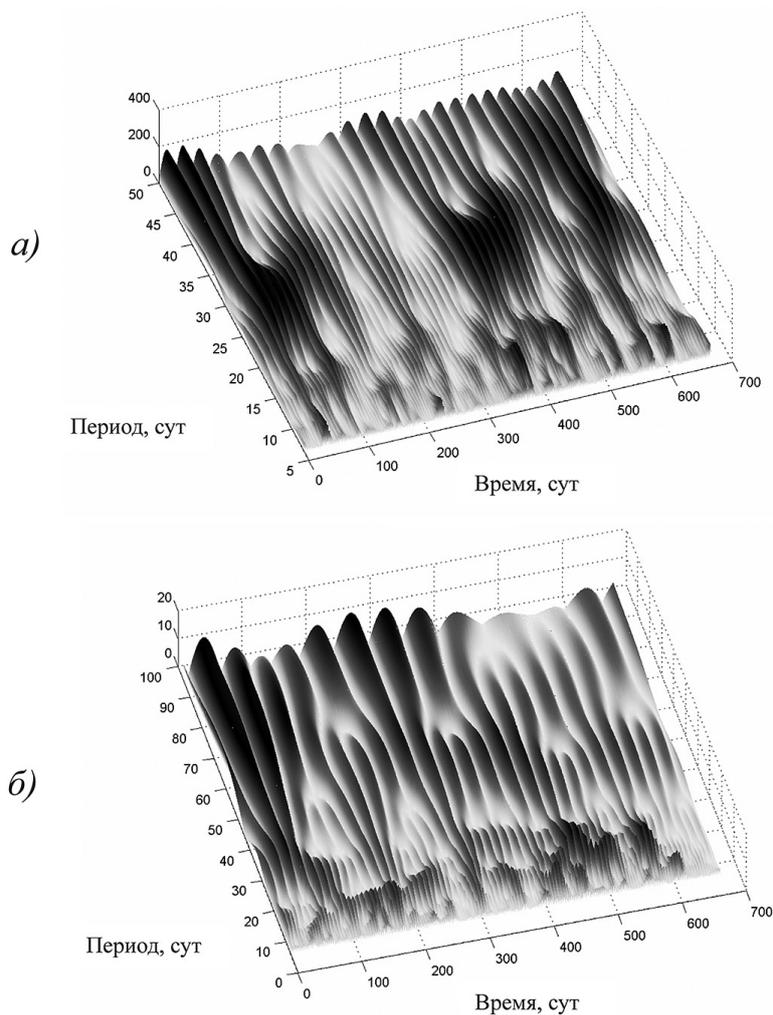


Рис. 2. Скалограммы геомагнитных вариаций в области периодов 0–50 сут (а) и 14–90 сут (б)

Важно отметить, что периодичности геомагнитных вариаций имеют спорадический характер. Как это видно из скалограммы рис. 1 временные интервалы, когда наблюдаются ярко выраженные периодичности геомагнитных вариаций, сменяются периодами спада амплитуды вариаций и даже полного отсутствия некоторых из установленных периодичностей. Так, например, в 2011 г. периодичности с периодом 6–8 сут отчетливо проявляются в феврале-первой половине марта, первой половине апреля, частично во второй половине мая, в течение недели июля и в первой половине августа, но практически отсутствуют во второй половине марта, в третью неделю апреля, первой половине мая, полностью в июне и во второй половине августа.

Отмеченная особенность вариаций представляет несомненный интерес для дальнейших исследований и свидетельствует о сложных процессах формирования и деградации источников геомагнитных вариаций на средних широтах.

Другой особенностью наблюдаемых периодичностей геомагнитных вариаций является их фрактальный характер. Приведенный на рис. 3 фрагмент скалограммы демонстрирует иерархическую структуру анализируемого множества. Хорошо просматриваются линии локальных максимумов. Каждый этап каскадного процесса, каждое дробление масштаба проявляется на скалограмме ветвлением, появлением характерной «вилочки»: каждая из линий, характеризующих положение локальных максимумов, раздваивается, расходясь на два независимых локальных максимума. Это повторяется с увеличением масштаба, свидетельствуя о самоподобии и монофрактальности процесса [Астафьева, 1996].

Изменение амплитуды отдельных спектральных составляющих хорошо демонстрирует рис. 4, на котором в качестве примера приведены временные вариации

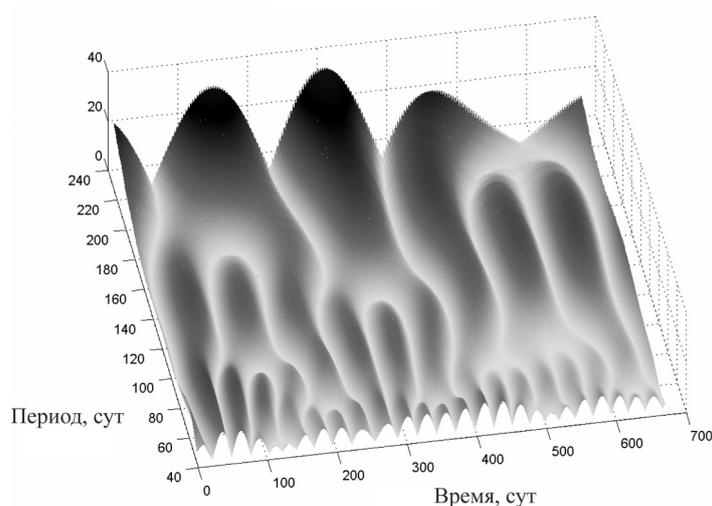


Рис. 3. Скалограмма геомагнитных вариаций в диапазоне периодов 60–240 сут.

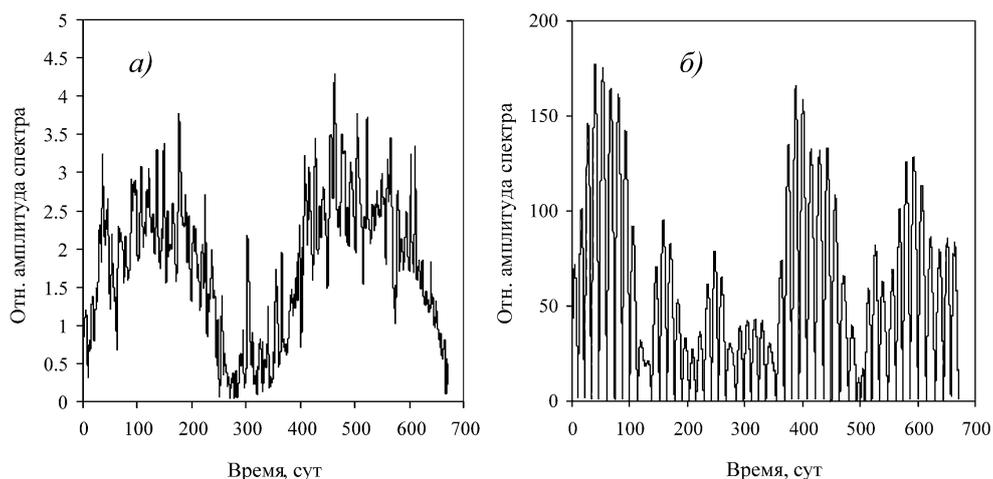


Рис. 4. Модуль спектральных составляющих геомагнитных вариаций с периодом 1 (а) и 29 (б) сут.

Рис. 5. Огибающая спектральной составляющей геомагнитных вариаций с периодом 1 сут.

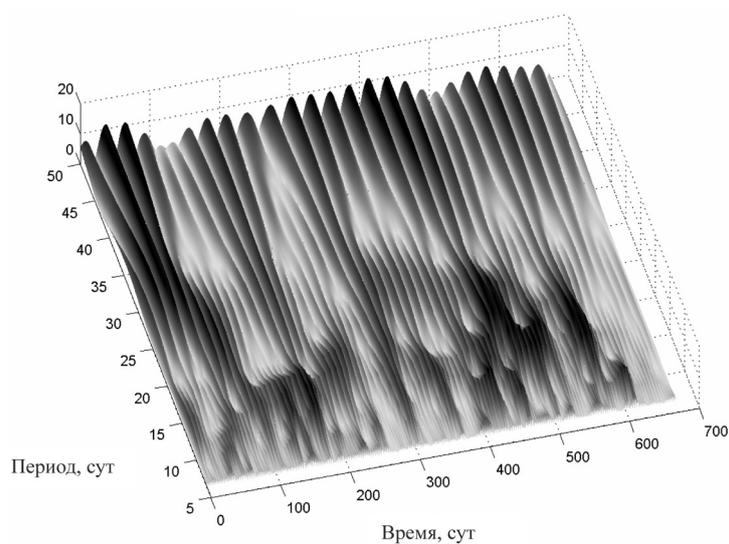
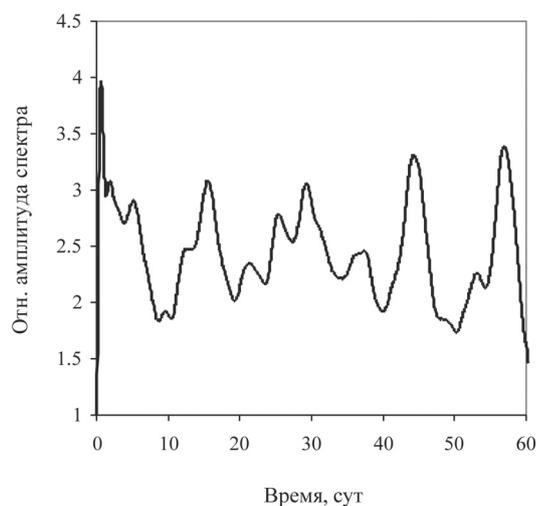


Рис. 6. Скалограмма спектральной составляющей геомагнитных вариаций с периодом 1 сут.

спектральных составляющих с периодами 1, 14 и 28 сут за 2011–2012 гг., а также огибающая вариаций спектральной составляющей с околосуточным периодом (рис. 5). Общую картину вариаций спектральной составляющей с периодом 1 сут демонстрирует скалограмма, приведенная на рис. 6.

Все рассмотренные выше данные свидетельствуют о том, что в целом геомагнитные вариации и их отдельные спектральные составляющие сложным образом меняются со временем и имеют спорадический характер. Установленные на ГФО «Михнево» особенности геомагнитных вариаций позволяют предполагать, что таковые, скорее всего, являются характерными для средних широт, то есть можно ожидать, что спорадический и скейлинговый характер геомагнитных вариаций можно наблюдать и в других среднеширотных районах.

Совместные вариации магнитного типпера и уровня подземных вод

Можно полагать, что некоторые вариации геомагнитного поля связаны с периодическими изменениями физико-механических свойств приповерхностных участков земной коры, например, ее проводимости. Одной из основных причин изменения проводимости среды являются вариации ее водонасыщенности. В этой связи, представляет интерес сопоставление геомагнитных вариаций с изменением режима подземных вод. С этой целью на ГФО «Михнево» одновременно с регистрацией геомагнитных вариаций выполнялась синхронная регистрация уровня подземных вод, вскрытых на различных глубинах в наблюдательных скважинах [Адушкин и др., 2013; Горбунова, 2003; Горбунова и др., 2009; Кочарян и др., 2008].

В пределах территории исследований ГФО «Михнево» преимущественное развитие получают два водоносных 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. Нижний напорный алексинско-протвинский водоносный горизонт вскрыт на глубине 92 м в наблюдательной скважине, пройденной на глубину 115 м. Уровень алексинско-протвинского водоносного горизонта устанавливается на глубине 67 м, сезонные вариации достигают 3 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.

Результаты измерений свидетельствуют о том, что основная по величине амплитуды вариация уровня верхнего безнапорного горизонта характеризуется годовой периодичностью, определяемой питанием подземных вод [Адушкин и др., 2013] (рис. 7).

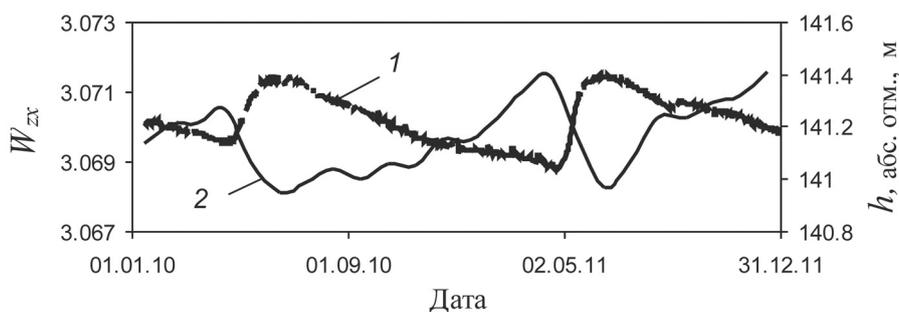


Рис. 7. Вариация уровня безнапорного водоносного горизонта (1) и компоненты магнитного типпера (2)

С целью установления возможной корреляции был выполнен совместный анализ вариации магнитного типпера и уровня подземных вод h в открытой скважине. В частности, сравнивались вариации главной компоненты типпера W_{zx} с изменением уровня подземных вод (в случае безнапорного горизонта вариации уровня воды в открытой скважине определяют вариации мощности водо-

проводящего слоя, то есть эффективной проводимости верхних участков земной коры).

На рис. 7 приведены совместно временные вариации компоненты W_{zx} магнитного типпера и уровня подземных вод. Из рис. 7 видно, что хорошо проявляется отрицательная корреляция кривых. Корреляционный анализ подтверждает наличие значимой отрицательной корреляции между вариациями магнитного типпера и уровнем подземных вод (коэффициент ранговой корреляции Спирмена составляет в нашем случае 0,65 при значимости не хуже 0,95).

Более детальный анализ показывает, что одновременно с магнитным типпером заметно варьирует его дисперсия, что дополнительно свидетельствует о периодических вариациях напряженности магнитного поля в процессе его формирования, которые видны на рис. 8, где в качестве примера приведены совместно кривые, характеризующие изменения среднеквадратического отклонения в суточных вариациях магнитного типпера и уровня подземных вод h за 2011 г.

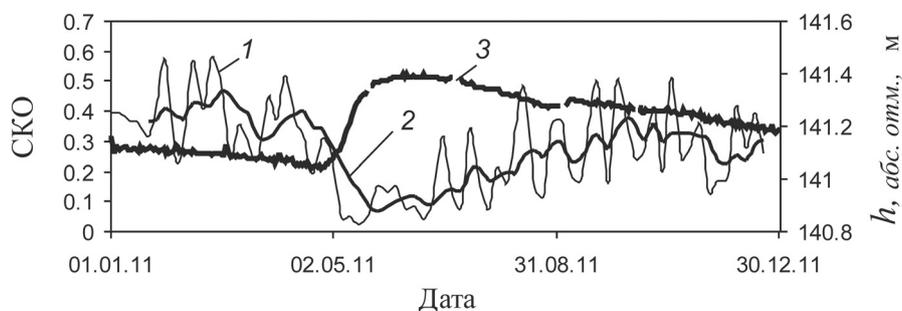


Рис. 8. Вариации среднеквадратического отклонения компоненты W_{zx} магнитного типпера (1 – среднее за 1 сут., 2 – среднее за 5 сут.) и уровня подземных вод, абс. отм., м (3)

Таким образом, в результате сравнения сезонных вариаций гидрогеологического режима и годовой цикличности геомагнитных вариаций показана значимая корреляция между сезонными вариациями одного из основных параметров магнитного поля – магнитного типпера, и изменением уровня подземных вод в безнапорном горизонте.

Обнаруженная связь между локальными вариациями магнитного поля и изменением уровня подземных вод может оказаться также существенной и более сложной в регионах с другими гидрогеологическими условиями.

Заключение

Результаты синхронных инструментальных наблюдений, выполненных в среднеширотных условиях, свидетельствуют о сложной картине вариаций геомагнитного поля Земли и его отклика на гидрогеологический режим земной коры. Отмеченные в настоящей работе особенности геомагнитных вариаций несомненно можно использовать в целях диагностики и контроля геодинамического состояния локальных участков земной коры и его изменчивости со временем под воздействием природных и техногенных факторов.

Полученные на материале Геофизической обсерватории «Михнево» ИДГ РАН данные могут служить основой для продолжения исследований в выбранном направлении, в частности, для установления соответствия между геомагнитными вариациями и вариациями флюидодинамического режима и поля фоновых сейсмических колебаний в других условиях, отличающихся, например, свойствами конкретных участков земной коры, наличием и особенностями распространения дизъюнктивов и так далее, для чего необходимо будет провести анализ аналогичных результатов наблюдений, выполненных в других районах.

Исследования выполнены по Программе 8 Отделения наук о Земле РАН «Взаимодействие геосфер: геофизические поля и массоперенос» и при поддержке РФФИ (грант 11-05-00096-а).

Литература

Адушкин В.В., Зецер Ю.И., Гаврилов Б.Г., Санина И.А., Спивак А.А. Комплекс измерений геофизических полей и процессов взаимодействия геосфер обсерватории «Михнево» // *Динамические процессы в системе внутренних и внешних взаимодействующих геосфер*. М.: ГЕОС, 2005. С. 13–18.

Адушкин В.В., Спивак А.А., Горбунова Э.М., Рябова С.А., Харламов В.А. Синхронные вариации магнитного поля Земли и уровня подземных вод // *Доклады академии наук*. 2013. Т. 449. № 5. С. 579–581.

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

Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Т. 3. М.: Научный мир, 2002. 672 с.

Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И., Голубцова Н.С. и др. Магнитовариационное зондирование: новые возможности // *Физика Земли*. 2003. № 9. С. 3–30.

Горбунова Э.М. Гидрогеологические условия Приокского участка Нелидово-Рязанской шовной зоны // *Геофизические процессы в нижних и верхних оболочках Земли*: сб. научн. тр. ИДГ РАН. М.: ГЕОС, 2003. С. 129–141.

Горбунова Э.М., Кабыченко Н.В., Кочарян Г.Г., Павлов Д.В., Свинцов И.С. Исследование динамики вариаций уровня подземных вод под воздействием внешних факторов // *Проблемы взаимодействующих геосфер*. М.: ГЕОС, 2009. С. 232–244.

Иванченко Г.Н., Горбунова Э.М. Взаимосвязь линейных форм и геолого-структурного плана территории Московского региона // *Локальные и глобальные проявления воздействий на геосферы*. М.: ГЕОС, 2008. С. 23–30.

Казначеев В.П., Михайлова Л.П. Биоинформационные функции естественных электромагнитных полей. Новосибирск: Наука, 1985. 180 с.

Колесник А.Г., Колесник С.А., Побаченко С.В. Электромагнитная экология. Томск: ТМЛ-Пресс, 2009. 336 с.

Кочарян Г.Г., Горбунова Э.М., Копылова Г.Н., Павлов Д.В., Свинцов И.С. Предварительные результаты прецизионных наблюдений за режимом подземных вод на территории ГФО «Михнево» // *Локальные и глобальные проявления воздействий на геосферы*. М.: ГЕОС, 2008. С. 52–62.

Мороз Ю.Ф., Мороз Т.А., Смирнов С.Э. Результаты мониторинга вариаций геомагнитного поля на обсерваториях «Магадан» и «Паратунка» // *Физика Земли*. 2011. № 8. С. 49–61.

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