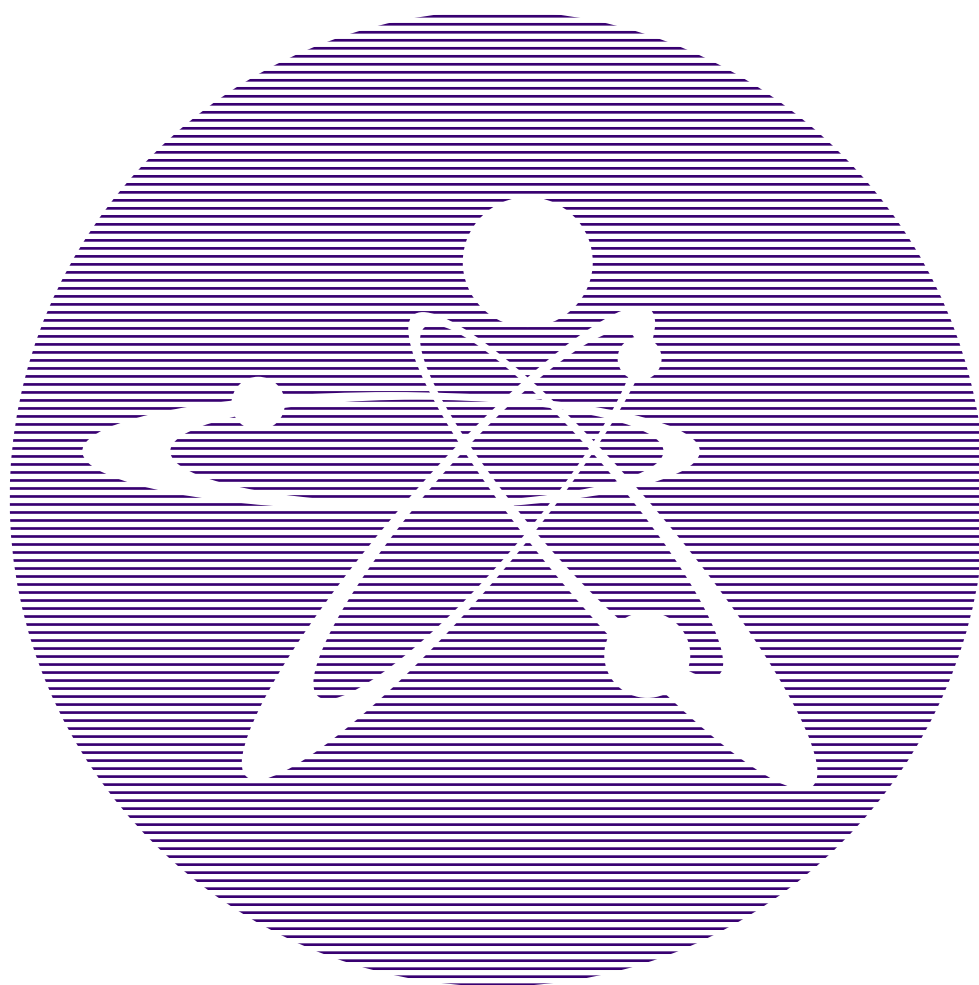


2015
ВЫПУСК 4

ISSN 1729-7516

ЖАҢҒЫЛ Вестник

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН



Вестник НЯЦ РК

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ВЫПУСК 4(64), ДЕКАБРЬ 2015

Издается с января 2000 г.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР – д.ф.-м.н. БАТЫРБЕКОВ Э.Г.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ: д.ф.-м.н. СКАКОВ М.К. – заместитель главного редактора,
д.т.н. БАТЫРБЕКОВ Г.А., д.ф.-м.н. БУРТЕБАЕВ Н.Т., доктор инженерии ВИЕЛЕБА В.К. (Польша),
к.ф.-м.н. ВОЛКОВА Т.В., к.ф.-м.н. ВУРИМ А.Д., д.т.н. ГРАДОБОВЕВ А.В. (Россия), к.ф.-м.н. КОЗТАЕВА У.П.,
ЛУКАШЕНКО С.Н., д.ф.-м.н. МАКСИМКИН О.П., д.ф.-м.н. МИХАЙЛОВА Н.Н., к.г.-м.н. ПОДГОРНАЯ Л.Е.,
д.ф.-м.н. СОЛОДУХИН В.П., д.ф.-м.н. ТАЖИБАЕВА И.Л., профессор ФУДЖИ-Е (Япония)

ҚР ҰЯО Жаршысы

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҰЛТТЫҚ ЯДРОЛЫҚ ОРТАЛЫҒЫНЫҢ
МЕРЗІМДІК ҒЫЛЫМИ-ТЕХНИКАЛЫҚ ЖУРНАЛЫ

4(64) ШЫҒАРЫМ, ЖЕЛТОҚСАН, 2015 ЖЫЛ

NNC RK Bulletin

RESEARCH AND TECHNOLOGY REVIEW
NATIONAL NUCLEAR CENTER OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ISSUE 4(64), DECEMBER 2015

Периодический научно-технический журнал «Вестник НЯЦ РК», решением Комитета по контролю в сфере образования и науки включен в перечень изданий, рекомендованных для публикации материалов:

- по физико-математическим наукам,
- по специальности 25.00.00 – науки о Земле.

В журнале представлены материалы **VIII Международной конференции «Мониторинг ядерных испытаний и их последствий»** (04–08 августа 2014 г., Курчатов, Казахстан).

ГЕОМАГНИТНЫЕ ВАРИАЦИИ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ИХ СВЯЗЬ С ДИНАМИКОЙ ПОДЗЕМНЫХ ВОД	
Спивак А.А., Рябова С.А., Горбунова Э.М.	98
ПРЕИМУЩЕСТВЕННАЯ ФОРМА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЕЩЕСТВ В ЛИТОСФЕРЕ И АТМОСФЕРЕ	
Романов А.М.	107
СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ АЭС В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ	
Аронов А.Г.	111
СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ РЕАКТОРА ВВР-К ИНСТИТУТА ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ	
Михайлова Н.Н., Великанов А.Е., Аристова И.Л.	120
PRELIMINARY RESULTS FROM A DATA-INTENSIVE STUDY OF CHINA SEISMICITY TO DETECT SMALL EVENTS AND IMPROVE LOCATION ESTIMATION FOR EVENT CLUSTERS	
P.G. Richard, S. Heck, D.P. Schaff, M. Slinkard, C. Young	127
УНИФИЦИРОВАННЫЙ КАТАЛОГ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН И ПРИЛЕГАЮЩИХ РЕГИОНОВ (С ДРЕВНЕЙШИХ ВРЕМЕН ДО 2009 Г.)	
Михайлова Н.Н., Аристова И.Л., Мукамбаев А.С.	132
ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ И ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ОЧАГОВ ПОСЛЕДНИХ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА СЕВЕРНОМ ТЯНЬ-ШАНЕ	
Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н.	144
НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ	
Погода Э.В.	150
КОЛЬЦЕВЫЕ СТРУКТУРЫ СЕЙСМИЧНОСТИ В РАЙОНЕ СЕВЕРНОГО ЧИЛИ И УСПЕШНЫЙ ПРОГНОЗ МЕСТА И МАГНИТУДЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ИКИКЕ 01.04.2014 Г. ($M_w=8.2$)	
Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н.	153
КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ И ПЕРЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ ПОРОД – ОДНА ИЗ ПРИЧИН НАКОПЛЕНИЯ СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В НЕДРАХ ЗЕМЛИ	
Великанов А.Е.	160
СПИСОК АВТОРОВ	167

УДК 550.3; 550.4

ГЕОМАГНИТНЫЕ ВАРИАЦИИ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ИХ СВЯЗЬ С ДИНАМИКОЙ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Спивак А.А., Рябова С.А., Горбунова Э.М.

Институт динамики геосфер РАН, Москва, Россия

Приведены результаты совместного анализа локальных длиннопериодных геомагнитных вариаций и уровня безнапорного водоносного горизонта, регистрируемых на территории геофизической обсерватории «Михнево» ИДГ РАН (54,960N; 37,7740E) за период 2010–2011 гг. Определены основные периодичности локальных фоновых вариаций магнитного поля Земли. Наряду с вариациями 27 – 29 сут, вызываемые периодичностью обращения Солнца вокруг своей оси, зарегистрированы также периоды ~ 1; 6 – 8; 13 – 14; 57 – 60 сут. и около года. Показано, что периодичности фоновых вариаций имеют регулярный и спорадический характер. Определены особенности изменения во времени отдельных спектральных составляющих геомагнитных вариаций. Прослежена годовая цикличность сезонных вариаций уровня подземных вод. В результате сравнения годовой цикличности гидрогеологического режима и геомагнитных вариаций показана значимая корреляция между сезонными вариациями передаточной функции, представленной магнитным типпером, и изменением уровня подземных вод в безнапорном горизонте.

ВВЕДЕНИЕ

Магнитное поле Земли характеризуется как иррегулярными, так и квазипериодическими вариациями, связанными с возмущающим влиянием внутренних и внешних источников. Периодичности временных геомагнитных вариаций, регистрируемых на земной поверхности, определяются не только глобальной составляющей, связанной с изменением солнечной активности и, как следствие, – ионосферными и магнитосферными возмущениями, но также локальной составляющей, отражающей изменения электрических и геомеханических характеристик приповерхностных участков земной коры, таких как электропроводность, структура среды и ее напряженно-деформированное состояние [1-4].

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. Представляется естественным также предположение, что длиннопериодные геомагнитные вариации на земной поверхности могут содержать информацию о ходе геодинамических процессов как на приповерхностных участках земной коры, так и в верхних ее слоях. Одним из важных факторов, определяющих механические и электромагнитные свойства среды, а также закономерности развития геодинамических процессов, является водонасыщенность грунтов. Известно, например, что степень водонасыщенности горных пород заметно влияет на их прочностные, деформационные характеристики и определяет их механическую устойчивость в целом [5-7].

Для исследования корреляционной зависимости между геомагнитными вариациями фона и режимом подземных вод в качестве характеристики геомагнитных вариаций корректнее всего выбрать вариации

магнитного типпера, весьма чувствительного к изменениям свойств твердой среды [8-11]. Следует отметить наличие в записи геомагнитного поля различных помех, в том числе промышленных. Например, электромагнитное поле железных дорог вызывает неточности в определении магнитовариационных параметров даже при регистрации полей на расстоянии сотен километров. При расчете магнитовариационных параметров (в частности, типпера) необходимо подавлять влияние электромагнитных полей не магнитотеллурического характера. В настоящее время разработано большое количество методик, реализующих расчет магнитовариационных параметров, которые в той или иной степени подавляют помехи от источников такого характера [12].

Магнитовариационные параметры активно используются в разных регионах с различным геологическим строением для изучения динамики электропроводности [9, 13]. Особое внимание уделяется сейсмоактивным зонам. Это связано с тем, что магнитовариационные параметры откликаются на изменения геодинамических параметров земной коры и мантии.

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 и в связи с развитием и внедрением нанотехнологий.

В статье кратко рассмотрены результаты синхронной регистрации геомагнитных вариаций и уровня подземных вод безнапорного горизонта на территории Геофизической обсерватории «Михнево» ИДГ РАН (ГФО МНВ) [14, 15].

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ДАННЫЕ

В качестве исходных данных при анализе использовались цифровые ряды, полученные в результате инструментальных наблюдений за геомагнитными вариациями и режимом подземных вод на центральном участке Восточно-Европейской платформы (ГФО МНВ), расположенном в 85 км к югу от города Москвы. Координаты ГФО «Михнево»: 54,959°N; 37,766°E. Территория обсерватории удалена от крупных промышленных объектов и характеризуется относительно ненарушенными, фоновыми параметрами геофизических полей.

Измерения вариаций геомагнитного поля выполнялись в специальном стационарно оборудованном пункте (геомагнитном павильоне), что позволяет уменьшить риск записи геомагнитных вариаций не естественного происхождения (рисунок 1-а). Регистрация локальных геомагнитных вариаций проводится с использованием трехкомпонентного феррозондового магнитометра LEMI-018 (рисунок 1-б), который обеспечивает соответствующее преобразование данных, получаемых с феррозондового датчика, их обработку и накопление. Передача данных в компьютер и в дальнейшем на основной сервер ИДГ РАН осуществляется с помощью интерфейса RS-232. В качестве исходных данных для анализа вариаций привлекались цифровые ряды, сформированные с дискретностью 1 мин.



а



б

1 — магнитометр LEMI-018 (на рисунке 1-б)

Рисунок 1. Магнитный павильон в Геофизической обсерватории «Михнево»: а — общий вид; б — внутренний вид

Наблюдения за режимом безнапорного (каширского) водоносного горизонта проводятся в двух скважинах (рисунок 2), вскрывших верхнюю обвод-

ненную часть лопасненской толщи в интервале 24,9 - 26,5 м и нижнюю обводненную часть нарской толщи в интервале 43 - 56 м. Амплитуда сезонных вариаций уровня обводненной лопасненской толщи не превышает 0,8 м, нарской толщи — 2,6 м.

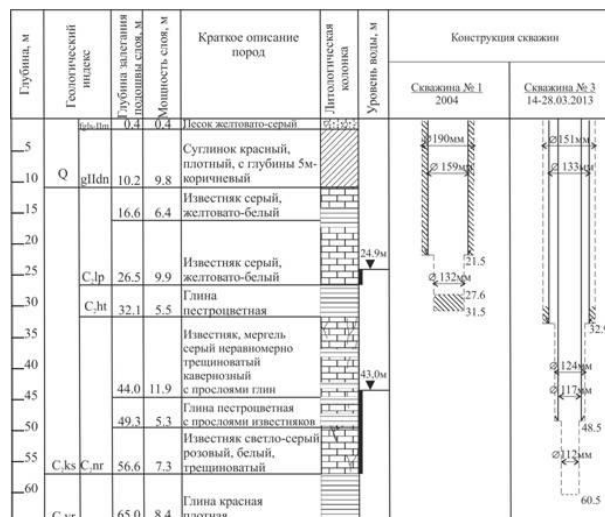


Рисунок 2. Геологический разрез и конструкция наблюдательных скважин, оборудованных на каширский безнапорный водоносный горизонт

На территории ГФО МНВ ведутся наблюдения за режимом нижнего алексинско-протвинского водоносного горизонта, вскрытого в интервале 92 - 115 м. С точки зрения изучения возможного влияния на геомагнитные вариации основной интерес представляет безнапорный водоносный горизонт, так как в этом случае вариации уровня подземных вод пропорциональны изменению мощности водопроницающего слоя, то есть, фактически — эффективной проводимости верхних участков земной коры [16, 17].

Измерения уровня подземных вод выполняются с использованием стандартных электроуровнемеров и прецизионного датчика уровня подземных вод LMP308i (Германия), обеспечивающего автоматическую регистрацию уровня воды с дискретностью 1 с и погрешностью не хуже 0,1 мм (таблица).

Для анализа использованы ряды среднесуточных значений абсолютного уровня (h) подземных вод. Результаты регистрации геофизических полей на ГФО «Михнево» размещены на сайте ИДГ РАН (idg-copmp/chph/ras/ru/~mikhnevo/data/magnet/).

Основной неотектонически активной морфоструктуры района является Приокский участок Нелидово-Рязанского шовной зоны [18]. Свидетельством его возможной активности в новейшее время является приуроченность к нему крупных эрозионных форм, в частности, долины р. Оки. Широкий спрямлённый участок долины реки Оки к востоку от г. Серпухов, с высоким правым бортом и террасированным левым, обладает морфоструктурными признаками тектонической зоны, активизированной в современном поле напряжений.

Таблица. Технические характеристики используемых средств регистрации

Параметр	Значение параметра
<i>Магнитометр LEMI-018</i>	
Количество ортогональных каналов регистрации	3
Диапазон измерений, нТл	$\pm 68\,000$
Разрешающая способность, пТл	10
Уровень шумов в диапазоне 0,03–0,3 Гц, пТл	<15 ср. кв.
Долговременный дрейф нуля, нТл/год	< ± 5
Температурный дрейф, нТл/год	< 0,2
Частота выборки, с ⁻¹	1
Объем встроенной памяти, Гб	2
Рабочий диапазон температур, °С	-20...+60
<i>Прецизионный датчик уровня подземных вод LMP308i</i>	
Диапазон давлений, бар (м.вод.ст.)	0...0,1 - 0...35 (0...1 - 0...350)
Диапазон термокомпенсации °С	- 20...+80
Рабочий диапазон температур °С	-20...+70
Частота выборки, с ⁻¹	1
Точность измерений, мм	0,1

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 и фазово-частотного критерия Валлиса-Мура) и стационарность [19]. Возможность корректного применения статистических методов обработки к временным рядам определялась с помощью оценки, выполненной в соответствии с законом Бен-форда [20, 21]. Периодичность геомагнитных вариаций анализировалась на основе результатов вейвлет-анализа данных, выполненного с помощью хорошо локализованного в k - и r -пространствах вейвлета Морле [22]:

$$\Psi(r) = \exp\{ikr\} \exp\left\{-\frac{r^2}{2}\right\},$$

$$\hat{\Psi}(r) = \theta(k) \exp\left\{-\frac{(k-k_0)^2}{2}\right\},$$

где k_0 – порядок вейвлета.

В качестве характеристики геомагнитных вариаций в настоящей работе рассматривается связь между вариациями вертикального и горизонтального магнитного поля в виде индукционной матрицы или магнитный типпер. При этом учитывается, что данный параметр отражает наличие геоэлектрических неоднородностей (в частности, величину электрической проводимости верхних участков земной коры), весьма чувствителен к изменениям свойств земной коры, что позволяет использовать его в качестве ин-

дикатора изменений структуры земной коры, напряженно-деформированного состояния, а также режимов протекающих в ней геодинамических процессов [8-11].

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

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

Величины W_{zx} и W_{zy} 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 и выполнять подавление помех, связанных с шумами различного происхождения, а также производить корректную робастную оценку типпера с учетом только магнитотеллурических источников его вариаций [23].

АНАЛИЗ ПЕРИОДИЧНОСТЕЙ ГЕОМАГНИТНЫХ ВАРИАЦИЙ

Имеющиеся данные [1-3, 24] 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. Известны и другие низкоамплитудные (0,1–10 нТл) короткопериодные геомагнитные пульсации, например, Pc и Pi – с периодами от 0,2 до 600 с, вызываемые ионно-циклотронными и гидромагнитными волнами в магнитосфере Земли. В данной работе анализировались локальные длиннопериодные геомагнитные вариации с периодами $T \geq 0,5$ сут. Полученные данные свидетельствуют о сложном характере геомагнитных вариаций, зарегистрированных на ГФО «Михнево». На рисунке 3 приведен пример результатов вейвлет-анализа геомагнитных вариаций за февраль-август 2011 г.

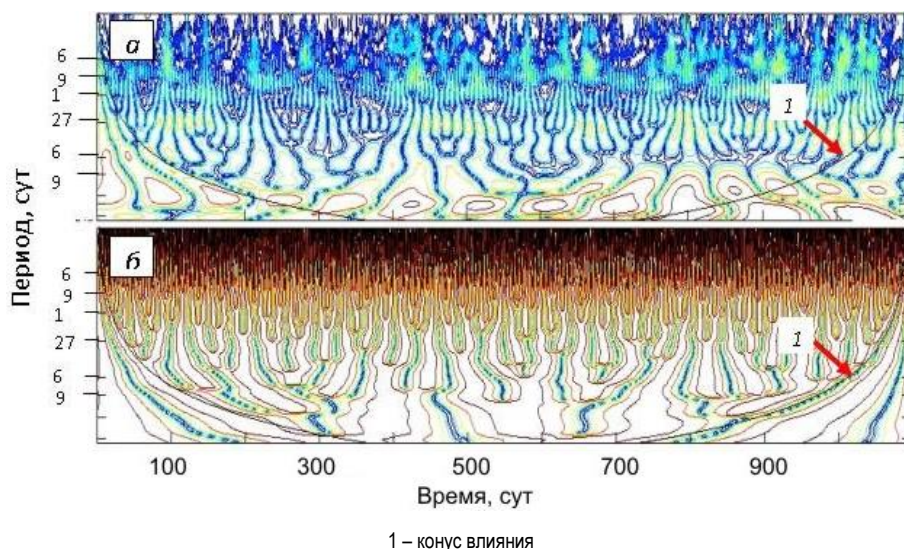
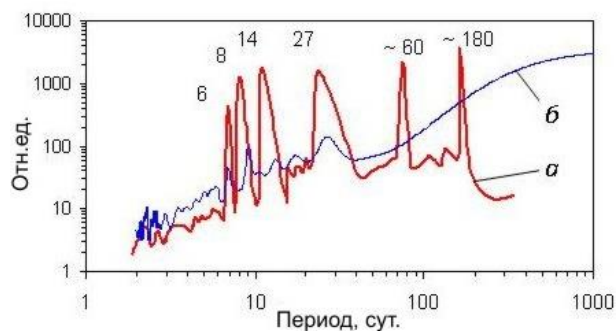


Рисунок 3. Результаты вейвлет-анализа горизонтальной компоненты B_x геомагнитных вариаций, зарегистрированных на ГФО МНУ за период 2010 – 2012 гг.: а – амплитуда, б – фаза

Из скалограммы на рисунке 3 видно, что в вариациях магнитного поля Земли выделяется несколько хорошо выраженных периодичностей. Полная обработка данных показала, 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 180 сут. (рисунок 4).

На рисунке 5 приведена скалограмма геомагнитных вариаций, зарегистрированных в ГФО МНУ за период февраль-август 2011 г. Из рисунка 5 видно, что вейвлет-спектры существенно более отчетливо выделяют периодичности по сравнению со спектром Фурье, традиционно привлекаемым для анализа данных. Следует отметить, что периодичности геомагнитных вариаций имеют спорадический характер.



Цифры в поле рисунка – характерные значения периодов
Рисунок 4. Результаты вейвлет-анализа геомагнитных вариаций: а – глобальный вейвлет-спектр; б – спектр Фурье

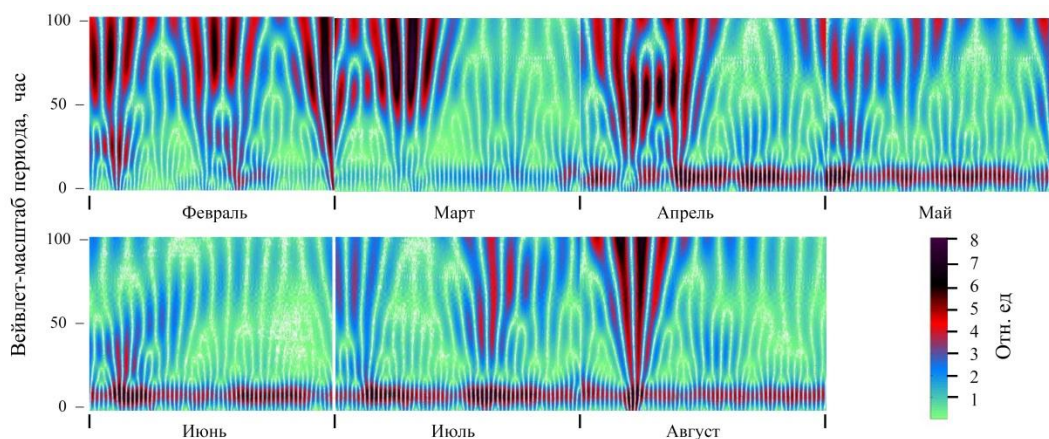


Рисунок 5. Скалограмма геомагнитных вариаций, зарегистрированных ГФО МНУ за период февраль–август 2011 г.

Как видно из рисунка 5, временные интервалы, когда наблюдаются ярко выраженные периодичности геомагнитных вариаций, сменяются периодами спада амплитуды вариаций и даже полным отсутствием некоторых из установленных периодичностей. Так, например, на рисунке 5 вариации с периодом 6–8 сут. отчетливо проявляются в феврале – первой половине марта, в 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, в первой половине мая и полностью отсутствуют в июне и во второй половине августа. Установленная особенность вариаций представляет несомненный интерес для 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 рисунке 6 фрагмент скалограммы иллюстрирует иерархическую структуру анализируемого множества. Хорошо просматриваются линии локальных максимумов. Каж-

дый 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 [22].

Многообразие возможных источников, влияющих на локальное магнитное поле, приводит к тому, что геомагнитные вариации в разных частотных диапазонах могут иметь индивидуальные особенности. По этой причине, а также с целью установления источников возмущений необходимо анализировать изменение во времени отдельных спектральных составляющих геомагнитных вариаций. При этом особый интерес вызывают их периодические вариации. Изменение амплитуды отдельных спектральных составляющих хорошо демонстрирует пример на рисунках 7 и 8, где приведены соответственно временные вариации спектральных составляющих с периодами 1, 14 и 28 сут. за 2011–2012 гг., а также огибающая вариаций спектральной составляющей с околосуточным периодом.

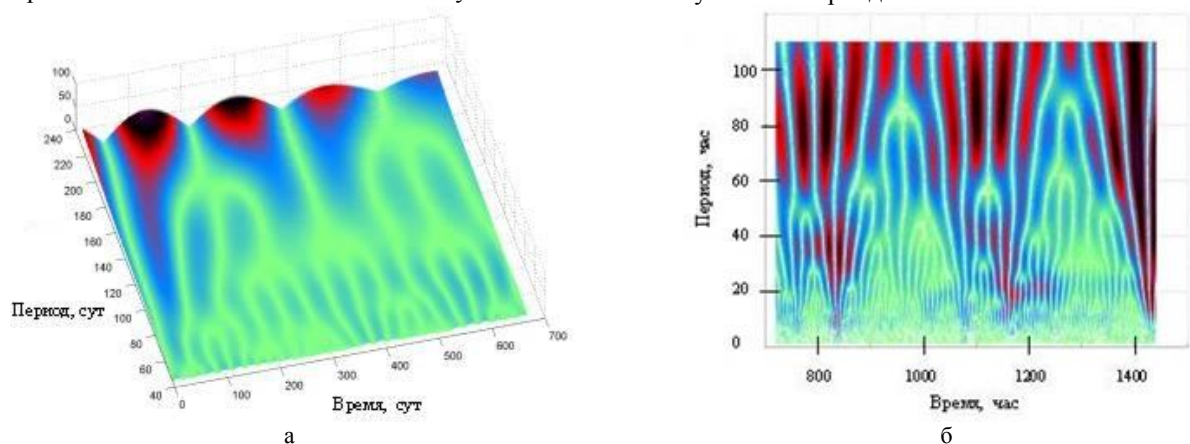


Рисунок 6. Скалограммы геомагнитных вариаций за 2011 – 2012 гг. в интервале периодов: (а) 60 – 240 сут. (за февраль 2011 г.); (б) 0,5 – 110 сут.

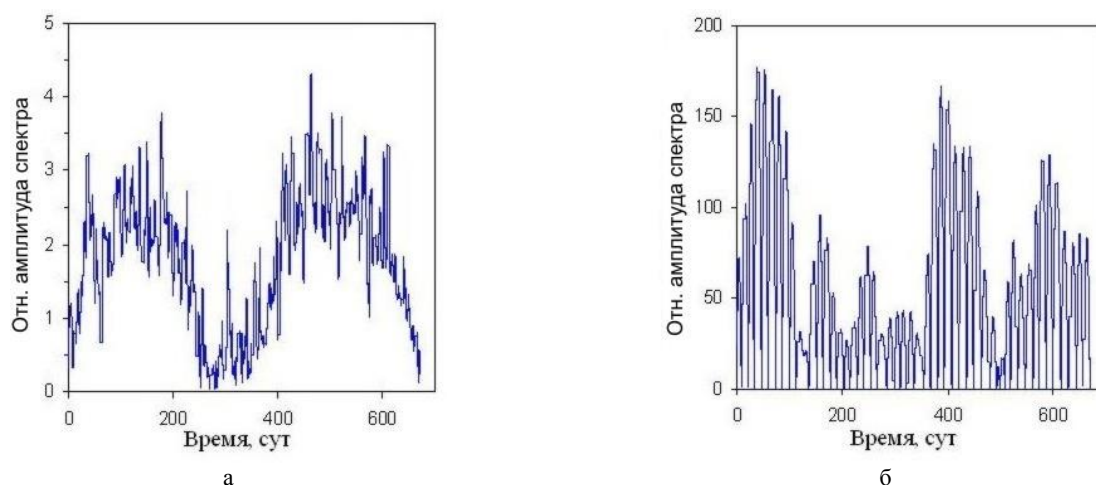


Рисунок 7. Модуль спектральных составляющих геомагнитных вариаций с периодами: а – 1 сутки; б – 27 суток

Все вышерассмотренные 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 МНВ особенности геомагнитных вариаций позволяют предполагать, что таковые, скорее всего, являются характерными для средних широт, т.е. можно ожидать, что спорадический и скейлинговый характер геомагнитных вариаций прослеживается и в других районах, расположенных в пределах средних широт.

ПЕРИОДИЧНОСТИ ВАРИАЦИЙ УРОВНЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

На рисунке 9 приведены результаты регистрации среднесуточных значений уровня безнапорного каширского водоносного горизонта (лопасненская толща) в скважине на ГФО МНВ за период 2009 – 2013 гг.

Отмечена хорошо выраженная годовая цикличность вариаций уровня этого водоносного горизонта (рисунк 10).

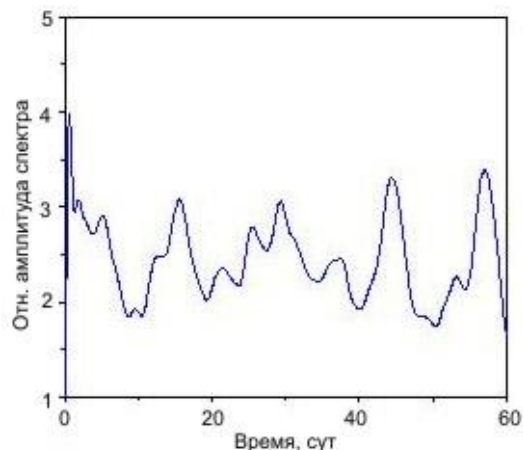


Рисунок 8. Огибающая спектральной составляющей геомагнитных вариаций с периодом 1 сутки

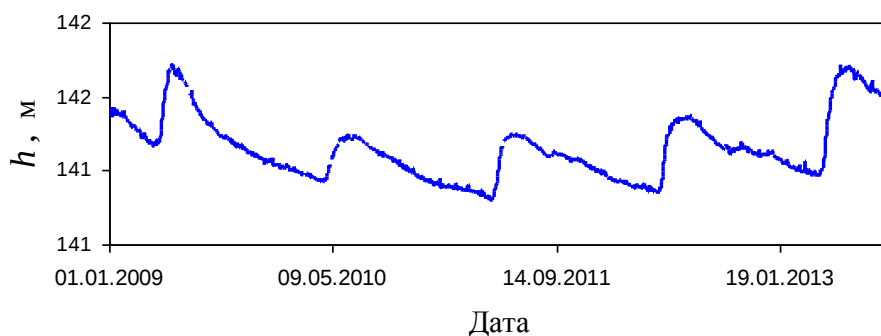


Рисунок 9. Изменение уровня безнапорного каширского водоносного горизонта (абс.отм., м)

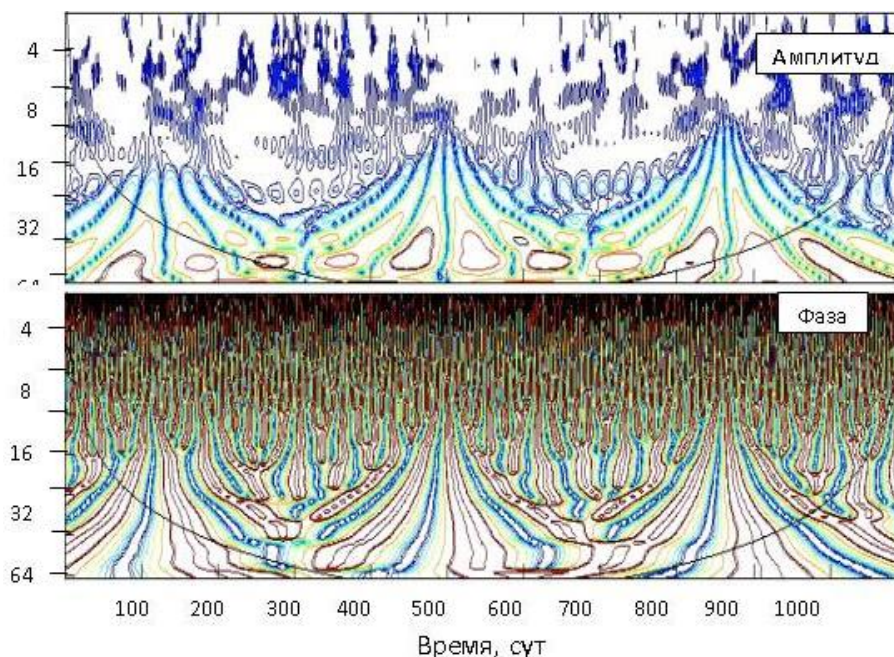


Рисунок 10. Результаты вейвлет-анализа вариаций уровня подземных вод за период 2010 – 2012 гг.

Амплитуда сезонных вариаций зависит от водности предшествующего года. Минимальные значения уровня безнапорного каширского водоносного горизонта в 2011 г. обусловлены засушливым летом 2010 г. Область питания верхнего безнапорного каширского водоносного горизонта приурочена к водоразделам, в пределах которых преобладают режимы нисходящей фильтрации. Разгрузка подземных вод осуществляется в долинах эрозионной сети [16].

Наряду с сезонными отчетливо выделяются периодичности с периодами 7; 8; 9,5; ~ 14; ~ 60 и ~ 120 сут. (рисунок 11).

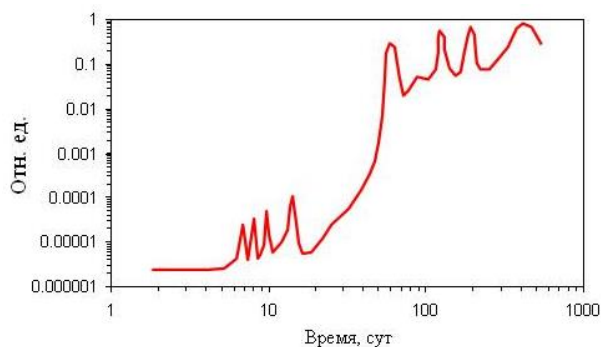


Рисунок 11. Периодограмма вариаций уровня подземных вод безнапорного горизонта

КОРРЕЛЯЦИЯ ГЕОМАГНИТНЫХ ВАРИАЦИЙ С ИЗМЕНЕНИЕМ УРОВНЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД БЕЗНАПОРНОГО ГОРИЗОНТА

На рисунке 12 приведены вычисленные вариации амплитуды магнитного типпера, а также сезонные изменения уровня подземных вод безнапорного каширского водоносного горизонта.

Из рисунка 12 следует, что имеется синхронность в вариациях магнитного типпера и уровня подземных вод. Оценка тесноты (силы) связи между двумя рядами данных проведена путем вычисления коэффициента линейной корреляции Пирсона (K_L), коэффициентов ранговой корреляции Спирмена (K_C) и Кендалла (K_K) [25]. Результаты расчета коэффициента линейной корреляции Пирсона ($K_L = 0,85$) сви-

детельствуют о наличии тесной тесной ($|r| > 0,93$) линейной корреляционной связи между магнитным типпером и уровнем подземных вод. Генеральный коэффициент корреляции с вероятностью 99% лежит в интервале $0,935 < \rho < 0,987$. При использовании коэффициентов ранговой корреляции было установлено, что коэффициенты корреляции Спирмена и Кендалла составили 0,95 и 0,78, соответственно. При использовании критерия Стьюдента было обнаружено, что эмпирические значения для коэффициентов корреляции Спирмена и Пирсона попадают в критическую область, что подтверждает нулевую гипотезу о значительной корреляционной зависимости между вариациями магнитного типпера и уровнем подземных вод.

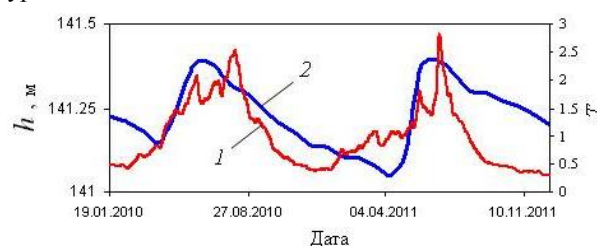
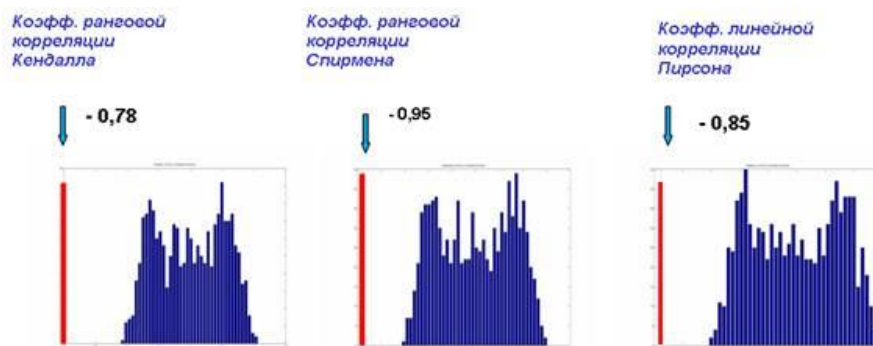


Рисунок 12. Сопоставление вариаций магнитного типпера (1) и уровня подземных вод (2) на ГФО МНВ

С целью проверки возможной функциональной взаимосвязи между вариациями магнитного типпера и уровня подземных вод (и одновременно – подтверждения статистической значимости корреляционного соотношения между вариациями h и T) выполнено сравнение коэффициентов корреляции между суррогатными рядами данных, сформированных из исходных (оригинальных) временных рядов на основе рандомизации их фазовых спектров [26] и полученными значениями K_L , K_C и K_K . Результаты вычисления коэффициентов корреляции приведены на рисунке 13 в виде гистограмм (количество реализаций с фиксированным коэффициентом корреляции при количестве итераций $N = 1000$).



Синий цвет – вероятности (количество реализаций из общего числа $N = 1000$ случайно сформированных рядов данных)

Рисунок 13. Результаты оценки тесноты корреляционной зависимости и неслучайности между магнитным типпером и уровнем подземных вод

Коэффициенты корреляции K_L , K_C и K_K , вычисленные для оригинальных рядов данных, также представлены в поле рисунка. В рассматриваемом случае коэффициенты корреляции исходных рядов не попадают в интервал значений, соответствующих построенным случайным гистограммам, что свидетельствует не только о значимой корреляции, но также о взаимной функциональной связи между уровнем подземных вод в безнапорном горизонте и магнитным типпером.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате сравнения сезонных вариаций гидрогеологического режима и годовой цикличности геомагнитных вариаций показана значимая корреля-

ция 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 существенной и более сложной в регионах с другими гидрогеологическими режимами подземных вод.

Исследования выполнены по Программе 7 Отделения наук о Земле РАН «Интеллектуальный анализ геофизических данных, геоинформатика и математическая геофизика» при поддержке РФФИ (грант 14-05-00073-а).

ЛИТЕРАТУРА

1. Адушкин, В.В. Физические поля в приповерхностной геофизике / В.В. Адушкин, А.А. Спивак. - М.: ГЕОС, 2014. - 360 с.
2. Колесник, А.Г. Электромагнитная экология / А.Г. Колесник, С.А. Колесник, С.В. Побаченко. - Томск: ТМЛ-пресс, 2009. - 336 с.
3. Атлас временных вариаций природных процессов, 1994. - Т. 1. - М.: ОИФЗ РАН. - 176 с.
4. Экология человека в изменяющемся мире / Колл. авторов. - Екатеринбург: УрО РАН, 2006. - 570 с.
5. Адушкин, В.В. Подземные взрывы / В.В. Адушкин, А.А. Спивак. - М.: Наука, 2007. - 579 с.
6. Флюиды и геодинамика: материалы. Всерос. симпозиума "Глубинные флюиды и геодинамика" (Москва, 19-21 нояб. 2003 г.) / Отв. ред. Ю.Г. Леонов, И.Г. Киссин. - М.: Наука, 2006. - 283 с.
7. Merifield, P.M., Lamar D.L. Possible strain events reflected in water levels in wells along San Jacinto fault zone, Southern California / P.M. Merifield, D.L. Lamar // PAGEOPH, 1985. - Vol. 122. - pp. 245-254.
8. Бердичевский, М.Н. Магнитовариационное зондирование: новые возможности / М.Н. Бердичевский [и др.] // Физика Земли, 2003. - № 9. - С. 3-30.
9. Labson, V.F. Natural field and very low-frequency tipper profile interpretation on contacts / V.F. Labson, A. Becker // Geophysics, 1987. - Vol. 52, No. 12. - pp. 1697-1707.
10. Naidu, G.D. Deep crustal structure of the Son-Narmada-Tapti lineament, central India. - Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2012. - 147 p.
11. Vozoff, K. The magnetotelluric method in the exploration of sedimentary basins / K. Vozoff // Geophysics, 1972. - No.1, Vol. 37. - pp. 98-141.
12. Жданов М.С., Электроразведка. - М.: Недра, 1986. - 316 с.
13. Мороз Ю.Ф., Смирнов С.Э., Мороз Т.А. Результаты мониторинга вариаций геомагнитного поля на Камчатке / Ю.Ф. Мороз, С.Э. Смирнов, Т.А. Мороз // Физика Земли, 2006. - № 3. - С. 49-56.
14. Адушкин, В.В. Синхронные вариации магнитного поля земли и уровня подземных вод // В.В. Адушкин [и др.] // Доклады академии наук, 2013. - Т. 449, № 5. - С. 579-581.
15. Адушкин, В.В. Особенности геомагнитных вариаций в центральной части Восточно-Европейской платформы / В.В. Адушкин, А.А. Спивак, В.А. Харламов // Физика Земли, 2014. - № 2. - С. 66-72.
16. Горбунова, Э.М. Гидрогеологическое районирование Приокского участка Нелидово-Рязанской шовной зоны / Э.М. Горбунова // Динамические процессы в системе внутренних и внешних взаимодействующих геосфер // М.: ГЕОС, 2005. - С. 134-141.
17. Санина, И.А. Вариации амплитудно-частотных характеристик волнового поля в зависимости от изменения гидрогеологического режима / И.А. Санина [и др.] // Геофизика межгеосферных взаимодействий. - М.: ГЕОС, 2008. - С. 50-57.
18. Иванченко, Г.Н. О геоморфологических признаках неотектонической активности Приокского участка Нелидово-Рязанской шовной зоны / Г.Н. Иванченко // Геофизические процессы в нижних и верхних оболочках Земли. Сборник трудов ИДГ РАН. - Москва, 2003. - Кн.1. - С. 119-129.
19. Закс, Л. Статистическое оценивание / Л. Закс. - М.: Статистика, 1976. - 598 с.
20. Berger, A. A basic theory of Benford's law / A. Berger // Probability Surveys, 2011. - Vol. 8, No. 1. - P. 1-126. ISSN: 1549-5787. Doi: 10.1214/11-PS175.
21. Durtisch, C. The effective use of Benford's law to assist in detecting fraud in accounting data / C. Durtisch, W. Hillison, C. Pacini // J. of Forensic Accounting, 2004. - Vol. 5. - P. 17-34.
22. Астафьева, Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения / Н.М. Астафьева // Успехи физических наук, 1996. - Т. 166, № 11. - С. 1145-1170.
23. Larsen, J.C. Transfer functions: smooth robust estimates by least-squares and remote reference methods / J.C. Larsen // Geophys. J., 1989. - Vol. 99. - P. 645-663.
24. Мороз, Ю.Ф. Результаты мониторинга вариаций геомагнитного поля на обсерваториях "Магадан" и "Паратунка" / Ю.Ф. Мороз, Т.А. Мороз, С.Э. Смирнов // Физика Земли, 2011. - № 8. - С. 49-61.

25. Кендэлл, М. Ранговые корреляции / М Кендэлл. - М.:Статистика, 1975. – 598 с.
26. Middleton, G.V. Data analysis in the Earth sciences using MatLab. - New-Jersey: Prentice Hall Upper Saddle River, 2000. – 246 p.

ЖЕР БЕТІНДЕГІ ГЕОМАГНИТТІ ТҮРЛЕНДІРМЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ЖЕР АСТЫ СУЛАРЫНЫҢ ДИНАМИКАСЫМЕН БАЙЛАНЫСЫ

Спивак А.А., Рябова С.А., Горбунова Э.М.

РФА Геосфера динамикасы институты, Москва, Ресей

Ұзақ мерзімді жергілікті геомагнитті түрлендірмелер мен 2010-2011ж.ж. РФА ГДИ (54,960N; 37,7740E) «Михнево» геофизикалық обсерваториясының аумағында тіркелген, су сорғыш жиегінің қысымсыз деңгейінің бірлескен талдауының нәтижелері келтірілген. Жердің магнитті өрісінің жергілікті бір түсті түрлендірмелерінің негізгі мерзімділігі анықталды. Күннің, өзінің айналу білігін айналуы мерзімділігімен туғызылған, 27 – 29 тәулік түрлендірмелерімен қатар, мынадай мерзімдер де тіркелді - ~ 1; 6 – 8; 13 – 14; 57 – 60 тәулік және бір жылға тауяу. Бір түсті түрлендірмелердің мерзімділіктері тұрақты және кездейсоқ сипатта болады. Геомагнитті түрлендірмелердің жеке спектрлік құрамдарының уақыт ішінде өзгерулерінің ерекшеліктері анықталды. Жер асты сулары деңгейінің мезгілдік түрлендірмелерінің жылдық кезеңділігі бақыланды. Гидрогеологиялық режимнің және геомагниттік түрлендірмелердің жылдық кезеңділігін салыстыру нәтижесінде магнитті типпермен ұсынылған, тапсыратын қызметінің мезгілдік түрлендірмелерімен және қысымсыз жиектегі жер асты сулары деңгейінің өзгеруі арасындағы маңызды арақатынастық көрсетілген.

GEOMAGNETIC VARIATIONS ON THE EARTH SURFACE AND ITS CONNECTION WITH UNDERGROUND WATER DYNAMICS

A.A. Spivak, S.A. Ryabova, E.M. Gorbyunova

Institute of Geosphere Dynamics RAS, Moscow, Russia

The results of joint analysis of local long period geomagnetic variations and the level of water-table aquifer recorded on the territory of the Geophysical Observatory “Mikhnevo” IGD RAS (54,960N; 37,7740E) for the period 2010-2011 are shown. The main recurrences of local background variations of the Earth magnetic field were determined. Along with variations 27 – 29 days caused by the Sun revolve around its axis, the periods ~ 1; 6 – 8; 13 – 14; 57 – 60 days and about 1 year were also recorded. It is shown that recurrence of background variations have regular and sporadic manner. The features of temporal variations of individual spectral components of geomagnetic variations were determined. The annual cyclicity of seasonal variations of underground water level was observed. The results of comparison of annual cyclicity of hydrogeological mode and geomagnetic variations show the significant correlation between seasonal variations of response function represented by magnetic tipper and underground water level change in free-flow level.