

## Годовые, 11-летние и аперiodические вариации вектора индукции на 8 обсерваториях сети Intermagnet

© В. И. Бабак<sup>1</sup>, И. И. Рокитянский<sup>1</sup>, Е. Ю. Соколова<sup>2, 3</sup>, А. В. Терешин<sup>1</sup>, 2017

<sup>1</sup>Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

<sup>2</sup>Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup>Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

Поступила 18 сентября 2016 г.

Виконано великий обсяг обробки геомагнітних даних за 1991—2014 рр. обсерваторій мережі Intermagne, отримано часові ряди компонент вектора індукції з дискретністю один місяць. Наведено результати обробки даних восьми обсерваторій, розташованих у різних частинах земної кулі. Для них показано графіки варіацій щомісячних значень компонент вектора індукції для чотирьох інтервалів періодів з діапазону 5—60 хв. Виявлено періодичні зміни оцінок компонент вектора (від піврічних до 11-річних), а також тренди. Після 2007 р. помітною є тенденція збільшення річних варіацій. Найінтенсивніші варіації зафіксовано на високих геомагнітних широтах і в приекваторіальній зоні, у середніх широтах вони мінімальні. На характер варіацій впливають як глобальні, так і регіональні/локальні чинники. Вивчення цих періодичних змін може дати унікальні відомості про речовину і структурні особливості земних надр. За даними польських обсерваторій з 2008 р. виділено тривалу аперіодичну варіацію, виявлення природи якої потребує подальших досліджень.

**Ключові слова:** електромагнітні функції відгуку, вектори індукції, періодичні варіації векторів індукції, провісники землетрусів.

**Введение.** Вращательные движения, в которых участвует (или в поле которых находится) Земля, характеризуются набором периодичностей. Главными из них являются сутки, месяц, год, солнечные циклы, конфигурации планет, оказывающие наибольшее воздействие на различные земные явления. Изучение этих периодичностей, особенно тех, которые влияют на эндогенные, недоступные для прямого наблюдения, планетарные процессы, может дать уникальные сведения о веществе и структурных особенностях земных недр.

Периодичности в переменном геомагнитном поле известны и изучаются давно. Для их изучения используются длительные наблюдения сети геомагнитных обсерваторий, а также перманентные наблюдения на немногочисленных геодинамических полигонах, как правило, расположенных в сейсмически опасных регионах. Общедоступные геомагнитные данные содержит сеть Intermagnet, в которую сейчас входит около 150 обсерваторий, число которых постепенно увеличивается. Данные Intermagnet начинаются с 1991 г. для 38 обсерваторий и по их

26-летним рядам уже можно проводить исследования периодичностей солнечного цикла, годовых вариаций и их гармоник.

По временным вариациям геомагнитного/магнитотеллурического полей можно вести мониторинг изменений глубинной электропроводности Земли (геоэлектрический мониторинг). Он осуществляется путем слежения изменений во времени функций отклика *RF*, *response functions* (импеданс, кажущееся сопротивление, вектор индукции *C*, магнитный тензор), описывающих линейную связь отдельных компонент электромагнитного поля в спектральной области и своей частотной зависимостью выражающих изменения электропроводности с глубиной. Более подробно основы метода функций отклика *RF* (в локальном варианте, а также с использованием наблюдений в удаленной базе *rr*, *remote reference*) и результаты его применения изложены, например, в [Varentsov et al., 2005 а, б; Sokolova et al., 2005] и, применительно к анализу временных вариаций *RF*, в наших предыдущих публикациях [Бабак и др., 2013; Рокитянский и др., 2013; 2015 а, б].

Следует отметить, что записи большей части обсерваторий, кроме "полезного" магнитотеллурического (МТ) сигнала, содержат помехи иногда более интенсивные, чем полезный сигнал. Это означает, что часть наблюдаемых вариаций RF не связана с изменением электропроводности земных слоев, а вызывается некоторыми другими явлениями, в первую очередь — индустриальными шумами и неоднородностью первичного поля (внешнего геомагнитного возбуждения). Эти факторы являются помехами при геоэлектрическом мониторинге, их необходимо учитывать и исключать, что является непростой задачей. Для надежного построения истинных (отражающих характер изменения электропроводности с глубиной) функций отклика по зашумленным данным большое значение имеет выбор адекватного алгоритма обработки рядов геомагнитных наблюдений и его программная реализация. Наиболее часто в этих целях используется метода *remote reference* в его различных современных модификациях. Однако ввиду значительного расстояния между обсерваториями Intermagnet применение техники удаленной точки *rr* малоэффективно (за исключением исследований в центральной Европе, где имеется более густая сеть геомагнитных обсерваторий).

Особый интерес представляют мало изученные периодические вариации RF, которые на сегодня еще не могут быть полностью объяснены ни за счет влияния помех и специфики геомагнитной активности, ни за счет изменений глубинной электропроводности. Мы предполагаем, что они могут содержать важную информацию о строении и динамике земных недр как планетарного, так и регионального/локального масштаба. Выделение подобных вариаций и длительных аперiodических явлений на их фоне, а также изучение пространственных и амплитудно-частотных характеристик периодичностей является целью наших настоящих и будущих исследований, результаты которых будут освещены в данной и последующих публикациях.

**О методике исследования.** Метод RF-мониторинга предполагает трансформацию временных рядов компонент электромагнитного (ЭМ) поля (запись последовательности измерений с шагом дискретизации  $\Delta t$ ) в набор зависящих от частоты (периода  $T$ ) оценок компонент функций отклика, полученных на серии последовательных отрезков записи, длиной  $\Delta \tau$  каждый ( $\Delta \tau \gg \Delta t$ ). Нами использовался наиболее распространенный подход при мониторинге дан-

ных геомагнитных обсерваторий — анализ последовательности оценок вектора индукции  $\mathbf{C}(T)$ , строящегося по коэффициентам линейных связей вертикальной и горизонтальной компонент магнитного поля и определяемого через действительный (in phase) вектор  $\mathbf{C}_u$ :

$$\mathbf{C}_u = A_u \mathbf{e}_x + B_u \mathbf{e}_y,$$

с северной компонентой  $A_u$  и восточной  $B_u$ , и мнимый (out of phase) вектор  $\mathbf{C}_v$ :

$$\mathbf{C}_v = A_v \mathbf{e}_x + B_v \mathbf{e}_y,$$

с северной компонентой  $A_v$  и восточной  $B_v$ .

Все четыре компоненты (или два вектора) определялись для набора периодов  $T_1, T_2, \dots, T_n$ , причем ( $\Delta t \ll T_i \ll \Delta \tau$ ). При этом использовалась технология [Климкович, 2009] в локальной (одноточечной) схеме оценивания RF. Таким образом для каждой обсерватории были построены  $4n$  временные ряды, состоящие из оценок компонент вектора индукции, с дискретностью  $\Delta \tau = 1$  сутки и длительностью за все выбранные годы мониторинга.

Для идентификации вносимых помехами искажений в оценки  $\mathbf{C}(T)$  и их нейтрализации выполнялся анализ когерентностей и спектров входных сигналов. Для уменьшения вклада помех результаты ежесуточных определений вектора индукции усреднялись за месяц, что уменьшало разрешающую способность метода и исключало на данном этапе исследование месячных периодичностей. Однако этот прием существенно стабилизировал оценки, используемые для дальнейшего анализа.

**Фрагменты истории исследования годовых (или сезонных) вариаций (ГВ).** Временные вариации RF активно изучались, главным образом, как возможные предвестники землетрясений (ЗТ) с середины XX в., при этом сезонные вариации наблюдались, но внимание на них не заострялось. Из рассмотренных работ первым о них пишет Шираки [Shiraki, 1980]. По данным обсерватории Какиока (КАК) с 1976 по 1978 гг.  $A_u$  и  $B_u$  увеличиваются летом, тогда как  $A_v$  и  $B_v$  зимой. Автор отмечает, что причиной могут быть как хорошо известные сезонные вариации геомагнитной возмущенности, так и годовые вариации электропроводности Земли.

По данным обсерватории Какиока (КАК) построен наиболее длинный ряд определений вектора индукции. С 1976 г. данные КАК оцифрованы (ежеминутные отсчеты) и стали доступны для обработки современными программами. Годовая вариация (ГВ) стабильно и четко видна на компонентах  $A_u$  и  $A_v$  (двойная амплиту-

да  $\approx 0,03—0,04$ ). На  $B_v$  и, особенно,  $B_u$  она появляется спорадически и нечетко, но в 2009—2010 гг. на  $B_v$  наблюдался резкий всплеск амплитуды ГВ до 0,05, который появился на фоне вариаций менее 0,02. Этот всплеск можно рассматривать как среднесрочный предвестник землетрясения Тохоку [Rokityansky et al., 2014].

В работе [Fujiwara, 1996] представлены вариации RF на четырех (в радиусе  $\approx 100$  км) близко расположенных обсерваториях MZS, KAK, ТКВ и KNZ за 1989—1992 гг. Наблюдается высокая синхронность всех вариаций, включая ГВ, на всех четырех обсерваториях на длинных периодах 128, 64 и 32 мин. На более коротких периодах вариабельность вектора индукции уменьшается и достигает уровня погрешности определения RF.

Годовые вариации по результатам примерно трехлетних наблюдений представлены в работе [Мороз и др., 2006] для обсерватории Паратунка на Камчатке и работе [Rokityansky et al., 2012] для трех центрально-европейских обсерваторий Дымер (KIV), Сурлари (SUA), Нижнее Селище. В Паратунке ГВ изменяется при изменении периода: около 0,03 при  $T = 6000$  с, менее 0,01 при  $T = 1000 + 3000$  с, и около 0,03 при  $T = 250$  с. При этом направление вектора изменилось на 75 град. Во второй работе показана относительная локальность ГВ: в KIV и SUA (первая на 730 км севернее второй) годовая ва-

риация достигает 0,2 и 0,1 соответственно, а в Нижнем Селище, расположенном почти между первыми двумя, ГВ выражена слабо. В KIV ГВ максимальна в северной компоненте на наиболее длинных периодах. В SUA она максимальна на коротких периодах в действительных компонентах с переходом на больших периодах на мнимую компоненту. Эти данные показывают сложность формирования ГВ и подводят к предположению о том, что в их формировании принимают участие разномасштабные факторы от глобальных до региональных и локальных.

**Результаты обработки.** Для понимания закономерностей периодических вариаций необходимы длительные многолетние ряды векторов индукции во многих пунктах по всему земному шару, а также региональная и локальная детализация наблюдений. Представим первые результаты, полученные по данным глобальной сети Intermagnet на восьми обсерваториях (рис. 1), которые выбраны по следующим критериям: главный критерий — наличие четко выраженных ГВ, желательное наличие полугодовых и 11-летних вариаций. На рис. 2 представлены вариации всех компонент вектора индукции на четырех периодах, на которых погрешность определения компонент, как правило, не превышала 0,01—0,02, что позволяет считать периодические вариации такой и большей амплитуды установленными достоверно.

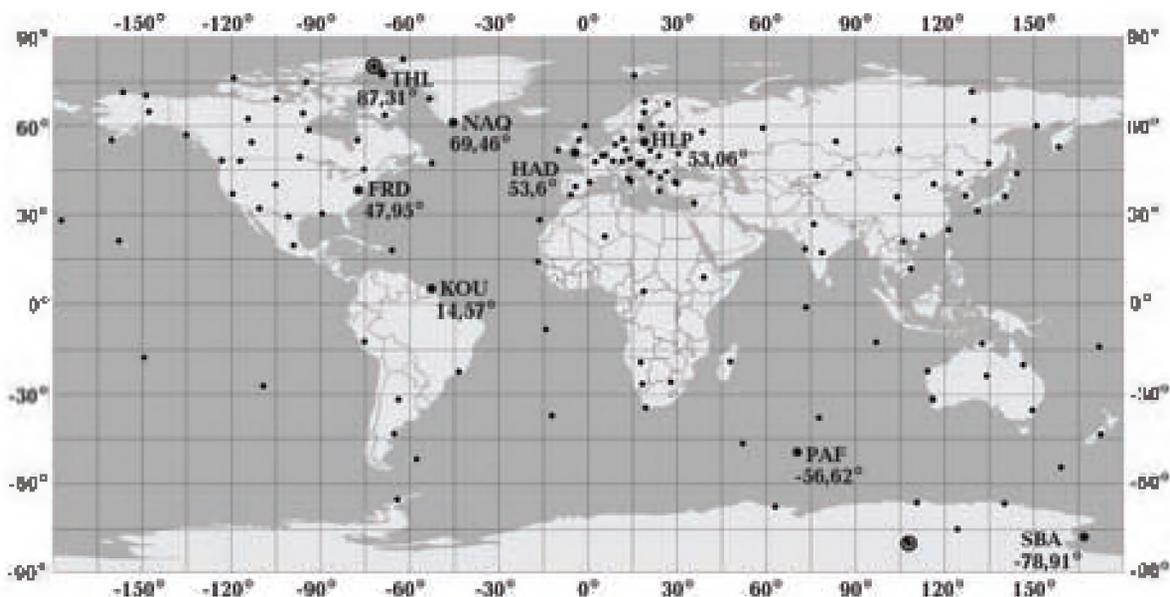


Рис. 1. Обсерватории сети Intermagnet (малые точки) и восемь отобранных обсерваторий (большие точки) с их кодовым названием и геомагнитной широтой. Кружки с точкой в центре — геомагнитные полюса для эпохи 2010 г.

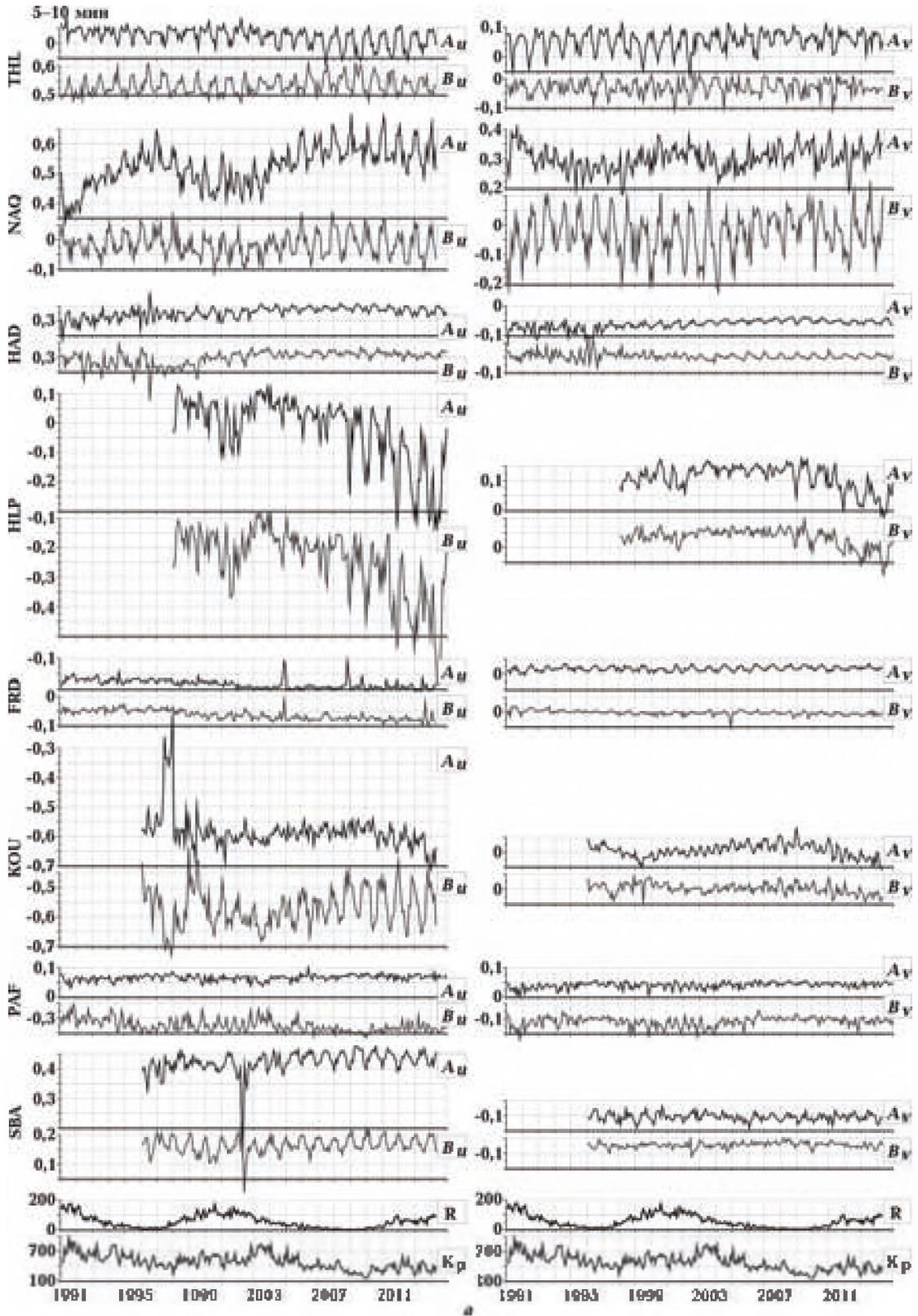
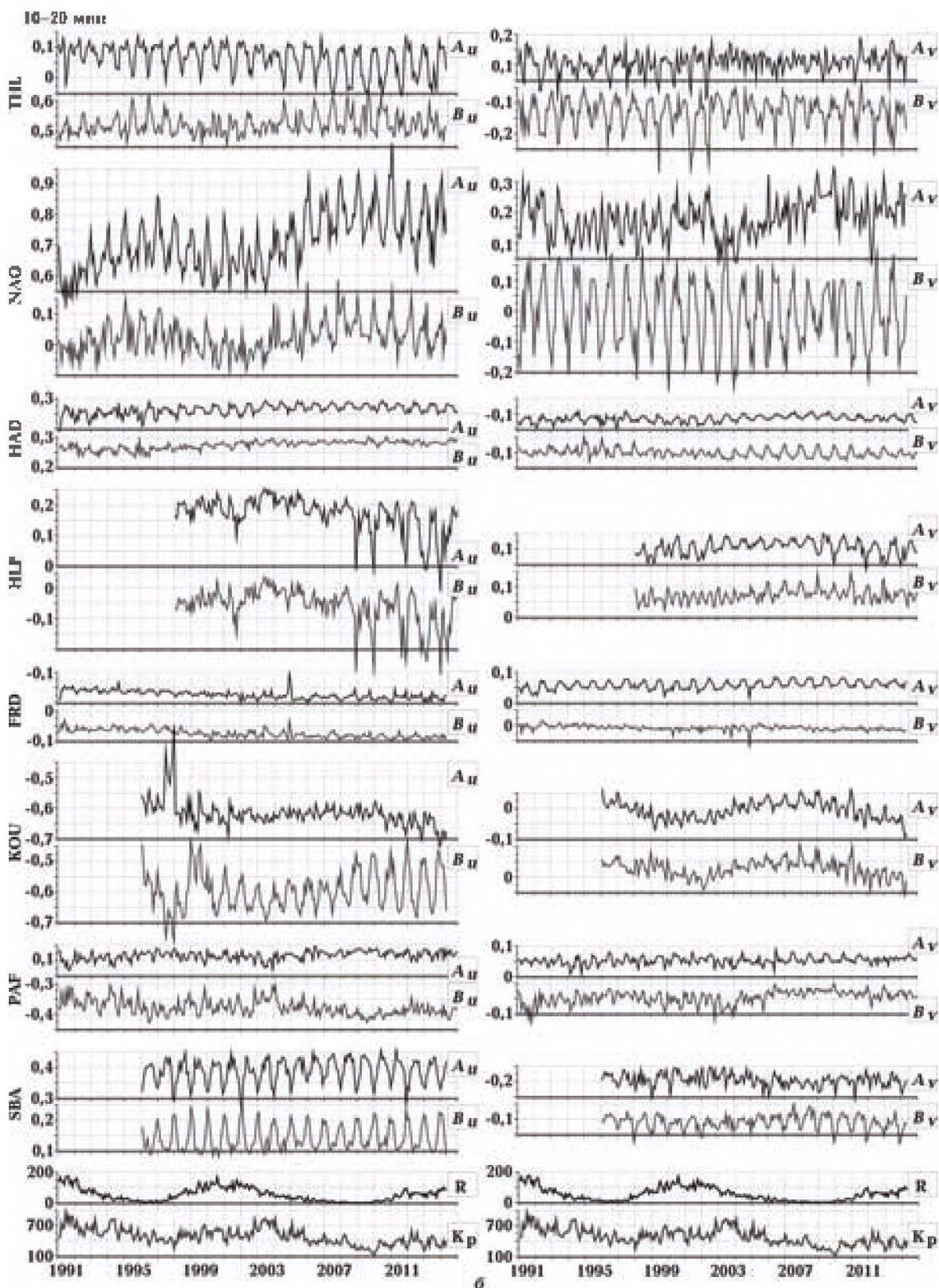


Рис. 2. Среднемесячные значения северных реальной  $A_u$  и мнимой  $A_v$ , а также восточных реальной  $B_u$  и мнимой  $B_v$  компонент векторов индукции на восьми обсерваториях для интервала пе-



риодов 5—10 (а), 10—20 (б), 20—40 (в), 40—60 мин (г) за все годы представленных в Intermagnet наблюдений. Внизу приведены графики индекса солнечной активности R и геомагнитной активности  $K_p$ .

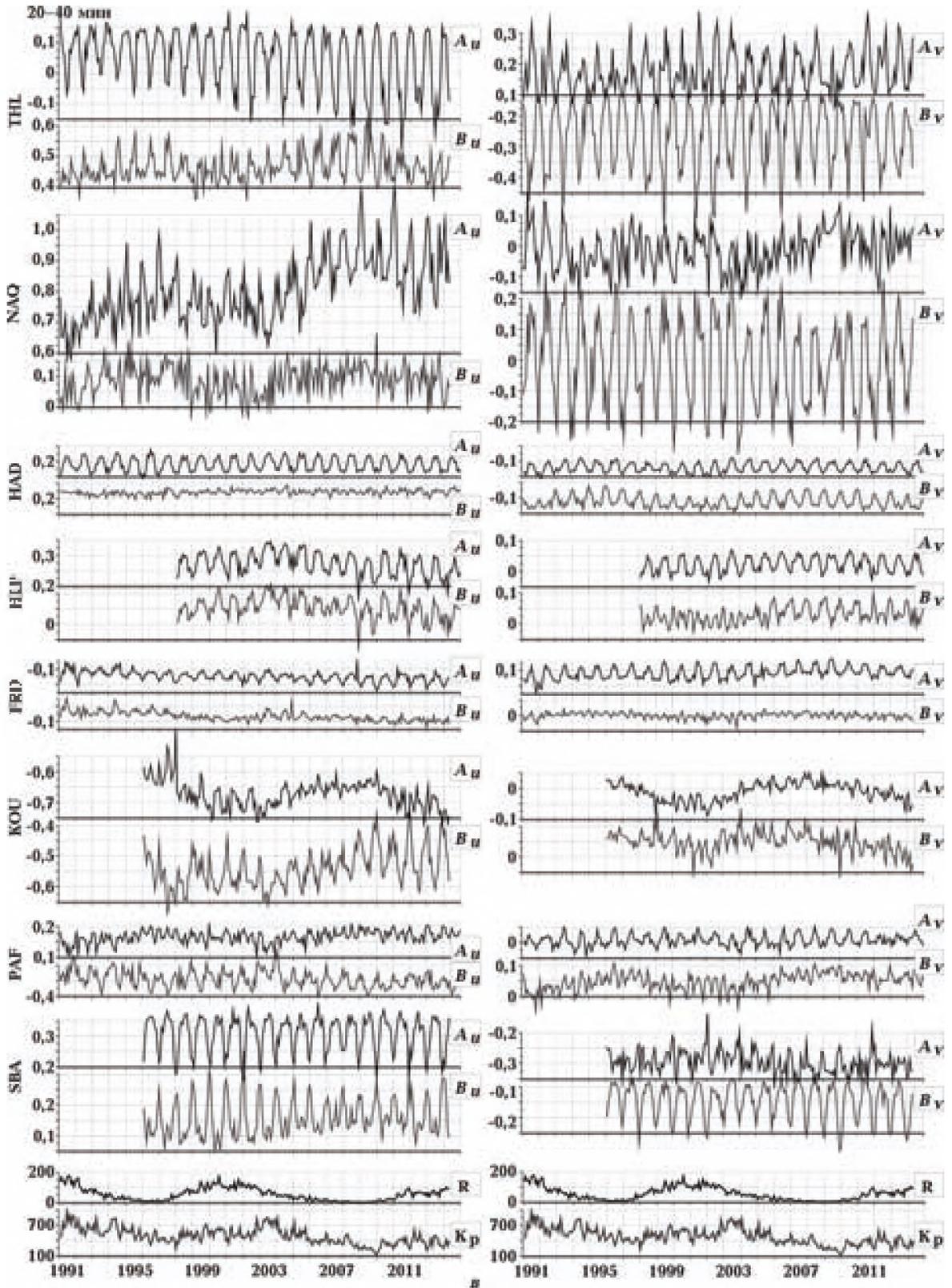


Рис. 2 (продолжение).

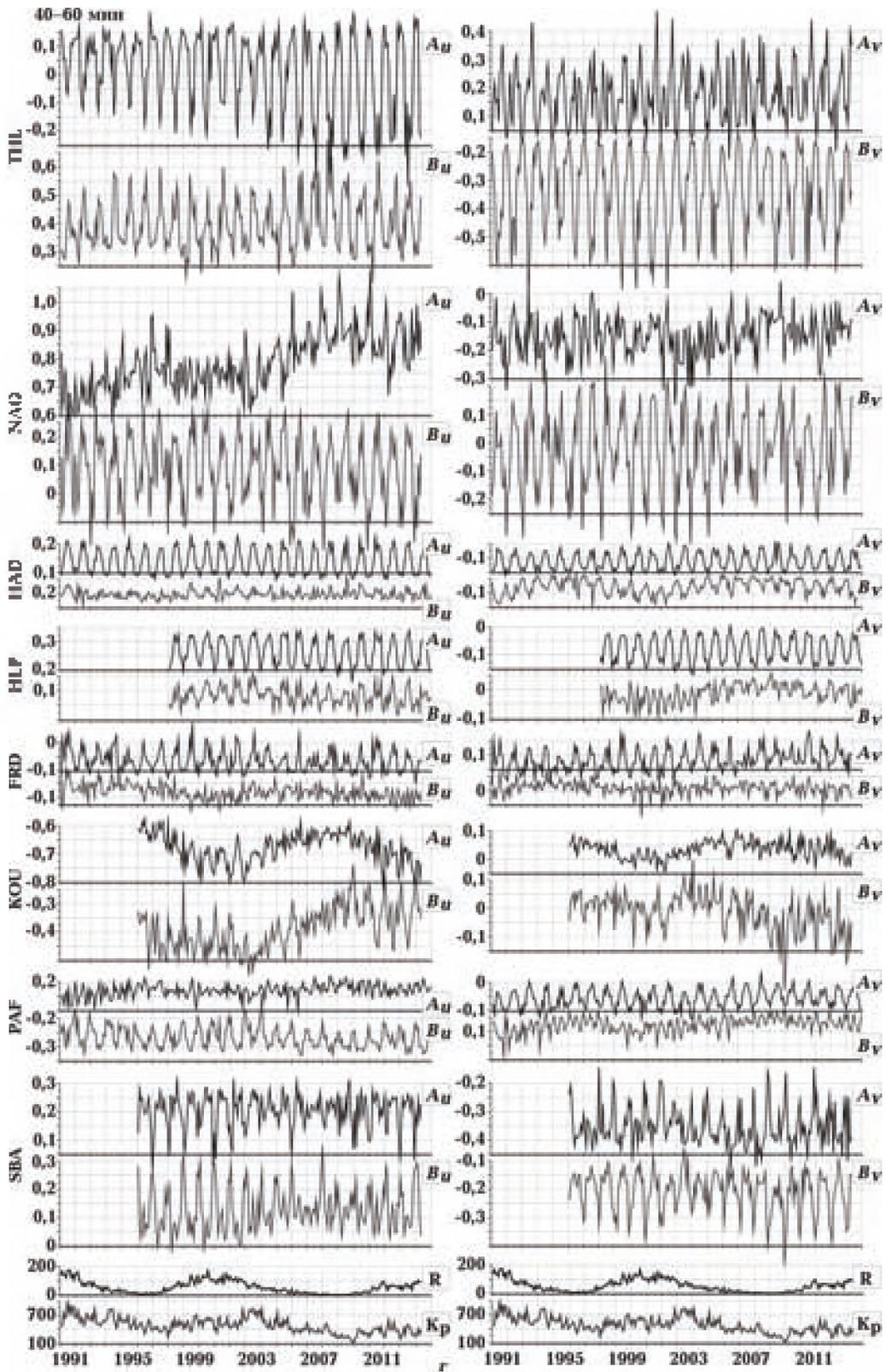


Рис. 2 (окончание).

**Обсуждение результатов, полученных на каждой обсерватории.** **ТНЛ** расположена на северо-западе Гренландии на берегу относительно глубоководного пролива Смита, морские токи в котором определяют восточную направленность реального вектора индукции. ГВ наиболее интенсивна на самом длинном периоде 3000 с, достигая временами амплитуды 0,5 на компонентах  $A_u$  и  $B_v$ . С уменьшением периода амплитуда ГВ убывает до значений порядка 0,1—0,05. ГВ нестабильны, их амплитуда обычно изменяется в 1,5—2 раза, а иногда и более, на протяжении 23 рассматриваемых лет. На компонентах  $B_u$  и  $A_v$  просматривается некоторая корреляция этих изменений с 11-летним циклом геомагнитной  $K_p$  и солнечной ( $R$ ) активности, однако, в целом изменения ГВ носят более сложный характер. Например, наблюдается "перетекание" годовых вариаций из одной компоненты в другую. Так, на периодах 5—10 мин на компоненте  $A_u$  с 1991 по 2005 гг. ГВ были мало интенсивные, а в 2006 г. удвоили свою амплитуду; на компоненте  $A_v$ , наоборот, амплитуда уменьшилась примерно вдвое, причем несколько раньше — примерно в 2003 г. Отметим, что ТНЛ находится внутри полярной шапки всего в 270 км от геомагнитного полюса эпохи 2000—2010 гг.

**NAQ** расположена на южной оконечности Гренландии на южной границе зоны полярных сияний. Морские токи Атлантического океана создают значительный реальный вектор индукции в северном направлении, достигающий значения 1 на периодах 20—60 мин. Максимальная (до 0,45) ГВ наблюдается на компоненте  $B_v$  на самых длинных периодах, убывая на коротких периодах до 0,3. Значительна 11-летняя вариация, которая на компоненте  $A_u$  сопровождается трендом. Причиной тренда могут быть коромантийные геодинамические процессы, гидрологические изменения в прилегающей части океана, гляциологические изменения. Влияние помех в данном случае менее вероятно, поскольку тренд наблюдается на всех периодах, включая длинные, на которых поле помех незначительно.

**НАД** расположена на юго-западе Англии. На коротких периодах до 1997 г. наблюдались беспорядочные колебания, на фоне которых периодические вариации почти не просматривались, после 2000 г. годовые вариации стали хорошо видны. На длинных периодах на трех компонентах ГВ четко видны во все годы наблюдений. Оказалось, что первоначально данные представлялись с точностью 1 нТл, а после 2000 г. — 0,1 нТл, т. е. в 10 раз точнее. Таким обра-

зом, отбрасывание одной значащей цифры может вносить существенную погрешность на коротких периодах, где полезные МТ вариации невелики, на длинных периодах такое загромождение не сказалось.

**НЛР** расположена в средних широтах на севере Польши близ границы двух Европейских платформ, маркируемой шовной зоной Тейссейра—Торнквиста (ТТЗ). Годовая вариация достигает 0,12 на самых длинных периодах и уменьшается на более коротких. На коротких периодах, начиная с 2008 г., наблюдается значительный тренд среднегодовых значений, т. е. аперриодическая вариация с амплитудой порядка 0,3, сопровождающаяся также увеличением амплитуды годовых вариаций. Такая аномалия может быть проявлением тектонической активизации в пределах ТТЗ. Предположение о геодинамической природе аномалии будет рассмотрено в дальнейшем с привлечением дополнительных материалов, а также других соображений, способных свидетельствовать за или против этой гипотезы.

**FRD** — средние широты, восток США. Годовая вариация видна только на северных компонентах с амплитудой  $\approx 0,1$  на периоде 40—60 мин, с уменьшением периода ГВ остается только на  $A_v$ , уменьшаясь до 0,03. На мнимых компонентах с трудом прослеживаются небольшие полугодовая и 11-летняя вариации.

**KOU** — экваториальная зона, Гвиана на севере Южной Америки, побережье Атлантического океана. Большой вектор обусловлен береговым эффектом. Эта обсерватория характеризуется большой 11-летней вариацией, достигающей 0,15 на самом длинном периоде, уменьшающейся до 0,05 на самом коротком периоде, а также слабоамплитудными (0,02—0,04) нерегулярными вариациями с периодом несколько месяцев, включая полугодовую. ГВ выражена слабо, лучше всего — в компоненте  $B_u$  на средних и коротких периодах, особенно после 2008 г.

**PAF** — средние широты, остров в Индийском океане. ГВ небольшая только на длинном периоде на  $B_u$  и  $A_v$ , небольшая 11-летняя вариация, эпизодическое появление полугодовых вариаций. По амплитуде вариации имеют величины, близкие к наблюдаемым на обсерваториях в тех же широтах северного полушария.

**SBA** — Антарктида, зона полярных сияний, значительная ГВ (до 0,25) видна почти на всех компонентах, на  $B_u$  просматривается полугодовая и 11-летняя.

О пространственном распределении периодических вариаций по данным 8 рассмотрен-

ных здесь и еще примерно 50 обработанных обсерваторий можно сделать следующие предварительные выводы: наиболее интенсивные ГВ и 11-летние вариации обычно наблюдаются в высоких геомагнитных широтах, в средних широтах северного и южного полушарий они менее интенсивны и, возможно, увеличиваются в приэкваториальной зоне, особенно 11-летняя вариация. На широтные зависимости накладываются локальные и региональные условия, характер воздействия которых еще слабо изучен. После 2007 г. просматривается глобальная тенденция увеличения ГВ.

**Апериодическая вариация в Польше.** Обнаружена на записях обсерватории HLP на коротких периодах 5—10 мин и с меньшей амплитудой на периодах 10—20 мин. Вариация началась в 2008 г. и достигла значительной величины 0,3 к 2015 г. В связи с ее обнаружением была проведена обработка данных обсерватории BEL, удаленной на 340 км в юго-юго-восточном направлении от HLP. Мониторинг индукционных векторов BEL показал наличие и там значительной вариации в эти же годы (рис. 3). Подобные аperiодические вариации RF наблюдались в связи с геодинимическими событиями в Японии [Shiraki, Yanagihara, 1977] и Румынии [Kharin, 1982]. Аномалии выделялись по аналоговым записям обсерваторий Какиока (КАК) и Сурлари (SUA) в диапазоне периодов 15—120 мин, на которых индустриальные помехи мало влияют на определение RF. В тоже время, похожие тренды оценок индукционных векторов выделены по цифровым записям обсерватории Какиока в диапазоне периодов 10—100 с, на которых наблюдаются сильные помехи от электрифицированных железных дорог, и RF на этих периодах определялись не по МТ полю, а главным образом по полю помех [Рокитянский и др., 2013]. Тем не менее, вариации наблюдались именно перед землетрясением Тохоку 11.03.2011. На других обсерваториях пока не обнаружено подобных долговременных вариаций векторов ин-

дукции. Поэтому, на настоящем этапе исследования предположение о том, что причиной вариаций в Польше также могут являться изменения глубинной электропроводности или литосферная эмиссия за счет геодинимических процессов, представляется нам заслуживающим обсуждения, но нуждающимся во всесторонней проверке.

Итак, рассмотрим две основные возможные причины возникновения аномалии на обсерваториях HLP и BEL: помехи и изменение электропроводности.

1. Обе обсерватории находятся на небольшом расстоянии от железных дорог, питаемых постоянным током: BEL на расстоянии 15—20 км от трех пересекающихся дорог [Neska et al., 2013], HLP на расстоянии 15—20 км на северо-восток от весьма извилистой дороги примерно северо-западного простирания. Реальный вектор индукции, формально вычисленный по полю помехи, направлен к току, создающему помеху, и перпендикулярен ему. Для HLP — это направление на юго-запад. Для BEL с железными дорогами с трех сторон окружающими обсерваторию такое направление трудно провести, однако в работе [Neska et al., 2013] оно определено экспериментально — на северо-восток для периодов 50—300 с и примерно на восток для 500—1000 с, где вектор уже совпадает с таковым, определенным после подавления влияния помех методом IT. Отметим, что эти определения в [Neska et al., 2013] выполнены по записям 2009 г., относящимся ко времени развития аperiодической вариации. На рис. 4 представлены полученные нами для двух обсерваторий частотные характеристики компонент вектора индукции. Отмечаются резкие изменения отдельных компонент в узком интервале периодов 300—1000 с. На более коротких периодах преобладает поле помех и RF слабо связаны с электропроводностью. На более длинных периодах преобладает МТ поле и результаты не искажены помехами. Следует от-

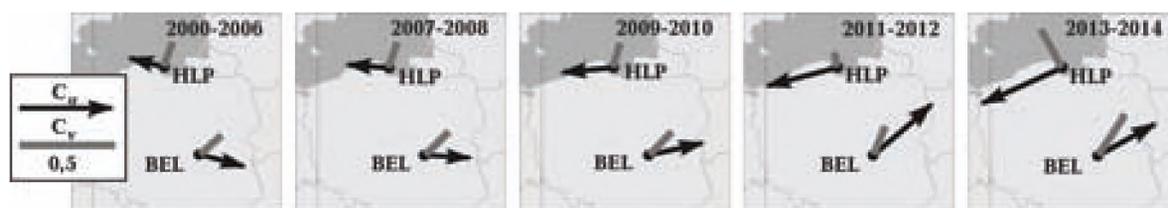


Рис. 3. Векторы индукции (в конвенции Wiese) на периоде 450 с (интервал 5—10 мин) на двух польских обсерваториях для пяти последовательных интервалов XXI в.

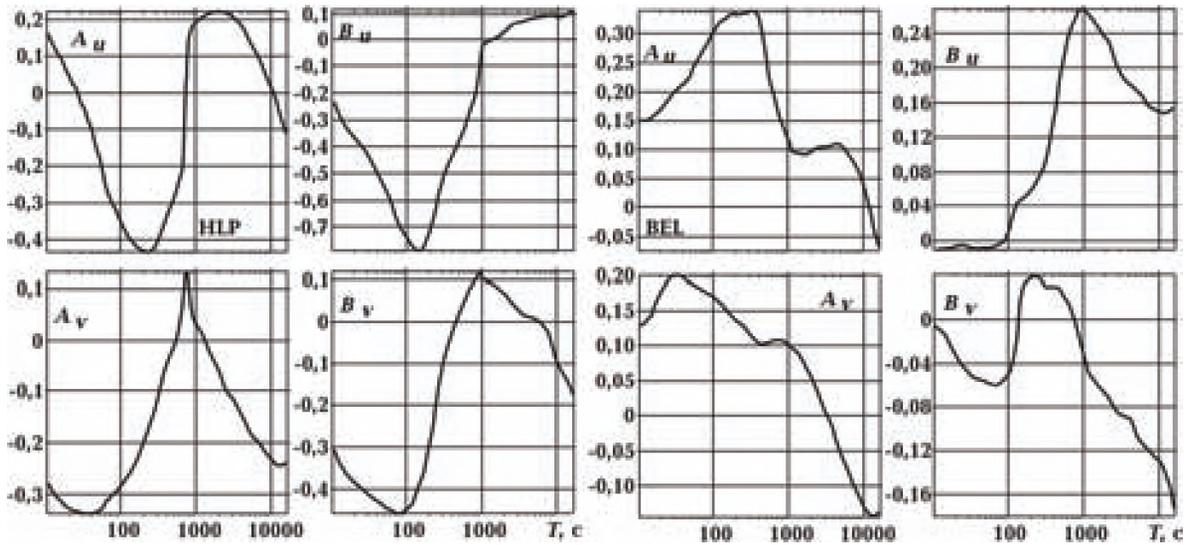


Рис. 4. Частотные характеристики компонент вектора индукции на обсерваториях HLP и BEL по данным трех десятидневных интервалов в декабре 2013 г.

метить, что ширина частотного диапазона этого перехода за значительный период времени (месяцы—годы) имеет не резкий характер и зависит от геомагнитной активности: при ее повышении преобладание МТ поля над помехами сдвигается в область более коротких периодов. Однако сопоставление с 11-летней вариацией геомагнитной активности показывает, что аperiodическая вариация не может объясняться изменением геомагнитной активности ( $R$ ), так как только нарастает и при подъеме  $R$  (см. рис. 2). Одновременно наблюдаемые аperiodические вариации в HLP и BEL могут быть отнесены к эффектам промышленных шумов в районах этих обсерваторий, только если допустить, что эти помехи почти синхронно изменялись на железных дорогах, разнесенных на 340 км друг от друга. Это представляется маловероятным, однако может и должно быть проверено повторной тщательной переобработкой данных.

2. Второе возможное объяснение аperiodической вариации HLP—BEL: изменение электропроводности литосферы, связанное с активными геодинамическими процессами. Следует напомнить, что рассматриваемый район Польши находится в зоне сочленения докембрийской Восточно-Европейской и палеозойской Западно-Европейской платформ, разделенных шовной зоной Тейссейра—Торнквиста (ТТЗ) трансевропейского северо-западного—юго-восточного простирания. Современная, неотектоническая, активизация подобных древних мобильных поясов известна, даже в пределах стабиль-

ных докембрийских щитов. О наличии и проявлении в центральной Европе геодинамических процессов, сопровождаемых эффектами в геомагнитном поле, свидетельствуют результаты, полученные в работах [Семенов, Петрищев, 2013, 2016; Petrishchev, Semenov, 2013]. И хотя результаты этих авторов, все еще остающиеся дискуссионными, получены в другом частотном диапазоне (несколько часов) и с более региональной привязкой, мы рассматриваем их как некий аргумент в поддержку второй гипотезы. Еще одним аргументом могут быть наблюдаемые вариации "постоянного" геомагнитного поля [Орлюк и др., 2016], отражающие изменения во времени намагниченности горных пород в районе структуры Тейссейра—Торнквиста.

С учетом вышеприведенных аргументов, аномалия векторов индукции HLP—BEL, будучи достоверно установленной, могла бы считаться проявлением активных процессов в тектоносфере региона, вызывающих изменения электропроводности в относительно мобильной и отмеченной глубинной аномалией электропроводности зоне ТТЗ [Ernst et al., 2008; Jozwiak, 2012].

На рис. 3 были показаны векторы для двух польских обсерваторий. Их направления трудно объяснить в рамках двумерных представлений, опирающихся на региональное простирание ТТЗ. Однако эти векторы, построенные по данным до 2008 г., вполне вписываются в сложную картину пространственного поведения векторов индукции, которая была получена в ре-

зультате экспериментальных работ 2001—2004 гг. по региону польской Померании, проведенных в рамках Проекта EMTESZ-Pomerania [Varentsov et al., 2005 а; Brasse et al., 2006] (рис. 5). В ходе последующих двумерного и трехмерного этапов анализа площадных материалов этого эксперимента [Ernst et al., 2008; Jozwiak, 2012] пространственно-частотное распределение векторов индукции описывалось как результат сложного, далеко не двумерного тектонического и геоэлектрического строения региона. В более поздней работе [Neska et al., 2013] для обсерватории BEL даны исправленные за счет влияния помех векторы индукции: действительные векторы на периодах короче 100 с направлены на юго-запад, в интервале 100—1000 с они постепенно поворачивают от южного направления к восточному и к периоду 5000 с достигают направления на северо-восток. В наших данных (см. рис. 3) северо-восточное направление характерно уже для оценок на периоде  $T = 450$  с, что говорит об их частичной контаминации помехами.

Перечисленные и ряд других работ указывают на сложное, “многоэтажное”, строение исследуемого региона и непростую обстановку с ЭМ шумами в нем. Поэтому важно убедиться, что аперриодическая вариация, выявленная по данным мониторинга индукционных векторов в 2008—2014 гг., не определяется целиком помехами, а несет существенную, поддающуюся оценке, информацию о вариациях глубинной

электропроводности связанных с геодинамическими процессами. Для этого в первую очередь необходима переобработка данных мониторинга по длительным записям в обсерваториях HLP и BEL с использованием наблюдений в удаленных базовых пунктах и применением помехоподавляющих технологий (например схемы RRMC, хорошо зарекомендовавшей себя в борьбе с индустриальными помехами именно в Померании [Sokolova et al., 2005; Varentsov et al., 2005 а, б], а также, весьма желательно, — длительные дополнительные или повторные (например, в пунктах, выполненных в 2001—2004 гг. по проекту EMTESZ) наблюдения в регионе HLP—BEL в пунктах, удаленных от железных дорог, питаемых постоянным током.

**Заключение.** В результате обработки данных за 1991—2014 гг. по 8 геомагнитным обсерваториям, расположенным в различных частях света и на различных геомагнитных широтах, получены ежемесячные значения вектора индукции в диапазоне периодов 5—60 мин. Выявлены периодические вариации компонент вектора индукции (от полугодовых и годовых до 11-летних), а также тренды. Проведенный анализ позволил установить ряд особенностей пространственного распределения этих вариаций. Наиболее интенсивны они на высоких геомагнитных широтах и в приэкваториальной зоне; в средних широтах они минимальны. На характер вариаций, по-видимому, влияют как глобальные, так и региональные и даже локальные фак-

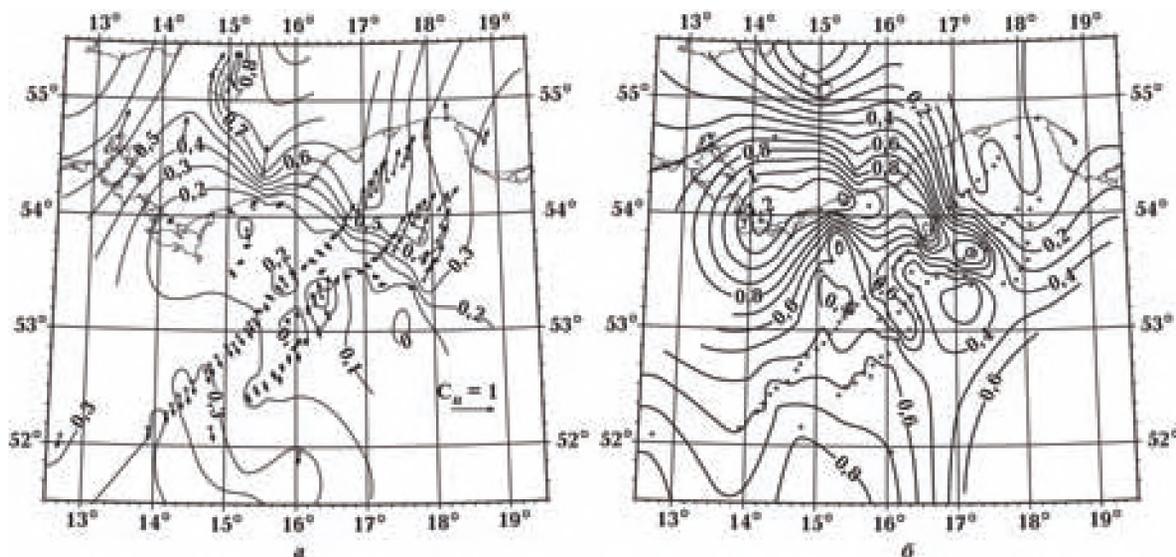


Рис. 5. Реальные векторы индукции и изолинии их длины (а), а также изолинии максимальной амплитуды аномального горизонтального магнитного тензора  $M$  (б) на периоде 1024 с, оцененные по материалам наблюдений проекта EMTESZ-Pomerania за 2001—2004 гг. [Varentsov et al., 2005 б].

торы. Так, после 2007 г. просматривается "глобальная" тенденция увеличения годовых вариаций. В то же время по данным обсерваторий в регионе польской Померании выделяется длительная аперiodическая вариация (тренд среднегодовых значений и увеличение амплитуды ГВ) компонент индукционного вектора, вклад в которую могут вносить как коррелированные

на значительной территории электромагнитные шумы, так и долговременные изменения глубинной электропроводности, вызванные геодинамическими факторами. Выявление истинной природы этой аномалии требует дополнительной работы с привлечением более совершенных методов обработки данных, а возможно, и новых измерений.

### Список литературы

- Бабак В.И., Климкович Т.А., Рокитянский И.И., Терешин А.В. Вариации вектора индукции в Японии. *Геофиз. журн.* 2013. Т. 35. № 1. С. 153—158.
- Климкович Т.А. Особливості часових змін аномального магнітного поля та векторів індукції у Закарпатському сейсмоактивному прогині: Дис. канд. фіз.-мат. наук. Київ, 2009. 195 с.
- Мороз Ю.Ф., Смирнов С.Э., Мороз Т.А. Результаты мониторинга вариаций геомагнитного поля на Камчатке. *Физика Земли.* 2006. № 3. С. 49—56.
- Орлюк М., Марченко А., Роменець А. Сейсмічність Землі та вікові зміни її головного магнітного поля. В кн.: *Геофізичні технології прогнозування та моніторингу геологічного середовища*, Львів, 20—23 вересня, 2016. С. 202—204.
- Рокитянский И.И., Бабак В.И., Терешин А.В. Вариации геомагнитных функций отклика в Японии. *Геофиз. журн.* 2015а. Т. 37. № 4. С. 126—138.
- Рокитянский И.И., Бабак В.И., Терешин А.В. Влияние геомагнитной активности на результаты вычисления вектора индукции. *Геофиз. журн.* 2015б. Т. 37. № 6. С. 86—98.
- Рокитянский И.И., Трегубенко В.И., Бабак В.И., Терешин А.В. Вариации компонент вектора индукции и горизонтального тензора перед землетрясением Тохоку 11 марта 2011 г. по данным японских геомагнитных обсерваторий. *Геофиз. журн.* 2013. Т. 35. № 3. С. 115—130.
- Семенов В.Ю., Петрищев М.С. Влияние изменчивости внешних и внутренних источников индукционных зондирований. *Геодинамика.* 2013. Т. 2. № 15. С. 326—328.
- Семенов В.Ю., Петрищев М.С. Годовые вариации кажущегося сопротивления Земли и их связь с тектоническими зонами в Евразии. В кн.: *Геофізичні технології прогнозування та моніторингу геологічного середовища*, Львів, 20—23 вересня, 2016. С. 259—260.
- Brasse H., Cerv V., Ernst T., Hoffmann N., Jankowski J., Jozwiak W., Korja T., Kreutzmann A., Neska A., Palshin N., Pedersen L. B., Schwarz G., Smirnov M., Sokolova E., Varentsov I.M., 2006. Probing the electrical conductivity structure of the Trans-European Suture Zone. *Eos Trans. AGU*, 87(29), 281—287.
- Ernst T., Brasse H., Cerv V., Hoffmann N., Jankowski J., Jozwiak W., Kreutzmann A., Neska A., Palshin N., Pedersen L. B., Smirnov M., Sokolova E., Varentsov I.M., 2008. EM images of the deep structure of the Trans-European Suture Zone beneath Polish Pomerania. *Geophys. Res. Lett.* 35, L15307. doi: 10.1029/2008GL034610.
- Fujiwara S., 1996. Temporal changes of geomagnetic transfer functions using data obtained mainly by the Geographical Survey Institute. *Bull. Geograph. Surv. Inst.* 42, 1—25.
- Jozwiak W., 2012. Large—scale crustal conductivity pattern in Central Europe and its correlation to deep tectonic structures. *Pure Appl. Geophys.* 169, 1737—1747.
- Kharin E.P., 1982. Changes in transfer functions with time. *Geophys. Surv.* (4), 455—466.
- Neska A., Reda J., Neska M., Sumaruk Yu., 2013. On the influence of DC railway noise on variation data from Belsk and Lviv geomagnetic observatories. *Acta Geophysica*, 61(2), 385—403.
- Petrishchev M.S., Semenov V.Yu., 2013. Secular variations of the Earth's apparent resistivity. *Earth Planet. Sci. Lett.* 361, 1—6.
- Rokityansky I.I., Klimkovich T.A., Babak V.I., Isac A., 2012. Annual and diurnal variations of induction vectors in relation to geodynamic processes. *Geomatics, Natural Hazard and Risk*, 3(3), 239—249.
- Rokityansky I.I., Babak V.I., Tereshin A.V., 2014. Induction vector at Kakioka observatory during

- hundred years. *EMSEV*, Konstancin Jeziorna, September 22—26, 136—141.
- Shiraki M.*, 1980. Monitoring of the time change in transfer functions in the Central Japan conductivity anomaly. *J. Geomag. Geoelectr.* 32, 637—648.
- Shiraki M., Yanagihara K.*, 1977. Transfer function at Kakioka (Part II). Reevaluation of Their Secular Changes. *Memoirs of the Kakioka magnetic observatory* 17, 19—25.
- Sokolova E. Yu., Varentsov Iv. M., EMTESZ-Pomerania WG*, 2005. RRMC technique fights highly coherent EM noise in Pomerania. In: *Protokoll uber das 21 Kolloquium "EM Tiefenforschung"*. Eds O. Ritter, H. Brasse. Dtsch. Geophys. Ges. Potsdam. Germany, 124—136.
- Varentsov Iv. M., Sokolova E. Yu., Martanus E. R. and EMTESZ-Pomerania WG*, 2005a. Array view of electromagnetic transfer functions in the EMTESZ-Pomerania Project. In: *Study of geological structures containing well-conductive complexes in Poland*. Publ. Inst. Geoph. Pol. Acad. Sci., C-95(386), 107—121.
- Varentsov Iv. M., Sokolova E. Yu., EMTESZ-Pomerania WG*, 2005b. The magnetic control approach for the reliable estimation of transfer functions in the EMTESZ-Pomerania Project. In: *Study of geological structures containing well-conductive complexes in Poland*. Publ. Inst. Geoph. Pol. Acad. Sci. C-95(386), 67—80.

## Annual, 11-year period and aperiodic variations of the induction vector by eight observatories of Intermagnet network

© *V. I. Babak, I. I. Rokityansky, E. Yu. Sokolova,  
A. V. Tereshin, 2017*

A large amount of geomagnetic data of Intermagnet network observatories for 1991—2014 years have been processed and time series of induction vector components for every month were obtained. This paper presents the results of processing of eight observatories, located in different parts of the globe. For these observatories graphs of monthly values of induction vector components for four intervals of periods from the range 5—60 minutes are shown. Periodic changes in vector components (from semiannual to 11-years) are detected, as well as trends. After 2007 some increase of annual variations is seen. The most intense variations are at high geomagnetic latitudes and in the equatorial zone; they are minimal in the middle latitudes. The nature of variations is affected both by global and regional/local factors. Investigation of these periodic changes can give a unique information on the substance and the structural features of the Earth's interior. At Polish observatories long aperiodic variation is obtained after 2008, clarifying the nature of which requires further research.

**Key words:** electromagnetic functions of response, induction vectors, periodical variations of induction vectors, foreshocks of earthquakes.

### References

- Babak V. I., Klimkovich T. A., Rokityansky I. I., Tereshin A. V.*, 2013. Variations of induction vector in Japan. *Geofizicheskiy zhurnal* 35(1), 153—158 (in Russian).
- Klymkovych T. A.*, 2009. Peculiarities of temporal variations of anomalous magnetic field and induction vectors in the Transcarpathian seismic-active trough: *Diss. of the candidate of phys. and math. sci.* Kiev, 195 p. (in Ukrainian).
- Moroz Yu. F., Smirnov S. E., Moroz T. A.*, 2006. The results of monitoring of geomagnetic field variations in Kamchatka. *Fizika Zemli* (3), 49—56 (in Russian).
- Orlyuk M., Marchenko A., Romnets A.*, 2016. Seismicity of the Earth and age-related changes

- of the main magnetic field. In: *Geophysical technologies for prediction and monitoring of geological media*, Lviv, September 20—23, 202—204 (in Ukrainian).
- Rokityansky I.I., Babak V.I., Tereshin A.V., 2015a. Variations of geomagnetic response functions in Japan. *Geofizicheskiy zhurnal* 37(4), 126—138 (in Russian).
- Rokityansky I.I., Babak V.I., Tereshyn A.V., 2015b. Influence of geomagnetic activity on induction vector calculation results. *Geofizicheskiy zhurnal* 37(6), 86—98 (in Russian).
- Rokityansky I.I., Tregubenko V.I., Babak V.I., Tereshyn A.V., 2013. Variations of induction vector components and horizontal tensor before the Tohoku earthquake of March 11, 2011 according to Japanese geomagnetic observatories data. *Geofizicheskiy zhurnal* 35(3), 115—130 (in Russian).
- Semenov V.Yu., Petrishchev M.S., 2013. Effect of variation of external and internal sources of magnetic field on the results of induction sounding. *Geodynamika* 2(15), 326—328 (in Russian).
- Semenov V.Yu., Petrishchev M.S., 2016. Annual variations of the apparent resistivity of the Earth and their relationship with tectonic zones in Eurasia. In: *Geophysical technologies for prediction and monitoring of geological media*, Lviv, September 20—23, 259—260 (in Russian).
- Brasse H., Cerv V., Ernst T., Hoffmann N., Jankowski J., Jozwiak W., Korja T., Kreutzmann A., Neska A., Palshin N., Pedersen L. B., Schwarz G., Smirnov M., Sokolova E., Varentsov I. M., 2006. Probing the electrical conductivity structure of the Trans-European Suture Zone. *Eos Trans. AGU*, 87(29), 281—287.
- Ernst T., Brasse H., Cerv V., Hoffmann N., Jankowski J., Jozwiak W., Kreutzmann A., Neska A., Palshin N., Pedersen L. B., Smirnov M., Sokolova E., Varentsov I. M., 2008. EM images of the deep structure of the Trans-European Suture Zone beneath Polish Pomerania. *Geophys. Res. Lett.* 35, L15307. doi: 10.1029/2008GL034610.
- Fujiwara S., 1996. Temporal changes of geomagnetic transfer functions using data obtained mainly by the Geographical Survey Institute. *Bull. Geograph. Surv. Inst.* 42, 1—25.
- Jozwiak W., 2012. Large—scale crustal conductivity pattern in Central Europe and its correlation to deep tectonic structures. *Pure Appl. Geophys.* 169, 1737—1747.
- Kharin E.P., 1982. Changes in transfer functions with time. *Geophys. Surv.* (4), 455—466.
- Neska A., Reda J., Neska M., Sumaruk Yu., 2013. On the influence of DC railway noise on variation data from Belsk and Lviv geomagnetic observatories. *Acta Geophysica*, 61(2), 385—403.
- Petrishchev M.S., Semenov V.Yu., 2013. Secular variations of the Earth's apparent resistivity. *Earth Planet. Sci. Lett.* 361, 1—6.
- Rokityansky I.I., Klimkovich T.A., Babak V.I., Isac A., 2012. Annual and diurnal variations of induction vectors in relation to geodynamic processes. *Geomatics, Natural Hazard and Risk*, 3(3), 239—249.
- Rokityansky I.I., Babak V.I., Tereshin A.V., 2014. Induction vector at Kakioka observatory during hundred years. *EMSEV*, Konstancin Jeziorna, September 22—26, 136—141.
- Shiraki M., 1980. Monitoring of the time change in transfer functions in the Central Japan conductivity anomaly. *J. Geomag. Geoelectr.* 32, 637—648.
- Shiraki M., Yanagihara K., 1977. Transfer function at Kakioka (Part II). Reevaluation of Their Secular Changes. *Memoirs of the Kakioka magnetic observatory* 17, 19—25.
- Sokolova E.Yu., Varentsov I. M., EMTESZ-Pomerania WG, 2005. RRMC technique fights highly coherent EM noise in Pomerania. In: *Protokoll uber das 21 Kolloquium "EM Tiefenforschung"*. Eds O. Ritter, H. Brasse. Dtsch. Geophys. Ges. Potsdam. Germany, 124—136.
- Varentsov I. M., Sokolova E.Yu., Martanus E. R. and EMTESZ-Pomerania WG, 2005a. Array view of electromagnetic transfer functions in the EMTESZ-Pomerania Project. In: *Study of geological structures containing well-conductive complexes in Poland*. Publ. Inst. Geoph. Pol. Acad. Sci., C-95(386), 107—121.
- Varentsov I. M., Sokolova E.Yu., EMTESZ-Pomerania WG, 2005b. The magnetic control approach for the reliable estimation of transfer functions in the EMTESZ-Pomerania Project. In: *Study of geological structures containing well-conductive complexes in Poland*. Publ. Inst. Geoph. Pol. Acad. Sci. C-95(386), 67—80.