

УДК 55038432

О ДОСТОВЕРНОСТИ, СПЕКТРЕ И ПРИРОДЕ АРХЕОВЕКОВЫХ ВАРИАЦИЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

©1999г. С. П. Бурлацкая

Объединенный институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва

Поступила в редакцию 02.10.97 г.

Привлечение и обобщение новых литературных данных, число которых существенно увеличилось за последнее время, позволили с большей уверенностью выделить колебания, характерные для региона Кавказ-Средняя Азия в целом, для последних 4000 лет. Стандартная погрешность - в пределах от 1.2 до 2.2 А/м, т.е. в среднем 4% от величины максимального размаха колебаний (порядка 40 А/м). По сумме авторских и литературных данных есть основание считать спектр вековых вариаций единым, дискретным и стабильным во времени. Для региона в целом наиболее четко выделены колебания: 1800-, 1200-, 600- и 400-(360)-летние, на фоне 8000-летнего изменения поля. Показано, что 1800- и 1200-летние колебания являются гармоническими, синусоидальными вариациями; их суперпозиция вызывает колебание типа биений; при этом частота биений равна 3600 лет; это колебание не является гармоническим. Резонансное соотношение трех частот $0.2^\circ/\text{год}$, $1.5 \times 0.2 = 0.3^\circ/\text{год}$ и $2.5 \times 0.2 = 0.5^\circ/\text{год}$ соответствует вариациям с периодами 1800-, 1200- и примерно 600 лет и показывает, согласно динамо-теории С.И. Брагинского, что в Земном ядре имеется не просто случайный набор МАК-волн, а некая единая система весьма упорядоченных движений и полей.

Ключевые слова: геомагнитное поле, вековые вариации, спектр.

ВВЕДЕНИЕ

Новые определения изменения напряженности геомагнитного поля в регионе Кавказ-Средняя Азия позволили ответить на некоторые вопросы. Первый касался методики и точности определения напряженности древнего геомагнитного поля.

Методика получения данных имела свои особенности. В работах [Бурлацкая, 1977, 1987, 1997, 1999; Бурлацкая, Воронов, 1977; Бурлацкая, Челидзе, 1990, 1997; Бурлацкая и др., 1995] использовался классический метод Телье, объектом исследований были кирпичи, толстостенная черепица, фрагменты печей и очагов, обожженные стены и полы древних жилищ. В работах [Бураков, Начасова, 1988, Начасова, Бураков, 1986, 1987, 1993, 1994, 1995а, 1995б, 1997г, 1998] использовался метод Телье с учетом поправок на анизотропию образцов и изменение их состава [Бураков, 1981; Бураков, Начасова, 1985]. Помимо вышеуказанных объектов исследования использовались кусочки тонкостенной черепицы, посуда из раскопок. Форма образцов была кубическая с ребром 24, 20 и 15 мм в первом перечне работ и 10 мм - во втором.

Ранее неоднократно делались попытки оценить сходимость и объяснить расхождение результатов, полученных на нескольких образцах из одного объекта, в разных лабораториях. Измерения проводились на дублях (3-4 кубика из одного образца) в лабораториях Москвы и Тбилиси

[Бурлацкая, Челидзе, 1990, 1997], Москвы, Борка и Праги [Бурлацкая и др. 1983]. Представляло интерес оценить сопоставимость одновозрастных определений напряженности по последним данным.

О ДОСТОВЕРНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ДРЕВНЕГО ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

В данной работе осуществлено и показано на рис. 1.1-V сопоставление определений напряженности геомагнитного поля для последних 4000 лет в Грузии (I): кривая *a* - по данным [Бурлацкая, 1977, 1997, 1999; Бурлацкая, Челидзе, 1997; Бурлацкая и др., 1991], и кривая *б* - по определениям из работ [Начасова, Бураков, 1986, 1987]. Сравнение данных для территории Средней Азии (II) показано: *a* - по данным [Бурлацкая 1997, 1998; Бурлацкая и др., 1995]; *б* - по [Nachasova, Burakov, 1993] и *в* - по [Начасова, Бураков, 1994, 1997г, 1995а, 1995б]. Кривая *в* на рис. 1.1 построена по более точно датированным образцам, по сравнению с кривой *a* на рис. 1.1, что дало возможность рассчитать средние 50-летние значения и выявить 100-150-летние флюктуации. Для сближения вида кривых *a* и *в* на рис. 1.1, значения последней были усреднены по 3-м точкам - в пределах 150 лет.

В целом, расхождения между данными кривых *a* и *б* на рис. 1.1 для Грузии и кривых *a*, *б* и *в* для

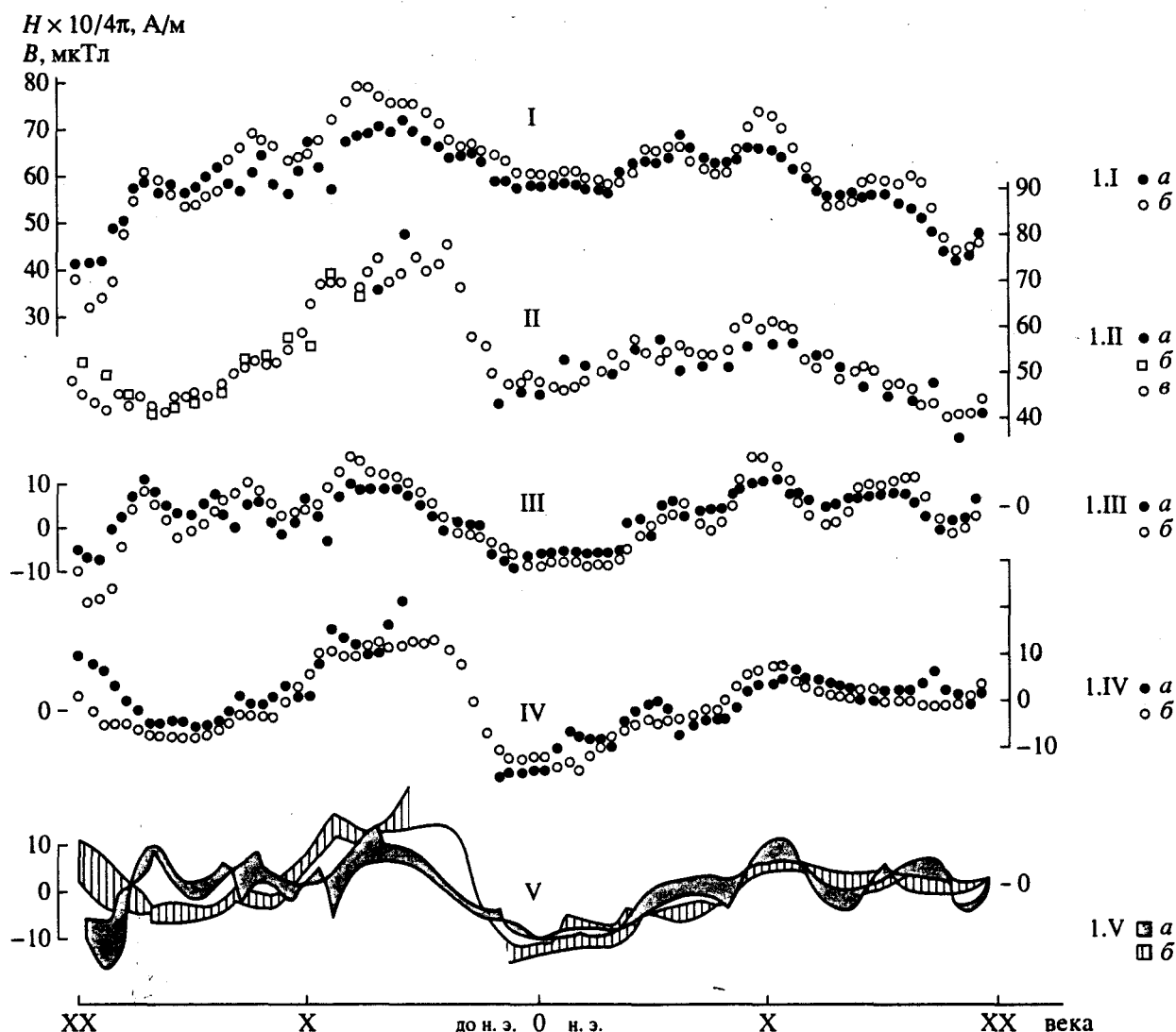


Рис. 1. Изменение напряженности геомагнитного поля за последние 4000 лет в регионе Кавказ-Средняя Азия.

Средней Азии на рис. 1. II невелики отчасти из-за того, что они неполностью независимы, что видно из сносок на оригинальные работы. Тем интереснее сопоставить данные для времени нашей эры, где определения напряженности геомагнитного поля для Средней Азии получены, по двум полностью независимым наборам определений. Расхождение этих данных определяется величиной около 3.2 А/м; разброс от среднего равен 1.6 А/м (без одного значения - 1.2 А/м). При этом методическая погрешность порядка 0.8 А/м.

В целом, напряженность геомагнитного поля в Грузии и в Средней Азии (данные по Средней Азии приведены к широте Грузии) меняется примерно от 30 до 80 А/м; амплитуда колебаний - половина максимального размаха, порядка 20 А/м. Стандартная погрешность порядка 1.6 А/м (от 1.2 до 2.2 А/м), т.е. около 4% от максимального разброса колебаний.

Кривые изменения палеонапряженности поля на рис. 1. I и 1. II являются суммой колебаний разной продолжительности, наложенных на основное колебание. Для более четкого выделения вековых вариаций из исходных рядов было изъято основное 8000-летнее колебание (подробно об этом колебании смотри ниже). На рис. 1. III и 1. IV показаны кривые вековых вариаций после удаления тренда - 8000-летнего колебания синусоидальной формы с амплитудами 16 А/м для Грузии и 8 А/м для Средней Азии. [Бурлацкая, 1997, 1999]. Кривые *a* и *b* по разным наборам данных в первом приближении показывают один и тот же ход: синхронные спады и подъемы величин напряженности, одинаковые моменты экстремальных значений. Для Грузии в интервале от VIII-VII вв. до н. э. до III в. н. э. результаты по кривым *a* и *b* практически совпадают. Для Средней Азии наибольшая близость результатов для

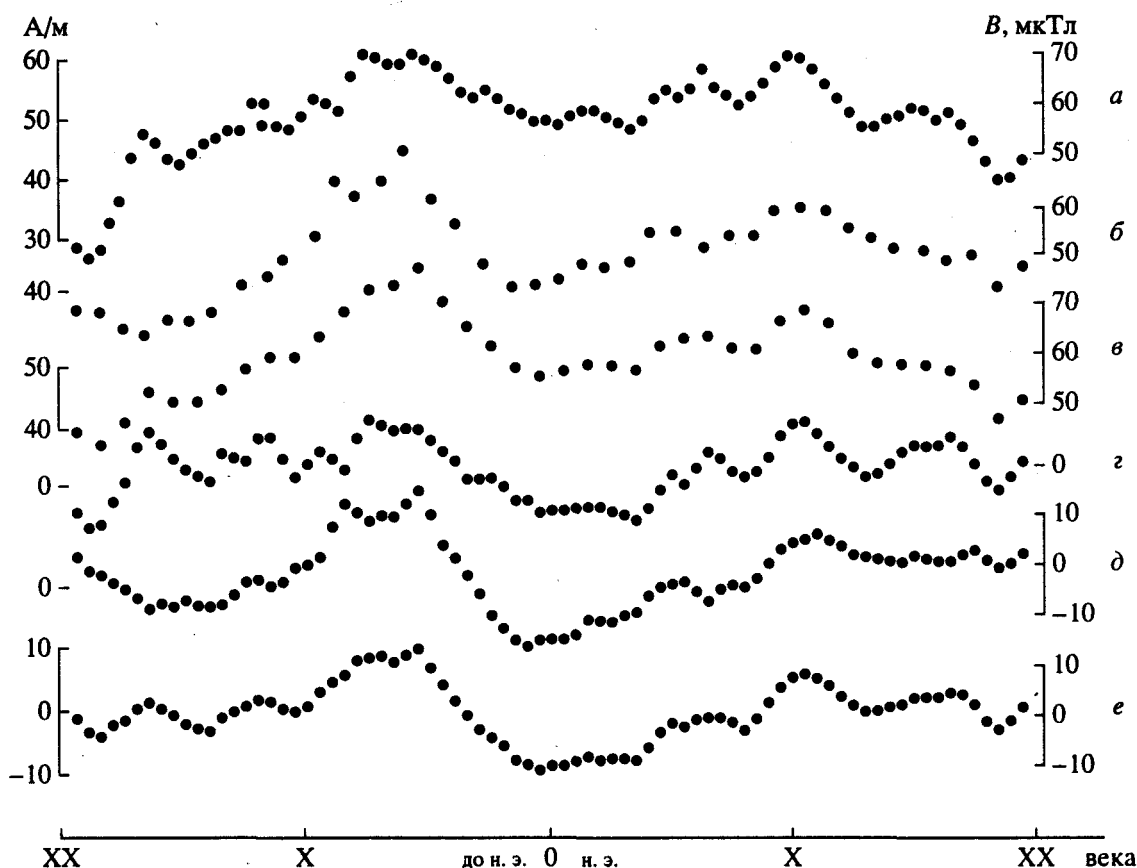


Рис. 2. Вариации напряженности геомагнитного поля в регионе.

XVIII-X вв. до н. э. и XI-XVIII вв. н. э. В остальные моменты некоторое расхождение очевидно, но ход, форма кривых *а* и *б* одинаковы. Среднее расхождение одновозрастных определений для Грузии порядка 1.5 А/м, для Средней Азии - 1-1.6 А/м. На рис. 1.V сопоставлено изменение одновозрастных значений напряженности: *а* - по Грузии; *б* - по Средней Азии. На графике приведены полосы, внутри которых ложатся данные по каждому из районов. Ширина полос соответствует разбросу данных. Кривые *а* и *б* на рис. 1.V показывают, что на фоне общего хода изменения напряженности есть некие различия, присущие территориям по отдельности.

По данным, приведенным на рис. 1.1 и рис. 1.П, для каждой из территорий были рассчитаны средние суммарные значения напряженности, показанные на рис. 2: *а* - для Грузии¹; *б* - для Средней Азии и *в* - для региона в целом.

¹ В данной работе используются ряды величин напряженности как для Грузии, так и для Кавказа в целом. Для последних 2500 лет среднеквадратичное расхождение в данных составляет величину порядка 1.4 А/м. [Бурлацкая, Челидзе, 1997]. Для более ранних эпох есть данные только для Грузии.

Погрешность оценивается величинами: от 1.6 А/м для времени нашей эры, примерно до 2 А/м. При суммировании данных предполагалось, что оно позволит выявить общие черты, характерные для всего региона в целом, и сгладить особенности, присущие отдельным территориям. Такое же усреднение проделано на рядах напряженности, из которых вычтен тренд (рис. 1.П, рис. 1.И). Результат снятия основного колебания - тренда - показан кривыми на рис. 2: *г* - для Грузии, *д* - Средней Азии и *е* - для региона в целом.

По кривым *в* и *е*, отражающим поведение напряженности геомагнитного поля в целом для всего региона и показанным на рис. 2, ниже будет осуществлено выделение наиболее характерных для этого региона вековых вариаций.

На рис. 2 (кривые *а*, *б*, *в*) видно, что напряженность изменяется в пределах от 30 до 60 А/м; размах колебаний порядка 30 А/м, т.е. амплитуда около 15 А/м. Стандартная погрешность показывает расхождение одновозрастных определений порядка 2.2 А/м, что составляет около 7% от величины максимального размаха колебаний.

О СПЕКТРЕ ВЕКОВЫХ ВАРИАЦИЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Доминирующее изменение напряженности геомагнитного поля выражается 8000-летним колебанием синусоидального типа с максимумом в начале нашей эры. Для рассматриваемого региона это изменение показано на рис. 3а - средние 2400-летние значения напряженности (по данным на рис. 2, кривая в) и 3б- модель синусоидального вида с амплитудой 15-16 А/м. Здесь представлена половина 8000-летнего периода. Наиболее ярко это колебание, амплитуда которого равна 20 А/м, проявляется по суммарным мировым археомагнитным определениям [Бурлацкая, 1987]. 8000-летнее колебание выявляется как по археомагнитным определениям, так и по озерным осадкам, и по палеомагнитным данным ($\sim 10^4$ лет) [Бурлацкая, 1991]. В работе [Barton et al., 1979] на основании данных каталога [Археомагнитные определения..., 1977] мировые определения напряженности магнитного момента были разделены и сопоставлены: 1) по всем мировым определениям; 2) в пределах от 330° до 60° в.д. - Европа и Западная Азия; 3) от 60° до 150° в.д. - Восточная Азия, Япония и 4) от 220° до 330° в.д. - Америка. Данные в основном относились к Северному полушарию; разделение осуществлено по долготным зонам. Сравнение показывает присутствие 8000-летнего колебания и синхронность его поведения (в пределах погрешности) на разных территориях.

Выделение этого колебания для территории Кавказа и отдельно для территории Средней Азии показало, что 8000-летнее колебание имеет разную амплитуду: примерно 16 А/м на Кавказе и около 8-10 А/м в Средней Азии [Бурлацкая, 1997].

По-видимому, это проявление региональных черт в изменении 8000-летнего колебания. К региональным характеристикам относится дрейф колебаний, в частности, 8000-летнего колебания. В ряде работ [Начасова, Бураков, 1995а; 1997а; 1997б; 1997в; 1998] на основании авторских определений для Грузии, Средней Азии и Прибайкалья и литературных данных для Болгарии, Китая

и Японии показано наличие восточного дрейфа со скоростью $0.25^\circ/\text{год}$. В работе [Hagee, Olson, 1989] исследование вариаций геомагнитного поля по осадкам девяти озер показало присутствие сильного дрейфа в сторону полюсов: северного в северном полушарии и южного в южном; в работе, в частности, показано, что для 8000-летнего колебания характерен восточный дрейф со скоростью $0.35^\circ/\text{год}$.

Надо заметить, что определение момента времени максимума 8000-летнего колебания сопряжено с рядом трудностей. Для выделения 8000-летнего колебания исходные данные усредняют, как правило, 1800-летним сглаживанием. При этом устраняются более быстрые колебания, но не более медленные, такие как 2400-2800, 3600-летние [Бурлацкая, 1987]. Больше сглаживание: в интервале 2400 и 3600 лет позволяет наилучшим образом "очистить" искомое 8000-летнее колебание, но при этом в результате усреднения кривая напряженности выполаживается и становится значительно короче. В частности, на рис. 3а приведены результаты 2400-летнего сглаживания (шаг 50 лет). Недостаточная протяженность и плавность кривых затрудняют определение момента максимума 8000-летнего колебания.

При определении времени максимума 8000-летнего колебания следует учитывать возможное влияние несглаженных компонент. При этом надо иметь в виду, что оценки сдвига фазы по археомагнитным данным соизмеримы с погрешностью. По нашим данным максимум 8000-летнего колебания относится к началу нашей эры ± 100 лет. По-видимому, вопрос о региональных особенностях 8000-летнего колебания на сегодняшний день следует считать дискуссионным. О 3600- и 2400-летних колебаниях см. ниже.

На рис. 4 показаны наиболее ярко выраженные колебания, которые удалось выявить по данным для всего исследуемого региона в целом (по данным, приведенным на рис. 2, кривые в, г).

Следующая (по уменьшению характерного времени) пара наиболее часто встречающихся колебаний - 1800- и 1200-летние.

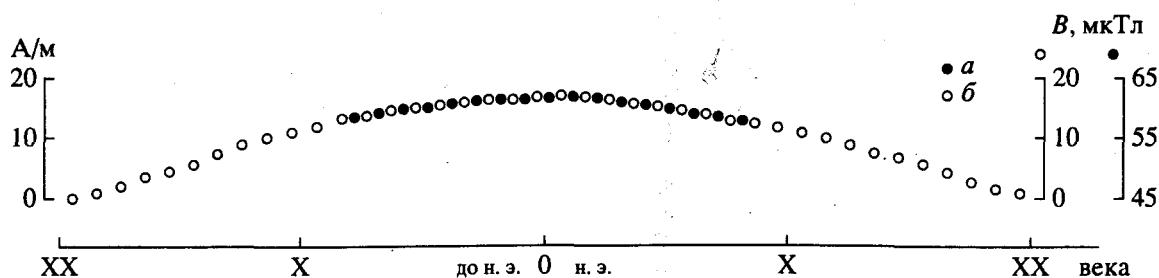


Рис. 3. 8000-летнее изменение напряженности Геомагнитного поля в регионе.

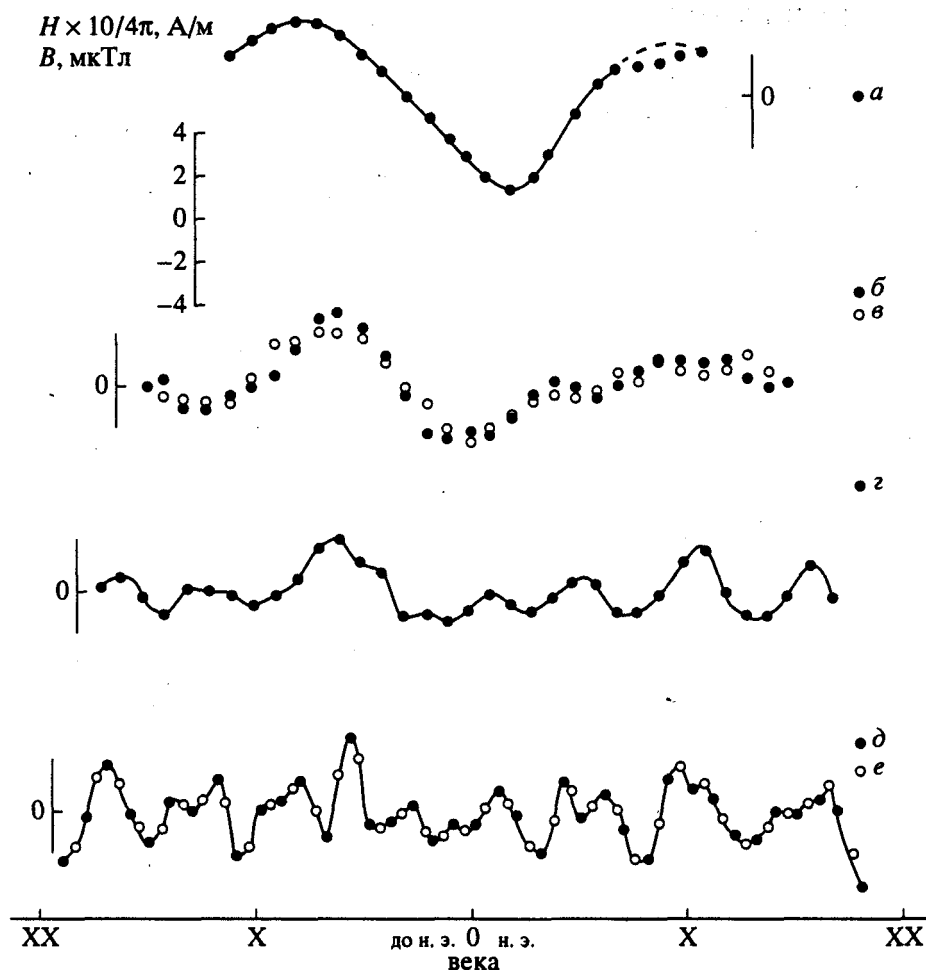


Рис. 4. Выделение колебаний для региона в целом: *a* - 1800-летнего; *б* и *в* - 1200- и 900-летних; *г* - 600-летнего; *д*, *е* - 360-летнего.

Погрешность определения их периодов по археомагнитным данным находится, грубо говоря, в пределах ± 100 лет. Эти колебания удалось выделить с помощью разностных значений типа "n"- "m"; например "12"- "18" - это ряд разностных значений: средних 1200-летних и средних 1800-летних для получения 1800-летнего колебания [Бурлацкая, 1987]. Исходными рядами, как было сказано выше, были кривые на рис. 2. Этот метод особенно важен в том случае, когда ряд исходных данных недостаточен для осуществления спектрального анализа.

Конфигурация выделенного 1800-летнего колебания на рис. 4, кривая *a* показывает большее приближение к синусоидальному виду, чем аналогичные кривые отдельно для Кавказа и для Средней Азии [Бурлацкая, 1997]. Амплитуда порядка 4 А/м соизмерима с амплитудой в Средней Азии и вдвое больше, чем на Кавказе.

1200-летняя вариация (кривая *б*) получена по разностным значениям "9"- "12". Левая часть этой кривой довольно близко соответствует синусоидальному виду искомого периода с амплитудой порядка 3 А/м. Попытка выделить 900-летнее колебание на основе кривых типа "6"- "9" привела к виду кривой *в* на рис. 4, весьма близкой по форме к кривой *б*. Обе эти кривые составляют некую полосу близких в пределах погрешности определений и показывают присутствие 1200-летнего и отсутствие ожидаемого 900-летнего колебания. Форма выделенных кривых *a*, *б*, *в* колебаний похожа на квазисинусоидальные 1800- и 1200-летние изменения. При этом визуально можно заметить уменьшение амплитудных значений со временем и изменение периода. Это еще более заметно на кривых той же продолжительности отдельно для Кавказа и Средней Азии [Бурлацкая, 1999]. Такой ход кривых наводит на мысль о смене циклов, близких по продолжительности и амплитуде. В пользу этого предположения говорит выделение 1600- и 900-летних изменений в Средней Азии [там же]. Возможно, что это вариации с уменьшающейся со временем амплитудой. В упомянутой работе было также вы-

делено 1600-летнее колебание с амплитудой порядка 3 А/м. Попытка выделить 900-летнее колебание на основе кривых типа "6"- "9" привела к виду кривой *в* на рис. 4, весьма близкой по форме к кривой *б*. Обе эти кривые составляют некую полосу близких в пределах погрешности определений и показывают присутствие 1200-летнего и отсутствие ожидаемого 900-летнего колебания. Форма выделенных кривых *a*, *б*, *в* колебаний похожа на квазисинусоидальные 1800- и 1200-летние изменения. При этом визуально можно заметить уменьшение амплитудных значений со временем и изменение периода. Это еще более заметно на кривых той же продолжительности отдельно для Кавказа и Средней Азии [Бурлацкая, 1999]. Такой ход кривых наводит на мысль о смене циклов, близких по продолжительности и амплитуде. В пользу этого предположения говорит выделение 1600- и 900-летних изменений в Средней Азии [там же]. Возможно, что это вариации с уменьшающейся со временем амплитудой. В упомянутой работе было также вы-

сказано предположение, что такое поведение кривых может объясняться результатом суперпозиции колебаний, близких по своим характеристикам.

В данной работе сделана попытка проверить это предположение. Кривая *a* на рис. 5 показывает модель суперпозиции 1800- и 1200-летних колебаний на протяжении 36 веков. Характерное время равно 3600 лет.

По определению [Яворский, Детлаф, Справочник..., 1964] при суперпозиции двух гармонических колебаний, имеющих разные частоты и амплитуды, результирующее колебание не является гармоническим. Математическое представление результирующего негармонического колебания имеет смысл только при наложении гармонических колебаний, частоты которых достаточно близки. В этом случае амплитуда и частота - медленно меняющиеся функции времени, а колебательный процесс называется биением. Амплитуда при этом меняется от модуля полуразности до модуля полусуммы амплитуд компонент, с частотой равной $1/2\pi(\omega_2 - \omega_1)$, так называемой частотой биений. Форма биений создает видимость уменьшения (или увеличения) амплитуды колебаний со временем.

На рис. 5 сопоставлены: модельная кривая биений *a* на основе суперпозиции двух колебаний 1800- и 1200-летних с амплитудами, равными 4 А/м, с кривой *b* - археомагнитными определениями, отфильтрованными в частном интервале "6"-18". Почти на всем временном интервале кривые *a* и *b* совпадают; расхождение определений порядка 1.8 А/м; без пяти последних пар - 1.2 А/м.

Морфология реальных, отфильтрованных (по-видимому, не полностью) в заданных пределах колебаний действительно похожа на форму биений. Это доказывает, что археомагнитные определения - это суперпозиция двух периодических колебаний (1800- и 1200-летних) как основных компонент напряженности геомагнитного поля в изучаемом регионе в течение первого тысячелетия до нашей эры - первого тысячелетия нашей эры.

Расхождение кривых *a* и *b* для последних пяти пар значений возможно из-за неточной оценки амплитудных значений исходных колебаний или присутствия еще одного близкого, но менее выраженного колебания. Исследуемый ряд исходных значений - 4000 лет, короток для того, чтобы на экспериментальных данных продемонстрировать целиком весь цикл биений - 3600 лет.

Пример биений в интервале XXX век до нашей эры - X век нашей эры показан на рис. 5 ([Бурлацкая, 1987, рис. 97]), где модельная кривая биений (*a*) является суперпозицией 1800- и 1200-летних колебаний и кривая *b* построена по мировым экспериментальным данным как результат отфильт-

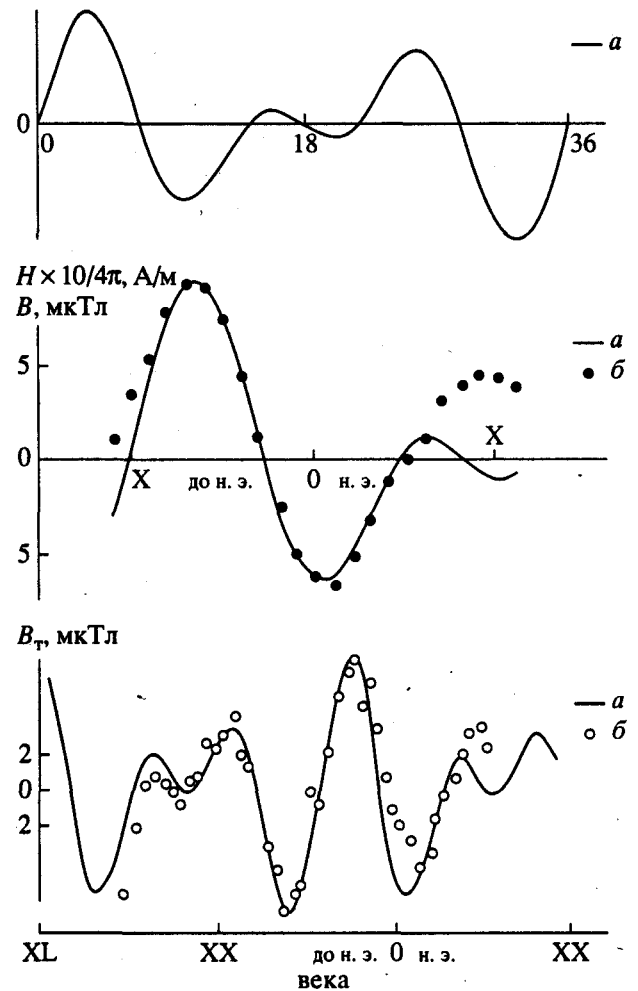


Рис. 5. Сравнение модели биений с археомагнитными вариациями.

рованных определений напряженности в частотном диапазоне "6"-18". На всем протяжении данные двух типов *a* и *b* близко совпадают. Среднее расхождение определений около 0.5 А/м. В данном случае длина последнего ряда величин напряженности - 8400 лет позволила получить картину биений для 4000 лет, куда входит полный 3600-летний цикл биений. (3600-наименьшее кратное 1800 и 1200). Таким образом, биение - колебание, не гармоническое по своей структуре; оно является результатом суперпозиции двух периодических колебаний: 1800 и 1200 летнего, а характерные времена этих двух вариаций являются их периодами.

Тем самым показано, что 3600-летнее изменение напряженности геомагнитного поля является результатом суперпозиции (гармонических) 1800- и 1200-летних колебаний.

В отношении 2800-2400-летних изменений можно предположить, что они также являются результатом суперпозиции колебаний в интервале

1200-600-летней продолжительности. Не исключено, что 2400-летнее колебание является обертоном 1200-летнего.

Группа более быстрых колебаний, 600-400-летней продолжительности, показана на рис. 4г, 4д, 4е. По кривой г не видно ожидаемого четкого выделения 600-летнего колебания. Не раз говорилось о трудности разделения колебаний в этом диапазоне; в частности, в работе [Бурлацкая и др., 1991] показано, что пик кривой спектральной плотности расщепился на два: 550 и 350 лет. Надо заметить, что на рис. 4г 600-летнее колебание более четко прослеживается только в интервале времени нашей эры. По-видимому, здесь присутствует еще одно, не полностью снятое колебание. Амплитуда порядка 2 А/м.

Колебания длительностью 300-400 лет показаны на рис. 4, кривые дие. Чтобы разделить эти колебания, были рассчитаны значения напряженности геомагнитного поля в рассматриваемом регионе вида: δ "1"- "3" и ϵ "2"- "4". Разделить их не удалось; более того, оба типа колебаний: δ и ϵ легли на одну и ту же кривую, тем самым дав основание предположить, что существует только одно, а не два колебания, среднее значение характерного времени которого 340 лет. Как по мировым данным, так и по данным для отдельных регионов (Кавказа), [Бурлацкая, 1987; Бурлацкая, 1991; Бурлацкая и др., 1991; Бурлацкая, 1999] было показано, что это колебание порядка 350 ± 50 лет; оно было принято как 360-летнее на основе того, что колебание именно с таким периодом оценено по данным прямых наблюдений. Результаты, полученные в этой работе, уточнили и подтвердили выводы предыдущих, вышеупомянутых. Амплитуда 1800-1200-летних колебаний порядка 4 А/м; 600-400 (360)-летних - порядка 2 А/м. (Надо заметить, что частоты 600-400-летних колебаний соотносятся как 1.5 к 1, а их наименьшее кратное - 1200 лет), i

О ПРИРОДЕ АРХЕОВЕКОВЫХ ВАРИАЦИЙ

Сопоставив экспериментальные определения древнего геомагнитного поля с его теоретическим представлением, можно в первом приближении оценить его природу. В работе СИ. Брагинского [Брагинский, 1972; 1974 и др.] дано аналитическое представление основного геомагнитного поля в предположении, что главной причиной вековых вариаций являются магнитные волны в ядре, распространяющиеся в долготном направлении. В предложенной системе имеется механизм самовозбуждения волн, который связан с неустойчивостью, вызываемой архимедовыми силами. Развитие этой неустойчивости приводит к возникновению волн (МАК-волны), в которых скорость жидкости и магнитное поле - функции от долготы. Эти волны играют принципиальную

роль в механизме генерации земного динамо [Брагинский, 1973], и они же вызывают вековые вариации, так как поля волн частично проникают из ядра наружу. Именно этими волнами определяется основная часть спектра геомагнитных вариаций [Брагинский, 1974].

В данной работе сделана попытка сопоставить динамические характеристики - величины скорости западного и восточного дрейфа по аналитическим представлениям и экспериментальным данным. По модели, предложенной С.И. Брагинским [Брагинский, 1972, 1974] (вариант 1.А), в спектре содержатся три волны с частотами: ω , 1.5ω , и 2.5ω ; спектр хорошо выражается через одну независимую частоту $\omega = 0.23^\circ/\text{год}$; соответственно, две другие равны: $0.345^\circ/\text{год}$ и $0.626^\circ/\text{год}$. Это соответствует значениям периодов колебаний: 1565, 1043 и 630 лет. Волны связаны "резонансным" соотношением; при этом две волны дрейфуют на запад и одна на восток. (Есть также стоячие волны).

В работах [Брагинский, Бурлацкая, 1972, 1979; Burlatskaya, Braginsky, 1978] было показано, что аналитические модели геомагнитного поля хорошо аппроксимируют основное и медленные 1800-, 1200-летние колебания в изменении геомагнитного поля. Быстрые - 600-300-летние - не полностью. (Было отмечено аномальное поведение элементов геомагнитного поля на территории юго-востока Азии.)

По мировым археомагнитным данным спектр вариаций состоит из колебаний: 1800-, 1200-, 900-, 600- и 360-летней продолжительности. [Бурлацкая, 1987].

Соответственно, скорости дрейфа могут быть для 1800-, 1200-, и 600-летних вариаций такими: $0.2^\circ/\text{год}$; $0.3^\circ/\text{год}$ и $0.6^\circ/\text{год}$ ($0.57^\circ/\text{год}$). Они близки величинам, полученным аналитически. По археомагнитным данным предположительно было высказано соображение о возможности западного дрейфа со скоростью $0.2^\circ/\text{год}$ у 1800-летнего колебания [Бурлацкая, 1987; Бурлацкая, 1997] для наклонения и напряженности геомагнитного поля.

У 1200-летнего колебания наклонения [Бурлацкая, 1987] было обнаружено восточное смещение со скоростью $0.3^\circ/\text{год}$. Точнее, скорость порядка 0.30 - $0.32^\circ/\text{год}$; соответственно, величины периодов лежат в пределах: 1200-1600-1125 лет. Последняя цифра в этих оценках - на пределе точности определений. Как видно, погрешность определения в третьем знаке частоты колебаний изменяет величину периода в пределах ста лет, что соизмеримо с погрешностью археомагнитных определений: ± 100 лет. В пользу стабильности (синхронности) и глобальности 1800-летнего колебания свидетельствует существование других земных и внеземных ритмов той же продолжительности, но другого генезиса [Бурлацкая,

1989]. Глобальная сущность 1200-летнего колебания (направления) определяется вращением геомагнитной оси около географической в восточном направлении со скоростью $0.3^\circ/\text{год}$. Один оборот длится 1200 лет [Бурлацкая, 1987].

600-летнее колебание по величине периода соответствует 600-летнему изменению эксцентриситета - смещению магнитного центра Земли относительно центра Земли. Это показано результатами сферического гармонического анализа по археомагнитным данным [Брагинский, Бурлацкая, 1979]. Приведенные факты существенны при изучении природы геомагнитного поля. Они, в основном, говорят в пользу синхронности рассмотренных колебаний. Однако есть свидетельства дрейфа разных компонент геомагнитного поля.

Как уже отмечалось [Бурлацкая 1997, 1999], в пределах погрешности определений не исключено наличие западного дрейфа у 1800-летнего колебания со скоростью $0.2^\circ/\text{год}$. В отношении 1200-летнего колебания следует отметить (что не было сделано в статье [Бурлацкая 1999]) факт смещения во времени максимума этого колебания по сравнению с ходом кривой для Кавказа и Средней Азии - рис. 4 и рис. 5 упомянутой работы. Разница долгот этих пунктов составляет примерно 20° , а моменты максимумов: в первом случае примерно в 500 году до н. э., а во втором - в 700 году до н. э., т.е. виден восточный дрейф со скоростью порядка $0.1^\circ/\text{год}$. В настоящей работе на рис. 4 следует обратить внимание на приуроченность максимумов всех представленных на этом графике колебаний (1800, 1200, 600 и 360-летних) к временному интервалу: 800-600 годы до н.э. Повышение интенсивности колебаний в этом временном интервале видно и на кривых рис. 1.1 и рис. 1.11.

По данным из работ [Начасова, 1997; Начасова, Бураков, 1997а, 1997б, 1997в] для последних 4000 лет западный дрейф присущ 300, 500, 1000, 1700-летним колебаниям; восточный - 700 и 8000-летним изменениям геомагнитного поля с одинаковой скоростью $0.2^\circ/\text{год}$.

Авторы приходят к выводу, что вековые вариации (и дрейф) не могут быть только результатом проскальзывания жидкого ядра относительно мантии.

По озерным осадкам девяти озер Северной и Южной Америки, Евразии и Австралии [Hagee, Olson, 1989] для времени в пределах от 13100 до 2800 лет до н. э. получены данные о дрейфе вариаций направления геомагнитного поля. По этим данным дрейфуют на восток: 8000-летняя составляющая со скоростью $0.35^\circ/\text{год}$; 3200-летняя - со скоростью $0.1^\circ/\text{год}$; 2800-летняя - со скоростью $0.40^\circ/\text{год}$ и 1200-летняя - со скоростью $0.40^\circ/\text{год}$. На запад дрейфуют: 3100, 2400, 1600 и 1400-лет-

ние компоненты со скоростью соответственно: $0.15, 0.35, 0.40$ и $0.40^\circ/\text{год}$.

Для сравнительно быстрых колебаний, 600-200-летних, характерен западный дрейф экстремумов со скоростью порядка $0.2^\circ/\text{год}$ как по результатам прежних археомагнитных работ [Бурлацкая, 1987], так и по последним [Бурлацкая, 1999].

Все вышеприведенные оценки довольно различны как по продолжительности вековых вариаций, так и по значениям скорости дрейфа. Тем не менее, по столь разнообразным данным основной спектр, в целом, одинаков [Бурлацкая, 1991]. Более того, он стабилен во времени в широких пределах.

В работе [Гурарий и др. 1994] показано, что в результате изучения четырех интервалов пород ширакской свиты в Восточной Грузии, датированных временем 5.5-4.5 млн. лет назад, спектр вековых вариаций оставался стабильным на протяжении около 1 млн. лет, а возможно и в течение 5.5 млн. лет. В этой же работе показано, что одни и те же периоды вековых вариаций выделяются в стационарном поле, в поле вблизи и во время инверсии Тьера-Гильберта. Там же отмечается, что вариации с периодами до 1200 лет выделяются при изучении практически всех четырех разрезов, что еще раз свидетельствует о стабильности спектра вариаций. Вариации с периодами 400-420; 600; 880-940; 1160; 1680-1840 и 2640-2840 лет полностью согласуются со спектром вариаций, установленным при археомагнитных исследованиях и изучении молодых озерных отложений. Практически все периоды выделяются в двух компонентах: склонении и наклонении. [Гурарий и др. 1994].

Сравнение вековых вариаций показывает, что архео-, палеомагнитные данные, полученные по осадкам, и другие данные по напряженности геомагнитного поля и по компонентам его направления обнаруживают в пределах погрешности определений один и тот же спектр колебаний, и часто наблюдаются совпадающие оценки по величине и направлению смещения дрейфующих вариаций.

ВЫВОДЫ

1. По сумме авторских и литературных данных построены вариации напряженности геомагнитного поля (с трендом и без тренда) для региона в целом (Кавказ-Средняя Азия) для последних 4000 лет. Кривые легли в основу выделения спектра вариаций для изучаемого региона.

Размах колебаний порядка 40 А/м; погрешность в среднем 1.6 А/м, т.е. 4%.

2. В изменении напряженности геомагнитного поля независимо от вида исходных данных и способа их получения и обработки выявлен единый,

дискретный и стабильный во времени спектр вековых вариаций на фоне основного колебания.

3. Основное 8000-летнее колебание можно интерпретировать как колебание центра осевого диполя вдоль оси вращения. Предполагаемая С.И. Брагинским [Брагинский, 1974] аналитическая модель основного геомагнитного поля соответствует физически таким движениям и полям в земном ядре, при которых имеются резонансно взаимодействующие между собой волны основных четырех гармоник. В данной работе наиболее четко выявлены вариации 1800, 1200, 600 и 360-летней продолжительности. Частоты первых трех связаны "резонансным" соотношением: $0.2^\circ/\text{год}$; $1.5 \times 0.2 = 0.3^\circ/\text{год}$ и $2.5 \times 0.2 = 0.5^\circ/\text{год}$, что в первом приближении соответствует вариациям с периодами: 1800; 1200 и ~600 лет.

Вслед за С.И. Брагинским можно повторить: это значит, что в земном ядре имеется не просто случайный набор МАК-волн, а некая единая система весьма упорядоченных движений и полей. [Брагинский, 1972, 1974]. По степени скоррелированности вариаций, при достаточной их изученности можно наглядно представить картину-степень упорядоченности движений в земном ядре и, таким образом, решить фундаментальный вопрос о том, является ли механизм генерации в земном динамо турбулентным или упорядоченным.

4. По-видимому, установление в данной работе гармонической сущности (синусоидального вида) 1800 и 1200-летних вариаций приближает нас к представлению об упорядоченном механизме генерации в земном ядре.

5. Суть 3600-летнего колебания - биения, объясняется в настоящей работе суперпозицией двух гармонических вариаций с периодами 1800 и 1200 лет.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 97-05-656337). Автор выражает фонду благодарность.

Автор пользуется случаем также выразить глубокую благодарность профессору Г.Н. Петровой за ценные советы и постоянное внимание к работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Археоманитные определения элементов геомагнитного поля. Мировые данные. Материалы Мирового центра данных Б / Отв. ред. Петрова Г.Н. М. ВИНТИ 1977. 112с.

Брагинский С.И. Аналитическое описание геомагнитного поля прошлых эпох и определение спектра магнитных волн в земном ядре // Геомагнетизм аэрономия. 1972. Т. 12. № 6. С. 1092-1105.

Брагинский С.И. Геомагнитное динамо // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1973. № 9. С. 74-80.

Брагинский С.И. Аналитическое описание геомагнитного поля прошлых эпох и определение спектра магнитных волн в земном ядре II // Геомагнетизм и аэрономия. 1974. Т. XIV. № 3. С. 522-529.

Брагинский С.И., Бурлацкая С.П. Сравнение археоманитных данных с аналитическим представлением геомагнитного поля для последних 350 лет // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1972. № 1. С. 95-99.

Брагинский С.И., Бурлацкая С.П. Сферический анализ геомагнитного поля по археоманитным данным // Изв. АН СССР Сер. Физика земли. 1979. № 12. С. 59-66.

Бураков К.С. Определение древнего геомагнитного поля на магнитоанализируемых образцах // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1981. № 11. С. 116-120/

Бураков К.С., Начасова И.Е. Введение поправки на химические изменения во времени нагревов при археоманитном определении напряженности древнего геомагнитного поля // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1985. № 10. С. 93-96.

Бураков К.С., Начасова И.Е. Изменение геомагнитного поля на территории Грузии в V-III тыс. до н. э. // Геомагнетизм и аэрономия. 1988. № 6. С. 1033-1035.

Бурлацкая С.П. Археоманитные исследования геомагнитного поля и его вековых вариаций на Кавказе // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1977. № 4. С. 56-69.

Бурлацкая С.П. Археоманитизм. Изучение древнего геомагнитного поля. М.: Наука. 1987. 246 с.

Бурлацкая С.П. Связь 1800-1900-летних ритмов вариаций геомагнитного поля с другими земными ритмами // Изв. АН СССР. Сер. Географ. 1989. № 3. С. 96-104.

Бурлацкая С.П. Спектр вековых вариаций геомагнитного поля по геомагнитным данным // Физика Земли. 1991. № 8. С. 115-128.

Бурлацкая С.П. 1800-летняя вариация на Кавказе и в Средней Азии на фоне 8000-летнего изменения напряженности геомагнитного поля // Физика Земли. 1997. № 7 С. 34-37.

Бурлацкая С.П. Особенности спектра вековых вариаций напряженности геомагнитного поля в регионе Кавказ-Средняя Азия // Физика Земли. 1999. № 4. С. 41-47.

Бурлацкая С.П., Воронов Ю.Н. Изменение напряженности геомагнитного поля в прошлом на территории Абхазии // Геомагн. и аэрономия. 1977. Т. 17. № 1. С. 130-132.

Бурлацкая С.П., Челидзе З.А. Об изменении геомагнитного поля в Грузии в течении последних 1.5 тысяч лет до н. э. // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1990. № 7. С. 84-93.

Бурлацкая С.П., Челидзе З.А. Напряженность геомагнитного поля на Кавказе с XXV в. до н. э. до VI в. н. э. // Физика Земли. 1997. № 12. С. 52-54.

Бурлацкая С.П., Буха В.В., Бураков К.С. О погрешности определения напряженности геомагнитного поля методом Телье // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1983. № 2. С. 110-115.

- Бурлацкая С.Л., Выдрин А.И., Черных И.Е. Глобальные и региональные вариации геомагнитного поля на Кавказе // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1991. № 10. С. 40-59.
- Бурлацкая С.П., Лыков А.В., Черных И.Е. Изменение напряженности геомагнитного поля в Средней Азии за последние четыре тысячи лет // Физика Земли. 1995. № 5. С. 43-52.
- Гурарий Г.З., Кудашева И.Л., Трубихин В.М., Шипунов С.В. Вековые вариации геомагнитного поля на территории восточной Грузии 5.5-4.5 млн. лет назад // Геомагнетизм и аэрономия. 1994. Т. 34. № 4. С. 137-145.
- Начасова И.Е. Дрейф напряженности геомагнитного поля. Палеомагнетизм и магнетизм горных пород. М.: 1997. С. 63-64.
- Начасова И.Е., Бураков К.С. Археомагнитные определения напряженности геомагнитного поля в Грузии за последние 3000 лет / Тонкая структура геомагнитного поля. М. 1986. С. 26-32.
- Начасова И.Е., Бураков К.С. Изменение напряженности геомагнитного поля во II тыс. до н. э. на территории Грузии // Геомагнетизм и аэрономия. 1987. № 5. С. 869-872.
- Начасова И.Е., Бураков К.С. Интенсивность геомагнитного поля с III века до нашей эры по VI век нашей эры в Термезе (Узбекистан) // Геомагнетизм и аэрономия. 1994. № 3. С. 178-181.
- Начасова И.Е., Бураков К.С. Археоинтенсивность древнего геомагнитного поля в пятом тысячелетии до нашей эры в северной Месопотамии / Геомагнетизм и аэрономия 1995а. № 3. С. 131-137.
- Начасова И.Е., Бураков К.С. Вариации геомагнитного поля в Средней Азии в последние две тысячи лет. Анализ мировых данных / Геомагнетизм и аэрономия. 1995б. Т. 35. С. 150-157.
- Начасова И.Е., Бураков К.С. 8000-летняя вариация напряженности геомагнитного поля // Геомагнетизм и аэрономия. 1997а. № 1. С. 167-173.
- Начасова И.Е., Бураков К.С. Вариации напряженности геомагнитного поля в последние четыре тысячи лет по мировым данным / Докл. РАН. 1997б. Т. 353. № 2. С. 255-257.
- Начасова И.Е., Бураков К.С. Изменчивость возмущенности геомагнитного поля в последние семь тысяч лет / Геомагнетизм и аэрономия. 1997в. № 6. С. 120-124.
- Начасова И.Е., Бураков К.С. Напряженность геомагнитного поля в Средней Азии во втором-первом тысячелетиях до нашей эры // Физика Земли, 1997г. № 7. С. 1-6.
- Начасова И.Е., Бураков К.С. Вариации напряженности геомагнитного поля в VI-V тыс. до н. э. // Геомагн. и аэрономия. 1998. № 4. С. 125-129.
- Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. М.: Наука. 1964. 847 с.
- Burlatskaya S.P. and Braginsky S.I. The comparison of archaeomagnetic data with the analytical representation of the geomagnetic field for the last 2000 years // Archaeometry. 1978. №1. P. 73-83.
- Barton C.E., Merrill R.T., Barbetti M. Intensity of the Earth magnetic field over the last 10000 years / Phys. Earth and Planet Interiors. 1979. V. 20. № 2/4. P. 96-110.
- Hagee V. Lee, Olson P. An analysis of paleomagnetic secular variation of the Holocene // Phys. Earth and Planet. Inter. 1989. V. 56. P. 266-284.
- Nachasova I., Burakov K. Archeomagnetic Research on the Territory of Ancient Margiana // UNESCO Information Bulletin. Issue. 1919. Nauka. 1993. P. 205-217.

Статья рекомендована к печати членом редколлегии доктором физ.-мат. наук А.Н. Храмовым.