Геомагнитные наблюдения на геофизической обсерватории "Борок"

С. В. Анисимов, 1 Э. М. Дмитриев, 1 К. В. Афиногенов 1 и А. В. Гурьев 1 Получено 1 10 мая 2 2011 г.; принято 1 19 мая 2 2011 г.; опубликовано 2 июня 2 2011 г.

Геофизическая обсерватория "Борок" - филиал Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН (ИФЗ РАН), создавалась в качестве экспериментальной базы Института физики Земли для проведения натурных геомагнитных наблюдений ультранизкочастотных пульсаций магнитного поля Земли по программе Международного геофизического года. Данные обсерваторских наблюдений позволяли решать задачи солнечно-земной физики и развивать методы диагностики состояния околоземных газо-плазменных оболочек. К настоящему времени обсерваторские геомагнитные наблюдения дополнены измерениями геомагнитных вариаций и главных компонент геомагнитного поля, включая абсолютные магнитные измерения. Вариации геомагнитного поля регистрируются с помощью fluxgate-магнитометра сети субавроральных магнитных станций SAMNET, разработанного Университетом Йорка (Великобритания). Главные компоненты геомагнитного поля регистрируются в рамках международной программы INTERMAGNET скалярным и векторным магнитометрами производства Парижского института физики Земли (Франция). Дважды в неделю проводятся абсолютные магнитные измерения. Данные геомагнитных наблюдений в режиме реального времени через локальную сеть сбора данных поступают в базу данных среднеширотной геофизической обсерватории "Борок", наряду с результатами непрерывных наблюдений теллурических токов, атмосферного электрического поля, плотности электрического тока атмосферы, ряда метеорологических и аэродинамических параметров приземной атмосферы. КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: магнитометрия; геофизические обсерватории; геомагнитные данные; базы данных.

Ссылка: Анисимов, С. В., Э. М. Дмитриев, К. В. Афиногенов и А. В. Гурьев (2011), Геомагнитные наблюдения на геофизической обсерватории "Борок", Вестник ОНЗ РАН, 3, NZ5002, doi:10.2205/2011NZ000104.

Введение

Важнейшим источником геофизических знаний являются натурные обсерваторские наблюдения. Непрерывные временные ряды геофизических величин, характеризующие изменения геофизического окружения, служат экспериментальной основой исследований литосферы, атмосферы, гидросферы, космического пространства, биоты. Современные обсерваторские геофизические наблюдения включают широкий комплекс измерений, таких как сейсмометрия, гравиметрия, геомагнитометрия, геоэлектрометрия, аэроэлектрометрия, радиофизические измерения.

© 2011 Геофизический центр РАН. http://onznews.wdcb.ru/doi/2011NZ000104.html

Особое внимание к наблюдению электромагнитного поля Земли на геофизических обсерваториях определяется тем, что изучение его изменений от вековых вариаций до миллисекундных колебаний позволяет получить информацию об эволюции, строении и современном состоянии как твердой Земли, так и ее газо-плазменных оболочек. При этом магнитное поле Земли является одним из реальных энергетических звеньев солнечно-земных связей. Совокупность явлений, происходящих в земной атмосфере вследствие солнечных вспышек, предопределяется, прежде всего, возмущениями геомагнитного поля. Актуальность оперативной информации о динамике геомагнитного поля в широком диапазоне частот связана с развитием современных навигационных средств, качеством прогнозов погоды, уровнем диагностики медикобиологических проявлений солнечной активности.

Среднеширотная геофизическая обсерватория "Борок" Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН (ГО "Борок" ИФЗ РАН) [58.03°N, 38.97°Е] была создана в 1957 г. как экспериментальная база Института фи-

NZ5002 1 из 8

¹Геофизическая обсерватория "Борок", филиал Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

зики Земли для проведения натурных геомагнитных наблюдений ультранизкочастотных пульсаций магнитного поля Земли. С момента основания обсерваторский измерительный комплекс неоднократно модернизировался и расширялся, сохраняя при этом методическую и метрологическую преемственность базовых наблюдений.

Существенные изменения затронули обсерваторскую систему регистрации и используемые носители информации. В 1997 г. при поддержке РФФИ (грант № 96-05-67026) была проведена коренная реконструкция системы сбора измерительного комплекса ГО "Борок" [Анисимов и др., 2000], введена в действие система цифровой регистрации, создана база данных обсерваторских геофизических измерений на CD ROM.

Ввод в действие цифровой регистрации и архивации геофизической информации позволил обмениваться данными с ведущими мировыми геофизическими центрами и активно включаться в международные программы геомагнитных измерений. В 1998 г. в измерительный комплекс ГО "Борок" вошла магнитометрическая станция международной сети субавроральных геомагнитных наблюдений SAMNET, позволившая регистрировать вариации трех компонент геомагнитного поля с частотой 1 Гц.

В 2000–2004 гг. при поддержке РФФИ (гранты № 99-07-90106, № 02-07-90107) была проведена дальней-шая модернизация системы сбора, нацеленная, прежде всего, на интегрирование ее с базой данных для непосредственного представления данных в Интернет [Аписимов и др., 2001, 2002; Anisimov, Dmitriev, 2003]. Создана локальная сеть сбора данных, первоначально включавшая в себя основную систему сбора данных, магнитометрическую станцию SAMNET, компьютер обработки данных, сервер базы данных. На сервере базы данных размещен сайт базы данных с интернет-доступом через центральный сервер обсерватории.

В 2003 г. ГО "Борок" вошла в Международную сеть магнитных обсерваторий реального времени INTERMAGNET. На установленной в обсерватории магнитной станции, наряду с автоматическими измерениями главных компонент магнитного поля, регулярно проводятся абсолютные магнитные измерения согласно протоколу программы INTERMAGNET. Данные, полученные по программе INTERMAGNET, ежесуточно передаются на информационный узел сети, расположенный в Парижском институте физики Земли (Франция).

Благодаря сотрудничеству с зарубежными геофизическими организациями в рамках международных программ, достигнута интеграция базы данных ГО "Борок" в международные сети геомагнитных наблюдений, а также значительно расширен спектр геомагнитных наблюдений, проводимых в обсерватории. На сегодняшний день на ГО "Борок" проводятся все виды геомагнитных измерений, принятые в практике магнитных обсерваторий: непрерывные измерения ультранизкочастотных геомагнитных пульсаций, регистрация вариаций и главных компонент геомагнитного поля, регулярные абсолютные измерения.

В последние годы при поддержке РФФИ (гранты № 05-07-90262 и № 08-07-00194) проведена дальнейшая модернизация измерительного комплекса и базы данных

ГО "Борок" с использованием современных информационных технологий [Анисимов, Дмитриев, 2005, 2009, 2010; Анисимов и др., 2007, 2008]. Модернизация направлена на расширение измерительного комплекса за счет включения в него средств измерения атмосферных полей, оптимизацию архитектуры, аппаратного и программного обеспечения локальной сети сбора данных и базы данных, расширение средств и методов обработки данных геофизических наблюдений с целью получения интегральных характеристик геофизических полей. Последним примером в этом направлении, связанным с представлением данных геомагнитных наблюдений, служит разработка программ для расчета аналогов K индексов геомагнитной активности по результатам наблюдений вариаций геомагнитного поля и их представления на web-сайте базы данных Γ О "Борок" [Дмитриев, Φu липпов, 2010].

Измерительный комплекс и сеть сбора данных

В настоящее время измерительный комплекс ГО "Борок" [Анисимов, Дмитриев, 2003; Anisimov et al., 2008] позволяет непрерывно регистрировать следующие геофизические и метеорологические параметры:

- три компоненты геомагнитного поля и полный вектор геомагнитного поля в Международной программе сети магнитных обсерватории INTERMAGNET;
- вариации геомагнитного поля в Международной сети SAMNET;
- ULF пульсации геомагнитного поля с помощью индукционных магнитометров;
- три компоненты теллурических токов;
- атмосферное электрическое поле с помощью электростатического флюксметра;
- вертикальный электрический ток атмосферы с помощью антенны "токовый коллектор";
- объемную активность радона и торона с помощью сейсмической радоновой станции "CPC-05";
- вариации атмосферного давления с помощью жидкостного микробарографа;
- поверхностную плотность потока солнечного излучения с помощью пиранометра "MP-3";
- метеорологические параметры (давление, влажность, температура, компоненты скорости ветра и их пульсации) с помощью метеостанции "WS-2500" и ультразвукового метеорологического комплекса "Метео-2М";
- высотный профиль трех компонент скорости ветра до высоты 800 м с помощью акустического доплеровского локатора (содара) "Волна-3".

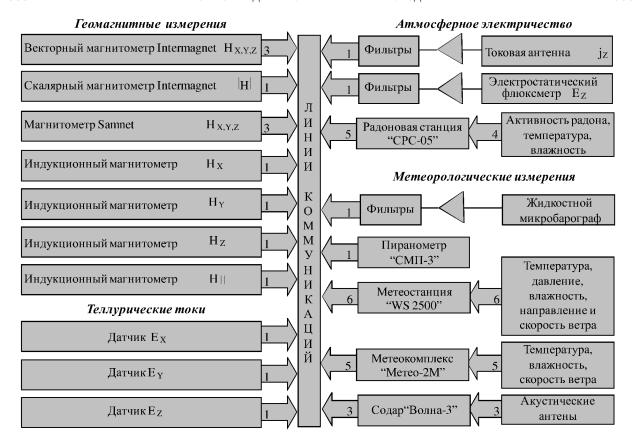


Рис. 1. Измерительный комплекс ГО "Борок" ИФЗ РАН.

Схема измерительного комплекса обсерватории представлена на ${\operatorname{Puc.}}\ 1.$

Сбор и первичное накопление данных наблюдений, поступающих с измерительных приборов, включая датчики геомагнитных полей всех типов, осуществляется выделенными компьютерами (системами сбора данных). Полученные данные через локальную сеть сбора данных (Рис. 2), в которую, помимо систем сбора данных, входят компьютер архивации данных и сервер базы данных, поступают в базу данных ГО "Борок".

Как и большинство разработок в этой области, база данных среднеширотной геофизической обсерватории "Борок" ([http://geobrk.adm.yar.ru]) не имеет прямых аналогов, предоставляя пользователю оригинальную информацию, обработанную согласно правилам подготовки цифровых временных рядов и современным математическим методам. Согласованная работа компьютеров локальной сети сбора данных обеспечивает регулярное наполнение базы данных результатами непрерывных обсерваторских наблюдений. При разработке интерфейса базы данных учтены требования простоты и надежности схем ввода, хранения и поиска данных; перспектива развития связей между отдельными элементами базы; возможности усложнения структуры информационных элементов; потенциальный рост объемов поступающей, обрабатываемой и хранящейся информации; возможность работы в информационных сетях с унифицированным пользовательским интерфейсом.

Наблюдения геомагнитных пульсаций

В измерительный комплекс входят четыре высокочувствительных индукционных магнитометра, разработанных специально для регистрации ультранизкочастотных пульсаций геомагнитного поля в условиях непрерывных обсерваторских наблюдений [Анисимов и др., 1982]. Индукционными магнитометрами измеряются ультранизкочастотные пульсации компонент геомагнитного поля:

- вертикальной компоненты (H_z) ;
- компоненты север-юг (H_x) ;
- компоненты восток-запад (H_y) ;
- ullet компоненты, условно направленной вдоль магнитной силовой линии $(H_{\parallel}).$

Магнитометр состоит из индукционного датчика (Рис. 3), МДМ-усилителя и набора фильтров. Коэффициент преобразования датчика является в некоторых пределах ли-

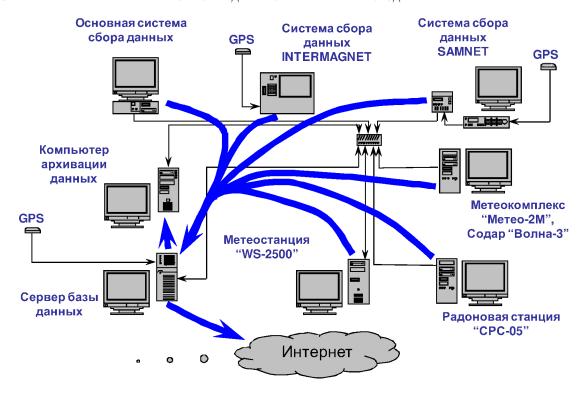


Рис. 2. Локальная сеть сбора данных ГО "Борок" ИФЗ РАН.

нейной функцией частоты с наклоном 6 дБ на октаву. Линейная зависимость коэффициента передачи датчика от частоты позволяет скомпенсировать спектральную неравномерность интенсивности поля геомагнитных пульсаций. Индукционный датчик имеет чувствительность $500~{\rm MkB/hT}$ л на частоте $1~{\rm \Gamma \mu}$ и состоит из пяти секций по 40000 витков каждая. В качестве сердечника используются пять свинчивающихся стержней диаметром 16 мм и длиной 400 мм из пермаллоя 79НМ. Поверх основной обмотки намотана калибровочная, которая содержит 1000 витков. Определение калибровочной постоянной каждого индукционного датчика осуществляется методом компенсации, при котором однородное эталонное магнитное поле, создаваемое либо кольцами Гельмгольца, либо соленоидом, компенсируется полем индукционного датчика при протекании тока через калибровочную обмотку.

Для повышения помехозащищенности и устранения шумов, связанных с наводками и электризацией кабеля, усилитель расположен непосредственно в корпусе датчика. В индукционном магнитометре применен усилитель, работающий по принципу "модуляция—демодуляция" полезного сигнала. Усилитель имеет следующие параметры: среднеквадратическое значение собственных шумов в полосе частот $0,001 \div 10~\Gamma$ ц не превышает 0,1~мкB; динамический диапазон 80~дБ; температурный дрейф не более $0,5~\text{мкB}/^{\circ}$ С в диапазоне температур от минус 40° С до плюс 60° С; входное сопротивление 1~МОм; коэффициент усиления 1000. Для подавления сетевой наводки с

частотой 50 Гц на входе усилителя имеется активный режекторный фильтр. Базовым звеном фильтров магнитометра является полосовой фильтр с усилителем ограниченного усиления. Фильтры обеспечивают затухание вне полосы пропускания не менее 18 дБ на октаву, коэффициент усиления в полосе до 4000. Приведенные характеристики обеспечиваются последовательным включением двух базовых звеньев.



Рис. 3. Датчик индукционного магнитометра (компонента север-юг).

Примеры амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристик индукционного магнитометра представлены на Рис. 4. Частотный диапазон магнитометра определяется линейным участком амплитудно-частотной характеристики датчика и ограничен сверху частотой f=3 Гц. Уровень шума при измерении магнитного поля на частоте f=1 Гц составляет 0,5 пТл Гц $^{-1/2}$. Потребляемая мощность равна 1,5 Вт.

Регистрация ультранизкочастотных пульсаций геомагнитного поля производится основной системой сбора данных (Рис. 2), построенной на базе персонального компьютера с встроенной платой аналого-цифрового преобразователя. На основную систему сбора данных поступают также данные со всей регистрирующей аналоговой аппаратуры, входящей в состав измерительного комплекса обсерватории и предназначенной для непрерывных наблюдений геофизических полей различной природы (теллурических токов, атмосферного электрического поля, вертикального электрического тока атмосферы, вариаций атмосферного давления). Раз в час данные регистрации передаются с основной системы сбора на сервер базы данных. Частота сбора данных составляет 10 Гц. Привязка данных к мировому времени осуществляется при помощи сервера точного времени, функционирующего на сервере базы данных и использующего устройство GPS.

Наблюдения вариаций геомагнитного поля

Непрерывные наблюдения вариаций геомагнитного поля на ГО "Борок" ведутся в рамках программы SAMNET (Sub-Auroral Magnetometer Network) – од-

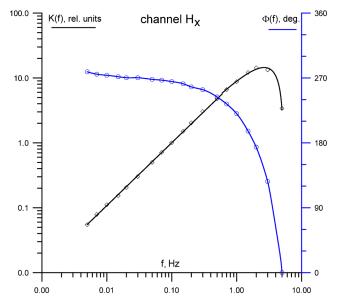


Рис. 4. Амплитудно-частотная характеристика K(f) и фазо-частотная характеристика $\Phi(f)$ магнитометра.

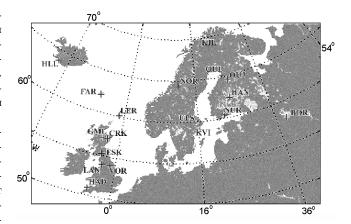


Рис. 5. Магнитометрические станции сети SAMNET.

ной из научных программ Великобритании, созданной с целью решения задач солнечно-земной физики. Международная сеть магнитометрических станций SAMNET работает с 1987 г. В нее входят станции Великобритании, Фарерских островов, Швеции, Норвегии, Финляндии, Исландии и России (Рис. 5), оборудованные fluxgate-магнитометрами, непрерывно регистрирующими вариации геомагнитного поля. Функционирование сети SAMNET в настоящее время обеспечивается группой космической плазмы и радионаук физического факультета Ланкастерского университета ([http://spears.lancs.ac.uk/samnet]), поддерживающей центральный сервер сети SAMNET. Данные, полученные в рамках программы SAMNET, открыты для свободного использования в научных целях.

В состав измерительного комплекса ГО "Борок" магнитометрическая станция SAMNET входит с 1998 г. Магнитометрическая станция SAMNET (Рис. 6) состоит из трехкомпонентного fluxgate-магнитометра, системы GPS для привязки данных к абсолютному времени и компьютера сбора данных. Fluxgate-магнитометр, являющийся основным датчиком вариаций магнитного поля на магнитометрических станциях SAMNET, позволяет измерять три компоненты земного магнитного поля с разрешением 0,1 нТл. Первоначально данные наблюдений вариаций магнитного поля накапливались на ZIP-диске и раз в неделю пересылались на центральный сервер сети. С 2001 г. магнитометрическая станция SAMNET была интегрирована в локальную сеть сбора данных, что позволило накапливать данные непосредственно на сервере базы данных и ввести ежесуточную автоматическую отправку данных по электронной почте на центральный сервер программы SAMNET.

В качестве системы сбора данных в автоматической магнитной станции SAMNET используется персональный компьютер с платой аналого-цифрового преобразователя. Частота сбора данных составляет 1 Гц. Для привязки данных к мировому времени используется выделенное устройство GPS, подключенное непосредственно к системе сбора данных (Рис. 6). Раз в сутки программное обеспечение системы сбора данных архивирует все новые данные и копирует их на сервер базы данных.





Рис. 6. Датчик (a), магнитометр и система сбора данных (b) магнитометрической станции SAMNET.

Наблюдения главных компонент геомагнитного поля

Главные компоненты геомагнитного поля регистрируются в рамках международной программы

INTERMAGNET ([http://www.intermagnet.org]), в настоящее время объединяющей более 100 магнитных обсерваторий в 36 странах мира (Рис. 7). Данные геомагнитных наблюдений оперативно передаются обсерваториями и институтами, участвующими в программе, на региональные геомагнитные информационные узлы через спутники, компьютерные сети и т.д. с использованием стандартных форматов INTERMAGNET. Региональные геомагнитные информационные узлы осуществляют глобальный обмен геомагнитными данными и результатами их обработки, обеспечивают доступ к данным участвующих в программе обсерваторий и всего научного сообщества.

Включение ГО "Борок" ИФЗ РАН в программу INTERMAGNET обусловлено как ее географическим положением, обеспечивающим низкий уровень электромагнитных помех, так и высоким профессиональным уровнем научного персонала. На ГО "Борок" в соответствии с протоколами и стандартами глобальных сетевых геомагнитных наблюдений установлено стандартное оборудование INTERMAGNET [Chulliat, Anisimov, 2008], включающее скалярный и векторный магнитометры (Рис. 8).

Скалярный протонный магнитометр модели SM 90R производства фирмы GEOMAG (Франция) предназначен для измерения полной величины магнитного поля. Магнитометр обладает разрешением 0,1 нТл, динамическим диапазоном 32000–70000 нТл, частотным диапазоном 0 — 0,3 Гц. Векторный трехкомпонентный магнитометр модели VM 300 производства фирмы GEOMAG имеет динамический диапазон ± 70000 нТл и полосу пропускания 0–1 Гц.

Для проведения абсолютных геомагнитных измерений используется портативный однокомпонентный магнитометр на немагнитном теодолите, обеспечивающий изме-

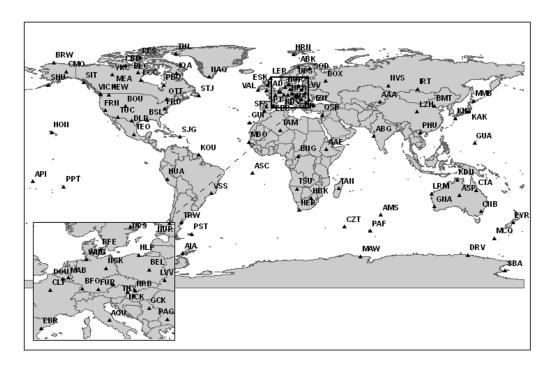


Рис. 7. Геомагнитные обсерватории сети INTERMAGNET.



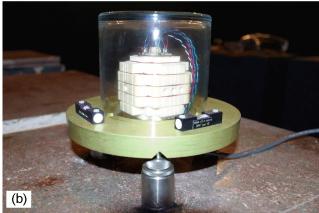


Рис. 8. Датчик скалярного (a) и векторного (b) магнитометров автоматической магнитной станции INTERMAGNET.

рения магнитного поля в пределах ± 2 мкТл с разрешающей способностью 0,1 нТл в частотном диапазоне на аналоговом выходе 0–10 Γ ц.

В качестве регистрирующего устройства используется система сбора данных модели ENO II производства фирмы GEOMAG, представляющая собой специализированный персональный компьютер на базе процессора $1386/40~\mathrm{MF}_{\mathrm{I}}$ с операционной системой MS DOS. Устройство ENO II предназначено для цифровой регистрации магнитометрических данных со скалярного и векторного магнитометров. Частота дискретизации выходного амплитудно-временного ряда – 1 мин. Точная привязка ко времени при работе в сети синхронных наблюдений магнитного поля осуществляется прибором GPS, встроенным в устройство сбора магнитометрических данных.

Передача на Геомагнитный информационный узел Международной программы (IPGP, Франция) обеспечивается посредством электронной почты согласно требованиям протокола INTERMAGNET.

Заключение

В работе приведено описание геомагнитных наблюдений, проводимых на ГО "Борок" ИФЗ РАН и образующих центральный блок современного информационно-измерительного комплекса обсерватории. На ГО "Борок" в непрерывном обсерваторском режиме проводятся все виды геомагнитных наблюдений, включая измерение ультранизкочастотных пульсаций геомагнитного поля, геомагнитных вариаций, главных компонент магнитного поля Земли, а также абсолютные магнитные измерения. При этом производится непрерывная цифровая регистрация и архивация всех элементов геомагнитного поля как функций времени.

Благодарность. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 08-07-00194).

Литература

Анисимов, С. В., Э. М. Дмитриев (2003), Информационноизмерительный комплекс и база данных Геофизической обсерватории "Борок" РАН, Москва, ОИФЗ РАН, 44 с.

Анисимов, С. В., Э. М. Дмитриев (2005), Развитие информационных технологий в системе мониторинга геофизических полей Геофизической обсерватории "Борок", Вести. Отделения наук о Земле РАН", Электр. науч.-инф. журн., [http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2005/inform-1.pdf].

Анисимов, С. В., Э. М. Дмитриев (2009), Геоинформационные технологии геомагнитных наблюдений на Геофизической обсерватории "Борок", *Российский экурнал наук о Земле*, 11, doi:10.2205/2009ES000401.

Анисимов, С. В., Э. М. Дмитриев (2010), Информатизация геомагнитных наблюдений на геофизической обсерватории "Борок", Электронный мультимедийный журнал "Вестник Отделения наук о Земле РАН", Труды 10-й юбилейной конференции "Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле" (специальный выпуск), doi:10.2205/2010NZ000023.

Анисимов, С. В., Ю. Е. Боровков, В. И. Гончаров, В. Ф. Рубан, Н. Н. Русаков (1982), Высокочувствительный полевой магнитометр с МДМ усилителем, Результаты исследований по международным геофизическим проектам. Геомагнитные исследования, 30, 43–45.

Анисимов, С. В., Э. М. Дмитриев, Е. Б. Анисимова, С. С. Бакастов (2000), Информационно-измерительный комплекс Геофизической обсерватории "Борок", Электронный научно-информационный журн. "Вестник ОГГГГН РАН", [http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/3-2000/anisimov.htm].

Анисимов, С. В., Э. М. Дмитриев, Е. Б. Анисимова, А. Н. Сычев (2001), База данных Геофизической обсерватории "Борок", Электронный научно-информационный эсури. "Вестник ОГГГГН РАН", [http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/4-2001/anisimov.pdf].

Анисимов, С. В., Э. М. Дмитриев, Е. Б. Анисимова, С. С. Бакастов (2002), Информационные технологии в системе геоэлектромагнитного мониторинга Геофизической обсерватории "Борок" РАН, Материалы Всероссийской конференции "Теофизика на рубеже веков", Москва, 71–72.

Анисимов, С. В., Э. М. Дмитриев, А. Н. Сычев (2007), Информатизация наблюдений геофизических полей на обсерватории "Борок", *Геофизические исследования*, 7, 107–129.

- Анисимов, С. В., Э. М. Дмитриев, Н. К. Сычева, А. Н. Сычев, В. П. Щербаков, Ю. К. Виноградов (2008), Информационные технологии в геомагнитных измерениях на геофизической обсерватории "Борок", Геофизические исследования, 9, 3, 62–76.
- Дмитриев, Э. М., В. А. Филиппов (2010), Алгоритм расчета индексов геомагнитной активности, Солнечно-Земные связи и физика предвестников землетрясений: V межедунар. конф., с. Паратунка Камч. край, 2–7 авг. 2010 г., сб. докладов, Петропавловск-Камч., ИКИР ДВО РАН, 110–112.
- Anisimov, S. V., E. M. Dmitriev (2003), The telematic applications in measuring complex and database of Borok Geophysical Observatory, Abstracts of "New Methods of Working for Information Society Technologies Promotion to Commonwealth of Independent States" (WISTCIS) Outlook
- Conference "Information Society Priorities: New Prospects for European CIS Countries", Moscow, 12–13.
- Anisimov, S. V., A. Chulliat, E. M. Dmitriev (2008), Information-measuring complex and database of mid-latitude Borok Geophysical Observatory, Russian J. Earth Sci., 10, 3, ES1007, doi:10.2205/2007ES000227.
- Chulliat, A., S. V. Anisimov (2008), The Borok INTERMAGNET magnetic observatory, *Russian J. Earth Sci.*, 10, 3, ES3003, doi:10.2205/2007ES000238.
- С. В. Анисимов, К. В. Афиногенов, А. В. Гурьев и Э. М. Дмитриев, Геофизическая обсерватория "Борок" филиал Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия. (eldar@borok.yar.ru)