

10. Слепьян Л. И. Динамика трещины в решетке // Докл. АН СССР. 1981. Т. 253, №3. С. 561-564.
11. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир. 1980. – 404 с. Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам. – М.: URSS. 2005. – 245 с.
12. Dicke R.H. Coherence in spontaneous radiation processes // Phys. Rev. 1954. V. 93, № 1. P. 99-110.
13. Lei X., Nishizawa O., Kuzunose K., Satoh T. J. Fractal structure of the hypocenter distributions and focal mechanism solutions of acoustic emission in two granites of different grain sizes // J. Phys. Earth. 1992. V. 40. P. 617-634.
14. Slepyan L.I. Feeding and dissipative waves in fracture and phase transition I. Some 1D structures and a square-cell lattice // J. Mech. Phys. Solids. 2001. V. 49. P. 469-511.
15. Slepyan L.I. Feeding and dissipative waves in fracture and phase transition. III. Triangular-cell lattice // J. Mech. Phys. Solids. 2001. V. 49. P. 2839 – 2875.

**ИССЛЕДОВАНИЯ ВАРИАЦИЙ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕТИ МАГНИТНЫХ ОБСЕРВАТОРИЙ ИКИР ДВО РАН**

**THE INVESTIGATIONS OF THE GEOMAGNETIC VARIATIONS USING THE
MAGNETIC OBSERVATORY NETWORK OF THE IKIR FEB RAS**

В.В. Кузнецов¹, С.Ю. Хомутов²

*¹Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН
²Геофизическая обсерватория "Ключи" АСФ ГС СО РАН*

The magnetic field monitoring is performed by magnetic observatory (MO) of IKIR FEB RAS: "Paratunka", "Cape Schmidt", "Magadan", "Khabarovsk" and "Yuzhno-Sakhalinsk". These observatories cover the wide region of Russian Far East and North and display the wide range of magnetic field values (see Figure). Simultaneous use and processing of the MO data allows to solve various applied and scientific problems, such as the on-line control of the local magnetospheric disturbance motion, the investigation of the long-period magnetic variations (similar to magnetic pole drift or jerks), the estimation of the potentiality of the Earth's magnetic field and its spatial-temporal variations. Practical steps towards of realization of this project are (i) the full check of the old data of these MO and the creation of the convenient data base, (ii) the installation of modern digital magnetometers and the maintenance the real-time data exchange between MO and (iii) the simulation of the spatial configuration of IKIR magnetic observatories network and its technical possibilities.

1. Введение

Любая стационарная магнитная обсерватория (МО), работающая в соответствии с принятыми международными стандартами, предоставляет уникальную информацию о вариациях магнитного поля Земли на различных временных масштабах. Но на порядок более ценные данные могут быть получены распределенной сетью МО, выполняющих измерения по согласованной программе. Примером глобальной сети является мировая сеть МО, работающая по стандартам IAGA, или сеть следующего поколения – INTERMAGNET.

Прекрасным примером эффективности измерений сетью МО может служить проект университета Кюсю (Япония) "210° Magnetic Meridian Network Project", начатый в рамках программы STEP в 1990 г. [7]. В проекте был задействован ряд российских обсерваторий, включая две МО ИКИР: "Паратунка" и "Магадан". Основной задачей проекта было исследование процессов в магнитосфере, в т.ч. разделение пространственных и временных вариаций, изучение распространения магнитосферных возмущений от высоких широт к экватору, понимание глобальных механизмов генерации солнечно-земных явлений, используя магнитные измерения (с разрешением в 1 секунду). В 1996 г. этот проект был расширен за счет включения в единую сеть ряда МО,

расположенных вдоль магнитного экватора и в некоторых других регионах. Проект известен как "The Circum-pac Pacific Magnetometer Network". Дальнейшее развитие эта сеть МО получила в проекте "MAGDAS" (2005-2008 г.г.; от России участвуют ИКИР, ИКФИА и ТОИ), в рамках которого на МО планируется выполнить обновление магнитометров, системы сбора и передачи данных. Научные задачи включают изучение быстрых процессов и динамики геокосмической плазмы во время магнитных бурь и авроральных суббурь, трехмерное моделирование глобальных токовых систем и др. [8].

Для изучения авроральных электроджетов и перемещающихся токовых систем в Фенноскандии развернута сеть IMAGE – "International Monitor for Auroral Geomagnetic Effects", включающая 29 равномерно распределенных магнитных станций, обеспечивающая измерения вариаций магнитного поля с периодичностью 10-20 с [6] и работающая совместно с другими геофизическими приборами (широкоугольными камерами, риометрами, радарными). Другие примеры - проекты MAGIC - "Magnetometer Array on the Greenland Ice Cap" (4 автоматические магнитные станции в Гренландии для изучения быстрых мелкомасштабных ионосферных явлений, поддерживаемые университетом Мичигана, США) и SAMNET – "The UK Sub-Auroral Magnetometer Network" (5 магнитных станций установлены на севере Европы, обеспечивают измерения вариаций магнитного поля с частотой 1 Гц для изучения ионосферных процессов; поддерживаются университетом в Ланкастере, Великобритания).

Важная научная и практическая задача, которая не может быть решена без использования оптимально распределенной сети МО, – это измерения параметров геомагнитного поля на пунктах векового хода (ПВХ). Программа АН СССР периодических (раз в 5 лет) измерений полного вектора напряженности магнитного поля на выделенных и зафиксированных пунктах была прекращена после 1990 г. Однако в мире эти работы ведутся очень интенсивно. Более того, возобновляются наблюдения на ПВХ в странах Восточной Европы и некоторых странах СНГ (Украина, Эстония, Литва, Латвия) [4]. И, согласно методике измерений на ПВХ, данные ближайших магнитных обсерваторий являются неотъемлемой и очень важной составляющей, используемой для корректного учета геомагнитных вариаций [2].

Существует также ряд практических задач, для решения которых необходимы результаты высокоточных наблюдений на сети МО. Одной из таких задач является точная ориентация горизонтальных скважин при бурении, в основном при нефтегазовых разработках на морском шельфе. Система ориентации бура использует данные о полном векторе магнитной напряженности (D,I,F) в районе бурения, включая оперативную информацию о геомагнитных вариациях. Примером может служить on-line передача минутных данных четырех магнитных обсерваторий Британской геологической службы (BGS) нефтяным компаниям, ведущих добычу в Северном море [5]. Необходимо отметить, что для обеспечения нефтяных компаний оперативной и достоверной геомагнитной информацией BGS была организована новая МО "Sable Island" (SBL) вблизи западного побережья Канады и возобновлена деятельность МО "Jim Carrigan" (JCO) на северном побережье Аляски.

Еще одна практическая задача, в которой используются оперативные данные сети магнитных обсерваторий – это мониторинг индуцированных токов (ИТ) в протяженных высоковольтных линиях электропередач, возникающих во время геомагнитных возмущений и которые могут приводить к сбоям функционирования подстанций [1]. Примером может служить система оперативного оповещения энергетических компаний на севере Великобритании о ненормально высоких значениях ИТ, оцениваемых по данным трех МО BGS [3].

Приведенный выше краткий обзор возможностей региональных сетей магнитных обсерваторий, объединенных единой программой наблюдений, однотипным оборудованием и оперативным доступом к данным, подтверждает высокий потенциал сети МО ИКИР, особенности которой рассматриваются в этом докладе.

2. Сеть магнитных обсерваторий ИКИР ДВО РАН

Сеть МО ИКИР включает пять обсерваторий, информация о которых представлена в табл.1. Элементы магнитного поля, вычисленные для эпохи 2005.5 по модели IGRF10 (2000) даны в табл. 2. Положение МО вместе с изолиниями D и H-составляющих магнитного поля (модель WMM 2005) показано на рис.1. Как видно по представленным данным, МО ИКИР расположены на обширной территории Дальнего Востока и Севера, перекрывая почти 30-градусную область магнитных долгот и широт. Необходимо также отметить, что к западу от сети находится Восточно-Сибирская магнитная аномалия, а с востока – сейсмически активное западное побережье Тихого океана. Обе эти особенности создают предпосылки для организации специальных наблюдательных программ и проектов.

Таблица 1. Координаты магнитных обсерваторий ИКИР

МО	Начало набл.	Код IAGA	Географические координаты, град.		Геомагнитные координаты, град. ⁽¹⁾	
			Широта (N)	Долгота (E)	Широта (N)	Долгота (E)
"Мыс Шмидта"	1967	CPS(?)	68.9	180.6	64.0	231.5
"Магадан"	1965	MGD	60.1	150.7	52.0	213.1
"Паратунка"	1968	PET	53.0	158.3	45.8	221.5
"Хабаровск"	1968	KHB	47.7	134.7	38.4	202.5
"Южно-Сахалинск"	1932	YSS	47.1	142.6	38.4	209.4

Примечание: (1) – геомагнитные координаты вычислены с помощью калькулятора на сайте МЦД по геомагнетизму в Киото, Япония "Transformation of Coordinate (Geographic <-> Geomagnetic)", <http://swdwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/igrf/gggm/>

Таблица 2. Элементы магнитного поля, вычисленные по модели IGRF10 для эпохи 2005.5

Код МО	D	I	H, нТл	X, нТл	Y, нТл	Z, нТл	F, нТл
CPS	+05°44с	77°32с	12210.5	12149.3	+1220.9	55203.0	56537.3
MGD	-11°11с	71°35с	17639.9	17305.2	-3419.8	52978.5	55838.1
PET	-06°21с	64°41с	21983.5	21848.9	-2428.9	46473.3	51410.5
KHB	-11°23с	63°14с	24365.9	23886.4	-4810.2	48290.7	54089.6
YSS	-10°17с	61°13с	24906.7	24506.3	-4448.1	45340.9	51731.4

3. Научные и прикладные задачи, решаемые сетью МО ИКИР

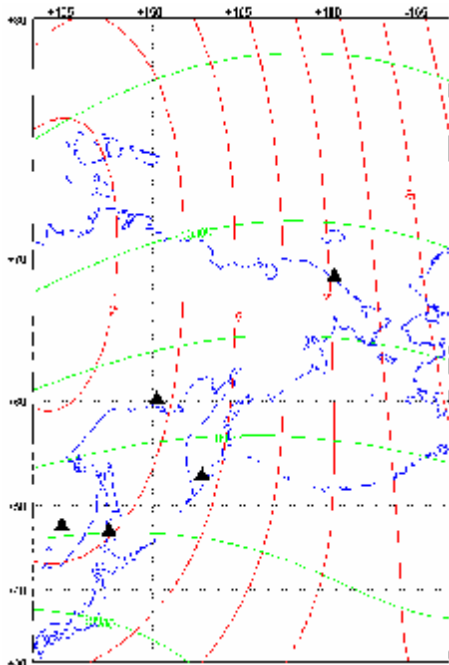


Рис.1. Расположение МО ИКИР. Изолиниями показано распределение D- и H-составляющих главного магнитного поля Земли (модель WMM 2005).

Расположение, конфигурация и продолжительность функционирования сети обсерваторий ИКИР создают приемлемые условия для решения многих научных и прикладных задач.

Длительный период функционирования МО (около 40 лет) и наличие рядов стандартизованных данных (часовой формат IAGA) дает основу для изучения медленных вариаций магнитного поля Земли, включая исследования региональных особенностей вековых вариаций главного магнитного поля и джерков. В качестве примера на рис.2 представлены среднегодовые D, H, Z для трех МО ИКИР, из которых вычтены значения поля, вычисленные по модели IGRF10, а из результирующих разностей для наглядности исключены средние уровни. Данные реальных измерений взяты в МЦД по геомагнетизму (Эдинбург). Представленные графики показывают, что (i) модельное представление главного магнитного поля и его медленных изменений в значительной степени не соответствует реальной картине в регионе и (ii) данные обсерваторий ИКИР

в общедоступных базах неполные, могут иметь ошибки и требуют тщательной ревизии.

Исследование быстрых процессов регионального масштаба в магнитосфере и ионосфере, находящих отражение в вариациях магнитного поля на поверхности, безусловно, является важнейшей задачей сети МО ИКИР. В качестве примера на рис.3 показаны квазипериодические геомагнитные возмущения в склонении по данным МО ИКИР 1 февраля 2007 г. В настоящее время происходит модернизация измерительной базы МО, результатом которой ожидается переход на проведение регулярного магнитного мониторинга в соответствии со стандартами INTERMAGNET (периодичность измерений 1 мин., чувствительность по вариациям не хуже 0.1 нТл, абсолютная точность не хуже 5 нТл). Сеть МО ИКИР также модернизируется в части систем связи и передачи информации, вследствие чего все полученные данные будут доступны в режиме on-line.

Обновление сети МО ИКИР позволит ставить вопрос и о практическом применении ее данных. Несмотря на то, что регион, в котором расположены МО ИКИР, индустриально не очень развит, он занимает обширную территорию в средних и высоких широтах. Поэтому здесь имеется протяженная сеть ЛЭП: ОАО "Дальневосточная распределительная сетевая компания" – более 50 тыс. км, ОАО Камчатскэнерго – более 1800 км, активно развивается сеть ОАО "Магаданэнерго", имеющая в качестве источников электроэнергии Колымскую ГЭС, Аркагалинскую ГРЭС и уникальную полярную Билибинскую АЭС. Эта сеть ЛЭП во время геомагнитных возмущений подвергается влиянию индуцированных токов. Минутные магнитные данные МО ИКИР могут составить базу для (i) оценки ожидаемых геомагнитных эффектов в ЛЭП в регионе и (ii) в будущем передаваться в оперативном режиме энергетическим компаниям. Определенную перспективу имеют и задачи обеспечения оперативными геомагнитными данными нефте- и газоразработок на шельфе Охотского моря, где по оценкам находится около 15% всех российских шельфовых запасов нефти и газа.

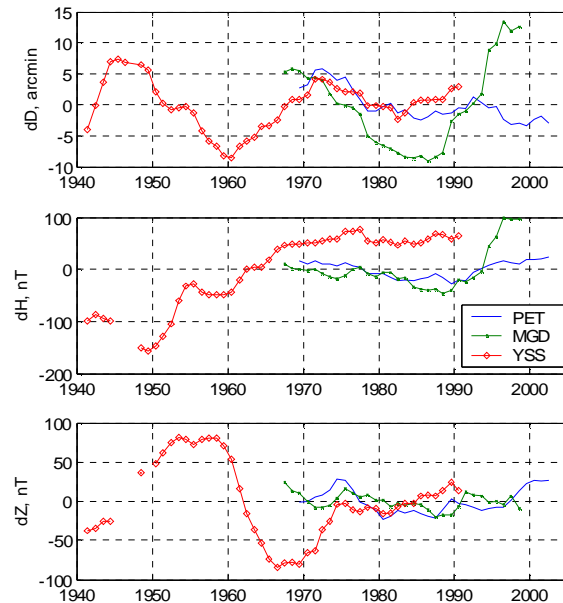


Рис.2. Отклонение медленных вариаций магнитного поля трех МО ИКИР от модели IGRF10.

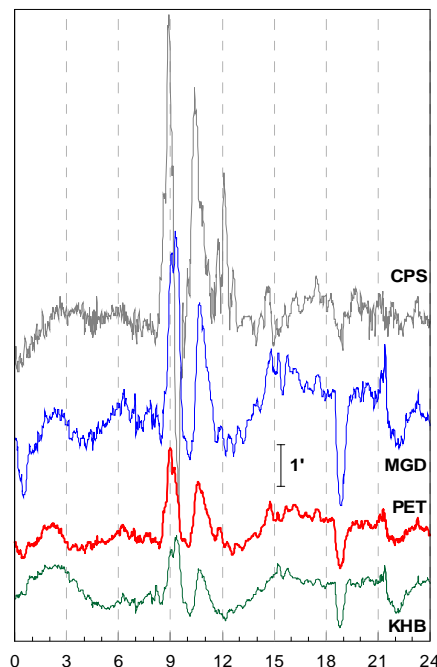


Рис.3. Вариации магнитного склонения D 1 февраля 2007 г. по данным МО ИКИР. Для наглядности $dD(CSP)$ уменьшены в 10 раз. Время UT.

Выводы

Сеть из пяти магнитных обсерваторий ИКИР ДВО РАН является важным элементом наблюдательной и экспериментальной базы ИКИР. Имеющиеся длительные ряды наблюдений составляют базу исследований медленных региональных вариаций магнитного поля. Завершение проводящейся в настоящее время на МО модернизации аппаратуры позволит получать и передавать данные в реальном времени и существенно расширить спектр изучаемых процессов, в том числе в магнитосфере и ионосфере. Сюда же можно отнести и возможность перевода аналоговых магнитограмм в цифровой вид с разрешением по времени 1 мин., что сделает их доступным для исследовательских целей. Данные, получаемые сетью МО ИКИР в режиме "on-line", могут представлять интерес и для практических задач – для нужд энергетических и нефтедобывающих компаний.

Сеть МО ИКИР является важной частью сети магнитных обсерваторий России и частью мировой сети, будучи интегрирована в нее своим участием в ряде проектов. Кроме того, МО ИКИР включены в комплекс других геофизических наблюдений (ионосферных, сейсмологических, за электрическим полем и др.).

Однако имеется целый ряд проблем, которые необходимо решать. Среди них – тщательная ревизия уже имеющихся данных и приведение их к общепринятому стандарту, перевод цифровых магнитных измерений к стандартам сети INTERMAGNET, обновление инфраструктуры обсерваторий (прежде всего – капитальный ремонт магнитных павильонов или строительство новых), проведение смены поколений магнитологов.

Список литературы

1. Водяников В.В., Гордиенко Г.И., Нечаев С.А., Соколова О.И., Хомутов С.Ю., Яковец А.Ф. Изучение наведенных токов по данным вариаций магнитного поля Земли // *Геомагнетизм и аэрономия*. 2006. Т.46, №6. С.853-858.
2. Ладынин А.В., Павлов А.Ф., Попова А.А., Семаков Н.Н., Хомутов С.Ю. Методика изучения вековых вариаций геомагнитного поля по измерениям на обсерваториях и пунктах векового хода с использованием феррозондовых теодолитов // *Геол. и геофизика*. 2006. Т.47, №6. С.800-811.
3. Beamish D., Clark T.D.G., Clarke E., Thomson A.W.P. Geomagnetically induced currents in the UK: geomagnetic variations and surface electric fields // *J. Atmos. and Solar-Terr. Physics*. – 2002. Vol.64. P.1779– 1792.
4. European geomagnetic station network. Workshop on European Geomagnetic Repeat stations Adolf Schmidt Observatory for Geomagnetism, Niemegek, Germany on February 20-21, 2003. – 2003.
5. Reay S.J., Allen W., Baillie O., Bowe J., Clarke E., Lesur V., Macmillan S. Space weather effects on drilling accuracy in the North Sea // *Ann. Geophys.* 2005. Vol.23. P.3081-3088.
6. Viljanen A., Kauristie K., Pajunpää K. On induction effects at EISCAT and IMAGE magnetometer stations // *Geophys. J. Int.* 1995. V.121. P.893-906.
7. Yumoto K. et al. The STEP 210° magnetic meridian network project // *J. Geomag. Geoelectr.* 1996. V.48. P.1297-1309
8. Yumoto, K. et al. MAGDAS project and its application for space weather. In *Solar Influence on the Heliosphere and Earth's Environment: Recent Progress and Prospects*, Edited by N. Gopalswamy and A. Bhattacharyya, ISBN-81-87099-40-2, 2006. P. 399-405.