

Проект CRENEGON и его воздействие на развитие магнитных наблюдений в странах СНГ

А. С. Потапов,¹ С. Ю. Хомутов² и Ж. Л. Рассон³

Получено 10 мая 2011 г.; принято 7 июня 2011 г.; опубликовано 8 июня 2011 г.

Коренные изменения в организации магнитных наблюдений в России были связаны с проектом, инициированным российскими, украинскими и западноевропейскими магнитологами в конце 1990-х годов. Этот проект, названный CRENEGON (Creation of a REnewed NEtwork of basic Geomagnetic Observatories of NIS countries – Создание обновленной сети базовых геомагнитных обсерваторий стран СНГ), позволил пяти обсерваториям стран СНГ присоединиться к сети INTERMAGNET. Данная статья дает краткую характеристику состояния магнитных наблюдений в Советском Союзе и в странах СНГ после Международного геофизического года (МГГ) в 1957–1958 гг. Обсуждается роль сотрудничества с европейским сообществом магнитологов. Рассматриваются проблемы обеспечения высокого качества магнитных измерений на современных обсерваториях. Заключительная часть доклада содержит предложения по развертыванию национальной сети магнитного мониторинга. **КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** магнитные наблюдения; международное сотрудничество; магнитометрическая аппаратура; геомагнитные обсерватории.

Ссылка: Потапов, А. С., С. Ю. Хомутов и Ж. Л. Рассон (2011), Проект CRENEGON и его воздействие на развитие магнитных наблюдений в странах СНГ, *Вестник ОНЗ РАН*, 3, NZ5005, doi:10.2205/2011NZ000107.

Введение

Магнитные наблюдения в России имеют богатую историю. Первые научные измерения склонения магнитного поля Земли были выполнены в Санкт-Петербурге еще в начале XVIII столетия [Распопов и др., 2009]. В Сибири регулярные магнитные наблюдения ведутся с 1887 года. В первой половине XX века мощный импульс развитию магнитных наблюдений в Советском Союзе был дан Международным геофизическим годом (МГГ) 1957–1958 гг. Большое число новых обсерваторий было развернуто на территории СССР. В Табл. 1 показан список магнитных станций, работавших в пятидесятых и шестидесятых годах. Однако далеко не все они просуществовали до конца 90-х годов. Те из них, которые продолжали передавать данные в МЦД в 1995 г., выделены в Табл. 1 цветом.

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

²Алтае-Саянский филиал Геофизической службы СО РАН, Новосибирск, Россия

³Королевский метеорологический институт, Дурбе, Бельгия

История появления проекта CRENEGON

В целях коренного улучшения состояния магнитных наблюдений в России и бывших республиках Советского Союза в Институте солнечно-земной физики СО РАН был подготовлен проект, получивший позднее название CRENEGON (The Creation of a REnewed NEtwork of basic Geomagnetic Observatories of NIS Countries – Создание обновленной сети базовых геомагнитных обсерваторий стран СНГ). В ходе подготовки проекта были собраны сведения обо всех работавших в то время магнитных станциях на территории СНГ, выявлены их проблемы и нужды. Первая презентация проекта была сделана одним из авторов статьи (А.С.П.) на заседании оперативного комитета международной сети магнитных обсерваторий INTERMAGNET в 1999 году в Будапеште (Рис. 1). Проект был одобрен, в качестве его международного координатора предложен Жан Рассон, позднее ставший председателем оперативного комитета INTERMAGNET. Было рекомендовано обратиться за финансовой поддержкой проекта в фонд INTAS (The International Association for the Promotion of Cooperation with Scientists from the New Independent States of the Former Soviet Union), созданный Европейским Союзом для поддержки научных и технологических связей между ЕС и республиками бывшего СССР. Заявка на финансирование проекта в рамках про-

Табл. 1. Список магнитных станций, работавших на территории СССР в 50-х и 60-х годах XX века

Обсерватории	Межд. код	Широта	Долгота	Год начала работы
Алма-Ата	AAA	43,25	76,92	1963
Архангельск	ARK	64,60	40,50	1965
Ашхабад	ASH	37,95	58,11	1959
Владивосток	VLA	43,78	132,03	1958
Диксон	DIK	73,54	80,56	1957
Иркутск	IRT	52,46	104,04	1887
Караганда	KGD	49,82	73,08	1969
Казань	KZN	55,83	48,85	1964
Киев	KIV	50,72	30,30	1958
Ленинград (Воейково)	LNN	59,95	30,71	1875
Львов	LVV	49,90	23,75	1952
Минск	MNK	54,50	27,88	1961
Москва	MOS	55,48	37,31	1957
Мурманск	MMK	68,95	33,05	1959
Мыс Челюскина	CCS	77,72	104,28	1957
Мыс Уэлен	CWE	66,16	190,17	1957
Новоказалинск	NKK	45,80	62,10	1960
Новосибирск	NVS	55,03	82,90	1967
Норильск	NOK	69,40	88,40	1969
Одесса	ODE	46,78	30,88	1957
Подкаменная Тунгуска	POD	61,6	90	1969
Петропавловск-Камчатский	PET	52,9	158,43	1969
Свердловск (Высокая Дубрава)	SVD	56,73	61,07	1957
Ташкент	TKT	41,33	69,62	1957
Тбилиси	TFS	42,09	44,71	1959
Тикси	TIK	71,58	129,00	1957
Томск	TMK	56,47	84,93	1965
Хейсс	HIS	80,62	58,05	1958
Южно-Сахалинск	YSS	46,95	142,72	1957
Якутск	YAK	62,02	129,72	1957

граммы инфраструктурных акций была подана в конце 2000 года. Проект прошел многоэтапную научную и финансовую экспертизу и в конечном итоге был одобрен.

В первом варианте проекта CRENEGON предполагалась модернизация девяти обсерваторий (см. Рис. 2). В дальнейшем, в ходе переговоров с офисом INTAS, эта цифра была уменьшена сначала до пяти, а затем до двух обсерваторий при общей сумме финансовой поддержки 111 тысяч евро. Эти средства выделялись на полное переоборудование двух обсерваторий и закупку двух резервных комплектов магнитометрических инструментов для этих же обсерваторий. В ходе реализации проекта полученное финансирование удалось использовать более рационально, существенно расширив круг модернизируемых обсерваторий. К тому же в самом начале выполнения проекта к нему присоединился Парижский институт физики Земли (IPGP), взяв на себя переоборудование магнитных наблюдений в Геофизической обсерватории Борок и помощь в модернизации

наблюдений на обсерватории Киев. Кроме того, польская обсерватория Бельск приняла участие в восстановлении магнитных наблюдений на обсерватории Львов. Непосредственно за счет средств INTAS переоборудовались обсерватории Иркутск, Алма-Ата, Новосибирск и Петропавловск-Камчатский (две последние – частично). Конечной целью для каждой из обсерваторий ставилось коренное улучшение качества наблюдений с достижением стандартов, предъявляемых к магнитным обсерваториям, входящим в сеть INTERMAGNET. Соответственно, прием обсерватории в INTERMAGNET считался подтверждением достижения поставленных для данной обсерватории целей.

Полученные средства использовались не только на закупку современного магнитометрического оборудования, но и на улучшение инфраструктуры – ремонт зданий, приобретение коммуникационного и компьютерного оборудования, расходных материалов и частично на оплату труда сотрудников, участвующих в выполнении про-



Рис. 1. Заседание оперативного комитета международной сети магнитных обсерваторий INTERMAGNET в 1999 году в Будапеште.

екта. Часть средств была затрачена на командировочные расходы, связанные с организацией рабочих встреч для обучения персонала, координации работ и калибровки аппаратуры. Одним из условий участия обсерваторий

в проекте являлся устойчивый и продолжительный характер выполняемых преобразований. В качестве своего рода гарантийного срока работы обсерватории в обновленном режиме был определен 10-летний период.



Рис. 2. Карта государств СНГ с указанными на ней обсерваториями, имеющими отношение к проекту CRENEGON. Кружками помечены обсерватории, вступившие в INTERMAGNET в результате выполнения проекта.

Табл. 2. Результаты калибровки протонных магнитометров POS-1

Серийный номер магнитометра	Май 2003 – ARS	Ноябрь 2003 – IRT	Март 2004 – AAA
022	+0,01 нТ		
100	+0,17 нТ		
103	-0,04 нТ	-0,04 нТ	
108			-0,29 нТ
117		-0,00 нТ	
118			-0,17 нТ

Приобретенное оборудование

Список необходимых магнитометрических инструментов для выполнения абсолютных и вариационных магнитных измерений определен правилами сети INTERMAGNET. В этот список входят:

- протонный магнитометр для измерения модуля геомагнитного поля (скалярный магнитометр);
- цифровой трехкомпонентный феррозондовый или кварцевый магнитометр для регистрации вариаций магнитного поля Земли (вариометр);
- смонтированный на теодолите однокомпонентный феррозондовый магнитометр (деклинометр-инклинометр).

Еще на этапе планирования проекта было принято решение формировать комплекс инструментов из числа производимых на территории СНГ приборов. Выгоды такого выбора очевидны: упрощение процедур поставки, установки и обслуживания магнитометров; снижение стоимости; получение добавочных выгод для развития магнитометрии в СНГ путем поддержки местных производителей.

Были выбраны следующие приборы, производимые в СНГ (Рис. 3):

- оверхаузеровский протонный магнитометр POS-1, изготавливаемый в лаборатории квантовой магнитометрии Уральского государственного технического университета;

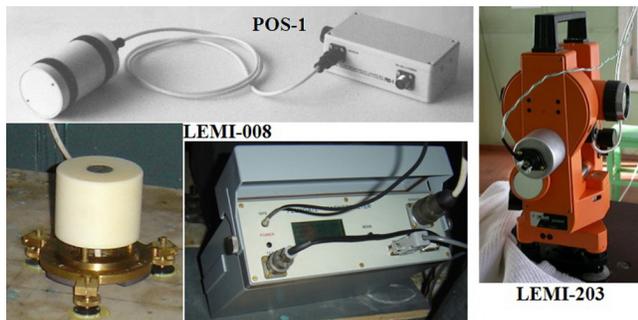


Рис. 3. Магнитометрические инструменты, приобретенные в рамках проекта.

- феррозондовый вариометр LEMI-008 производства Львовского центра Института космических исследований Национальной академии наук Украины (ЛЦ ИКИ НАНУ);
- феррозондовый деклинометр-инклинометр LEMI-203, выпускаемый ЛЦ ИКИ НАНУ.

В качестве дополнительного оборудования были приобретены персональные компьютеры, модемы и устройства бесперебойного питания.

Калибровка магнитометрических приборов

Калибровка протонных магнитометров производилась с помощью оверхаузеровского протонного магнитометра SMR90, калиброванного в обсерватории Дурбе (DOU) в кольцевой системе, внутреннее поле которой контролировалось по методу, предложенному в работе [Шифрин и др., 2000]. Сравнение показаний магнитометра SMR90, использовавшегося в качестве “путешествующего” эталонного прибора, с показаниями шести протонных магнитометров POS-1 проводилось на четырех обсерваториях: Арти (ARS), Патроны (IRT), Узур (UZR) и Алма-Ата (AAA) во время трех рабочих встреч (Рис. 4). Результаты калибровки показаны в Табл. 2, где приведены значения разности между показаниями калибруемых POS-1 и эталонного SMR90. Как видно, лишь один прибор имел расхождение с эталоном более 0,2 нТл, что является вполне приемлемой точностью.

Серьезные требования предъявлялись к деклинометрам-инклинометрам. Они должны были иметь точность установки по углу как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении не хуже одной угловой секунды. Кроме того, дополнительным условием пригодности инструмента для абсолютных геомагнитных измерений является магнитная чистота. Не допустимы ферромагнитные включения, искажающие естественное магнитное поле. Обычной практикой является взаимная калибровка деклинометров-инклинометров во время рабочих семинаров (workshops), организуемых Международной ассоциацией по геомагнетизму и аэронамии (МАГА). Для проекта CRENEGON в качестве “путешествующего” деклинометра-инклинометра был выбран прибор FLM3/A на базе теодолита ZEISS 010B. Он



Рис. 4. Рабочие моменты калибровки приборов.

показал хорошие результаты при взаимных калибровках на рабочих семинарах в Какиоке (Kakioka) и Херманусе (Hermanus), удовлетворив всем необходимым условиям.

Следует отметить, что деклинометры-инклинометры, изготовленные ЛЦ ИКИ НАНУ, прошли предварительную проверку на обсерватории Бельск. Тем не менее, на всех трех рабочих встречах во время выполнения проекта велась работа по калибровке и проверке качества деклинометров-инклинометров LEMI-203, приобретенных у Львовского центра ИКИ НАНУ. Так, в Арти был проверен на отсутствие магнитных примесей (после демонтажа феррозонда) первый из поставленных экземпляров LEMI-203. Измерения проводились с помощью оверхаузеровских протонных магнитометров в конфигурации градиентомера. Результаты не выявили магнитных искажений на уровне точности измерительной установки, составлявшей 0,1 нТл. На рабочих встречах в Иркутске и Алма-Ате деклинометры-инклинометры LEMI-203 проверялись путем измерения ими базисной линии стабильного вариометра. В Иркутске в качестве вариометра использовалась кварцевая магнитно-

вариационная станция Боброва, а в Алма-Ате – феррозондовый магнитометр LEMI-008, поставленный ЛЦ ИКИ НАНУ. При этом особое внимание уделялось сравнению между базисными линиями, измеренными LEMI-203, с базисной линией, полученной с помощью эталонного FLM3/A. Были получены удовлетворительные результаты измерений (см. [Rasson et al., 2006]).

Обучение персонала обсерваторий

Большое внимание в проекте было уделено обучению наблюдателей и персонала обсерваторий. Обучение велось двумя способами: путем практических занятий и путем обеспечения документации и руководств для наблюдателей. Практические занятия (Рис. 5) проводились во время рабочих встреч и инспекционных визитов координатора. Уже работающие или готовящиеся наблюдатели выполняли под контролем абсолютные измерения на их обсерватории в течение нескольких сеансов. Пред-



Рис. 5. Рабочие моменты практических занятий для обучения персонала.

варительно им был объяснен полный протокол измерений на используемом инструменте, которым в основном был деклинометр-инклинометр LEMI-203. Во время процесса измерений персоналу, работающему с инструментом, показывались и объяснялись все возможные ошибки, подсказки и приемы для точной и эффективной работы. Вслед за сеансом абсолютных геомагнитных измерений выполнялся процесс обработки полученных данных с помощью компьютерного процессора, при котором обрабатывались как абсолютные, так и вариационные данные для приведения их к базисной линии вариометра.

Документация включала следующие руководства:

- А. Руководства по работе с инструментами LEMI-008, LEMI-203 и POS-1, написанные на русском языке.
- Б. Руководство по стационарным геомагнитным наблюдениям, составленное главным магнитологом ИСЗФ СО РАН С. А. Нечаевым и отредактированное Жаном Рассоном [Нечаев, 2006]. Это 67-страничное руководство имеется на английском и русском языках и охватывает все современные аспекты метрологии геомагнитных обсерваторий, хранения и обработки данных.

После заключительной алма-атинской рабочей встречи стало ясно, что требуется дополнительная документация:

- а) методика взаимной калибровки протонных магнитометров;
- б) пояснения, демонстрирующие абсолютную природу протокола измерений с помощью деклинометра-инклинометра;
- в) формулы для специальной пространственной ориентации вариометра;

- г) подробное математическое описание, необходимое для более глубокого понимания работы деклинометра-инклинометра;
- д) методика полевых геомагнитных измерений с помощью деклинометра-инклинометра.

Исходя из этих потребностей, Жаном Рассоном был составлен буклет “Об абсолютных геомагнитных измерениях в обсерватории и в поле”.

Достигнутые результаты

Главным итогом проекта CRENEGON явилось появление на территории Восточной Европы и Северной Азии ряда современных магнитных обсерваторий (Рис. 6), присоединившихся к мировой сети INTERMAGNET и частично закрывших огромное белое пятно, где на протяжении последней трети XX столетия отсутствовали надежные и постоянно действующие источники наземных магнитных данных.

Перечислим конкретные результаты, касающиеся модернизации обсерваторий и итогов проекта.

Обсерватория Иркутск (Патроны) ИРТ, Россия.

Оборудована трехкомпонентным феррозондовым магнитометром LEMI-008, деклинометром-инклинометром LEMI-203, протонным магнитометром POS-1, двумя персональными компьютерами с блоком бесперебойного питания. Обсерватория начала передавать данные в Эдинбургский центр сбора данных в апреле 1998 г., стала членом сети INTERMAGNET в 1999 г.

Обсерватория Алма-Ата ААА, Казахстан.

Оборудована трехкомпонентным феррозондовым магнитометром LEMI-008, деклинометром-инклинометром LEMI-203, двумя протонными магнитометрами POS-1,

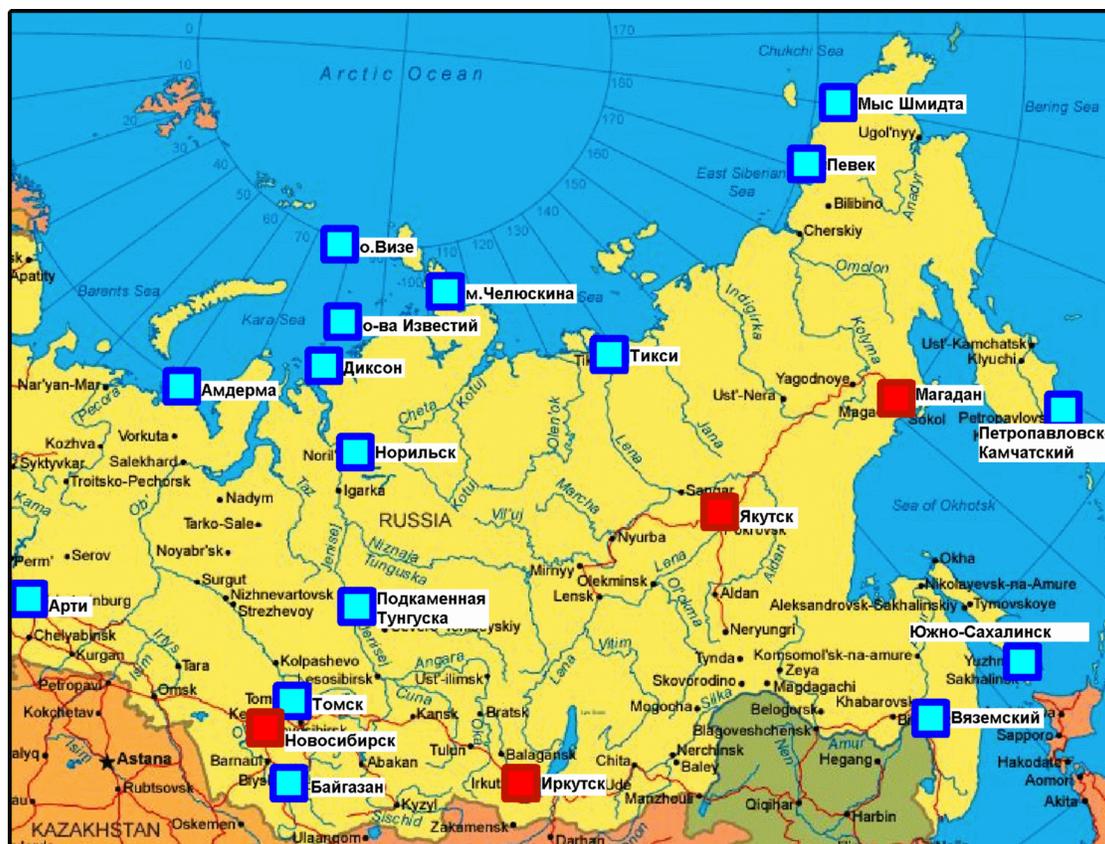


Рис. 6. Карта магнитных обсерваторий в азиатской части России.

двумя персональными компьютерами с блоком бесперебойного питания. Обсерватория начала передавать данные в Эдинбургский центр сбора данных в декабре 2003 г., стала членом сети INTERMAGNET в 2005 г.

Обсерватория Новосибирск (Ключи) NVS, Россия. Оборудована трехкомпонентным феррозондовым магнитометром LEMI-008. Обсерватория начала передавать данные в Эдинбургский центр сбора данных в декабре 2003 г., стала членом сети INTERMAGNET в 2004 г.

Обсерватория Петропавловск-Камчатский (Паратунка) PET, Россия. Оборудована деклинометром-инклинометром LEMI-203.

Обсерватория Львов LVV, Украина. Польской обсерваторией Бельск обсерватории Львов переданы: вариометр PSM, логгер, термостат, блок питания, программное обеспечение. Обсерватория стала членом сети INTERMAGNET в 2004 г.

Обсерватория Борок BOX, Россия. Парижским институтом физики Земли обсерватория Борок оборудована трехкомпонентным феррозондовым магнитометром, деклинометром-инклинометром. Обсерватория передает данные в Парижский центр сбора данных; стала членом сети INTERMAGNET в 2004 г.

Обсерватория Киев KIV, Украина. Парижским институтом физики Земли обсерватория Киев оборудована трехкомпонентным феррозондовым магнитометром, деклинометром-инклинометром. Передает данные в сеть с мая 2004 г. Принята в INTERMAGNET в 2010 г.

После завершения проекта

Проект CRENEGON не только успешно достиг своих целей, но и инициировал дальнейшую работу по переводу магнитных обсерваторий на современный уровень. Такая работа выполняется как внутри СНГ, в основном в России и Украине, так и извне, со стороны западных магнитологов, которые заинтересованы в магнитных данных дополнительных обсерваторий в Восточной Европе и особенно в Северной Азии. Так, в 2005 г. Миюара Мандэ (ныне председатель МАГА) запросила у ИСЗФ СО РАН информацию о состоянии работающих обсерваторий на территории Восточной Сибири и российского Дальнего Востока. Изучив полученную информацию, она выбрала три обсерватории – Якутск, Магадан и Петропавловск-Камчатский для оказания помощи в их модернизации. Необходимая аппаратура была передана Институту космических исследований и астрономии СО РАН и Ин-

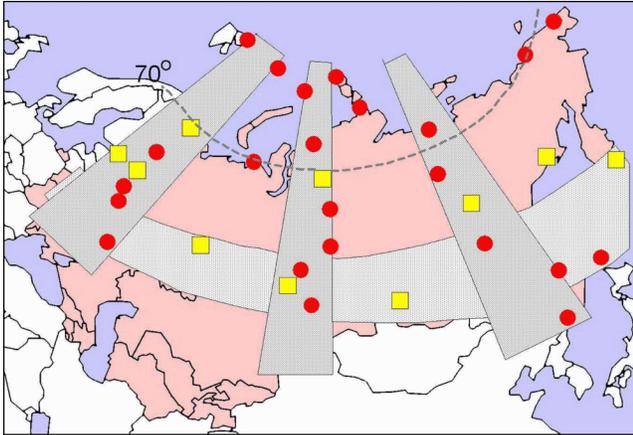


Рис. 7. Предлагаемая сеть магнитных обсерваторий и станций для магнитного мониторинга.

ституту космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, ответственным за эти станции. Персонал обсерваторий прошел обучение в Потсдаме, Германия. Результатом этих усилий явилось вступление двух обсерваторий, Якутска (YAK) и Магадана (MAG) в INTERMAGNET в 2010 г.

Дальнейшие перспективы

На карте, приведенной на Рис. 6, красные квадраты показывают обсерватории российского сегмента сети INTERMAGNET, а синие – другие работающие магнитные станции в Азиатской части России. Состояние вторых – инструменты, здания, средства связи, квалификация персонала – не позволяет им присоединиться к глобальной сети магнитных обсерваторий. Уровень наблюдений на этих станциях различен. Некоторые из обсерваторий, такие как Норильск (NOK), Аркти (ARS), Петропавловск-Камчатский (PET), почти готовы вступить в INTERMAGNET. Другие требуют серьезной помощи, как материальной, так и организационной. Особенно трудной проблемой является наличие штата сотрудников, которые бы и хотели, и могли выполнять наблюдения на нужном уровне.

Выполняя Федеральную целевую программу создания национальной сети геофизического мониторинга, Институт солнечно-земной физики СО РАН разработал концепцию развертывания национальной сети магнитных обсерваторий. Она включает в себя рекомендации по расположению, составу и оборудованию магнитных обсерваторий и станций.

Чтобы успешно вести мониторинг магнитных вариаций, мы предлагаем сформировать три или четыре меридиональных цепочки станций, основанных на уже существующих обсерваториях и станциях. Это следующие цепочки: “Кольская”, которая включает в себя такие стан-

ции, как Баренцбург, Апатиты, Кемь, Воейково, Борок, Троицк, Михнево, Ростов-на-Дону, “Норильская цепочка” – Визе, Диксон, Норильск, Туруханск, Подкаменная Тунгуска, Томск, Новосибирск, “Якутская цепочка” – Тикси, Жиганск, Якутск, Хабаровск и Владивосток. Этот ряд следует дополнить тремя станциями арктической сети ААНИИ – Известья, Певек и мыс Челюскина. Схема на Рис. 7 показывает предлагаемую сеть обсерваторий и станций. Желтые квадраты обозначают расположение магнитных обсерваторий, выполняющих полный диапазон стандартных магнитных наблюдений в цифровом виде. Красные кружки показывают станции, где измеряются магнитные вариации.

Заключение

В заключение следует отметить, что возрождение магнитных наблюдений в России, начавшееся с осуществления проекта CRENEGON (и выполнявшегося одновременно с этим проекта возобновления арктических наблюдений в рамках сотрудничества ААНИИ с Университетом Киото, Япония), успешно продолжается. Последней обнадеживающей новостью является приобретение Геофизическим центром РАН комплектов магнитометрического оборудования для оснащения пяти обсерваторий с целью вывода их в мировую сеть INTERMAGNET. Возможные варианты размещения этого оборудования обсуждались на Международной конференции “Искусственный интеллект в изучении магнитного поля Земли. Российский сегмент INTERMAGNET” в Угличе в январе 2011 г.

Благодарность. Работа была поддержана грантами РФФИ №10-05-00661 и №11-05-00906.

Литература

- Нечаев, С. А. (2006), *Руководство по стационарным геомагнитным наблюдениям*, Иркутск, Изд-во Института географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 140.
- Распопов, О. М., Ю. А. Копытенко, М. А. Эфендиева, В. В. Мещеряков (2009), Развитие геомагнитных исследований в России: от начала наблюдений до 1918 г. *История наук о Земле*, 2, 1, 10–35.
- Rasson, J. L., et al. (2006), Report on upgrade of NIS magnetic observatories by the INTAS infrastructure action CRENEGON, *Earth Planets Space*, 58, 717–722.
- Shifrin, V. Ya., et al. (2000), Magnetic flux density standard for geomagnetometers, *Metrologia*, 37, 219–228.

А. С. Потапов, Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия. (potapov@mail.iszf.irk.ru)

Ж. Л. Рассон, Королевский метеорологический институт, Дурбе, Бельгия.

С. Ю. Хомутов, Алтай-Саянский филиал Геофизической службы СО РАН, Новосибирск, Россия.