

## ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

УДК 550.380.2

Научная статья


### Магнитные измерения на обсерваториях ИКИР ДВО РАН: от настоящего к будущему

*С. Ю. Хомутов*

Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, 684034 Камчатский край, Елизовский район, с. Паратунка, ул. Мирная, д. 7  
E-mail: khomutov@ikir.ru


Представлен краткий экскурс в историю магнитных измерений на обсерваториях ИКИР ДВО РАН, которая начинается с Международного геофизического года (1957-1958 гг.) и последующих решений Правительства СССР и Президиума АН СССР, принятых в 1960-1962 гг. Рассмотрены достижения: (1) успешное ведение мониторинга магнитного поля по стандартам IAGA (регистрация вариаций на фотоленту, абсолютные наблюдения, подготовка часовых значений полного вектора поля —  $H, D, Z$ ); (2) переход в начале 2000-х с аналоговой аппаратуры на цифровую, завершившуюся сертификацией трёх обсерваторий ИКИР ДВО РАН («Магадан», «Паратунка» и «Хабаровск») международной сетью INTERMAGNET (вариационные измерения с частотой 1 Гц, абсолютные наблюдения в ручном режиме, подготовка минутных значений полного вектора поля); (3) переобработка архивов аналоговых магнитограмм и цифровых данных, имеющихся с начала 1990-х. Сделан анализ имеющихся проблем (кадровых, финансовых, техногенной нагрузки, необходимости модернизации инфраструктуры и аппаратуры).

*Ключевые слова: магнитные обсерватории, история, магнитометры*

 DOI: 10.26117/2079-6641-2022-41-4-209-224

Поступила в редакцию: 05.12.2022

В окончательном варианте: 08.12.2022

Для цитирования. Хомутов С. Ю. Магнитные измерения на обсерваториях ИКИР ДВО РАН: от настоящего к будущему // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки.* 2022. Т. 41. № 4. С. 209-224.  DOI: 10.26117/2079-6641-2022-41-4-209-224

Контент публикуется на условиях лицензии *Creative Commons Attribution 4.0 International* (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>)

© Хомутов С. Ю., 2022

Финансирование. Исследования выполнены в рамках реализации государственного задания АААА-А21-121011290003-0

## Введение

Стационарные измерения магнитного поля на обсерваториях являются важнейшим элементом магнитного мониторинга, результаты которого используются в фундаментальных и прикладных научных исследованиях и в различных прикладных задачах. Практически только эти измерения позволяют получать высокоточные и стабильные данные, охватывающие периоды вплоть до десятков лет [1, 2, 3, 4]. Поэтому несмотря на существующие ограничения, например, неравномерное пространственное распределение, сеть магнитных обсерваторий продолжает поддерживаться и развиваться [5].

В России значительный толчок в развитии наземных магнитных измерений дало участие СССР в Международном геофизическом году (МГГ, 1957-1958 гг.), история подготовки и проведения хорошо описана на сайтах ГЦ РАН <https://gcras.ru/post.php?i=28> и Национального геофизического центра <http://ngc.gcras.ru/history.html>. Результаты МГГ показали, что сеть наземных наблюдений, в том числе, магнитных и ионосферных, не может обеспечивать решение тех задач, которые возникали перед наукой на огромной территории СССР. Как следствие, Правительством и Академией наук СССР в 1960-1962 гг. был принят ряд постановлений о создании сети Комплексных магнитно-ионосферных станций (КМИС). Этими постановлениями были определены цели, задачи, структура КМИС, их организационная принадлежность. Частично КМИС организовывались на базе уже существующих геофизических станций, которые модернизировались и расширялись. В качестве примера на рис.1 представлены копии первой и последней страниц одного из постановляющих документов Президиума АН СССР, принятого в 1962 г.

## Доцифровая история

Геофизические обсерватории «Мыс Шмидта», «Магадан», «Паратунка» и «Хабаровск» ИКИР ДВО РАН также были созданы как часть сети КМИС, хотя каждая имела свою предысторию и историю. Более подробно процесс становления этих обсерваторий описан в [6, 7, 8, 9]. Обсерватории строились по типовым проектам, стандартно включающим одно-два технических здания для ионосферной станции, станции космических лучей, фотолаборатории, мастерской, архивов и рабочих помещений для сотрудников. Для магнитных измерений возводились немагнитные павильоны для вариационных и абсолютных измерений и технический павильон для вспомогательной аппаратуры. Обсерватория «Мыс Шмидта» и закрытая обсерватория «Южно-Сахалинск» имеют более длительную историю, поэтому их инфраструктура заметно отличается от инфраструктуры других обсерваторий ИКИР ДВО РАН.

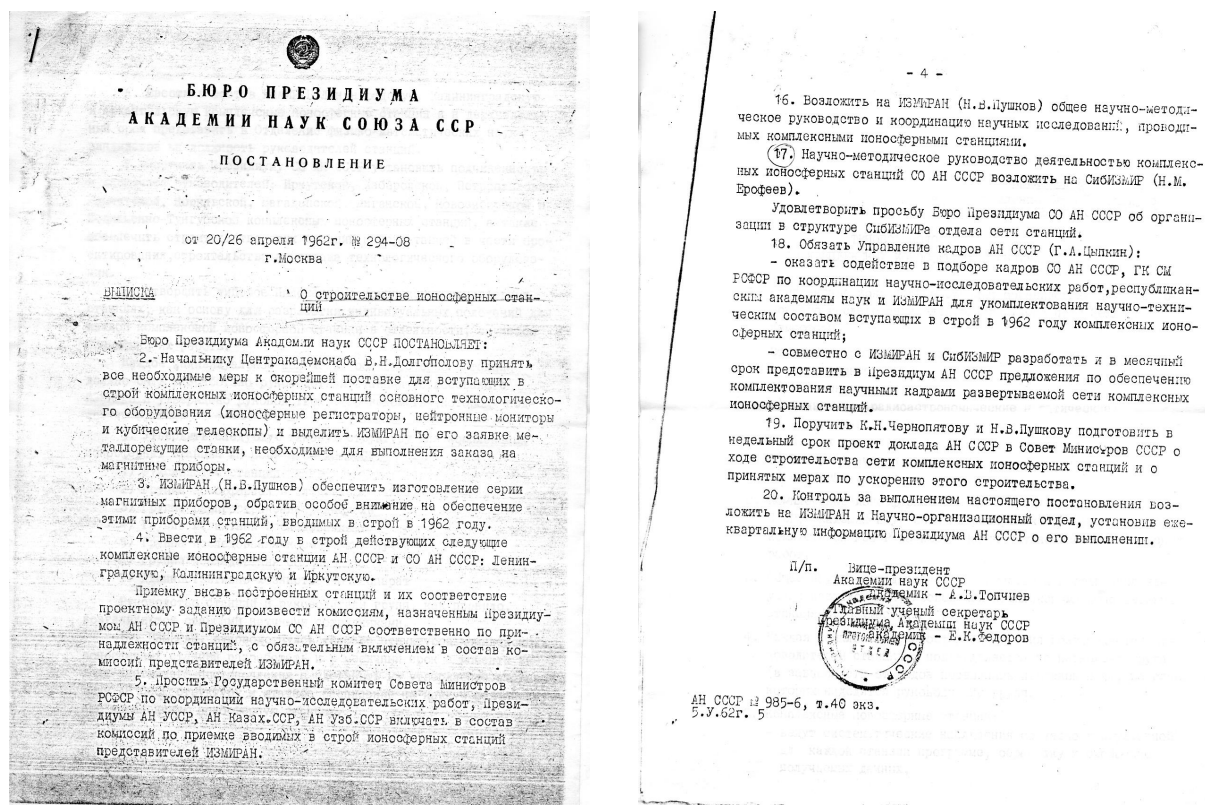


Рис. 1. Пример одного из документов (первая и последняя страница), принятых Президиумом АН СССР в 1962 г. в отношении развёртывания сети КМИС [Figure 1. An example of one of the documents (first and last page) adopted by the Presidium of the USSR Academy of Sciences in 1962 concerning the deployment of the KMIS network]

Магнитные измерения на обсерваториях «Магадан», «Паратунка» и «Южно-Сахалинск» выполнялись по стандартам IAGA (International Association of Geomagnetism and Aeronomy, <https://iaga-aiga.org/index.php?id=div5>, [3]), поэтому использовался стандартный набор приборов: кварцевые вариометры Боброва с регистрацией на фотобумагу, абсолютный протонный магнитометр и кварцевые деклинометры и Н-магнитометры. На обсерваториях «Хабаровск» и «Мыс Шмидта» наблюдения абсолютных значений элементов магнитного поля не выполнялись или выполнялись эпизодически, поэтому результатом их работы были только данные о магнитных вариациях, необходимых, например, для оценки К-индексов геомагнитной активности. Первые магнитограммы на обсерватории «Магадан» были получены в октябре 1966 г., на обсерватории «Паратунка» - в августе 1967 г. Микрофильмы и микрофиши фотомагнитограмм представлены в Международном центре данных по солнечно-земной физике (МЦД по СЗФ, г. Москва, [http://www.wdcb.ru/stp/geomag/Catalogue\\_magnetograms.pdf](http://www.wdcb.ru/stp/geomag/Catalogue_magnetograms.pdf)), полноформатные цифровые образы фотомагнитограмм, полученные сканированием или качественным фотографированием, также хранятся в МЦД по СЗФ, [http://www.wdcb.ru/stp/geomag/magnetogr\\_list.en.html](http://www.wdcb.ru/stp/geomag/magnetogr_list.en.html). Цифровой образ первой магнитограммы обсерватории «Паратунка» показан на рис.2.

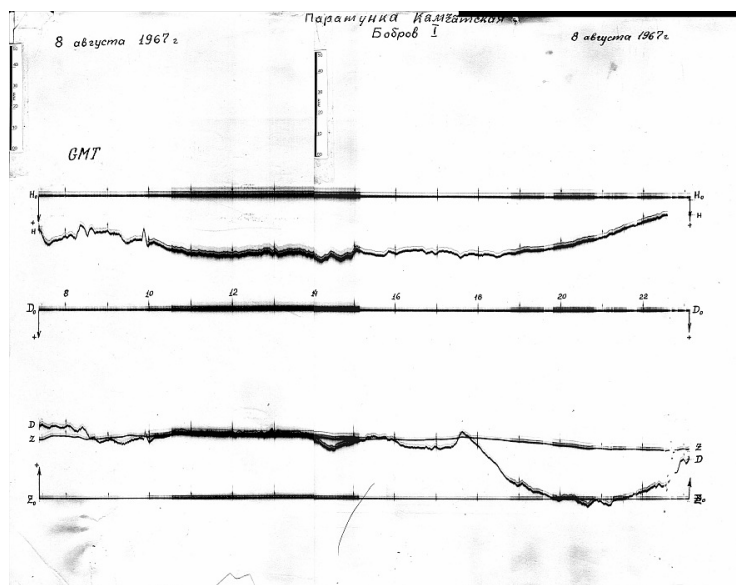


Рис. 2. Первая аналоговая магнитограмма обсерватории «Паратунка», полученная 8 августа 1967 г

[Figure 2. The first analog magnetogram of the Observatory Paratunka obtained on August 8, 1967]

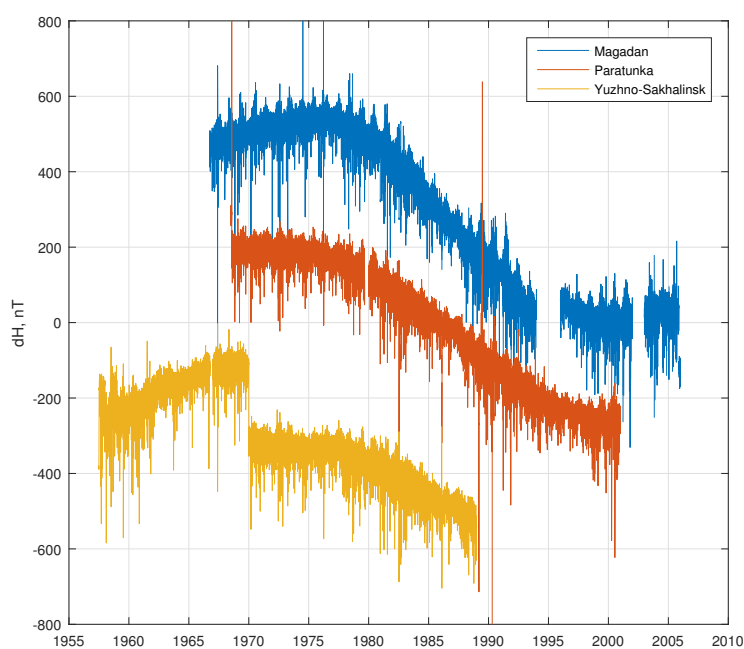


Рис. 3. Среднечасовые значения горизонтальной составляющей H, полученные на обсерваториях ИКИР ДВО РАН. Среднее значение вычтено, кривые смещены по вертикали для лучшей представительности

[Figure 3. Hourly values of the horizontal component H obtained at the observatories of the IKIR FEB RAS. The mean values are subtracted, the curves are shifted vertically for better representativeness]

Результатом обработки аналоговых магнитограмм являются среднечасовые значения H-, D- и Z-составляющих полного вектора поля. Эти данные ежемесячно отправлялись в систему МЦД и становились доступными мировому научному сообществу. На конец 2022 г. в МЦД по геомагнетизму <https://wdc.bgs.ac.uk/catalog/master.html> представлены часовые магнитные данные обсерваторий ИКИР ДВО РАН, полученные на аналоговой аппаратуре за следующие периоды (рис.3):

«Магадан»	1966 — 2005 гг. (нет 1997, 1998 гг.)
«Паратунка»	1969 — 2000 гг.
«Южно-Сахалинск»	1957 — 1989 гг.

## Цифровая история

В 90-х годах аналоговая аппаратура на мировых магнитных обсерваториях начала активно заменяться на цифровые вариационные станции на основе феррозондовых и кварцевых датчиков, позволяющие выполнять компонентные магнитные измерения с частотой до 1 Гц и чувствительностью до 0.01-0.1 нТл. Особо важным было то, что на смену низкоточным абсолютным магнитометрам пришли скалярные магнитометры на эффекте Оверхаузера, а кварцевые D- и H-магнитометры заменялись на деклинометры/инклинометры на основе немагнитных теодолитов и феррозондовых датчиков. Была организована международная сеть INTERMAGNET, <https://intermagnet.github.io/>, объединяющая обновлённые обсерватории на основе новых стандартов в измерениях, обработке и передачи данных. К сожалению, в СССР этот период модернизации мировых магнитных обсерваторий пришёлся на период перестройки, когда многие обсерватории значительно сокращали или прекращали измерения из-за финансовых, организационных и кадровых проблем. Тем не менее, часть обсерваторий в СНГ продолжала поддерживать измерения с помощью аналоговых приборов и искать пути для перехода на цифровые системы.

На обсерваториях ИКИР ДВО РАН переход на цифровые измерения происходил по двум направлениям. Во-первых, использовались вариационные станции "Кварц" (разработка ИЗМИРАН), для которых силами специалистов института разрабатывались регистраторы и программное обеспечение. Во-вторых, отсутствие качественных современных магнитных данных на огромной территории Дальнего Востока и восточной части Арктики создавало трудности для исследования как процессов в ионосфере-магнитосфере, так и процессов во внутренних оболочках Земли. Это способствовало развитию международной научной кооперации в частности, ИКИР ДВО РАН заключил ряд соглашений с институтами и организациями Японии и Германии. В рамках этих соглашений на обсерваториях института были установлены современные феррозондовые магнитометры и магнитометры для абсолютных наблюдений.

Знаковым событием в истории ИКИР ДВО РАН была организация в 2003 г. школы-семинара «Метрологические основы магнитных наблюдений Сибири и Дальнего Востока» [10]. На этом семинаре были даны оценки текущему состоянию магнитометрии на обсерваториях России и сформулированы основные направления по выходу на современный уровень магнитных измерений.

Значительным шагом в модернизации системы мониторинга магнитного поля Земли в ИКИР ДВО РАН было Соглашение о научном сотрудничестве с Институтом физики Земли (Потсдамский центр Гельмгольца, Германия), в рамках которого на обсерваториях «Магадан» и «Паратунка» были установлены вариационные и абсолютные магнитометры, позволяющие достигнуть стандартов INTERMAGNET. Современный деклинометр/инклинометр LEMI-203 (Украина) для абсолютных наблюдений на обсерватории «Паратунка» был получен по международному проекту CRENEGON (INTAS, [11]). В 2010-2012 гг. Дальневосточным отделением РАН для всех обсерваторий института были приобретены современные вариационные магнитометры dIdD GSM-19D (GEM Systems, Канада) и деклинометры/инклинометры Mag-01H (Bartington Ltd., Великобритания), а в 2014 г. — скалярные Оверхаузеровские магнитометры POS-1 (Лаборатория квантовой магнитометрии УрФУ, г. Екатеринбург).

Таким образом, в начале 2010-х годов все действующие обсерватории ИКИР ДВО РАН были оснащены современными магнитометрами стандарта INTERMAGNET, список которых представлен в табл.1. Наклонным шрифтом отмечены магнитометры, не полностью отвечающие требованиям INTERMAGNET и которые используются в качестве вспомогательных. В первой колонке указан источник приобретения приборов, в т. ч. «ДВО» - централизованная закупка ДВО РАН по тендеру, «Германия» - получено по соглашению с ИФЗ, Потсдамский центр Гельмгольца, «Япония» - получено по соглашениям с SERC - университет Кюсю и NICT, «РФ, проекты» - приобретено по грантам, за средства института или получено по проектам, «Intermagnet» - год сертификации в INTERMAGNET. Подробное описание представлено в [12]. Некоторые из магнитометров, используемые в настоящее время, показаны на рис.4. На обсерваториях была также модернизирована инфраструктура (отремонтированы павильоны, линии связи и электропитания), приобретено вспомогательное оборудование (регистрирующие компьютеры, интегрированные в СУБД института, ПК для рабочих мест магнитологов, источники бесперебойного питания и т. п.). На обсерватории «Паратунка» было разработано программное обеспечение, позволяющее выполнять полный цикл обработки результатов измерений в соответствии со стандартами INTERMAGNET [13]. Это ПО было максимально унифицировано, что позволяло его легко адаптировать под реальную ситуацию каждой из обсерваторий ИКИР ДВО РАН.

Закономерным итогом усилий сотрудников ИКИР ДВО РАН и помощи коллег по международным соглашениям было получение обсерваториями «Магадан», «Паратунка» и «Хабаровск» статуса обсерваторий INTERMAGNET. Полученный статус не приносит прямых финансовых выгод институту, а прежде всего является подтверждением высокого качества и надёжности получаемых этими обсерва-

Таблица 1

**Оснащение магнитометрами обсерваторий ИКИР ДВО РАН к 2013 г.  
[Equipment of IKIR FEB RAS observatories with magnetometers by 2013 ]**

	«Магадан»	«Паратунка»	«Хабаровск»	«Мыс Шмидта»
<b>Вариометры</b>				
ДВО	dIdD	dIdD	dIdD	dIdD
Германия	FGE, GSM-90	FGE, GSM-90		
Япония	MAGDAS, FRG	MAGDAS, FRG		MAGDAS
РФ, проекты		POS-4	Кварц-3	
<b>Абсолютные магнитометры</b>				
ДВО	POS-1	POS-1, GSM-19, Mag-01H	POS-1, GSM-19, Mag-01H	POS-1, Mag-01H
Германия	GSM-19, Theo-020			
РФ, проекты		LEMI-203		
Intermagnet	2009	2013	2013	?

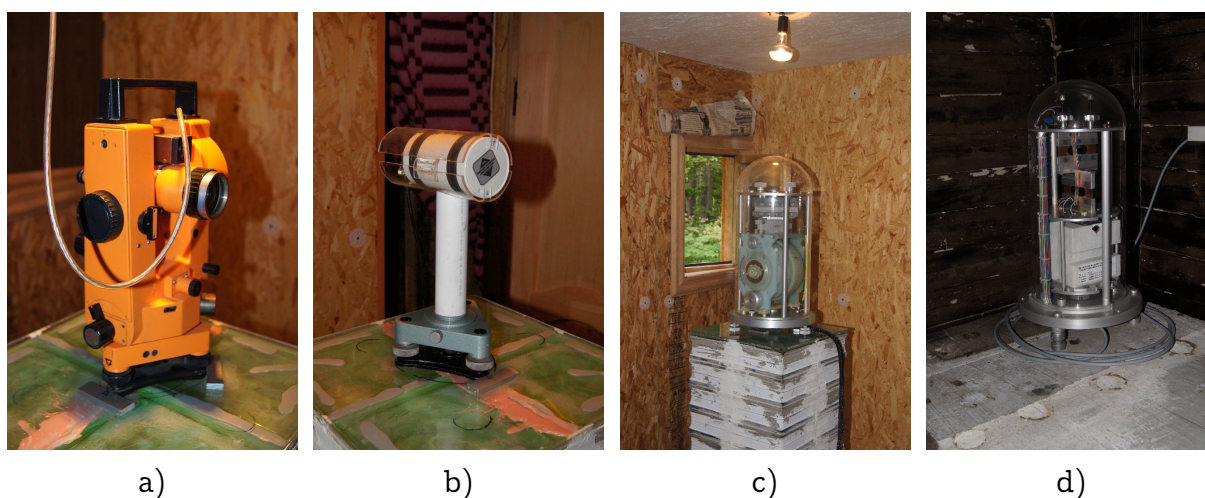


Рис. 4. Магнитометры стандарта INTERMAGNET на обсерваториях ИКИР ДВО РАН: а) деклинометр/инклинометр LEMI-203; б) датчик Оверхаузеровского магнитометра POS-1; в) датчик вариометра dIdD GSM-19FD; д) датчик феррозондового вариометра FGE-DTU

[Figure 4. INTERMAGNET standard magnetometers at the observatories of the IKIR FEB RAS: a) declinometer/inclinometer LEMI-203; b) sensor of the Overhauser magnetometer POS-1; c) sensor of the variometer dIdD GSM-19FD; e) sensor of the fluxgate variometer FGE-DTU]



ториями магнитных данных. Полученный статус также показал, что мониторинг магнитного поля на трёх обсерваториях ИКИР ДВО РАН вышел на стабильный уровень, дальнейшей задачей было поддержание этого состояния.

## Мониторинг в стабильных условиях

В период стабильной работы усилия обсерваторий были направлены на улучшение методической части мониторинга, прежде всего, на более глубокое интегрирование всех имеющихся магнитометров в единую систему, что позволяло контролировать качество первичных данных, более точно выделять помехи и идентифицировать их источники, обеспечивало более высокий уровень взаимозаменяемости данных («горячее резервирование»). Продолжались работы по совершенствованию программного обеспечения, направленные на более эффективную обработку данных. В этом направлении обсерватории активно кооперировались с другими подразделениями ИКИР ДВО РАН, прежде всего, с Лабораторией системного анализа, в которой, например, решались проблемы идентификации помех в результатах магнитных измерений и развивались современные математические методы анализа магнитных данных.

Однако основные усилия, кроме собственно поддержания магнитного мониторинга, были направлены на работу с архивами ранее полученных данных. При поддержке гранта VarSITI в 2014 г. на обсерватории «Паратунка» были получены цифровые образы аналоговых магнитограмм за 1967-2006 гг., которые были переданы в МЦД по СЗФ (г. Москва), пример такого образа показан на рис.2. Этим решались задачи долговременной сохранности архива магнитограмм обсерватории и доступа исследователей к этой первичной информации.

Была проведена ревизия часовых данных обсерватории «Паратунка» за 1990-е годы, которые имелись в базах данных МЦД. В данных за 1991, 1997-2000 гг. были исправлены ошибки, а продолжительные пропущенные интервалы заполнены неопубликованными данными из архива обсерватории и данными, полученными при оцифровке оригинальных магнитограмм.

Значительная работа была проделана на обсерватории «Паратунка» по ревизии имеющихся с 2001 г. данных, полученных цифровыми магнитометрами, установленными японскими коллегами. Переобработка была нацелена на получение минутных магнитных данных, соответствующих статусу окончательных (definitive) согласно стандартам INTERMAGNET или близких к ним. Переобрабатывая год за годом всё более старые данные от момента получения статуса обсерватории INTERMAGNET, удалось получить ряды полноценных минутных значений с 2006 по 2012 гг. Кроме того, были получены минутные данные за 2004-2005 гг., которые из-за проблем с абсолютными наблюдениями могли рассматриваться только в статусе квази-окончательных (quasi-definitive). Эти данные были опубликованы и стали доступными через сервисы INTERMAGNET. Таким образом, для обсерватории «Паратунка» только три года цифровых данных (2001-2003) требуют дальнейшей переобработки, которая затруднена из-за отсутствия результатов абсолютных



наблюдений и информации об условиях, в которых выполнялись магнитные измерения.

## Нарастающие проблемы

В конце 2010-х — начале 2020-х годов на обсерваториях ИКИР ДВО РАН начали нарастать всё более очевидные проблемы:

1) *кадровые* проблемы прежде всего связаны со сменой поколений. Старые сотрудники, имеющие большой опыт обсерваторской работы и огромное чувство ответственности, начали уходить. Приходящие на смену молодые сотрудники такими качествами в должной степени не обладают. Более того, новое поколение в значительной мере надеется на новые технологии и возможности современной аппаратуры, не учитывая важность «человеческого фактора». Существенным также является то, что обсерватории ИКИР ДВО РАН расположены в отдалённых местах, где найти специалиста даже не очень высокой квалификации практически невозможно. В отношении высококвалифицированных специалистов заметную роль играет значительный разрыв в карьерных и финансовых возможностях между ИТР и научными сотрудниками: полноценная обсерваторская работа, которая во многом далека от научной деятельности, требует к себе большого внимания и отнимает много времени и ресурсов. Поэтому заниматься научной работой, обеспечивая карьеру и достойное финансирование, можно в основном в ущерб работе по обеспечению мониторинговых задач;

2) *финансовые* проблемы в основном проистекают из-за специфики работы обсерваторий и значительных затрат на её обеспечение, в отличие от затрат обычной научной лаборатории. Удалённость, электроэнергия, тепло, логистика - факторы, повышающие расходы института на содержание обсерваторий, что при отсутствии целевого финансирования становится проблемой для института. Кроме того, сотрудники обсерваторий практически не имеют возможности получать гранты, т.к. не ведут активной самостоятельной научной деятельности;

3) *техногенная нагрузка* - относительно новая проблема для магнитных обсерваторий. Конечно, помехи в магнитных данных, вызванные различными видами человеческой деятельности, давно известный фактор, осложняющий проведение обсерваторских наблюдений. Но ранее он в основном был проблемой для обсерваторий, расположенных в густонаселённых районах с развитой промышленностью. В настоящее время, из-за роста возможностей по использованию различных силовых установок и сетей в небольших населённых пунктах, помехи растут и на тех обсерваториях, которые расположены в удалённых местах, как обсерватории ИКИР ДВО РАН. Кроме того, параметры измерительной аппаратуры также заметно выросли, и помехи, которые ранее не представляли проблем, становятся фактором, заметно снижающим качество получаемых данных. Как пример деградации системы магнитных измерений на обсерватории «Мыс Шмидта» на рис.5 показаны суточные записи четырёх каналов магнитометра dIdD GSM-19FD за 10 сентября в различные годы с 2013 по 2022.

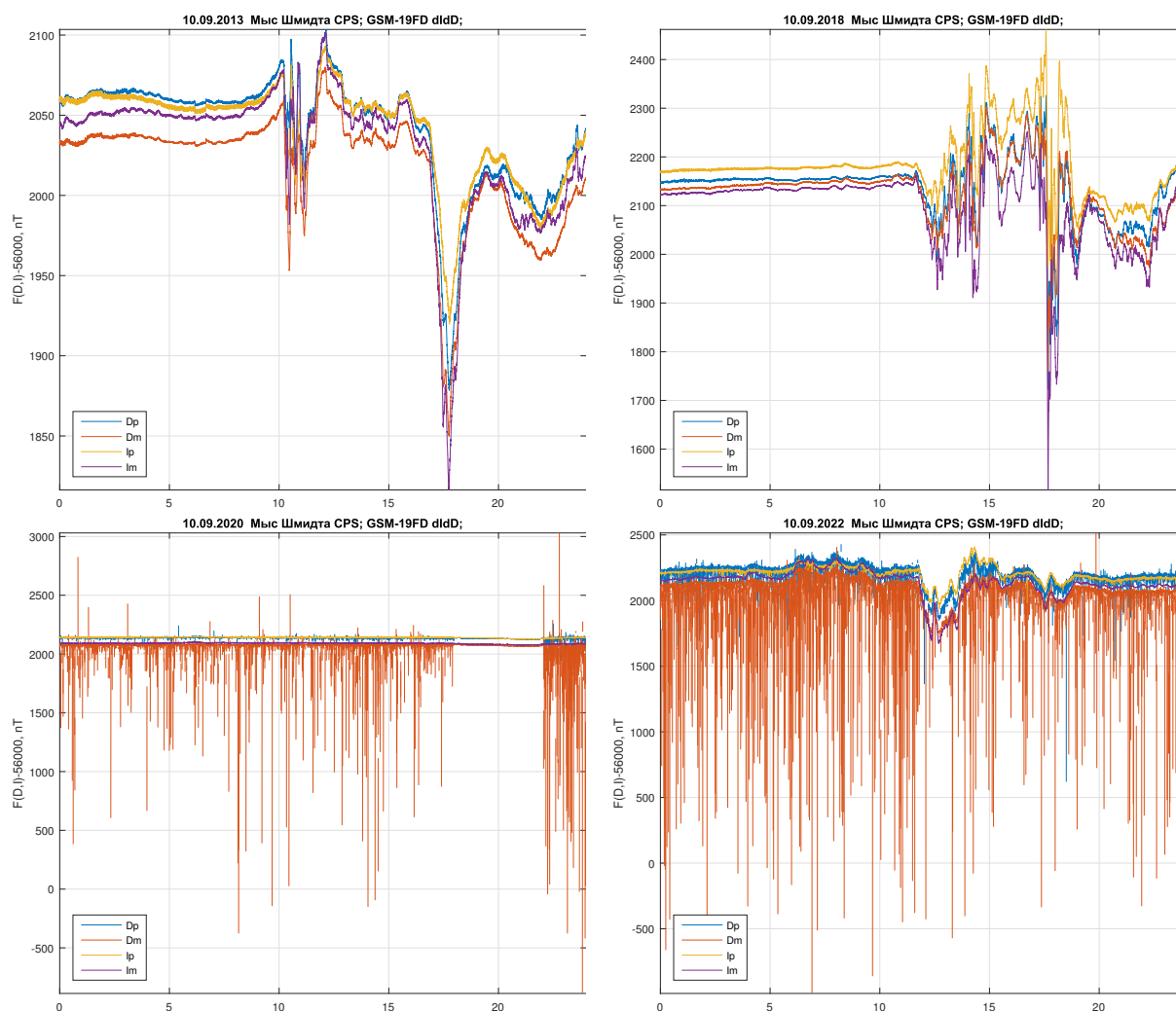


Рис. 5. Суточные записи модулей поля (колечная система) магнитометра dIdD GSM-19FD на обсерватории «Мыс Шмидта» за 10 сентября 2013, 2018, 2020 и 2022 гг.

[Figure 5. Daily records of the total field intensity (produced by coil system) of the magnetometer dIdD GSM-19FD at the observatory Cape Schmidt for September 10, 2013, 2018, 2020 and 2022.]

Как видно, шумы в записях магнитометра за последние два-три года выросли настолько, что научная ценность этих измерений практически нулевая. Пример роста уровня шумов начиная с лета 2022 г. на обсерватории «Магадан» показан на рис.6 - заметно, что количество и амплитуда импульсных помех в измерениях модуля поля  $F$  с помощью магнитометра POS-1 для двух суток сильно различается.

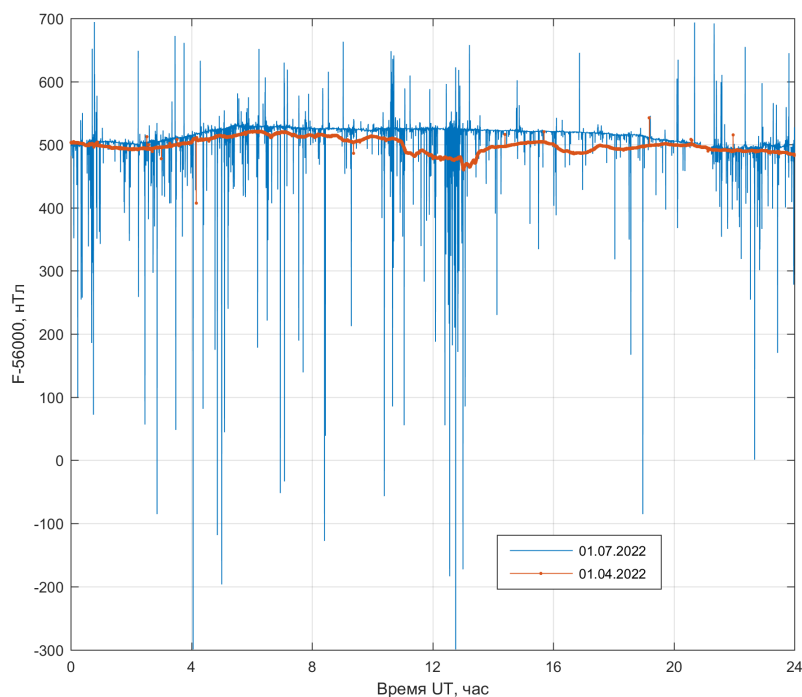


Рис. 6. Результаты измерений модуля поля  $F$  с помощью Оверхаузеровского скалярного магнитометра POS-1 на обсерватории «Магадан» 1 апреля и 1 июля 2022 г. [Figure 6. The results of measurements of the total field intensity  $F$  using the Overhauser scalar magnetometer POS-1 at the Observatory Magadan on April 1 and July 1, 2022]

4) *модернизация инфраструктуры* – обычная проблема для старых обсерваторий, таких как обсерватории ИКИР ДВО РАН, созданных много десятилетий назад. За время существования таких обсерваторий павильоны для магнитных измерений заметно ветшают, учитывая ограниченность выбора немагнитных материалов и конструктивных решений при их строительстве. Капитальный ремонт зданий зачастую проблематичен из-за их удалённости. Подобная ситуация и с изношенностью сетей: электрических, тепловых и пр. Проблема ещё более усложняется, если учитывать, что при ремонте не рекомендуется нарушать сложившуюся за многие годы магнитную обстановку, в которой происходят магнитные наблюдения.

5) *модернизация аппаратуры* на обсерваториях необходима для того, чтобы результаты мониторинга соответствовали новым научным и прикладным задачам. Это также часто является следствием окончания срока службы аппаратуры или её поломками. Проблемы возникают обычно из-за отсутствия необходимого финансирования или из-за ограниченного выбора, например, если магнитометры производятся единственным разработчиком, который находится за рубежом.

Представленное выше не охватывает полный круг проблем, с которыми сталкиваются обсерватории ИКИР ДВО РАН. Эти проблемы пересекаются, накладываются, усиливая негативные последствия и усложняя возможные пути решения. При этом нужно понимать, что описанное – это не уникальная ситуация именно

для обсерваторий ИКИР ДВО РАН. Практически все магнитные обсерватории, в том числе и зарубежные, в большей или меньшей степени с этими проблемами сталкиваются.

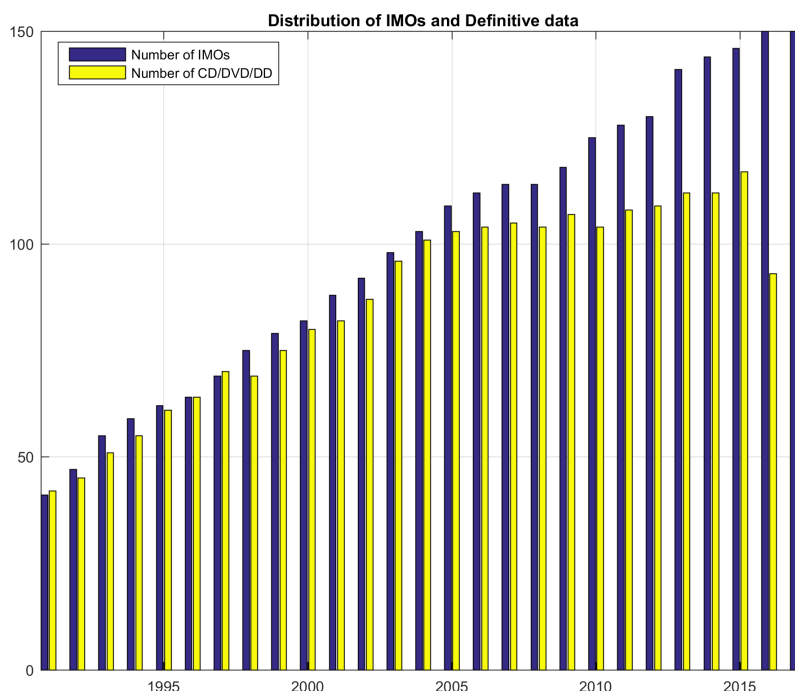


Рис. 7. Годовое количество действующих обсерваторий INTERMAGNET и подготовленных окончательных (definitive) данных [14]

[Figure 7. Annual number of active INTERMAGNET observatories and Definitive data prepared]

На рис.7 показано распределение годового количества действующих обсерваторий INTERMAGNET с 1991 по 2017 гг., а также подготовленных ими годовых окончательных (definitive) данных [14]. Статистика сделана по состоянию на начало 2018 г. Как хорошо видно, что количество обсерваторий INTERMAGNET ежегодно растёт (сертифицируются), достаточно равномерно. Однакоготавливаемые ими годовые ряды окончательных данных, издаваемых на CD/DVD, показывают другую тенденцию: примерно с 2005 г. годовое количество подготовленных данных заметно ниже количества обсерваторий. Поскольку в идеальном случае количество обсерваторий и рядов данных должны совпадать, то наблюдающаяся тенденция отражает тот факт, что до 10-20 обсерваторий ежегодно не готовят итоговые данные. Последние два года обычно связаны просто с задержкой в подготовке таких данных, поэтому могут не рассматриваться. Обычно указанные обсерватории-«должники» - это обсерватории в развивающихся странах, которые имеют проблемы из обсуждаемого выше списка. В противоположность этому некоторые обсерватории расположены в развитых регионах, однако из-за помех или недостаточной ответственности сотрудников качество полученных ими данных не соответствует требованиям INTERMAGNET к данным в статусе definitive.

## Заключение

Краткий обзор истории магнитных обсерваторий ИКИР ДВО РАН «Мыс Шмидта», «Магадан», «Паратунка», «Хабаровск» и «Южно-Сахалинск» показал, что за более чем пятидесятилетний период ими был пройден большой путь от измерений с помощью аналоговых магнитных датчиков до современных цифровых высокоточных приборов. Полученные за этот период магнитные данные являются уникальными, поскольку представляют огромные территории Дальнего Востока и восточной части российской Арктики. В настоящее время три обсерватории, «Магадан», «Паратунка» и «Хабаровск», имеют статус обсерваторий INTERMAGNET, что подтверждает высокое качество и надёжность получаемых магнитных данных.

В силу особенностей магнитных обсерваторий (изолированность, удалённость, специфика выполняемых работ) их деятельность сопряжена с проблемами различного рода. В последние годы эти проблемы обострились. Можно выделить три из них, наиболее сильно влияющих на результаты магнитного мониторинга: кадровые, связанные со сменой поколений магнитологов, недостаточность финансирования и рост техногенной нагрузки, что увеличивает зашумлённость данных. Эти проблемы связаны, накладываются и могут усложнять их последствия. К сожалению, очевидных и эффективных путей решения имеющихся у обсерваторий проблем не видно.

**Конкурирующие интересы.** Конфликтов интересов в отношении авторства и публикации нет.

**Авторский вклад и ответственность.** Автор участвовал в написании статьи и полностью несет ответственность за предоставление окончательной версии статьи в печать.


**Благодарность.** Автор выражает глубокую признательность всем сотрудникам обсерваторий ИКИР ДВО РАН, которые своим самоотверженным трудом на протяжении многих лет поддерживали непрерывный мониторинг магнитного поля Земли, обеспечивая непрерывность и высокое качество получаемых данных.

## Список литературы

1. Яновский Б. М. *Земной магнетизм*. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1978. 592 с.
2. Паркинсон У. *Введение в геомагнетизм*. М.: Мир, 1986. 528 с.
3. Jankowski J., Sucksdorff C. *Guide for magnetic measurements and observatory practice*. Warsaw: IAGA, 1996. 235 pp.
4. *Treatise on geophysics. Volume 5. Geomagnetism*, ed. Kono M.. London: Elsevier, 2007. 589 pp.
5. *INTERMAGNET Technical Reference Manual, Version 5.0.0*, ed. St-Louis B.. Edinburgh: INTERMAGNET, 2020. 146 pp.
6. Нечаев С. А. *Руководство для стационарных геомагнитных наблюдений*. Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2006. 140 с.
7. Поддельский А. И., Поддельский И. Н. Становление радиофизических исследований на Северо-востоке России, *История науки и техники*, 2017. № 8, С. 7–14.
8. Васалаев М. Л., Поддельский И. Н. Геофизическая обсерватория «Мыс Шмидта» - прошлое, настоящее и надежды на будущее, *История науки и техники*, 2017. № 8, С. 15–19.
9. Смирнов С. Э., Хомутов С. Ю. Магнитные обсерваторские наблюдения на Камчатке, *История науки и техники*, 2017. № 8, С. 20–27.

10. *Метрологические основы магнитных наблюдений Сибири и Дальнего Востока. Сб. докл.*. Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН, 2003. 103 с.
11. Rasson J. L., Potapov A. S., Korepanov V. E., Khomutov S. Y., Krasnov V. M., Bitterly J. Report on upgrade of NIS magnetic observatories by the INTAS infrastructure action CRENEGON, *Earth Planets Space*, 2006. vol. 58, no. 6, pp. 717–722.
12. Khomutov S. Y. Magnetic observations at Geophysical Observatory «Paratunka» IKIR FEB RAS: tasks, possibilities and future prospects, *E3S Web of Conferences*, 2017. vol. 20, no. 02002, pp. 1–18 DOI:10.1051/e3sconf/20172002002.
13. Khomutov S. Y. Methodological and software approaches to processing of magnetic measurements at observatories of IKIR FEB RAS, Russia, *J. Ind. Geophys. Union (Special Volume - 2)*, 2016. vol. 2, pp. 54–61.
14. Khomutov S. Y. International project INTERMAGNET and magnetic observatories of Russia: cooperation and progress, *E3S Web of Conferences*, 2018. vol. 62, no. 02008, pp. 1–11 DOI:10.1051/e3sconf/20186202008.



Сергей Юрьевич Хомутов✉ – кандидат физико-математических наук, заведующий Геофизической обсерваторией «Паратунка», с.Паратунка, Камчатка, Россия,  ORCID 0000-0002-6231-7041.


## Magnetic measurements at observatories of IKIR FEB RAS: from the present to the future

*S. Y. Khomutov*

Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation FEB RAS,  
684034 Kamchatka region, Elizovskiy district, Paratunka, Mirnaya str., 7, Russia  
E-mail: khomutov@ikir.ru


A brief excursion into the history of magnetic measurements at the observatories of the IKIR FEB RAS, which begins with the International Geophysical Year (1957-1958) and subsequent decisions of the Government of the USSR and the Presidium of the Academy of Sciences of the USSR, adopted in 1960-1962, is presented. Achievements are considered: (1) successful monitoring of the magnetic field according to IAGA standards (registration of variations on a photographic tape, absolute observations, preparation of hourly values of the total field intensity components — H,D,Z); (2) the transition in the early 2000s from analog to digital equipment, which ended with the certification of three observatories «Magadan», «Paratunka» and «Khabarovsk» by the international INTERMAGNET network (variation measurements with a frequency of 1 Hz, absolute observations in manual mode, preparation of minute values of the magnetic field components); (3) re-processing of archives of analog magnetograms and digital data available since the early 1990s. The analysis of the existing problems (personnel, financial, technogenic load, the need to modernize infrastructure and equipment) is made.

*Key words: magnetic observatory, history, magnetometers*

 DOI: 10.26117/2079-6641-2022-41-4-209-224

Original article submitted: 05.12.2022

Revision submitted: 08.12.2022

**For citation.** Khomutov S. Y. Magnetic measurements at observatories of IKIR FEB RAS: from the present to the future. *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki.* 2022, 41: 4, 209-224.  DOI: 10.26117/2079-6641-2022-41-4-209-224

**Competing interests.** The author declares that there are no conflicts of interest regarding authorship and publication.

**Contribution and Responsibility.** The author contributed to this article. The author is solely responsible for providing the final version of the article in print. The final version of the manuscript was approved by the author.

*The content is published under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>)*

© Khomutov S. Y., 2022

**Funding.** The work was carried out as part of the implementation of the state task AAAA-A21-121011290003-0



## References

- [1] Yanovsky B. M. Zemnoy magnetism. Leningrad, Leningrad Univ., 1978, 592 (In Russian).
- [2] Parkinson W. D. Introduction to geomagnetism. Scottish Academic Press, 1983, 433.
- [3] Jankowski J., Sucksdorff C. Guide for magnetic measurements and observatory practice. Warsaw, IAGA, 1996, 235.
- [4] Kono M. (Ed.) Treatise on geophysics. Volume 5. Geomagnetism. London, Elsevier, 2007, 589.
- [5] St-Louis B. (Ed.) INTERMAGNET Technical Reference Manual, Version 5.0.0. INTERMAGNET Operations Committee and Executive Council, 2020, 146.
- [6] Nechaev S. Guide to stationary geomagnetic observations. Irkutsk, Publ. House of Institute of Geography SB RAS 2006, 140 (In Russian).
- [7] Poddelsky A. I., Poddelsky I. N. Formation of radiophysical researches in the North-East of Russia, History of Science and Engineering, 2017, 8, 7-14 (In Russian).
- [8] Basalaev M. L., Poddelsky I. N. Geophysical observatory «Cape Schmidt» - past, present and hopes for the future, History of Science and Engineering, 2017, 8, 15-19 (In Russian).
- [9] Smirnov S. E., Khomutov S. Y. Observations of the magnetic field at the Kamchatka, History of Science and Engineering, 2017, 8, 20-27 (In Russian).
- [10] Metrologicheskie osnovy magnitnyh nablyudenij Sibiri i Dal'nego Vostoka. Sb. dokl. Petropavlovsk-Kamchatskij, IKIR DVO RAN, 2003, 103 (In Russian).
- [11] Rasson J. L., et. al. Report on upgrade of NIS magnetic observatories by the INTAS infrastructure action CRENEGON, Earth Planets Space, 2006, 58:6, 717-722.
- [12] Khomutov S. Y. Magnetic observations at Geophysical Observatory «Paratunka» IKIR FEB RAS: tasks, possibilities and future prospects, E3S Web of Conferences, 2017, 20, 02002, 1-18.
- [13] Khomutov S. Y. Methodological and software approaches to processing of magnetic measurements at observatories of IKIR FEB RAS, Russia, J. Ind. Geophys. Union (Special Volume - 2), 2016, 2, 54-61.
- [14] Khomutov S. Y. International project INTERMAGNET and magnetic observatories of Russia: cooperation and progress, E3S Web of Conferences, 2018, 62, 02008, 1-11.



*Khomutov Sergey Yur'evich* ✉ – D. Sci. (Phys. & Math.), Head of Geophysical Observatory Paraunka, Paratunka, Kamchatka, Russia,  
ORCID 0000-0002-6231-7041