

УДК 536.51:550.380

ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ МОНИТОРИНГА ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОБСЕРВАТОРИИ «ПАРАТУНКА» ИКИР ДВО РАН

Хомутов С.Ю.

*Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,
с. Паратунка, Камчатский край, khomutov@ikir.ru*

Введение

Изменения температуры - один из факторов, который может оказывать существенное влияние на процесс измерений и должен так или иначе приниматься во внимание при анализе полученных результатов. Проблема осложняется тем, что эффект может быть прямым (например, при температурной зависимости датчиков) или опосредованным, когда меняются сопутствующие условия при измерениях (например, устойчивость основания для датчиков). Воздействие может быть нелинейным. Важным обстоятельством является неоднородность температурного поля в области установки аппаратуры.

На Геофизической обсерватории «Паратунка» ИКИР ДВО РАН выполняются мониторинговые наблюдения за атмосферным электричеством и магнитным полем Земли. Опыт показывает, что результаты этих наблюдений зависят от множества факторов, в том числе от температуры. Для изучения этих связей организована система контроля температуры, включающая несколько серийных метеорологических станций (Davis, WS), внешние датчики которых разнесены вдоль поверхности и по высоте (на единицы и десятки метров), сеть из более чем десяти цифровых термодатчиков DS18B20, расположенных внутри павильонов с аппаратурой и на улице, датчики, встроенные в штатные магнитометры и электрометры.

В докладе приведены примеры результатов многолетних температурных измерений на обсерватории, показаны проявления температурных эффектов в магнитных наблюдениях и результаты их учёта, рассмотрены некоторые аспекты связи вариаций температуры с атмосферным электрическим полем.

Используемые термодатчики, расположение, параметры

Эффекты температуры по разному проявляются в измерениях электрического и магнитного полей. В первом случае это преимущественно не прямые эффекты, например, влияние температуры на изменения режима конвекции или турбулентности в приземном слое атмосферы, которые могут приводить к вариациям градиента потенциала атмосферного электрического поля (АЭП); при этом другие регистрируемые метеопараметры атмосферы, такие как влажность, количество осадков, направление и скорость ветра играют значительно более важную роль в поведении АЭП [3]. В случае наблюдения за магнитным полем наиболее значительные эффекты возникают из-за непосредственного воздействия температуры на измерительные системы (магнитометры), а также косвенно при деформации не полностью чистых в магнитном отношении объектов, прежде всего, павильонов, и изменения магнитной восприимчивости материалов вблизи датчиков (грунт, постаменты) [1,5,7]. Такое различие в проявлении приводит к различию в выборе состава, конфигурации и параметров используемых термодатчиков: в случае с АЭП это единичные стандартные метеостанции с расширенным набором различных датчиков и ограниченным набором измерителей температуры, для магнитного поля – относительно плотная распределённая сеть цифровых термодатчиков, позволяющая отслеживать градиенты температуры в павильонах с магнитометрами и устанавливать связи с внешними метеорологическими эффектами.

В таблице представлено описание используемых на обсерватории метеорологических станций и температурных датчиков, их расположение схематично показано на рис. 1. Как видно из рис.1, основу сети для измерений температуры составляют термодатчики DS18B20 [6]. DS18B20 – это цифровые устройства, измеряющие температуру в диапазоне от -55°C до +125°C с точностью 0.5°C с программируемым разрешением до 0.1°C. Каждый датчик имеет встроенный уникальный идентификационный код, питание может осуществляться от линии данных – это позволяет организовывать их в сети, используя для соединения только один провод. Для подключения к ПК (COM-порт) используются штатные адаптеры DS9097U. В реальной практике возникают ограничения на длину линии связи и количество подключаемых на эту линию датчиков, связанные с

возможностями использования паразитного питания. В условиях обсерватории на линии длиной около 30 м (одна витая пара стандартного кабеля UTP) подключалось до 6 датчиков.

Уличная температура измеряется с помощью датчиков: DS11 и DS12 – расположены на северной стене технического павильона (высота 0.2 и 1.2 м; высота здесь и далее показана в скобках, для уличных датчиков – относительно уровня земли, для датчиков внутри помещений – относительно пола), DS13 и DS14 – закреплены на стволе берёзы (5 и 10 м), DS16 – на северной стороне бокса панорамной камеры неба STELAB на крыше главного корпуса института (30 м). Остальные датчики измеряют температуру внутри помещений: DS01-DS03 – во внутреннем изолированном отсеке вариационного павильона (0.05, 0.7 и 2.0 м), DS04 – в обогреваемом простенке вариационного павильона (2 м), DS05, DS06 – в павильоне POS-4 (0.5 и 1.5 м), DS07 – в изолирующем воздушном зазоре вокруг поста POS-4 (-0.5 м – ниже уровня земли), DS08 – в абсолютном павильоне (1.5 м), DS09 – в павильоне dIdD (0.3 м), DS10 – в техническом павильоне (1 м), DS15 – в боксе камеры неба (0.7 м).

Таблица. Метеорологические станции и термодатчики, используемые на обсерватории «Паратунка» ИКИР ДВО РАН

| Наименование | Основные параметры (чувствительность и диапазон) | Место расположения |
|-------------------------------------|--|---|
| Метеостанция Davis Vantage Pro2 [9] | Температура в консоли и внешняя (0.1°C, -40...+60°C), давление (0.1 мб, 540-1100 мб), влажность в консоли и внешняя (1%, 1...100%), скорость и направление ветра (0.4 м/с, 1...80 м/с, 1°), осадки (0.2 мм), индекс УФ излучения (0.1, 0...16) | Консоль — в здании института, внешние датчики с солнечной панелью — на водонапорной башне (высота около 30 м) |
| Метеостанция WS 2000 [10] | Температура в консоли и внешняя (0.1°C, -30...+70°C), давление (1 мб, 800-1100 мб), влажность в консоли и внешняя (1%, 20...95%), скорость и направление ветра (0.03 м/с, 0...55 м/с, 5°), осадки (0.5 мм) | Консоль — в здании института, внешние датчики — на северной стене института (высота около 10 м) |
| Метеостанция электрометра CS100 [4] | Температура (точность ±0.6°C, -40...+60°C), относительная влажность (точность ±3...7%, 0...100%), осадки (0.254 мм) | На штанге электрометра (крыша технического павильона, на высоте около 5 м) |
| Термодатчик DS18B20 [6] | Разрешение 12 бит (0.1°C), точность ±5°C, диапазон -55...+125°C | В павильонах (на разных высотных уровнях), на улице (на высотах 1, 2, 5, 10 и 30 м) |

Периодичность измерений установлена от 5 до 10 с - используется системное время регистрирующих компьютеров, которое синхронизируется по таймеру сервера времени института не реже одного раза в час. Точность (абсолютная) измерений температуры 0.5°C представляется достаточно низкой, однако регистрация быстрых вариаций выполняется примерно на уровне разрешения, задаваемого программно (на обсерватории - около 0.1°C), что было проверено сравнением с показаниями высокоточного ртутного термометра и сравнением совмещённых цифровых датчиков. Регулярные измерения начаты в конце 2013 г. Просмотр полученных температурных записей является штатной процедурой ежесуточной обработки измерений, выполняемой на обсерватории.

Результаты

Пример суточной записи температуры различными датчиками за 20.12.2018 г. показан на рис. 2. С 01:06 по 02:41UT было отключение электроэнергии, во время которого обогрев вариационного, абсолютного и технического павильонов прекратился и температура понизилась на несколько градусов. В течение суток температура в вариационном и абсолютном павильонах показывает вариации, вызванные включением и выключением регулируемых обогревателей. При этом, если размах этих вариаций в простенке вариационного павильона, где установлены нагреватели, достигает 1°C, то вариации во внутреннем изолированном отсеке с магнитометрами на порядок слабее. Около 22-23UT температура в абсолютном павильоне быстро колеблется из-за открывания/закрывания окна при наблюдении удалённого репера. В температуре в техническом павильоне хорошо видны скачки на 1-2°C, вызванные включением системы охлаждения одного из

ИБП. Оба термодатчика на дереве (DS13, DS14) показывают синхронные вариации температуры на высоте 3 и 5 м, при этом заметны и небольшие амплитудные различия.

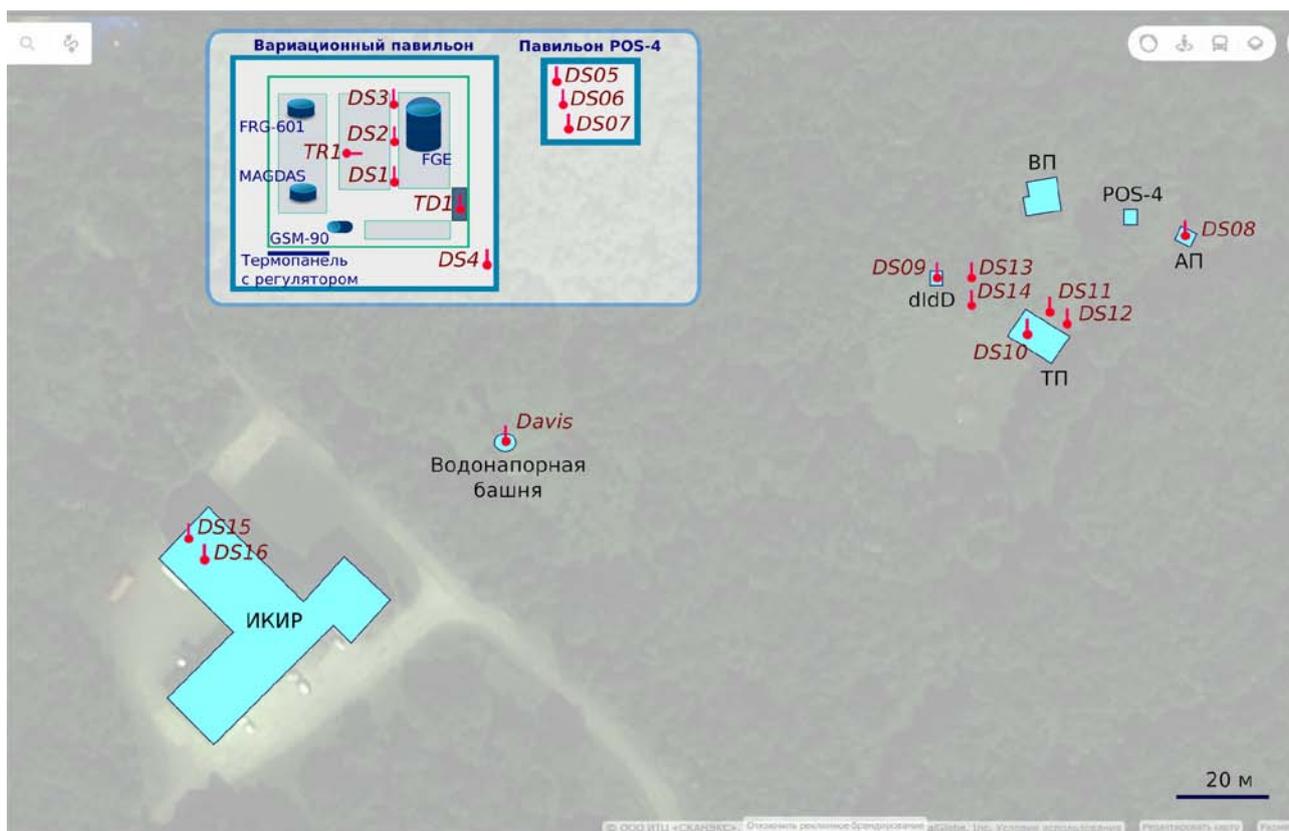


Рис. 1. Схема расположения температурных датчиков на обсерватории «Паратунка» ИКИР ДВО РАН (фон – из <https://yandex.ru/maps>). Павильоны: «ВП» – вариационный, «АП» – абсолютный, «ТП» – технический, «dIdD» – магнитометра dIdD, «POS-4» – магнитометра POS-4. Датчики: «DS» – DS18B20, «TR1» – терморезистор, «TD1» – цифровой, встроенный в регистратор FGE. На врезке показано расположение датчиков DS в вариационном павильоне (магнитометры FRG-601, MAGDAS, FGE, GSM-90) и в павильоне магнитометра POS-4. Подробное описание инфраструктуры обсерватории (устройство павильонов, измерительная и вспомогательная аппаратура, коммуникация) представлено в [8].

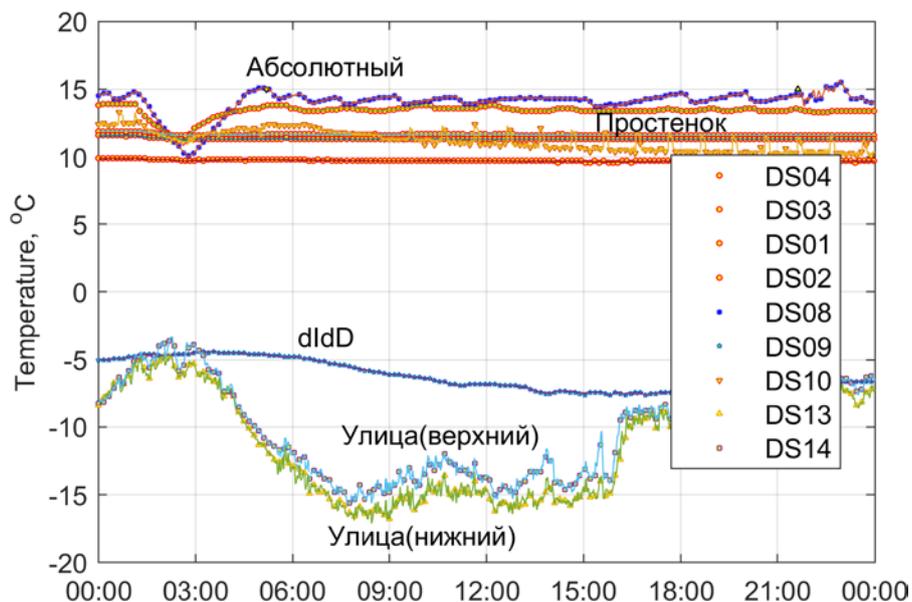


Рис. 2. Вариации температуры, зарегистрированные цифровыми термодатчиками DS18B20 на обсерватории «Паратунка» 20.12.2018 г., время UT. Подписи на кривых: «Абсолютный» – DS08, «Простенок» – DS04, «dIdD» – DS09, «Улица(верхний)» – DS13, «Улица(нижний)» – DS14.

По приведенному примеру видно, что температурные измерения могут активно использоваться для контроля условий, в которых выполняется мониторинг, например, состояния нагревателей и терморегуляторов в отопляемых павильонах, эффективности применяемой термоизоляции (сопоставлением величины и временных сдвигов изменений температуры в различных точках в павильонах, в приборах и на улице), посещениях павильонов и работ в них и др. В некоторых случаях изменения температуры могут указывать на изменения режимов работы измерительной аппаратуры.

Наиболее известным и актуальным для магнитного мониторинга является влияние температуры на его результаты. На рис. 3 показаны пятилетние ряды базисных значений феррозондового вариометра FGE, который является основным магнитометром обсерватории (базисные значения для каждой измеряемой составляющей поля определяются сравнением результатов непрерывных вариационных измерений и абсолютных измерений, выполняемых эпизодически, обычно два раза в сутки). У стабильно работающего вариометра в стабильных условиях базисные значения практически не изменяются. На рис. 3 видно, что реальная ситуация далека от идеальной – связь с температурой достаточно очевидная. Однако простые модели, которые могут быть предложены для учёта температурной зависимости, не всегда адекватны. Для некоторых типов магнитометров, например, на основе кварцевых датчиков, линейная зависимость от температуры эффективная и активно используется для коррекции магнитных измерений [2]. Однако для широко распространённых феррозондовых магнитометров, в том числе, FGE-DTU, существуют проблемы: это эффекты типа «гистерезиса», когда температурная зависимость в фазах нагрева и охлаждения различается, или эффекты «дисперсионного» типа, когда для быстрых и медленных изменений температуры зависимость также различается [5]. Задача усложняется, если термозависимые компоненты магнитометра находятся в различных температурных условиях, и при наличии других факторов, не связанных с температурой, но имеющих похожее влияние на магнитные измерения. Эти особенности в различной степени проявляются на графиках рис. 3. На рис. 4 представлен пример достаточно эффективного учёта температуры в магнитных измерениях с помощью феррозондового магнитометра FRG (в базисном значении Z0).

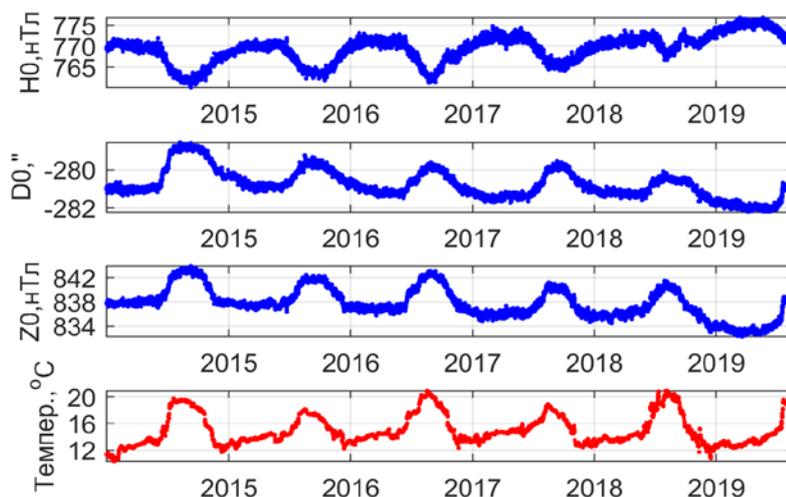


Рис. 3. Вариации базисных значений H0, D0, Z0 компонентного феррозондового магнитометра FGE-DTU и температуры (датчик TD1) за 2014-2019 гг.

Заключение

Развёрнутая на Геофизической обсерватории «Паратунка» ИКИР ДВО РАН сеть цифровых датчиков позволяет получать большой объём информации о пространственном распределении и временных вариациях температуры снаружи и внутри павильонов и боксов с приборами для геофизического мониторинга. Непосредственное практическое применение получаемая информация находит прежде всего в задачах оперативного контроля условий на обсерватории. Полученные данные также используются для изучения температурной зависимости магнитных измерений. В некоторых частных случаях полученные температурные поправки приводят к существенному улучшению результатов и используются при подготовке итоговых данных стандарта INTERMAGNET. Однако в большинстве случаев или в режиме потокового учёта температурной зависимости требуются более сложные модели, разработка которых планируется в будущем.

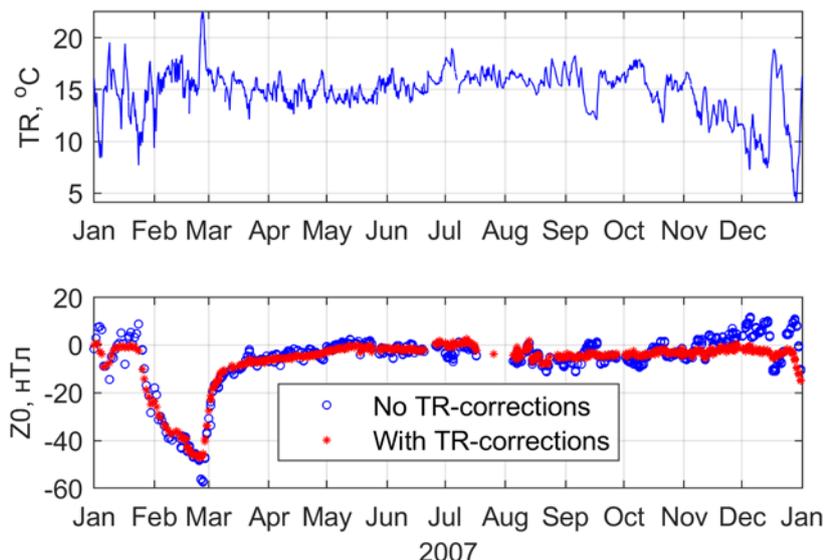


Рис. 4. Вариации температуры (минутные значения, датчик TR1) и базисных значений Z0 магнитометра FRG-601 за 2007 г. (без учёта и с учётом линейной температурной зависимости с коэффициентом -1.6 нТл/°С). В феврале хорошо заметна сильная вариация Z0 неизвестной природы, которая затрудняет корректные оценки эффекта температуры.

Благодарности

Автор благодарит сотрудников ГФО «Паратунка» ИКИР ДВО РАН, поддерживающих непрерывную работоспособность сети термодатчиков и метеостанций. Автор признателен С.А.Нечаеву, ведущему магнитологу обсерватории «Патроны» ИСЗФ СО РАН, за плодотворные дискуссии и советы. Работа выполнена в рамках темы «Динамика физических процессов в активных зонах ближнего космоса и геосфер», № гос.рег. АААА-А17-117080110043-4 от 01/08/2017.

Список литературы

1. Нечаев С.А. Руководство для стационарных геомагнитных наблюдений. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2006. 140 с.
2. Хомутов С.Ю., Павлов А.Ф., Федотова О.И. Температурные эффекты в магнитных измерениях, выполняемых на Геофизической обсерватории «Ключи», Новосибирск // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей. Шестые науч. чтения памяти Ю.П.Булашевича. Матер. конф., Екатеринбург, 12-17 сент. 2011. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. С. 388–391.
3. Bennett A.J., Harrison R.G. Atmospheric electricity in different weather conditions // *Weather*. 2007. V. 62. No. 10. P. 277–283.
4. CS110 Electric Field Meter. Instruction Manual. Revision: 4/12. Campbell Scientific, Inc., 2005-2012. 40 с.
5. Csontos A., Hegymegi L., Helig B. Temperature tests on modern magnetometers // *Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sci. Warszawa*. 2007. V. 99 No 398. P. 173–179.
6. DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer. 2015. <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf> (актуальность 12.09.2019).
7. Jankowski J., Sucksdorff C. Guide for magnetic measurements and observatory practice. Warsaw, 1996. 235 p.
8. Khomutov S.Y. Magnetic observations at Geophysical Observatory «Paratunka» IKIR FEB RAS: tasks, possibilities and future prospects // *E3S Web of Conferences*. 2017. 20. N02002. 18 p. (VIII International Conference «Solar-Terrestrial Relations and Physics of Earthquake Precursors». DOI: 10.1051/e3sconf/20172002002).
9. Vantage Pro2 Console Manual. Davis Instruments Corp., 2011. 53 p. (<https://www.davisinstruments.com/solution/vantage-pro2/> - актуальность 12.09.2019).
10. WS2000 PC Radio Weather Station. 67 p.