

УДК 550.380

ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ ГЕОМАГНИТНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ НА БИШКЕКСКОМ ГЕОДИНАМИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ

В.А. Мухамадеева, Е.В. Воронцова, Е.А. Лазарева

Рассматриваются исторические аспекты развития сети геомагнитного мониторинга и становления геомагнитных наблюдений на Бишкекском геодинамическом полигоне.

Ключевые слова: геомагнитные наблюдения; магнитометр; модуль полного вектора магнитного поля; магнитовариационная станция; сейсмичность.

EXPERIENCE OF GEOMAGNETIC OBSERVATIONS AT THE GEODYNAMIC TEST GROUND IN BISHKEK

V.A. Mukhamadeeva, E.V. Vorontsova, E.A. Lazareva

The historical aspects of geomagnetic monitoring network development and geomagnetic observations establishing within Bishkek Geodynamic Proving Ground are reviewed.

Key words: geomagnetic observations; a magnetometer; magnetic-field full vector; magnetic-variation station; seismicity.

В далеком 1978 г. специальным постановлением Совета Министров СССР было принято решение об усилении исследований в области прогноза землетрясений, которое предусматривало организацию трех экспериментальных полигонов на территории республик Средней Азии: в Таджикистане (Гарм), в Узбекистане (Ходжабад) и в Киргизии (Фрунзе), характеризующихся значительной сейсмической активностью. В 1979 г. Институт высоких температур АН СССР приступил к организации Фрунзенского прогностического полигона (в настоящее время это Бишкекский геодинамический полигон – БГП), создав с этой целью в 30 км к югу от столицы на северном склоне Киргизского хребта Научную станцию РАН, возложив на нее научное руководство Ходжабадским и Фрунзенским полигонами. Производство инструментальных наблюдений осуществлялось организованной весной 1982 г. Опытно-методической электромагнитной экспедицией (ОМЭЭ ИВТАН).

В комплекс исследований, наряду с глубинными электромагнитными зондированиями, геодезическими и сейсмологическими исследованиями, вошли и геомагнитные наблюдения, основной задачей которых являлось установление пространственно-временной связи между изменениями ло-

кального магнитного поля в пунктах наблюдений и сеймотектоническими процессами на территории Узбекистана, Киргизии и Казахстана.

Начало геомагнитным исследованиям на территории БГП было положено в декабре 1982 г. В первые два года наблюдения за вариациями модуля полного вектора магнитного поля проводились на пяти станциях: Аксу, Шавай (Белогорка), Чонкурчак, Иссык-Ата и Кегеты (рисунок 1). Предварительно на территории всех стационарных станций была выполнена микромагнитная съемка, по результатам которой выбраны точки для расположения магнитоизмерительных датчиков, в радиусе 20 м от которых градиент геомагнитного поля не превышал бы 2 нТл. Измерения проводились протонным магнитометром МПП-1 (ОКБ ИФЗ АН СССР), с чувствительностью $\pm 0,1$ нТл. Синхронизация измерений выполнялась по сигналам точного времени радиостанции “Маяк”. Обработка полученного материала проводилась непродолжительное время вручную, а затем – с помощью ЭВМ СМ-4 по специально разработанным программам, и заключалась в вычислении разности поля по каждой паре станций, медианной фильтрации и осреднении значений ΔT и построении графиков осредненных значений ΔT . По результатам первых

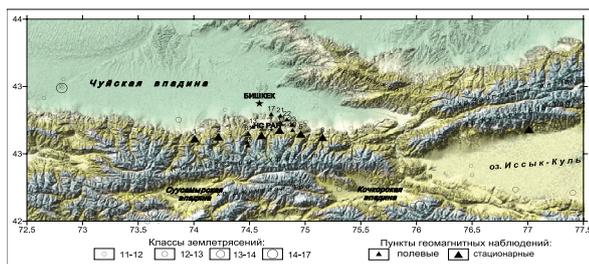


Рисунок 1 – Карта расположения пунктов геомагнитных наблюдений с вынесенной на неё сейсмичностью за 1970–2013 гг. (К = 11–17).

Стационары: 1 – Аксу; 2 – Шавай; 3 – Чонкурчак; 4 – Таш-Башат; 5 – Иссык-Ата; 6 – Кегеты; 7 – Карагай-Булак. Рядовые пункты: 11 – Норус; 13 – Кашкасу; 14 – Ала-Арча ср.; 17 – Ала-Тоо; 18 – Тогузбулак; 21 – Дачи; 22 – Серафимовка ниж.; 23 – Горная Серафимовка; 35 – Ала-Арча верх.; 61 – Шлагбаум

полтора лет наблюдений одна из станций, показавшая стабильные результаты, неотягощенные помехами (ст. Аксу), была принята за опорную, и с 1984 г. вариации поля на всех других станциях стали рассматриваться относительно нее.

В 1985 г. к сети наблюдений добавилась станция Карагай-Булак, расположенная на северном берегу озера Иссык-Куль, а станции Аксу, Шавай и Иссык-Ата были укомплектованы разработанными в ОМЭ ИВТАН цифровыми регистраторами данных на магнитных лентах – РД-1. Дискретность измерений составляла 20 с, на остальных станциях она оставалась прежней – 20 мин. Продолжился начатый чуть ранее обмен геомагнитными данными со станцией Курты (Казахстан) и обсерваторией Янгибазар (Узбекистан). В результате комплексного анализа геомагнитного поля на территориях Узбекистана, Казахстана и Киргизии были выделены значительные региональные вариации геомагнитного поля, высказано предположение о том, что наблюдаемые изменения поля являются следствием влияния некоторого внешнего по отношению к земле источника, например, магнитосферно-ионосферной токовой системы, наводящей в земле вторичные токи [3].

В 1986 г. была предпринята первая попытка оценить влияние региональных и местных сейсмических процессов на вариации геомагнитного поля. Влияние региональных деформационных процессов рассматривалось в рядах ΔT по отношению к станции Курты. На основании анализа полученных данных было установлено, что:

- максимальные по амплитуде изменения ΔT наблюдаются в период региональной активизации, когда произошли разрушительные землетрясения: Папское (1984, К = 14), Газ-

лийское (1984, К = 17), Джиргитальское (1984, К = 14,7), Кайракумское (1985, К = 15);

- локальная активизация сейсмичности, как и региональная, находит отражение в локальных вариациях ΔT , которые существенным образом зависят от расположения станций.

В 1987 г. были начаты опытно-методические работы по выбору места для устройства новых долговременных полевых пунктов повторных наблюдений. Для измерений использовались протонные магнитометры МЯПП и МПП-1М. Датчик магнитометра устанавливался на репере с помощью разработанной в ОМЭ легкоъемной текстолитовой стойки высотой 1 м с цанговым креплением, обеспечивающей подъем датчика на высоту 2,3 м. Каждая сессия повторных наблюдений включала 90 единичных измерений с интервалом 20 с, синхронизированных с измерениями на режимных станциях. По результатам анализа геомагнитных данных за 1987 г. выяснилось следующее:

- пространственные градиенты внешнего (бухты S_q -вариаций) и внутреннего (вековая вариация) полей таковы, что в масштабах полигона дают существенный вклад в разности ΔT , поэтому при анализе длительных вариаций их необходимо учитывать;
- длительные (в течение нескольких лет) монотонные изменения ΔT между станциями полигона сопровождаются соответствующими им изменениями кажущегося удельного электрического сопротивления, и уровня подземных вод (УПВ).

С 1988 по 1991 г. сеть наблюдений несколько расширилась: к уже существующим режимным станциям добавились еще две собственные станции и две станции Института сейсмологии НАН КР. Для повышения точности наблюдений и контроля инструментальных погрешностей были установлены дополнительные магнитометры.

На исследуемой территории геомагнитные наблюдения проводились в комплексе с электромагнитными и светодальномерными наблюдениями длин линий опорной геодезической сети. Была обнаружена корреляционная связь между вариациями ΔT и изменениями длин линий сети светодальномерных наблюдений, что позволяет предполагать наличие связи между вариациями магнитного поля и процессом деформации земной коры.

Комплексный анализ вариаций геомагнитного поля и изменений уровня подземных вод по ряду режимных скважин позволил установить их взаимосвязь, что также подтверждает наличие связи вариаций магнитного поля с деформационными процессами в земной коре.

Сравнение разностных рядов ΔT для станций Фрунзенского (ныне Бишкекского) полигона и станций за пределами полигона (Курты, Май-Тюбе – в Казахстане, Янгибазар – в Узбекистане, Карагай-Булак – на северном берегу оз. Иссык-Куль) показало их подобие. По всей видимости, на значительной территории протекает единый процесс, и подобные изменения ΔT обусловлены глубинными региональными процессами, протекающими в нижней коре. Вполне возможно, что это связано с течением электрических зарядов, образующихся в результате вязкого течения подкорового вещества [3].

С августа 1991 г. геомагнитная сеть БГП была укомплектована магнитовариационными станциями МВ-01, созданными с применением микропроцессорной технологии на отечественных электронных компонентах, с представлением каждого измерения в виде цифрового кадра, содержащего информацию об измеренном значении геомагнитной индукции, сопровождаемую текущим значением времени и данными статистической обработки сигнала ядерной прецессии, характеризующими достоверность выполненного измерения, с фиксацией даты в начале цифрового массива, выводом на цифровой визуальный индикатор, занесением ее в электронную память станции с последующей разгрузкой на магнитную ленту встроенного касетного накопителя или внешний компьютер.

Этими приборами были оснащены все стационарные станции, работающие в круглосуточном режиме, а также передвижная станция, предназначенная для обслуживания 11 полевых пунктов геомагнитных наблюдений, включенных в сеть мониторинга в 1992 г. Периодичность измерений на полевых пунктах составляла 3–5 дней, длительность сеанса – 15 минут, дискретность измерений – 5 секунд.

В целях уменьшения объема данных вычислялась разность поля только с одной, опорной станцией Аксу. В связи с этим требования к полноте и качеству измерений на ней возросли. Была разработана методика восстановления недостающих участков информации на опорной станции по одной из близлежащих.

Актуальными стали оценки различного рода погрешностей, неизбежных в процессе проведения геомагнитных наблюдений, и разработка мер по их минимизации или полному устранению. Снижение случайной погрешности в МВ-01 обеспечивалось рядом удачных схемных, конструктивных и методологических решений. Снижение систематической погрешности обеспечивалось применением в периодомере современного опорного генератора с нестабильностью не более 1×10^{-9} . Устранение и минимизация погрешностей, вносящих существенные искажения во временные ряды ΔT и вы-

зываемых техногенными и внешними причинами (работой электроразведочной генераторной установки при проведении электромагнитных наблюдений, перемещением транспорта вблизи датчиков магнитометров, электромагнитными помехами в виде грозовых разрядов, всплесков сетевого напряжения, Sq-вариациями, магнитными бурями и т. д.) осуществлялось по специально разработанным технологиям [3].

Результаты геомагнитных наблюдений первой половины 1990-х годов (с учетом работ более раннего периода) были обобщены в виде следующих положений [3]:

1. На обширных по площади региональных областях имеют место значительные изменения магнитного поля, отчетливо прослеживающиеся на картах градиентов ΔT , построенных за отдельные годы начала 1990-х, которые связаны, вероятнее всего, с процессами, протекающими в нижней коре.

2. Наиболее вероятной причиной длительных трендов в разностных рядах на больших базах (между п. Курты и пунктами Май-Тюбе, Янгибазар, Карагай-Булак, станциями полигона) могут быть вековые вариации, связанные с процессами на границе ядро – мантия. В зависимости от расстояния вариации поля отличаются лишь в деталях (за исключением сильно удаленного п. Янгибазар). Таким образом, влияние векового хода можно не учитывать на пунктах, расположенных в пределах БГП.

3. Области наиболее интенсивных изменений магнитного поля ΔT накануне сильного Суусамырского землетрясения (19.08.1992 г., $K = 17$) совпадают с осевыми частями аномалий кажущегося сопротивления, что указывает, вероятнее всего, на одновременное отражение одного и того же деформационного процесса, связанного с подготовкой сильного землетрясения.

В 2007 г. на смену МВ-01 пришла усовершенствованная версия магнитовариационной станции – МВ-07. Методика наблюдений и обработка данных магнитометрии, отточенные еще в начале 1990-х, в последующие годы не претерпели существенных изменений. Анализ полученных разностных рядов ΔT подтвердил сделанные ранее выводы относительно связи вариаций магнитного поля с сейсмичностью: во временных рядах всегда присутствуют как незначительные вариации, обусловленные большим количеством слабых землетрясений с $K = 6-8$, затрудняющих их анализ, так и более значимые вариации поля, которые сопровождают землетрясения, но могут с ними и не коррелироваться. Причем на разных пунктах сети характер вариаций также различен. Предполагается, что различия в протекании вариаций на геомагнитных станциях

сети могут быть связаны: с расположением конкретной станции относительно источника деформационного процесса; с различием физических, в том числе и магнитных свойств пород, подстилающих конкретную геомагнитную станцию; с разным геологическим и геоэлектрическим строением разреза под отдельно взятой станцией; с присутствием в районе расположения пунктов наблюдения токовых систем различной природы, не связанных с геодинамическими процессами [4].

Исследования более позднего времени [1], а именно, результаты гармонического (спектрального) анализа магнитного поля Земли, а также результаты статистического и спектрального анализа каталога сейсмической активности (за 1994–2009 гг., класс $6 < K < 15$), свидетельствуют о наличии общих периодов для вариаций геомагнитного поля Земли и сейсмической активности, что указывает на взаимосвязь этих процессов.

Возможность оценить наличие пьезомагнитного или электрокинетического эффектов в вариациях геомагнитного поля при изменении напряженно-деформированного состояния среды, вызванного промышленным взрывом, при строительстве набросной плотины Камбаратинской ГЭС-2, представилась в декабре 2009 г. Суммарная величина двух зарядов составила 2,85 кт. Региональные станции республики идентифицировали взрывы как события с магнитудами 4,3 и 5,13 соответственно. Результаты геомагнитных наблюдений, проводившихся силами ИС РАН в комплексе с другими геофизическими исследованиями, с измерением модуля полного вектора T (при дискретности измерений 1 измерение в 4 секунды) на двух магнитовариационных станциях МВ-07 – в 5,6 км от пункта взрыва и на базовой станции БГП – “Аксу”, показали, что во временном ряде ΔT отсутствуют какие-либо эффекты, обусловленные взрывом. Другими словами, при наблюдениях на слабомагнитных породах не отмечаются ни пьезомагнитные, ни электрокинетические эффекты от деформационных возмущений. По этой причине при проведении прогностических наблюдений и интерпретации вариаций магнитного поля над слабомагнитными породами для объяснения аномальных вариаций следует искать другие механизмы их возникновения [2].

Неминуемый физический и моральный износ используемых на полигоне МВС способствовал поиску новых решений в организации геомагнитного мониторинга. В 2011 г. были начаты экспериментальные наблюдения с использованием

оверхаузеровского датчика POS-1, разработанного в лаборатории квантовой магнитометрии Уральского технического университета. С внедрением современного оборудования в технологию геомагнитного мониторинга и отсутствием возможности дальнейшего использования устаревшего программного обеспечения (пакет ПО и база данных были созданы в 1980-х годах и работали под управлением устаревшей системы MS DOS) возникла острая необходимость в изготовлении нового программного продукта, обеспечивающего обработку и использование данных, получаемых как от станций МВ-07, так и от новых POS-1. В новом пакете ПО, разработанном специалистами ЛПАР ИС РАН, были реализованы дополнительные возможности, улучшающие качество и эксплуатационные характеристики системы обработки и хранения данных мониторинга.

Наряду с техническим переоснащением пунктов и модернизацией ПО системы геомагнитного мониторинга и выполнением работ по переносу данных мониторинга из старой базы (за последние 20 лет) во вновь созданную, начаты работы по переводу всей имеющейся архивной информации (с 1984 до 1993 г.), существующей на сегодняшний день только в виде печатных таблиц и графиков, в цифровой формат по специальной технологии, разработанной молодыми специалистами ЛКИ ИС РАН. По завершении этих работ будет создана полная база данных по магнитометрии на БГП – с 1984 г. по настоящее время.

Литература

1. Воронцова Е.В. Гармонический анализ вариаций полного вектора T геомагнитного поля и связь компонент с сейсмической активностью Северного Тянь-Шаня / В.Д. Брагин, Е.В. Воронцова // Современные проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов: матер. V междунар. симп. 19–24 июня 2011 г. Бишкек, 2011. С. 244–250.
2. Брагин В.Д. Электромагнитные исследования эффектов, обусловленных мощным промышленным взрывом в районе Нарынского каскада гидроэлектростанций (Камбар-Ата) / В.Д. Брагин // Вестник КРСУ. 2011. Т. 11. № 4. С. 46–53.
3. Отчет о результатах проведения опытно-методических электромагнитных прогностических наблюдений в пределах сейсмогенных зон Средней Азии в 1991–1994 гг. Бишкек // Фонды ИС. 1994. С. 67–83, 283–297.
4. Проявление геодинамических процессов в геофизических полях / А.М. Вольхин, В.Д. Брагин, А.В. Зубович и др. М.: Наука, 1993. 158 с.