

ИЗУЧЕНИЕ СУТОЧНЫХ И ВЕКОВЫХ ВАРИАЦИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ ПО ДАННЫМ МАГНИТНОЙ ОБСЕРВАТОРИИ «ЯНГИБАЗАР» (УЗБЕКИСТАН)

В. Р. Юсупов^{1,2}, А. А. Соловьев^{3,4} и Р. В. Сидоров^{*,3}

¹Институт сейсмологии АН РУз, Ташкент, Республика Узбекистан

²Ташкентский государственный технический университет им. Ислама Каримова, Ташкент, Республика Узбекистан

³Геофизический центр РАН, Москва, Россия

⁴Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

Получено 6 июня 2022 г.; принято 14 октября 2022 г.; опубликовано 30 декабря 2022 г.

В статье приведена информация о геомагнитной обсерватории «Янгибазар», руководство которой осуществляется Институтом сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан.

Продемонстрированы результаты исследования вариаций магнитных полей на магнитно-ионосферной обсерватории «Янгибазар» и сопоставление среднегодовых значений модуля магнитного поля с главным магнитным полем Земли. Приведено сравнение между суточным ходом геомагнитного поля в течение четырех дней 21–24 июня 2021 года на обсерватории «Янгибазар» и суточным ходом за этот же период на близлежащих станциях и обсерваториях «Алма-Ата» (Казахстан) и «Гюлагарак» (Армения), также изучены абсолютные значения элементов магнитного поля, зарегистрированные на обсерватории в период 2010–2021 гг. Сделан вывод о целесообразности развёртывания высокоточных геомагнитных измерений международного стандарта на базе обсерватории «Янгибазар».

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: геомагнитное поле, обсерватория, вариации, вековой ход.

Цитирование: Юсупов, В. Р., А. А. Соловьев, и Р. В. Сидоров. (2022), Изучение суточных и вековых вариаций магнитного поля Земли по данным магнитной обсерватории «Янгибазар» (Узбекистан), *Russ. J. Earth. Sci.*, т. 22, ES6008, 10.2205/2022ES000815.

1 ВВЕДЕНИЕ

Ташкентская научно-исследовательская геофизическая обсерватория стала одним из первых учреждений на обширной территории Средней Азии, регистрирующих данные физических полей с целью проведения различных фундаментальных и прикладных исследований в области физики Земли. В первую очередь развитие получили геомагнитные исследования, для чего было проведено развертывание сети пунктов векового хода магнитного поля и организация стационарных наблюдений вариаций компонент геомагнитного поля. В последующей сфере деятельности обсерватории менялись направления геофизических исследований в зависимости от их приоритета. Первые гео-

магнитные измерения были проведены на месте расположения будущей обсерватории в 1868 г.

Ключевыми событиями в развитии геофизических исследований в Узбекистане стали:

1. Организация Ташкентской научно-исследовательской геофизической обсерватории (ТНИГО) в 1924 г. с юридическим статусом на базе Ташкентской физической обсерватории;
2. Участие в глобальной научной программе «Международный геофизический год» в 1957 г., в результате чего ТНИГО переименована в Комплексную магнитно-ионосферную обсерваторию (КМИО);
3. Воссоединение обсерватории с вновь организованным Институтом сейсмологии при Академии наук Узбекистана в 1967 году.

*Контакт: r.sidorov@gcras.ru



(а) вариационные павильоны (слева на переднем и среднем плане), абсолютные павильоны (справа на переднем и среднем плане), технический павильон (на заднем плане)



(б) магнитометр QNM на постаменте в абсолютном павильоне

Рис. 1: Общий вид павильонов обсерватории «Янгибазар».

В разные годы исследования электромагнитных полей на территории Узбекистана проводили Г. О. Мавлянов, В. И. Уломов, К. Н. Абдуллабеков, С. Х. Максудов [Абдуллабеков и Максудов, 1975], С. С. Хосамиддинов, Е. Бердалиев, М. Ю. Муминов, А. И. Туйчиев, С. О. Якубова, О. М. Барсуков, Н. М. Муталиев, Е. М. Махкамжонов и другие.

Обсерватория «Янгибазар» (IAGA-код ТКТ) расположена на расстоянии около 20 км от Ташкента ($41^{\circ}18'8.1''$ с. ш., $69^{\circ}34'52.5''$ в. д.) на высоте 580 м над уровнем моря. На обсерватории имеется четыре измерительных павильона (видны на фото на рис. 1а). На данный момент на обсерватории ведутся нерегулярные измерения полной напряженности магнитного поля Земли магнитометром МВ-01, а также ручные измерения на магнитометре QNM (рис. 1б). Векторные магнитометры в настоящее время не функционируют. Магнитометрическая аппаратура на обсерватории была до последнего момента в основном устаревшая, однако в 2021 г. Институтом сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан (ИС АН РУз) были приобретены скалярные протонные оверхаузеровские магнитометры GEM Systems GSM-19, один из которых предполагается использовать как штатный магнитометр обсерватории.

Измерения модуля магнитного поля, выполненные на магнитной обсерватории «Янгибазар», использовались при расчёте K -индекса, позже эти данные были включены в каталог исторических значений K -индекса [Sergeyeva и др., 2021a,b]. В 2021 г. в ходе научно-технического сотрудничества между Геофизическим центром РАН (ГЦ РАН) и ИС АН РУз и визита сотрудников ИС

АН РУз в ГЦ РАН было принято решение об обследовании территории обсерватории «Янгибазар» с целью оценки ее пригодности для установки современного комплекса магнитометров международного стандарта и перспектив развёртывания геомагнитной обсерватории, соответствующей стандарту ИНТЕРМАГНЕТ (<https://www.intermagnet.org/>).

В данном исследовании изложены оценки регистрируемых магнитных данных обсерватории «Янгибазар» на различных временных масштабах, цель которых – сделать вывод о возможности развёртывания геомагнитной обсерватории, соответствующей стандарту ИНТЕРМАГНЕТ.

2 ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ВАРИАЦИИ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ПО ДАННЫМ ОБСЕРВАТОРИИ «ЯНГИБАЗАР»

Вариации магнитного поля периодического характера, наблюдаемые на поверхности Земли, обусловлены несколькими внешними факторами. Солнечно-суточные вариации, вызванные суточным вращением Земли, возникают в результате ионизации атмосферы Земли ультрафиолетовым излучением Солнца, вследствие чего возникает слой, имеющий относительно большую электрическую проводимость, а приливные движения атмосферы заставляют этот проводящий слой двигаться определенным образом в постоянном поле Земли. Аналогична и причина лунно-суточных вариаций, в механизме возникновения которых приливные движения создаются притяжением Луны;

длина их периода равна лунным суткам. Годовые вариации, длина периода которых равна одному календарному году, вызываются вращением Земли вокруг Солнца.

Задача выбора спокойных дней представляется важной для изучения Sq -вариации. Один из подходов к оперативному распознаванию спокойных дней был успешно реализован в работах [Soloviev и Smirnov, 2018; Soloviev и др., 2019]. Классический же подход предполагает ретроспективный выбор в каждом месяце пяти наиболее спокойных суток, свободных от магнитной возмущенности, и пяти суток, в течение которых магнитная возмущенность была наибольшей (возмущенные дни). Если же суточные вариации определяют осреднением данных за все сутки одного календарного месяца, то найденные таким образом вариации принято называть суточными вариациями по всем дням. Здесь мы рассмотрим более подробно суточные вариации полной напряженности по всем дням. Для того, чтобы был виден характер зависимости вариаций от времени года, сведения о вариациях даны не только в виде средних за год, но также и за три сезона, часто используемых в изучении земного магнетизма, а именно для лета (май, июнь, июль, август), зимы (ноябрь, декабрь, январь, февраль) и равноденствия (март, апрель, сентябрь, октябрь).

Наиболее длинный ряд регулярных магнитных наблюдений без разрывов соответствовал периоду 2017 года. Рассмотрим суточные вариации полной напряженности T геомагнитного поля по сезонам и по всем дням 2017 года за вычетом постоянного значения рис. 2.

Характерной особенностью суточных вариаций по всем дням является глубокий минимум в период 7–8 часов по Гринвичу (12–13 часов местного времени). К этому прибавляется еще одна харак-

терная черта – второй неглубокий минимум в вечерние часы около 15–16 UTC. рис. 3 демонстрирует, что суточные вариации во всех сезонах имеют два максимума в 7–8 часов и 10–11 часов по Гринвичу (15–16 часов местного времени).

В зависимости от сезона при увеличении уровня активности Солнца амплитуды суточных вариаций T несколько увеличиваются и имеют различные значения. На рис. 3, где представлены данные по сезонам за период 2016–2017 гг., видно, что минимум вариаций летом (рис. 3в, 25–30 нТл) и в сезон равноденствия (рис. 3б, сезон Е по календарю Ллойда) (20–25 нТл) значительно глубже, чем зимой (рис. 3а, до 15 нТл). Таким образом, для всех рассмотренных суточных вариаций магнитного поля Земли присутствует характерный тип изменчивости на протяжении года. Эту изменчивость можно представить как постепенные переходы между двумя крайними режимами – зимним и летним – через режим, соответствующий сезону равноденствий. Влияние солнечной активности на суточные вариации также изменяется по временам года. Летом, когда суточный ход велик, это влияние проявляется в увеличении амплитуды T . При этом режим вариаций, соответствующий периоду равноденствия, ближе к летнему режиму.

Сравнение хода вариаций обсерватории «Янгибазар» с данными сезонных магнитных вариаций, зарегистрированными на станции «Гюлагарак» в Республике Армения [Оганян и др., 2019], показывает ряд общих закономерностей в характерных максимумах в летние месяцы и минимумах интенсивности суточных вариаций в зимний период года. Однако ввиду наличия горных пород с ярко выраженными электрическими и магнитными свойствами в геологическом разрезе в месте расположения обсерватории «Гюлагарак» и следующего из этого влияния электрической индукции

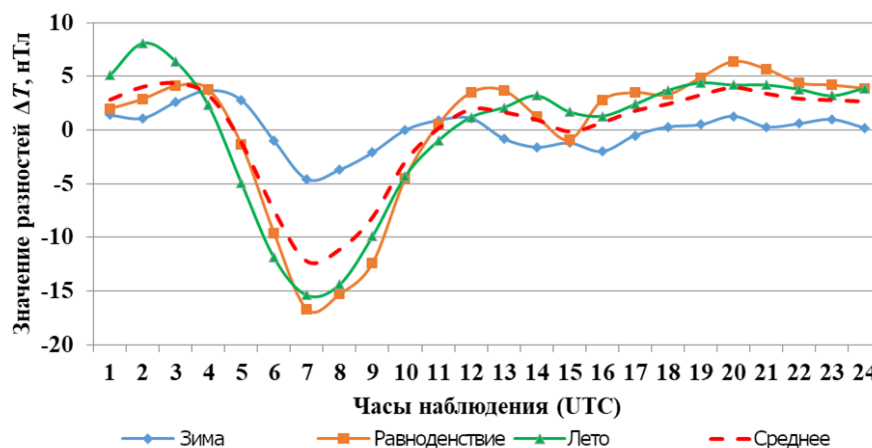


Рис. 2: Суточный ход полной напряженности магнитного поля T по всем дням 2017 года.

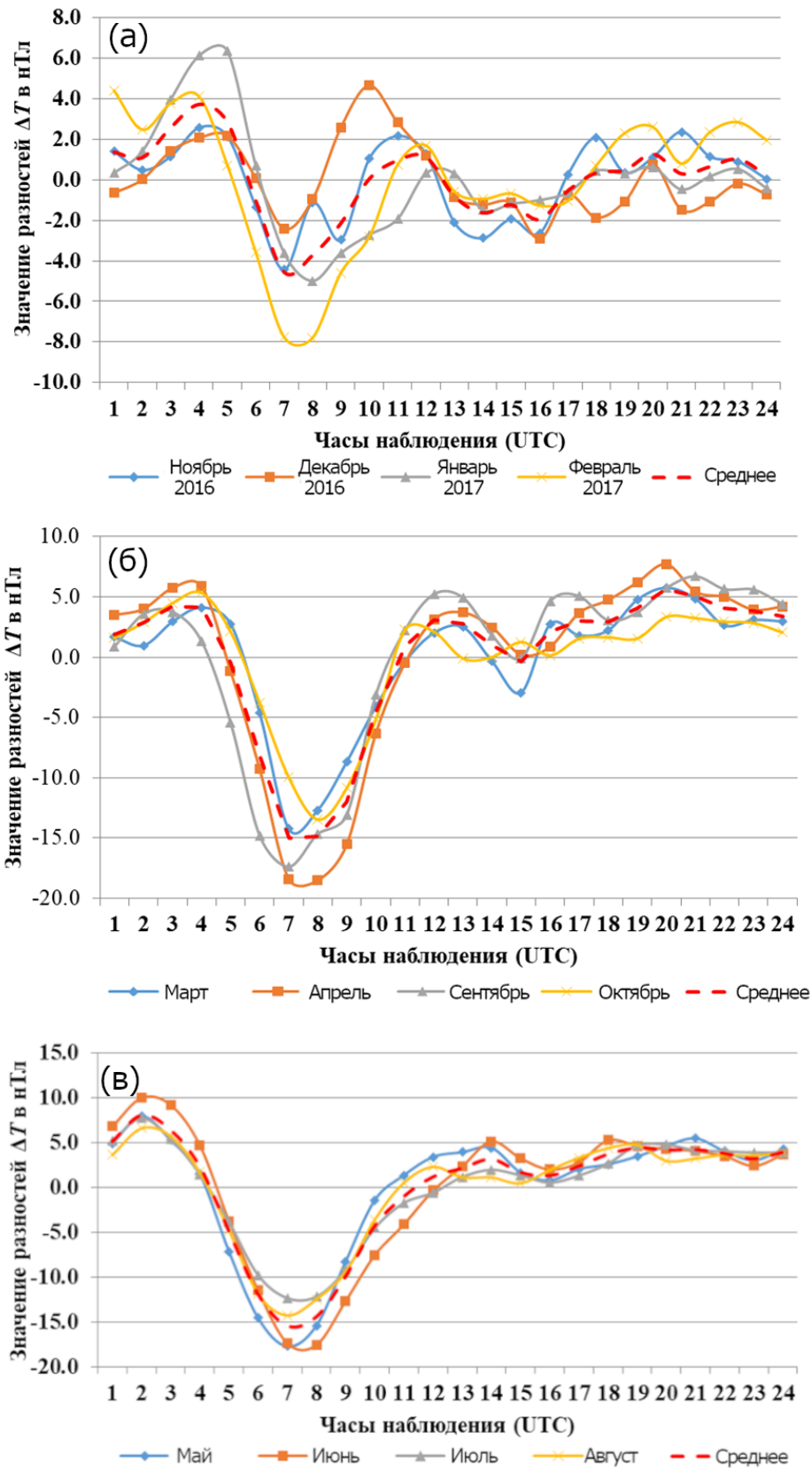


Рис. 3: Суточный ход полной напряженности T по сезонам: зимнему 2016–2017 г. (а), равноденствия 2017 г. (б) и летнему 2017 г. (в).

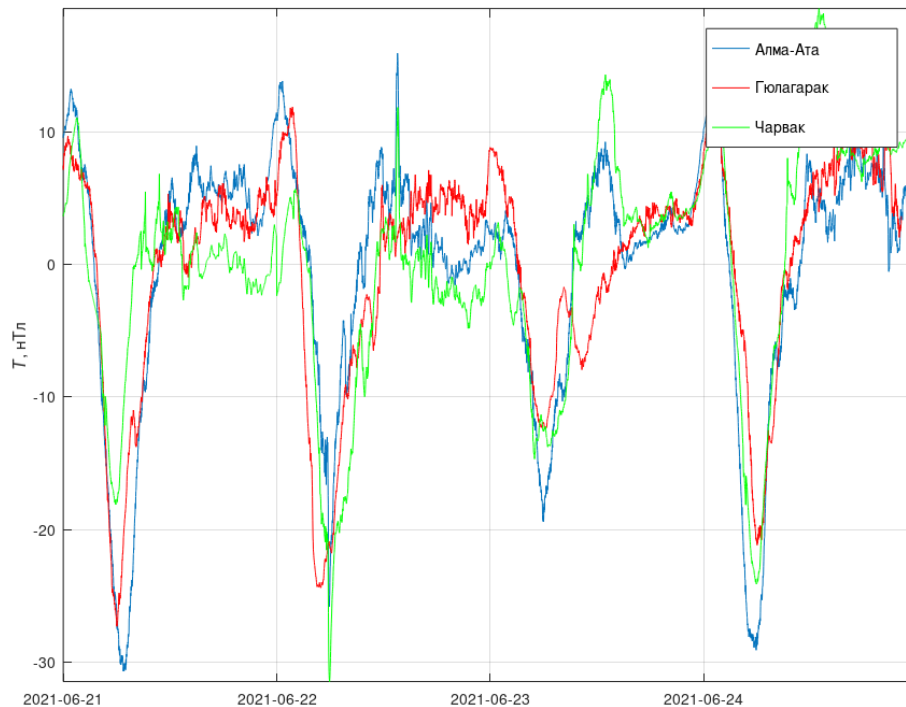


Рис. 4: Относительные изменения суточного геомагнитного поля на обсерваториях «Алма-Ата», «Гюлагарак» и станции Чарвак (21–24 июня 2021 г.).

на суточный ход период максимальной интенсивности суточных вариаций отличается от такового для обсерватории «Янгибазар». Зимой, когда амплитуда суточного хода вообще мала, изменения в поведении вариаций более значительны. Стоит также отметить, что анализируемый период 2016–2017 гг. в 24-м солнечном цикле соответствовал фазе спада солнечной активности, во время которой, как правило, происходят наибольшие возмущения геомагнитного поля [см., напр., *Soloviev и др., 2022*]. Вместе с тем, данные станции «Гюлагарак» рассматривались за период 2008 г., который соответствовал минимуму солнечной активности.

Краткий анализ закономерностей, которым подчиняются суточные вариации полной напряженности геомагнитного поля, приводит к выводу, что причинами этих суточных вариаций являются механические движения слоев атмосферы, находящихся на высоте порядка 100 км над поверхностью Земли. Эти слои (E-слой ионосферы) под влиянием ультрафиолетового излучения Солнца ионизированы и являются хорошим электрическим проводником, движения этих слоев в постоянном магнитном поле Земли вызывают в них индуцированные электрические токи, и магнитное поле этих токов является главной частью поля суточных вариаций. Направление и сила индуцированных токов зависят от условий освещения земной атмосферы Солнцем. Поэтому суточ-

ные вариации T по всем дням в заданной точке зависят от ее географической широты, местного времени суток и времени года.

Глобальные и региональные изменения магнитного поля вызываются процессами в ядре Земли и внешними источниками, а локальные могут быть связаны с различными процессами в геологическом разрезе (например, выветриванием, карстовыми процессами, естественными электромагнитными полями, а также эффектом взаимного перематчивания горных пород). С целью установления природы особенностей в изменениях поля, не укладывающихся в общие представления об источниках внутри ядра Земли и в ионосфере, было проведено сравнение вариации модуля напряженности геомагнитного поля по трем пунктам стационарных геомагнитных наблюдений за короткий период времени (несколько суток). Поскольку штатный магнитометр обсерватории «Янгибазар» МВ-01 не мог обеспечить запись с достаточным периодом дискретизации (нескольких секунд), было принято решение использовать для сравнения непрерывный ряд данных T с дискретизацией в 1 минуту, который был зарегистрирован в ходе геофизического мониторинга состояния водохранилища Чарвак, находящегося в том же регионе, где расположена обсерватория «Янгибазар». Для сравнения были выбраны две ближайшие магнитные обсерватории – «Алма-Ата»

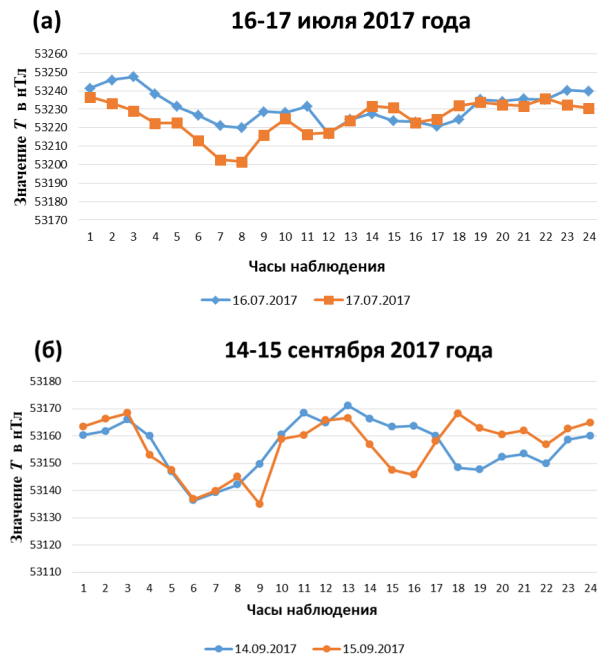


Рис. 5: Изменение полной напряженности T в магнитовозмущенные дни: часовые данные T за 16–17 июля 2017 г. (а) и 14–15 сентября 2017 г. (б) в период геомагнитной бури.

(IAGA-код AAA), расположенная в Республике Казахстан и входящая в ИНТЕРМАГНЕТ [Сokolova, 2014], и «Гюлагарак» [Гвишиани и др., 2018], развиваемая и поддерживаемая Геофизическим центром РАН совместно с Институтом геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова Национальной академии наук Республики Армения. На рис. 4 представлены графики суточного хода модуля геомагнитного поля на обсерваториях «Алма-Ата», «Гюлагарак» и станции Чарвак за период 21–24 июня 2021 г. Данные были приведены к локальному времени, соответствующему времени UTC. Для приведения к единому диапазону из каждого ряда данных было вычтено его среднее значение. В результате сопоставления выявлено, что изменения на обсерваториях «Алма-Ата» (AAA), «Гюлагарак» (GLK) и станции Чарвак происходят согласно общим особенностям, характерным для рассматриваемых регионов.

Магнитограмма за 21–24 июня 2021 г. станции Чарвак (рис. 4) дает представление о солнечно-суточной вариации. Основная часть этой вариации – спокойная солнечная суточная вариация, которая имеет четкую зависимость от местного времени. Если в ночное время все элементы поля почти не испытывают изменений, то в дневное время форма вариации и амплитуда зависят от магнитной широты, сезона года и солнечной ак-

тивности. Амплитуда спокойных суточных вариаций в средних широтах составляет 10–20 нТл.

Более детальное сравнение данных осложняется тем, что в каждой обсерватории используются разные магнитометры разной точности. На сегодняшний день обсерватория «Янгибазар» использует магнитометры MB-01. На обсерваториях «Гюлагарак» (GLK) и «Алма-Ата» (AAA) используются магнитометры GSM-19. Вместе с тем, о выделенных аномальных изменениях магнитного поля твердо можно судить лишь тогда, когда точность не вызывает сомнений. Среднеквадратичная ошибка измерения на пункте для каждого района меняется в зависимости от географического местоположения района исследований, его геологического строения, применяемой методики измерений, аппаратуры и ряда других факторов, и является суммой ряда ошибок: приборной, вызванной не идентичностью протекания вариаций на различных пунктах, МВС, вызванной помехами и т.д. Тем не менее, продемонстрированный на рис. 4 согласованный ход геомагнитного поля на всех трёх пунктах наблюдений подтверждает, что в исследуемом регионе (Ташкентская область) суточная изменчивость поля в целом схожа с таковой в Армении и на юге Казахстана. Согласованность подтверждает и рассчитанный коэффициент корреляции: между данными T обсерватории «Алма-Ата» и станции Чарвак он равен 0,79; между данными T обсерватории «Гюлагарак» и станции Чарвак – 0,77.

3 СУТОЧНЫЙ ХОД ПОЛНОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В МАГНИТОВОЗМУЩЕННЫЕ И МАГНИТОСПОКОЙНЫЕ ДНИ

Первые расчеты токовых систем, ответственных за суточные вариации, произвел в 1887 г. А. Шустер. Впоследствии к этому вопросу возвращались многие геофизики. Установлено, что кольцевые токи, достигающие сотни тысяч ампер, возникают вследствие динамо-эффекта в ионосферном E-слое на солнечной стороне Земли и имеют противоположное направление в северном и южном полушариях. Обсерватории, расположенные около магнитного экватора, регистрируют аномально большие амплитуды суточные вариации горизонтальной компоненты. Объяснение этого явления было найдено после того, как был понят анизотропный характер проводимости ионосферы. Высокоширотные суточные вариации имеют более сложную структуру и условия возникновения спокойного поля более похожи на механизм,

связанный с магнитными возмущениями [Нечаев, 2006].

Периодичность в 11 лет увеличения магнитной активности (особенно числа магнитных бурь в году) связана с 11-летней цикличностью солнечной активности. Однако максимум магнитной активности отстает примерно на год от максимума солнечной активности и не наблюдается полноценной корреляции между появлением пятен на Солнце и возникновением магнитных бурь на Земле [Нечаев, 2006].

Как было сказано выше, под действием корпускулярного излучения Солнца нарушается спокойный суточный ход вариаций магнитного поля. Все изменения во времени магнитного поля Земли, имеющие неправильный аperiodический характер, называются магнитными возмущениями.

Возмущенные суточные вариации геомагнитного поля являются регулярной частью поля магнитной бури, зависящей в основном от степени магнитной активности и местного времени, а также имеющей свое характерное географическое распределение. Изменения геомагнитного поля во время сильных магнитных бурь бесконечно разнообразны, однако возможность выделения из них регулярной части возмущения позволяет выявить некоторые средние особенности магнитных вариаций во время бурь. Установление этих средних особенностей поля бурь облегчает решение задачи о способах борьбы с помехами радиосвязи, создаваемыми бурями. Поэтому изучение возмущенных суточных вариаций, помимо чисто теоретического интереса, имеет также практическое значение. Возмущенные суточные вариации определяются как разность суточных вариаций по возмущенным дням и суточных вариаций по спокойным дням.

С 1 января по 31 декабря 2017 года наблюдалось значительно больше магнитовозмущенных дней по сравнению с предшествующими годами. Так, с декабря 2016 года по январь-февраль 2017 года, т.е. в течение трех месяцев, наблюдалось возмущенное состояние магнитного поля Земли, в марте 2017 года – 1–13, 21–25 и 27–31 числа, в апреле – 5, 9 и 20–30 числа, в мае – 9, 14–15, 19–20 и 30–31 числа, в июне – 2–3, 6–9, 16–17, 20, 22, 24–25 и 29 числа, в июле – 1–3, 9–10 и 16–30 числа, в августе – 1–9, 12–13, 17–25 и 31 числа, в сентябре – 1–8, 12–17, 20–22 и 27–30 числа месяца, в октябре – 11–15 и 19–27 числа, в ноябре – 3–4, 7–17 и 21–30 числа, в декабре – в течение всего месяца.

Как пример, на рис. 5 представлен суточный ход полной напряженности T в магнитовозмущенные дни 16–17 июля (рис. 5а) и 14–15 сентября 2017 года (рис. 5б), за время которых планетарный индекс геомагнитной активности K_p (<https://www.gfz-potsdam.de/kp-index/>) достигал 6

баллов. Главным проявлением магнитных бурь по геомагнитным данным является понижение регистрируемого на поверхности Земли поля и последующий его медленный рост, который может длиться несколько суток. Наиболее отчетливо это явление отражает Dst -индекс геомагнитной активности, характеризующий величину экваториального кольцевого тока. Ввиду среднеширотного расположения магнитной обсерватории «Янгйбазар», динамика регистрируемого магнитного поля в значительной степени определяется поведением именно кольцевого тока. Поэтому на рис. 5а, б видны характерные понижения T .

На рис. 6а, б приведены кривые суточного хода полной напряженности в относительно спокойные дни. Суточный ход полной напряженности во всех случаях имеет минимум в 5–7 часов по Гринвичу (10–12 часов местного времени) и два максимума в 2–3 часа и 11–12 часов по Гринвичу (7–8 и 16–17 часов местного времени), что характерно для средних географических широт. Кроме того, на кривых отмечены также неглубокие максимумы и минимумы с незначительной амплитудой вариации. Очевидно, суточный ход даже в самые спокойные дни нельзя считать простым явлением, протекающим по строго определенному образцу, поскольку разнообразие его вариаций зависит от множества факторов.

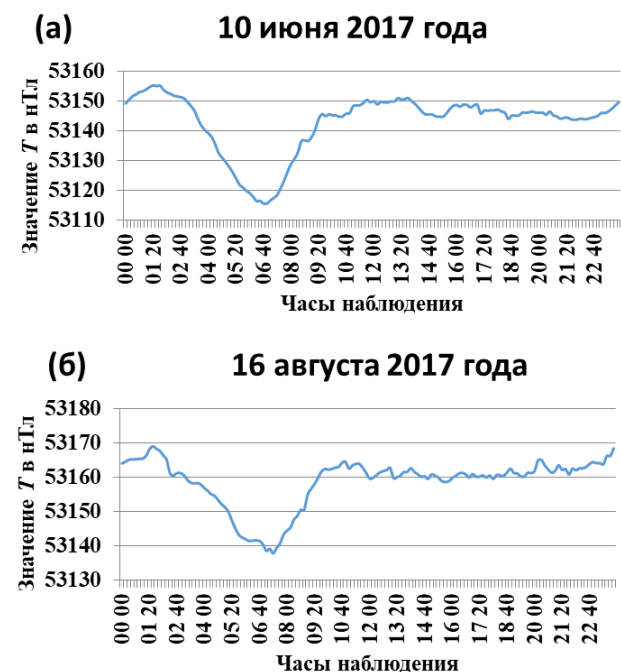


Рис. 6: Изменение полной напряженности T в магнитоспокойные дни: минутные данные за 10 июня (а) и 16 августа 2017 г. (б).

4 ДИНАМИКА СРЕДНЕМЕСЯЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ МОДУЛЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Значения векового хода являются суммарным результатом протекания ряда магнитных процессов в земных недрах, и характер его изменчивости не является постоянным. В среднем за последние 10 лет значения модуля T по измерениям обсерватории «Янгибазар» увеличились более чем на 600 нТл (рис. 7). Тренд, видимый на среднемесячных значениях, в целом подтверждает, что за период 2010–2020 гг. в окрестностях обсерватории не проводилось застройки или иных работ, которые могли существенным образом отразиться на данных в виде систематических помех.

5 АБСОЛЮТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ КОМПОНЕНТ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Магнитные обсерватории снабжают информацией о геомагнитном поле, используя данные вариационных станций, датчики которых являются относительными приборами с достаточно узким диапазоном измерений. Абсолютные значения компонент поля эпизодически определяются путем проведения абсолютных наблюдений, с помощью которых становятся известными базисные значения для вариометров до десятых долей нТл. При стабильной работе вариометров базисные значения можно принимать на основе среднемесячных результатов абсолютных наблюдений с предварительной отбраковкой грубых ошибок измерений.

На обсерватории «Янгибазар» определения абсолютных значений элементов геомагнитного поля проводились согласно инструкции магнитных

наблюдений, т.е. через каждые пять дней с помощью следующих магнитометров:

1. горизонтальная составляющая H – на кварцевых магнитометрах QHM-31172 и QHM-31177 завода «Геологоразведка» (их постоянные $A = 43\,950\,218$, $\mu = 861 \times 10^7$ и $A = 43\,789\,261$, $\mu = 826 \times 10^7$ соответственно);
2. вертикальная составляющая Z – на магнитных нулевых весах VMZ-191; прибор изготовлен в Копенгагене (Дания) и был введен в эксплуатацию в 1963 году;
3. склонение D – на магнитном комбайне К-25; визирной целью (мирой) для абсолютных измерений является крест на стене технического здания №1 обсерватории.

Для оценки изменений абсолютных значений компонент D , H , Z и модуля T геомагнитного поля во временном масштабе 10 лет их среднегодовые значения были сопоставлены с соответствующими им по времени и местоположению значениями моделей главного магнитного поля Земли IGRF [Alken и др., 2021] и ЕММ рис. 8. Видно согласованное изменение среднегодовых модельных и измеренных значений, а также тренд, аналогичный среднемесячным значениям на рис. 7, что также подтверждает, что за период 2010–2021 гг. обсерватория «Янгибазар» не подвергалась влиянию существенных помех. В случае существенных помех постоянного или квазипостоянного характера заметные отклонения от тренда на обсерваторских данных были бы видны даже в среднегодовом масштабе.

Среднемесячная стабильность абсолютных измерений за указанный период 2010–2021 гг. также

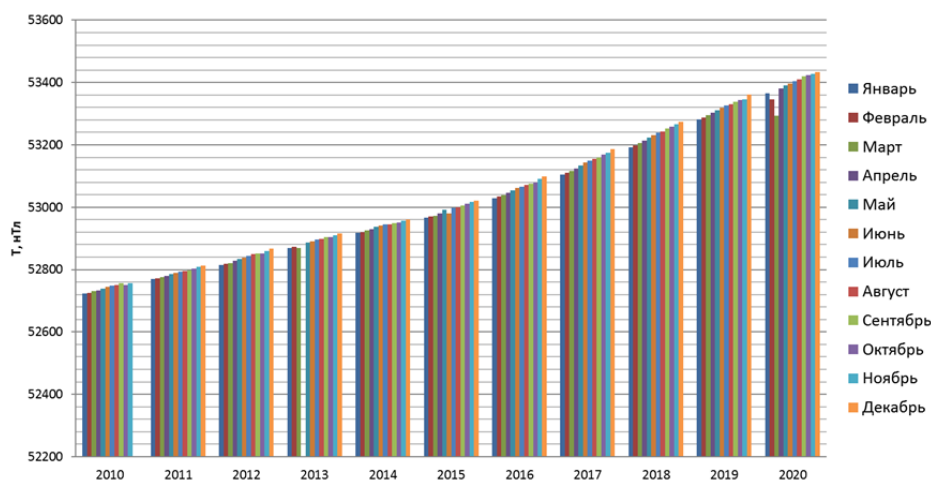


Рис. 7: Среднемесячные значения T по данным обсерватории «Янгибазар» в период 2010–2020 гг.

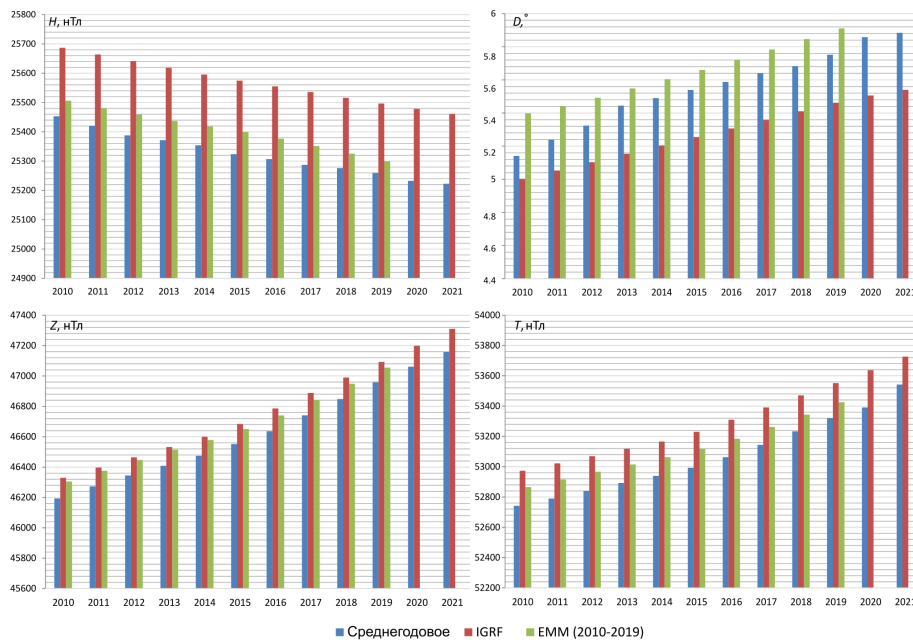


Рис. 8: Среднегодовые значения элементов магнитного поля Земли по данным магнитной обсерватории «Янгибазар» за 2010–2021 гг. в сравнении с данными моделей IGRF за 2010–2021 гг. и EMM за 2010–2019 гг.

была оценена по графику разности ΔT между модулем магнитного поля, измеренным скалярным магнитометром, и вычисленным из абсолютных значений Z и H (рис. 9). Видно, что в значениях присутствует ряд выбросов существенной величины, связанный, вероятно, с устаревшим оборудованием, на котором производятся абсолютные измерения. Тем не менее, линия тренда (красная линия на рис. 9). остается квазипостоянной и соответствует большинству измерений, что говорит о том, что измерения выполняются в целом корректно.

Наконец, был построен вековой ход (первая производная по времени, $d\mathbf{B}/dt$) для абсолютных величин геомагнитных компонент H , D и Z (рис. 10). Для этого для каждого месяца вычислялась производная за год, равная разности между двумя значениями, отстоящими от текущего месяца на 6 месяцев вперед и назад. Аналогичным образом был вычислен вековой ход для по данным компонент H , D , Z , рассчитанным по модели IGRF [Alken и др., 2021] для места расположения обсерватории «Янгибазар». К сожалению, из-за разброса значений на данных обсерватории плохо виден характерный излом, связанный с геомагнитным джерком 2019–2020 гг. [Pavón-Carrasco и др., 2021]. Наиболее отчетливо он выражен на графике векового хода dD/dt рис. 10б, построенного по данным IGRF. Данное обстоятельство вновь говорит о том, что качество абсолютных значений на

данный момент оставляет желать лучшего. Разрывы на графиках векового хода компонент H , D , Z вызваны отсутствием измерений соответствующих компонент с октября 2010 г. по январь 2011 г., что привело, в свою очередь, к невозможности вычисления векового хода указанным методом за апрель–июль 2011 года.

6 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ магнитных вариаций, суточного хода и абсолютных значений элементов магнитного поля на обсерватории «Янгибазар» и в ее окрестностях позволил сделать выводы о перспективности её усовершенствования и развёртывания полномасштабной геомагнитной обсерватории международного стандарта.

Дальнейшие планы по развитию обсерватории «Янгибазар» совместными усилиями ГЦ РАН и ИС АН РУз включают в себя:

1. рекогносцировку территории обсерватории «Янгибазар»;
2. оценку состояния павильонов, приборных постаментов, каналов связи и электропитания;
3. изучение территории обсерватории магнитогradientометрией;
4. установку и настройку современного магнитометрического оборудования;

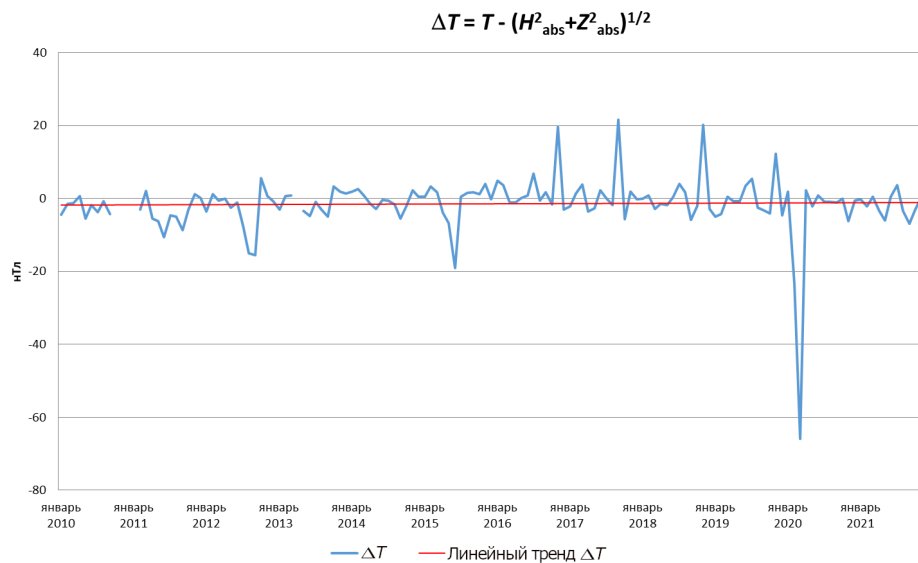


Рис. 9: Среднемесячная разность $\Delta T = T - \sqrt{H_{abs}^2 + Z_{abs}^2}$ по данным среднемесячных значений абсолютных измерений магнитной обсерватории «Янгибазар» за 2010–2021 гг.

5. организацию регулярной регистрации и сбора геомагнитных измерений;
6. организацию регулярной передачи обсерваторских измерений в межрегиональный центр геомагнитных данных на базе ГЦ РАН (<http://geomag.gcras.ru/>);
7. оценку состояния визирной цели (при необходимости – ее конструкцию и определение азимута);
8. обучение персонала обсерватории методике измерений абсолютных значений элементов вектора магнитного поля Земли при помощи современного инклинометра/деклинометра.

Развёртывание высокоточной геомагнитной обсерватории на данной широте даст возможность получения новых данных, которые могут быть использованы в большом количестве фундаментальных исследований – от пополнения и обновления глобальных и региональных моделей внутреннего магнитного поля до анализа сезонных вариаций в регионе. В случае успешной реализации проекта планируемая обсерватория станет новым пунктом высокоточных наблюдений магнитного поля на огромной территории, недостаточно покрытой существующей сетью стационарных пунктов геомагнитного мониторинга. Создание обсерватории внесет вклад в развитие геофизических научных исследований в Средней Азии. Развёртывание обсерватории внесет существенный вклад не только в изучение внутреннего магнитного по-

ля Земли, но и в исследования внешних источников геомагнитной активности, поскольку ее расположение, как и упомянутых обсерваторий «Алма-Ата» ($43^{\circ}15'0''$ с. ш., $76^{\circ}55'12''$ в. д.) и «Гюльгарак» ($40^{\circ}56'6''$ с. ш., $44^{\circ}29'30''$ в. д.), является близким по широте к кольцевому току, экваториальному электроджету и фокусу северной кольцевой токовой системы Sq . Это также внесет вклад в уточнение расчета ряда индексов геомагнитной активности [Karinen и Mursula, 2006].

Благодарности. Результаты, представленные в этой статье, получены на магнитной обсерватории «Алма-Ата» (ААА). Мы благодарим ДТОО «Институт ионосферы» АО «Национальный центр космических исследований и технологий» Республики Казахстан за поддержку его работы и INTERMAGNET за продвижение высоких стандартов практики магнитных обсерваторий (<https://www.intermagnet.org/>). В работе использовалось оборудование и данные, предоставленные ЦКП «Аналитический центр геомагнитных данных» Геофизического центра РАН (<http://ckp.gcras.ru/>). Работа выполнена в рамках государственного задания Геофизического центра РАН, утвержденного Минобрнауки России, а также в рамках Фундаментальной темы ФА-Ф-8-006 «Исследование особенностей проявления напряженно-деформированного состояния разноранговых сеймотектонических структур комплексом геолого-геофизических методов», утверждённой Министерством науки и инноваций Республики Узбекистан.

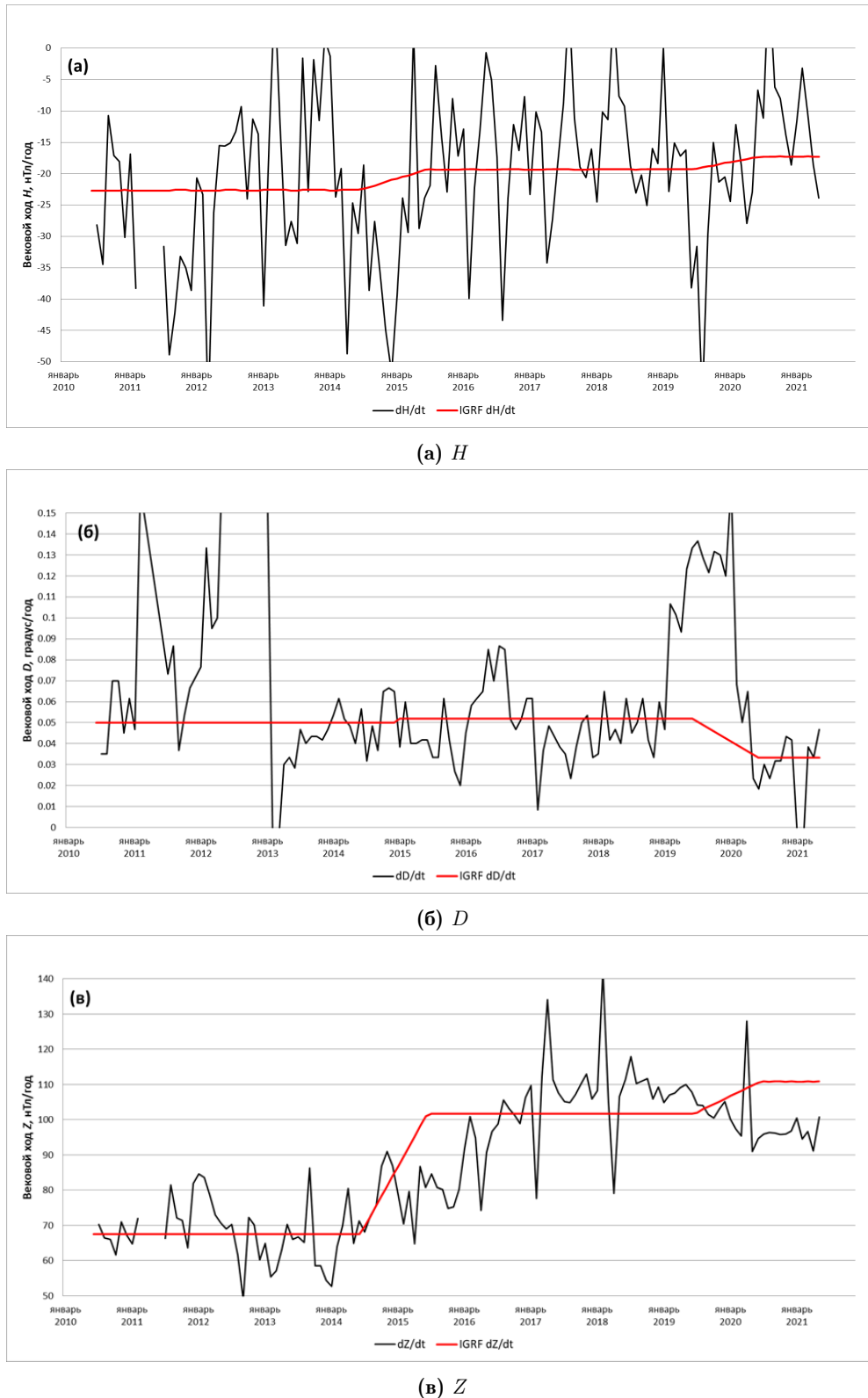


Рис. 10: Вековой ход компонент магнитного поля по среднемесячным значениям абсолютных измерений на обсерватории «Янгибазар» за период 2010–2021 гг. (черные кривые) в сравнении с вековым ходом этих компонент по данным модели IGRF (красные кривые), рассчитанным для места расположения обсерватории за этот же период времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абдуллабеков К. Н., Максудов С. Х. Вариации геомагнитного поля сейсмоактивных районов. — Ташкент: Фан : АН УзССР, Ин-т сейсмологии, 1975. — С. 128.
- Гвишиани А. Д., Соловьев А. А., Сидоров Р. В. *и др.* Успехи организации геомагнитного мониторинга в России и ближнем зарубежье // Вестник ОНЗ РАН. — 2018. — Т. 10. — NZ4001. — DOI: [10.2205/2018NZ000357](https://doi.org/10.2205/2018NZ000357).
- Нечаев С. А. Руководство для стационарных геомагнитных наблюдений / под ред. Ж. Л. Рассон. — Иркутск : Изд-во Института географии им В. Б. Сочавы СО РАН, 2006. — С. 139.
- Оганян М. В., Симонян А. О., Карапетян Д. К. *и др.* Особенности проявления сезонных вариаций геомагнитного поля в северной части территории Армении // Геофизические исследования. — 2019. — Т. 20, № 4. — С. 40–51. — DOI: [10.21455/gr2019.4-3](https://doi.org/10.21455/gr2019.4-3).
- Соколова О. И. Исследования и развитие мониторинга магнитного поля земли в геомагнитной обсерватории «Алма-Ата» // Вестник НЯЦ РК. — 2014. — С. 149–152.
- Alken P., Thébault E., Beggan C. D., *et al.* International Geomagnetic Reference Field: the thirteenth generation // Earth, Planets and Space. — 2021. — Feb. — Vol. 73, no. 1. — P. 49. — DOI: [10.1186/s40623-020-01288-x](https://doi.org/10.1186/s40623-020-01288-x).
- Karinen A., Mursula K. Correcting the Dst index: Consequences for absolute level and correlations // Journal of Geophysical Research. — 2006. — Vol. 111, A8. — A08207. — DOI: [10.1029/2005ja011299](https://doi.org/10.1029/2005ja011299).
- Pavón-Carrasco F. J., Marsal S., Campuzano S. A., *et al.* Signs of a new geomagnetic jerk between 2019 and 2020 from Swarm and observatory data // Earth, Planets and Space. — 2021. — Vol. 73, no. 1. — P. 175. — DOI: [10.1186/s40623-021-01504-2](https://doi.org/10.1186/s40623-021-01504-2).
- Sergeyeva N., Gvishiani A., Soloviev A., *et al.* Historical K index data collection of Soviet magnetic observatories, 1957–1992 // Earth System Science Data. — 2021a. — Vol. 13, no. 5. — P. 1987–1999. — DOI: [10.5194/essd-13-1987-2021](https://doi.org/10.5194/essd-13-1987-2021).
- Sergeyeva N., Gvishiani A., Soloviev A., *et al.* Historical K index values from observatory TKT (Tashkent (Yangibazar)), 1957–1991 // PANGAEA. — 2021b. — DOI: [10.1594/PANGAEA.929056](https://doi.org/10.1594/PANGAEA.929056).
- Soloviev A., Smirnov A., Gvishiani A., *et al.* Quantification of Sq parameters in 2008 based on geomagnetic observatory data // Advances in Space Research. — 2019. — Vol. 64, no. 11. — P. 2305–2320. — DOI: [10.1016/j.asr.2019.08.038](https://doi.org/10.1016/j.asr.2019.08.038).
- Soloviev A. A., Smirnov A. G. Accuracy Estimation of the Modern Core Magnetic Field Models Using DMA-Methods for Recognition of the Decreased Geomagnetic Activity in Magnetic Observatory Data // Izvestiya Physics of the Solid Earth. — 2018. — Nov. — Vol. 54, no. 6. — P. 872–885. — DOI: [10.1134/S1069351318060101](https://doi.org/10.1134/S1069351318060101).
- Soloviev A., Bogoutdinov S., Nisilevich M. On the Frequency Distribution of Geomagnetic K Indices in the Northwestern Pacific Region Over the 19–24 Solar Cycles // Pure and Applied Geophysics. — 2022. — Vol. 179, no. 11. — P. 4179–4196. — DOI: [10.1007/s00024-021-02862-4](https://doi.org/10.1007/s00024-021-02862-4).



STUDYING DIURNAL AND SECULAR VARIATIONS OF THE EARTH'S MAGNETIC FIELD USING DATA FROM YANGIBAZAR MAGNETIC OBSERVATORY (UZBEKISTAN)

V. R. Yusupov^{1,2}, A. A. Soloviev^{3,4}, and R. V. Sidorov^{*,3}

¹Institute of Seismology of Academy Sciences of Republic Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

²Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan

³Geophysical Center of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

⁴Schmidt Institute of Physics of the Earth, Moscow, Russia

*Correspondent author: r.sidorov@gcras.ru

Received 6 June 2022; accepted 14 October 2022; published XX December 2022

The article provides information about the Yangibazar geomagnetic observatory, managed by the Institute of Seismology of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan. The results of the study of magnetic field variations at the Yangibazar magnetic-ionospheric observatory and comparison of the average annual values of the magnetic field absolute magnitude with the main magnetic field of the Earth are demonstrated. A comparison is made between the diurnal variation of the geomagnetic field for four days on June 21–24, 2021 at the Yangibazar observatory and the diurnal variation for the same period at the nearby stations and observatories Alma-Ata (Kazakhstan) and Gyulagarak (Armenia), the absolute values of the magnetic field elements recorded at the observatory in the period 2010–2021 were also studied. The conclusion is made about the expediency of deploying high-precision geomagnetic measurements that meet the international standard on the basis of the Yangibazar observatory.

Keywords: geomagnetic field, observatory, variations, secular variation.

Citation: Yusupov, V. R., A. A. Soloviev, and R. V. Sidorov (2022), Studying diurnal and secular variations of the Earth's magnetic field using data from Yangibazar magnetic observatory (Uzbekistan), *Russ. J. Earth. Sci.*, v. 22, ES6008, 10.2205/2022ES000815.

REFERENCES

- Abdullabekov K. N., Maksudov S. K. Variations in the geomagnetic field of seismically active regions. — Tashkent: Fan : UzSSR Academy of Sciences, Institute of Seismology, 1975. — P. 128. — (in Russian).
- Alken P., Thébault E., Beggan C. D., *et al.* International Geomagnetic Reference Field: the thirteenth generation // *Earth, Planets and Space*. — 2021. — Feb. — Vol. 73, no. 1. — P. 49. — DOI: [10.1186/s40623-020-01288-x](https://doi.org/10.1186/s40623-020-01288-x).
- Gvishiani A. D., Soloviev A. A., Sidorov R. V., *et al.* Successes in the organization of geomagnetic monitoring in Russia and neighboring countries // *Vestnik ONZ RAS*. — 2018. — Vol. 10. — NZ4001. — DOI: [10.2205/2018NZ000357](https://doi.org/10.2205/2018NZ000357). — (in Russian).
- Karinen A., Mursula K. Correcting the Dst index: Consequences for absolute level and correlations // *Journal of Geophysical Research*. — 2006. — Vol. 111, A8. — A08207. — DOI: [10.1029/2005ja011299](https://doi.org/10.1029/2005ja011299).
- Nechaev C. A. Guide to Stationary Geomagnetic Observations / ed. by J. L. *Rasson*. — Irkutsk : Publishing House of the V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS, 2006. — P. 139. — (in Russian).
- Oganyan M. V., Simonyan A. O., Karapetyan D. K., *et al.* Peculiarities of the manifestation of seasonal variations of the geomagnetic field in the northern part of the territory of Armenia // *Geophysical research*. — 2019. — Vol. 20, no. 4. — P. 40–51. — DOI: [10.21455/gr2019.4-3](https://doi.org/10.21455/gr2019.4-3). — (in Russian).
- Pavón-Carrasco F. J., Marsal S., Campuzano S. A., *et al.* Signs of a new geomagnetic jerk between 2019

- and 2020 from Swarm and observatory data // *Earth, Planets and Space*. — 2021. — Vol. 73, no. 1. — P. 175. — DOI: [10.1186/s40623-021-01504-2](https://doi.org/10.1186/s40623-021-01504-2).
- Sergeyeva N., Gvishiani A., Soloviev A., *et al.* Historical *K* index data collection of Soviet magnetic observatories, 1957–1992 // *Earth System Science Data*. — 2021a. — Vol. 13, no. 5. — P. 1987–1999. — DOI: [10.5194/essd-13-1987-2021](https://doi.org/10.5194/essd-13-1987-2021).
- Sergeyeva N., Gvishiani A., Soloviev A., *et al.* Historical *K* index values from observatory TKT (Tashkent (Yangibazar)), 1957–1991 // *PANGAEA*. — 2021b. — DOI: [10.1594/PANGAEA.929056](https://doi.org/10.1594/PANGAEA.929056).
- Sokolova O. I. Research and development of earth's magnetic field monitoring at the geomagnetic observatory «Alma-Ata» // *Bulletin of NNC RK*. — 2014. — P. 149–152. — (in Russian).
- Soloviev A., Smirnov A., Gvishiani A., *et al.* Quantification of *Sq* parameters in 2008 based on geomagnetic observatory data // *Advances in Space Research*. — 2019. — Vol. 64, no. 11. — P. 2305–2320. — DOI: [10.1016/j.asr.2019.08.038](https://doi.org/10.1016/j.asr.2019.08.038).
- Soloviev A. A., Smirnov A. G. Accuracy Estimation of the Modern Core Magnetic Field Models Using DMA-Methods for Recognition of the Decreased Geomagnetic Activity in Magnetic Observatory Data // *Izvestiya Physics of the Solid Earth*. — 2018. — Nov. — Vol. 54, no. 6. — P. 872–885. — DOI: [10.1134/S1069351318060101](https://doi.org/10.1134/S1069351318060101).
- Soloviev A., Bogoutdinov S., Nisilevich M. On the Frequency Distribution of Geomagnetic *K* Indices in the Northwestern Pacific Region Over the 19–24 Solar Cycles // *Pure and Applied Geophysics*. — 2022. — Vol. 179, no. 11. — P. 4179–4196. — DOI: [10.1007/s00024-021-02862-4](https://doi.org/10.1007/s00024-021-02862-4).