

ВАРИАЦИИ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ РАЗНОГЛУБИННЫМИ ПРОЦЕССАМИ В ЗЕМНОЙ КОРЕ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ

© 2021 г. С. Х. Максудов¹, К. Н. Абдуллабеков¹, А. И. Туйчиев¹, В. Р. Юсупов¹, *

¹Институт сейсмологии АН РУз, г. Ташкент, Республика Узбекистан

*E-mail: valijon.yusupov@mail.ru

Поступила в редакцию 10.02.2020 г.

После доработки 06.08.2020 г.

Принята к публикации 09.10.2020 г.

Приводятся результаты геомагнитных исследований на территориях Ташкентского и Ферганского геодинамических полигонов Узбекистана. В ней подробно рассмотрены локальные аномальные вариации геомагнитного поля, обусловленные процессами на различных глубинах в земной коре и верхней мантии, разделенные по линейным размерам на региональные (линейные размеры 100 км и более) и локальные (линейные размеры от 1 до 5 км и более). Аномальные вариации регионально-го характера проявляются в синусоидальной, бухтообразной и трендовой формах продолжительностью от 1 года до 7 лет. Для трендового типа градиент составляет 0.5–2.0 нТл/год. Аномальные вариации локального типа наблюдаются, как правило, в синусоидальной и бухтообразной формах. Бухтообразная аномалия имеет положительный и отрицательный знак, а также обратимый характер изменения. Интенсивность аномалий — от 2 до 25 нТл, продолжительность — от 10–15 дней до 3 лет и более. Локальные аномальные вариации не относятся ни к предвестниковым, ни к техногенным. Этот тип аномалий впервые в большом количестве выявлен на территориях геодинамических полигонов Узбекистана. Анализ научных данных за последние 40–50 лет показал отсутствие какой-либо информации по этому виду аномальных вариаций. Они не поддаются объяснению принятыми механизмами образования векового хода геомагнитного поля, литологическим составом пород, тектоникой, гидрогеологическими условиями, геофизическими полями исследованных территорий. Одна из особенностей проявления локальных аномальных вариаций данного типа — они могут изменяться во времени, по форме, размерами площади, интенсивности, по знаку. Изучены опубликованные данные, имеющие отношение к аномалиям векового хода геомагнитного поля. Однако эти материалы, к сожалению, не дают практически никаких сведений относительно природы тех локальных аномальных вариаций, о которых идет речь в нашей работе.

Ключевые слова: земная кора, мантия, магнитное поле, локальная и региональная аномальная вариация, амплитуда, продолжительность, геодинамический полигон.

DOI: 10.31857/S000233372102006X

ВВЕДЕНИЕ

Начиная с середины XX в. геомагнитные исследования по выявлению геодинамических процессов и поиску предвестников сильных землетрясений широко проводятся в большинстве сейсмоактивных регионов земного шара.

Работы по поиску геомагнитных предвестников землетрясений на территории Узбекистана ведутся с 1968 г. на специально организованных геодинамических полигонах и в эпицентральных зонах произошедших сильных землетрясений. Геомагнитные исследования проводились также на территориях техногенных объектов — естественных подземных газохранилищ, крупных водохранилищ и эксплуатируемых нефтяных и газовых месторождений методами повторных

маршрутных, площадных и стационарных режимных измерений. Применялись абсолютные протонные магнитометры. За более чем 50-летний период геомагнитных исследований заложены более 1100 пунктов с общей протяженностью маршрутных площадных съемок около 7750 км. Были задействованы около 25 стационарных магнитных станций. В результате выявлен широкий амплитудно-временной спектр локальных вариаций различной природы, связанных:

1) с процессами подготовки и свершения сильных ($M \geq 5$) землетрясений;

2) с деятельностью техногенных объектов — подземных естественных газохранилищ, крупных водохранилищ и эксплуатируемых нефтяных и газовых месторождений;

3) с процессами, происходящими на различных глубинах в земной коре и верхней мантии.

Данная работа посвящена детальному анализу локальных аномальных вариаций геомагнитного поля третьего типа.

Какие на сегодня имеются опубликованные данные по исследованию локальных аномальных вариаций геомагнитного поля за последние 50–60 лет?

Еще в начальной стадии геомагнитных исследований по изучению векового хода магнитного поля Земли В.П. Орловым, В.С. Соколовым в середине 1960-х гг. XX в. в районе Хабу-Рабат (Таджикистан) было выявлено интенсивное проявление локальной аномалии [Орлов, Соколов, 1965]. Аномалия проявилась только на одном пункте векового хода. Позже специальные исследования на этом пункте показали, что изменение поля вызвано потерей первичной термоостаточной намагниченности изверженных (диабазы, порфириды) пород и возникновением в них более слабой вторичной намагниченности [Барсуков и др., 1968].

К.Н. Абдуллабеков проанализировал данные мировой сети магнитных обсерваторий. На некоторых обсерваториях выделены аномальные изменения вертикальной составляющей магнитного поля. По его мнению, источники этих региональных аномалий могут находиться в земной коре и верхней мантии [Абдуллабеков, Максудов, 1975].

И.Г. Золотов анализировал изменение среднегодовых значений элементов геомагнитного поля для трех обсерваторий – Алибаг, Абинджер-Хартленд и Цо-Зе [Золотов, 1970]. Им обнаружено, что на фоне плавного низкочастотного изменения наблюдаются высокочастотные нерегулярные колебания. Периодичность низкочастотной части векового хода на обсерваториях Алибаг и Абинджер-Хартленд – в пределах 80–150 лет, а на обсерватории Цо-Зе – около 40 лет. Высокочастотная часть векового хода на всех трех обсерваториях представляет сложную кривую со значительно меньшими периодами. О природе последней ничего не сказано.

В.А. Шапиро и З.И. Борисова проводили исследование аномалий векового хода на Среднем Урале [Шапиро, Борисова, 1973]. Выявлены две локальные аномалии – Манчажская длиной 15 км и Буткинская – 60 км. Источниками этих аномалий считаются теллурические токи, протекающие в земной коре.

В.А. Шапиро, анализируя данные о природе аномалий векового хода (АВХ) геомагнитного поля, приводит результаты подробного анализа, проведенного Ф.Д. Стейси в 1988 г. Отмечается, что оценки предполагаемых пьезомагнитных ва-

риаций были сильно преувеличены [Шапиро, 1986].

Материалы, полученные в различных регионах СНГ и за рубежом, не позволяют объяснить наблюдаемые АВХ с позиций пьезомагнетизма, так как во многих случаях в районах аномальных изменений отсутствуют магнитные породы. Характеристики этих АВХ свидетельствуют о том, что их источником, скорее всего, могут являться изменения теллурических токов, генерируемых в литосфере.

Наиболее приемлемыми механизмами возникновения электрических токов в литосфере считаются электрокинетический и термоэлектрический. Электрокинетический – это когда теллурический ток меняется при перемещении флюидов в ослабленных зонах земной коры. Термоэлектрический – это когда источником тока является термо ЭДС. Возможность возникновения таких токов подтверждена теоретически и экспериментально. Аномальные вариации в обоих случаях могут достигать десятки наноТесла [Шапиро, 1973].

Научной станцией Института высоких температур РАН с 1982 г. на пяти станциях на территории Бишкекского геодинамического полигона (Кыргызстан) организованы режимные наблюдения геомагнитного поля [Мухаммадеева и др., 2014]. В 1985 г. добавилась шестая станция. С 1988 по 1991 гг. к существующим добавились еще четыре станции. На опорной станции Аксу дискретность измерений составляла 20 с, а на остальных – 20 мин. В 1992 г. в сеть геомагнитного мониторинга были включены 11 пунктов повторных наблюдений. Периодичность измерений на этих пунктах составляла 3–5 дней. За длительный период наблюдений один из выводов заключается в том, что во временных рядах ΔT всегда присутствуют незначительные и значимые вариации геомагнитного поля. Причем на разных пунктах сети характер вариации также различен. Предполагается, что различия в протекании вариации могут быть связаны с: расположением конкретной станции относительно источника деформационного процесса; различием физических, в т.ч. и магнитных свойств пород; разным геологическим и геоэлектрическим строением разреза под отдельно взятой станцией; присутствием в районе расположения пунктов наблюдения токовых систем различной природы, не связанных с геодинамическими процессами [Волыхин и др., 1993].

Как видно, данные по исследованию локальных аномальных вариаций геомагнитного поля немногочисленны, а высказывания о природе этих аномалий также остаются на уровне предположений.

Таблица 1. Типы использованных протонных магнитометров и величины ошибок выделения локальных аномалий за период исследований на полигонах Узбекистана

Год исследования	Тип магнитометра	Величина приборной ошибки единичного измерения, нТл	Величина ошибки выделения локальной аномалии, нТл
1968–1970 гг.	ПП-001, ПМ-5, польский магнитометр ПМП	1.0–2.0	2.0–3.0
1971–1973 гг.	М-32, ММП-203	1.0–1.5	1.5–2.5
1974–1979 гг.	ТМП	0.1–0.2	0.5–0.8
1980–1990 гг.	ТМП, МПП-1, МПП-1М, МПП-102	0.1–0.3 0.3–0.5	0.5–0.8 0.6–1.0
1990 г.–по настоящее время	МПП-1, МПП-1М, МВ-01	0.1–0.3 0.1	0.5–0.8 0.3–0.5
2015 г.–по настоящее время	Geometrics-856	0.1	0.2–0.5

МЕТОДИКА

Геомагнитные исследования проводились методами повторных маршрутных, площадных съемок в комбинации со стационарными режимными измерениями магнитного поля. Применялись абсолютные протонные магнитометры. В табл. 1 приведены типы использованных протонных магнитометров и величины ошибок выделения локальных изменений за соответствующий период исследований на полигонах Узбекистана (рис. 1).

Регулярно оценивалась суммарная величина ошибки выделения аномальных вариаций геомагнитного поля. За достоверную величину аномалии принято значение, превышающее двукратную величину суммарной ошибки. Этот процесс проводился регулярно в магнитной обсерватории Янгибазар для исследований на территории Ташкентского геодинамического полигона (ТГП).

Привлекались также режимные магнитные станции на территории Ферганского геодинамического полигона (ФГП). Все аномальные изменения геомагнитного поля на территории ТГП рассмотрены относительно магнитной обсерватории Янгибазар (рис. 2). На территории ФГП за опорную была принята станция “Боги-шамол”, расположенная в 8 км к юго-востоку от г. Андижана.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Локальные вариации геомагнитного поля, обусловленные землетрясениями и деятельностью техногенных объектов, детально и неоднократно освещены в наших публикациях [Абдуллабеков, Максудов, 1975; Электрические..., 1983; Абдуллабеков и др., 1994; 2016; Абдуллабеков, Шапиро, 1978; Абдуллабеков, Туйчиев, 2016; Abdullabekov, 1991; Туйчиев, 2007; Муминов,

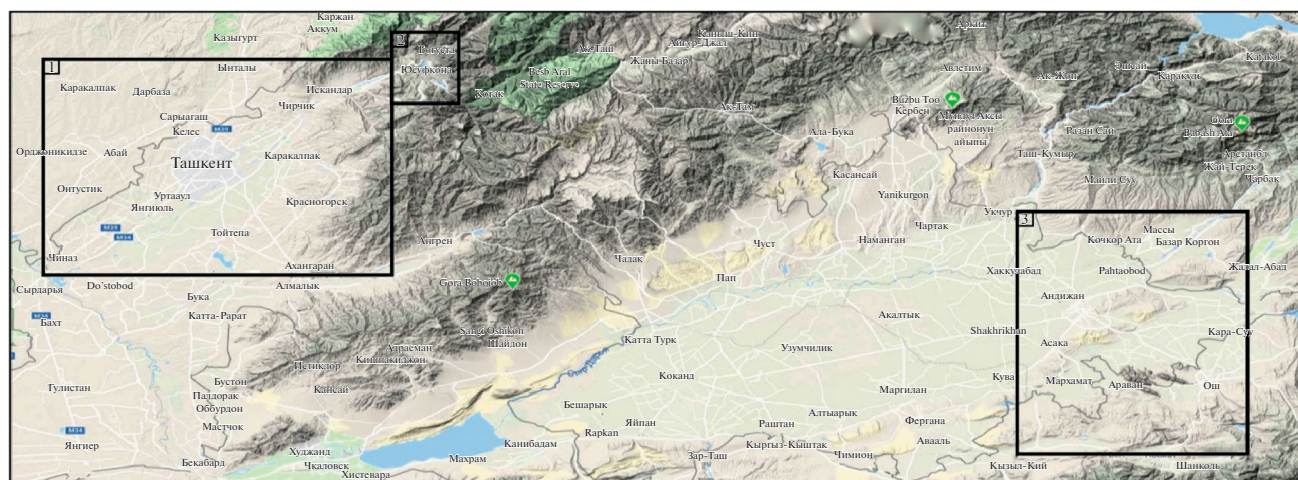


Рис. 1. Расположение Ташкентского (1), Чарвакского (2) и Ферганского (3) геодинамических полигонов Узбекистана.

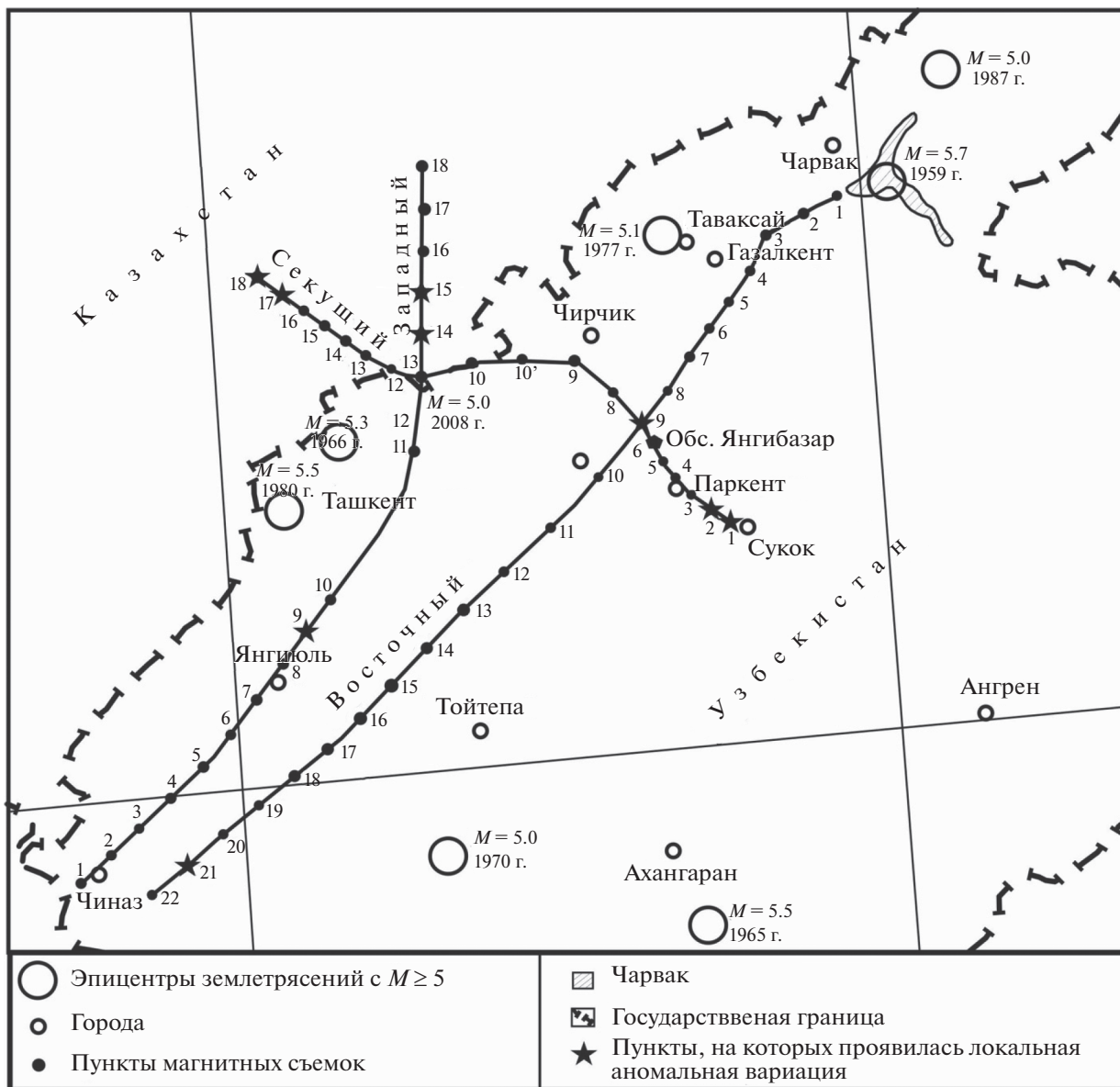


Рис. 2. Схематическая карта Ташкентского геодинамического полигона.

1990]. По полученным данным, с учетом результатов зарубежных исследователей, выявлены зависимости между параметрами предвестников и землетрясений для долго- и среднесрочных предвестников сильных землетрясений [Электрические..., 1983; Абдуллабеков, Шапиро, 1978; Абдуллабеков, Туйчиев, 2016; Abdullabekov, 1991; Абдуллабеков и др., 2016]. Были случаи успешного прогноза ряда сильных ($M \geq 5$) землетрясений на территориях Узбекистана и прилегающих сейсмоактивных регионов [Абдуллабеков, Туйчиев, 2016; Муминов, 1990].

С накоплением данных геомагнитных исследований на стационарных магнитных станциях и пунктах повторных наблюдений выявлены мно-

гочисленные локальные аномальные вариации геомагнитного поля на территориях Ташкентского и Ферганского геодинамического полигонов, обусловленные процессами на различных глубинах в земной коре и верхней мантии. Такой подробный анализ делается впервые. Причина в том, что в большинстве случаев они проявляются на территориях техногенных объектов, на отдельных пунктах повторных и стационарных измерений в виде кратко-, средне- и долгосрочных аномальных вариаций. Продолжительные (3–7 лет) аномальные вариации проявились на территориях, линейные размеры которых превышают 100–150 км и более. Рассмотрим результаты исследований по выявлению аномальных вариаций локального и

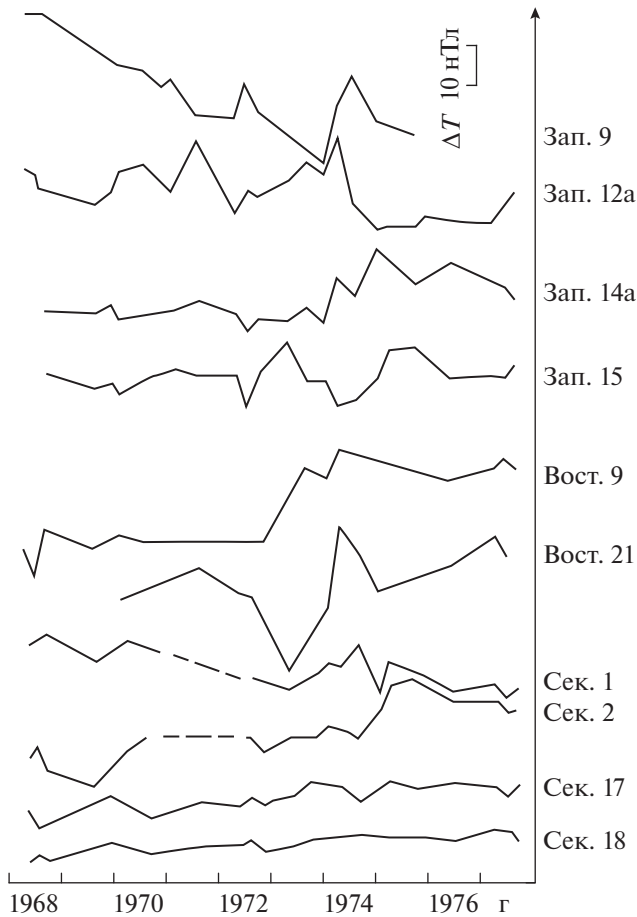


Рис. 3. Локальные вариации геомагнитного поля на пунктах Ташкентского геодинамического полигона, обусловленные приповерхностными источниками.

регионального характера на территориях геодинамических полигонов Узбекистана.

На рис. 3 приведены локальные аномалии геомагнитного поля на пунктах маршрутов ТГП. Аномальные вариации проявились на 8 пунктах (отмечены звездочкой) из 52, заложенных на полигоне в 1968–1970 гг. Как видно, изменения имеют разную форму, интенсивность, время проявления и продолжительность. Эти изменения отличаются даже на соседствующих пунктах (Сек. 1 и 2, 14^a и 15), расстояние между которыми не превышает 5 км. На некоторых пунктах (Зап. 9; Сек. 1 и 2) на фоне медленного изменения наблюдаются бухтообразные, синусоидальные, зигзагообразные аномальные изменения среднесрочного характера. Приведенные изменения проявляются на разных участках ТГП. Пункты (секущие 17 и 18), где изменения за время исследований происходят в пределах ошибки измерения, отражены на рис. 3.

Пример выявления локальных аномальных вариаций на двух стационарных магнитных станции

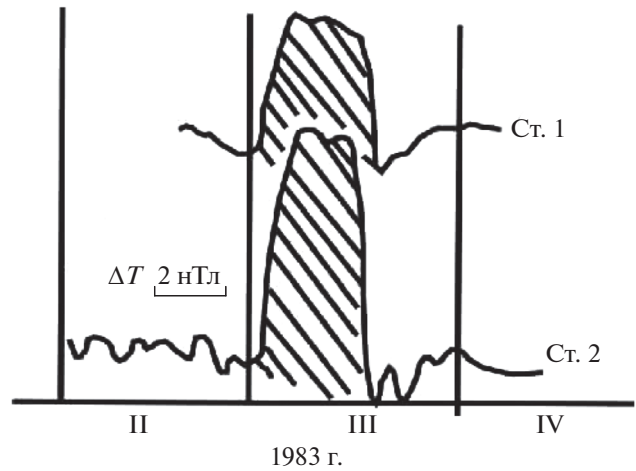


Рис. 4. Локальные изменения ΔT , зарегистрированные двумя станциями, расположенными на расстоянии 500 м друг от друга [Бердалиев, 1980].

ях ТГП приведен на рис. 4. Станции расположены на расстоянии 500 м друг от друга. Локальная аномалия бухтообразной формы с положительным знаком [Бердалиев, 1980]. Здесь на станции 1 аномалия имеет интенсивность порядка 2.5 нТл, а на станции 2 – 4.5 нТл. Продолжительность аномалии на обеих станциях одинаковая – около 17 дней. Аномалия выделена относительно магнитной обсерватории Янгибазар, расположенной на расстоянии 40 км.

Теперь о результатах выявления длиннопериодных региональных изменений геомагнитного поля на территории ТГП. Отметим, что за период 1989–1992 гг. на ТГП и прилегающих территориях ощутимых или сильных землетрясений не происходило, а также не наблюдалась активизация сейсмического фона. За рассматриваемый период на большинстве пунктов полигона отмечена бухтообразная аномалия отрицательного знака продолжительностью около 3 лет. Аномалия проявилась на 30 из 40 пунктов, расположенных, в основном, вдоль регионального Каржантауского разлома: вокруг чаши Чарвакского водохранилища и далее в юго-западном направлении по маршруту Чарвак–Газалкент–Таваксай–Чирчик–Майск–Гишткуприк–Сарыагач–Абайбазар–Яллама–Чиназ. Аномалия проявилась на 9 из 13 пунктов, расположенных по акватории Чарвакского водохранилища. На отрезке маршрута Чарвак–Чирчик–Гишткуприк–Сарыагач – на 10 из 14 и на отрезке маршрута Сарыагач–Абайбазар–Яллама–Чиназ – на 11 из 13 пунктов. На рис. 5 приведены изменения осредненных значений ΔT на пунктах по отмеченным отрезкам маршрута. Какие имеются особенности проявления этой региональной аномалии? Во-первых, амплитуда и продолжительность аномалии во времени умень-

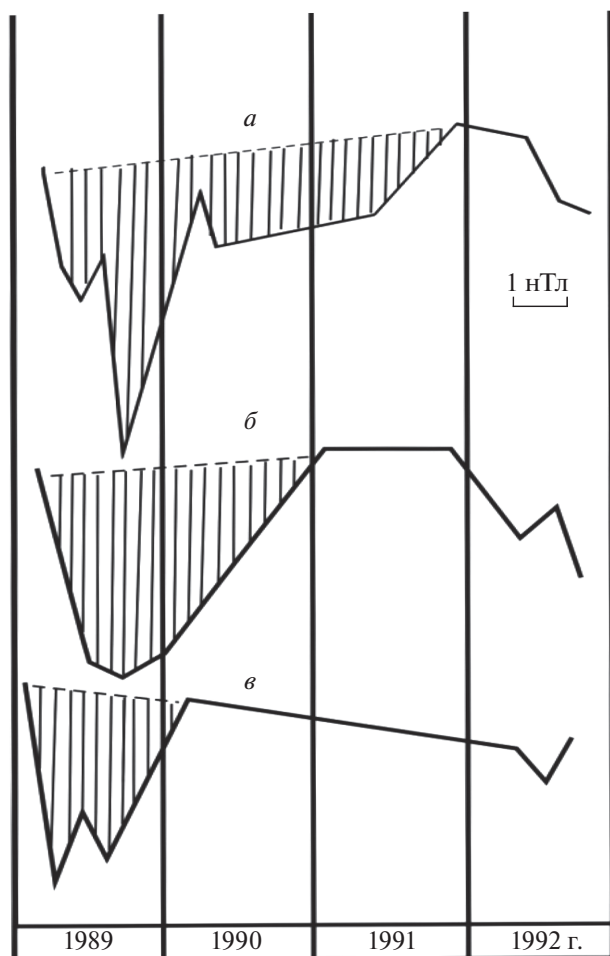


Рис. 5. Проявление бухтообразной региональной аномальной вариации геомагнитного поля на пунктах Ташкентского геодинамического полигона: *a* – в районе Чарвакского водохранилища; *b* – по маршруту Чарвак–Сарыагач; *v* – по маршруту Сарыагач–Чиназ.

шаются в юго-западном направлении. Если амплитуда аномалии на территории Чарвакского водохранилища 7 нТл при продолжительности около 3 лет (кривая *a* на рис. 5), то на отрезке Чарвак–Гиштакприк эти параметры имеют величину 5 нТл и около 2 лет (кривая *b* на рис. 5). На участке маршрута Гиштакприк–Чиназ – 4 нТл и 1 год соответственно (кривая *v* на рис. 5); во-вторых, от Чарвака до Чиназа, т.е. на расстоянии порядка 150 км амплитуда аномалии уменьшается всего на 3 нТл. Следовательно, можно предположить, что аномалия проявилась на большей протяженности, чем длина маршрута на полигоне. Судя по затуханию интенсивности аномалии на пунктах в юго-западном направлении, “фокус” источника аномалии находится в северо-восточном направлении от Чарвакского водохранилища; в-третьих, данная аномалия не проявилась на магнитных

станциях “Хумсан” и “Майск”. Первая расположена в 4 км к северу от Чарвакской плотины, вторая – на северной окраине пос. Майск. Отметим, что на этих станциях изменение поля разное и не совпадает как между собой, так и с локальными изменениями поля на близко расположенных пунктах повторных съемок. Избирательность проявления этой региональной аномалии на пунктах повторных съемок и стационарных наблюдений свидетельствует о том, что граница площади проявления аномалии имеет сложную конфигурацию в плане.

Первые пункты повторных наблюдений геомагнитных наблюдений по акватории крупного водохранилища Чарвак заложены в декабре 1973 г., т.е. до начала первого заполнения водохранилища. Наблюдения в 1973–1975 гг. проводились на 26 пунктах. Были заложены 8 пунктов повторных наблюдений вдоль автомобильной дороги Газалкент–Чимган–Юсупхана. В 1976 г. количество пунктов в районе водохранилища Чарвак увеличилось до 35 [Бердалиев, 1980]. На двух местах по акватории водохранилища в 1978 и 1981 гг. были установлены автономные магнитные станции непрерывного режима измерений [Цветков и др., 1977] с частотой измерения 1 ч.

При детальном анализе динамики и морфологии локального изменения поля в районе водохранилища за 1974–1979 гг. пункты разделились на три группы. По характеру изменения локального поля пункты объединились в зоны (рис. 6).

Зона “а” занимает южную часть исследуемой территории вдоль автомобильной дороги Газалкент–Чимган–Юсупхана. Зона “б” охватывает южную и юго-западную части. Всю остальную территорию исследований занимает зона “в”. Видно, что зоны сложной конфигурации. Изменение осредненных значений ΔT по трем зонам отражено на рис. 7.

В зоне “а”, наряду с квазисинусоидальным изменением, четко проявляется медленная трендовая составляющая. Величина трендовой составляющей – порядка 5.5 нТл за 6-летний период исследований.

Морфология высокочастотной части изменения поля в зоне “б” несколько отличается от морфологии в двух других зонах. Здесь небольшое трендовое изменение наблюдается в 1974–1976 гг. и далее оно исчезает (см. кривую среднегодовых значений – пунктирная линия).

Синусоидальное изменение наиболее интенсивно в зоне “в”. Здесь трендовая составляющая такая же, что и в зоне “б”. Квазисинусоидальное аномальное изменение во всех трех зонах проявляется в 1974–1976 гг. с минимальным значением в середине 1976 г. Далее до 1979 г. среднегодовое значение поля меняется незначительно.

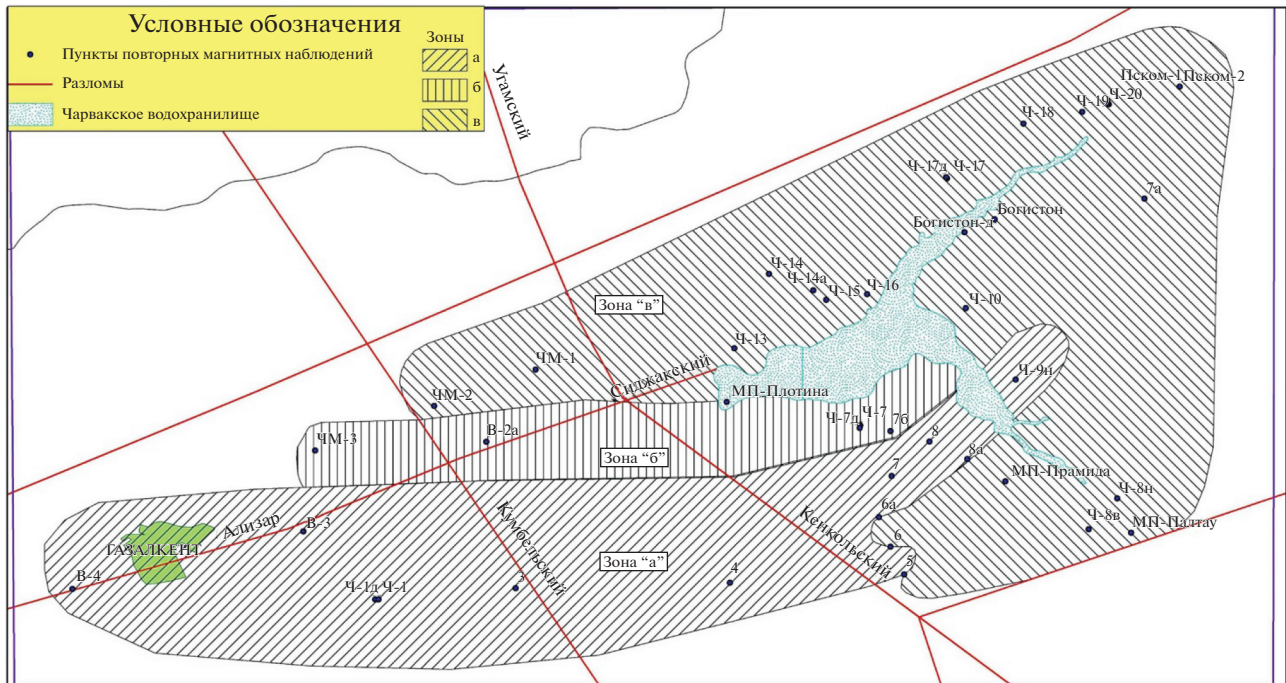


Рис. 6. Разделение территории в районе водохранилища Чарвак по характеру изменения геомагнитного поля.

Рассмотрим результаты геомагнитных исследований на территории ТГП за период 2004–2019 гг. Измерения проводились на пунктах, расположенных в зоне регионального Каржантауского разлома. Маршрут охватывает также эпицентральную зону Таваксайского землетрясения 1977 г., акваторию Чарвакского водохранилища (рис. 8). Измерения геомагнитного поля проводились на 29 пунктах.

Отметим, что по характеру изменения магнитного поля пункты разделились на три зоны. Общее для них – отсутствие каких-либо резких изменений ΔT . В первую зону вошли 14 пунктов (рис. 9). Здесь магнитное поле медленно уменьшается. На рис. 9 приведено уменьшение среднего значения ΔT по 14 пунктам (1 зона). Как видно, уменьшение монотонное и градиент уменьшения в среднем 0.7 нТл/год. Во второй зоне 9 пунктов. Здесь (см. рис. 9) среднее значение ΔT почти не меняется до 2016 г. и, начиная с 2017 г., наблюдается незначительное уменьшение ΔT . В третью зону вошли 7 пунктов (кривая 3, см. рис. 9). Она охватывает юг, юго-восточную часть исследуемой территории. Среднее значение ΔT до 2008 г. остается без изменений. За период 2009–2011 гг. поле незначительно меняется в бухтообразной форме, с возвращением к исходному уровню в конце 2011 г. С 2012 г. поле начинает монотонно уменьшаться. За этот период градиент уменьшения составляет 1.9 нТл/год.

Во всех трех зонах в течение 2016–2019 гг. изменение приобретает одинаковый характер, и наблюдается медленное уменьшение ΔT . Поэтому изменение поля за этот период рассмотрено отдельно.

Отметим, что в 2016 г. были заложены дополнительные пункты повторных съемок, и их количество возросло до 48. Схема расположения пунктов приведена на рис. 10. В данном случае пункты по характеру изменения поля разделились на две зоны (см. рис. 10). В первую, которая протягивается с юго-запада на северо-восток (зона “а”), вошли 34 пункта. Изменение среднего значения ΔT по зоне приведено на рис. 11 (кривая 1). Как видно, изменение в этой зоне отрицательное. За период с мая 2016 по июнь 2017 гг. поле не меняется, а с июня 2017 по август 2017 гг. оно уменьшилось почти на 5 нТл и на этом уровне сохраняется до июня 2019 г.

Вторая зона (зона “б”) (кривая 2, см. рис. 11) занимает северо-восточную часть исследуемой территории. Она охватывает северо-восточную часть первой зоны с севера, востока и юга.

Здесь среднее значение поля составляет 2.2 нТл при изменении за период исследований от 0 до 5 нТл.

Итак, исследования, проведенные на территории ТГП, начиная с 1973 по 2019 гг., выявили локальные аномальные изменения геомагнитного поля различного характера, интенсивности, продолжительности и размера площади проявления. Такой массовый характер и убедительная реги-

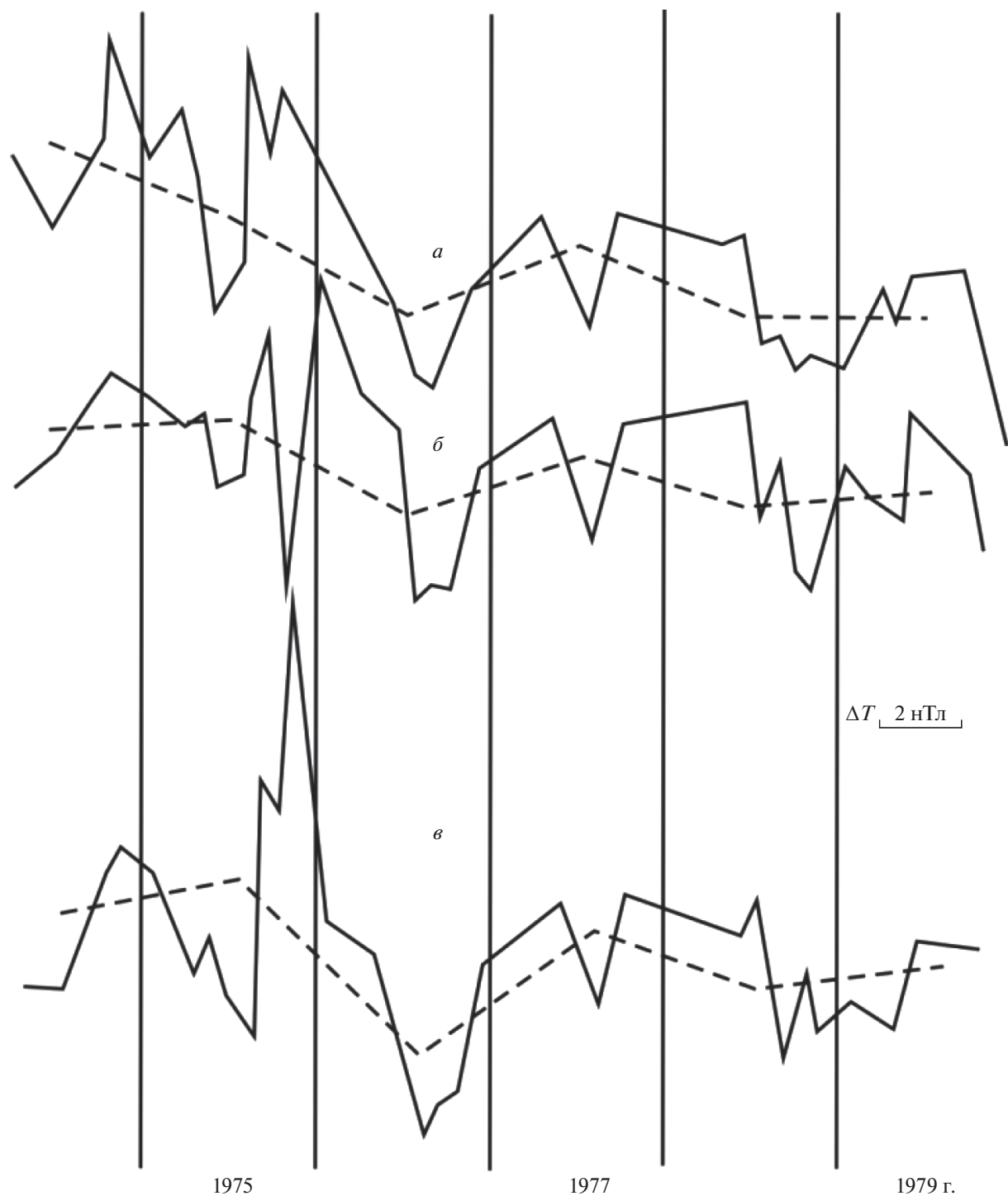


Рис. 7. Динамика локального изменения магнитного поля в районе Чарвакского водохранилища. Изменение значений ΔT : сплошная линия – среднемесячных, пунктирная – среднегодовых.

страция локальных вариаций геомагнитного поля в мировой практике геомагнитных исследований осуществлена впервые.

Зарегистрированные локальные вариации имеют различную интенсивность, форму прояв-

ления, продолжительность и размер по площади. Подробный анализ площади и времени проявления локальных аномалий показал отсутствие какой-либо связи их с геолого-тектоническими, гидрогеологическими, геоморфологическими осо-

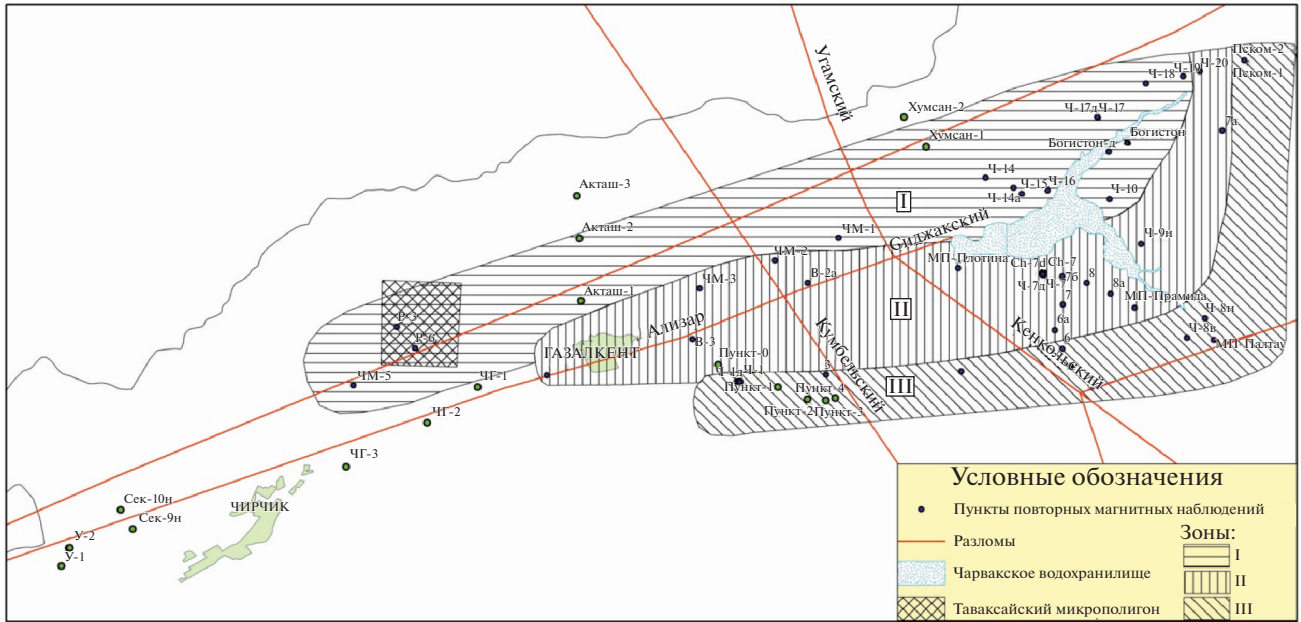


Рис. 8. Выделенные зоны по характеру изменения ΔT .

бенностями исследованных территорий. Они также не связываются с геофизическими особенностями земной коры, сейсмическим режимом или отдельными сильными землетрясениями, произошедшими в регионе. Каталог сильных ($M \geq 5$) землетрясений на территории ТГП за период 1959–2008 гг. приведен в табл. 2.

Локальные вариации подобного характера зарегистрированы также и на территории ФГП. На территории Восточной Ферганы на площади порядка 6 тыс. км² (рис. 12) в течение 1979–1989 гг. были организованы специальные высокоточные геомагнитные исследования. В данном случае частота повторных измерений на 40 пунктах составляла 2 раза в месяц.

Были задействованы три станции стационарного режима вблизи населенных пунктов Таш-Ата, Андижан (Боги Шамол) и Маданият, расположенные в субмеридиальном направлении, с расстоянием между ними порядка 30 км. Первая локальная вариация зарегистрирована на магнитной станции Маданият. Бухтообразная вариация положительного знака началась примерно с марта 1982 г. и завершилась в конце марта 1983 г. (рис. 13).

Амплитуда вариации – порядка 4 нТл. Максимум отмечается в конце октября 1982 г. Завершение этой вариации в апреле – резкое начало бухтообразной вариации отрицательного знака продолжительностью порядка 2 мес., завершается она в конце мая, амплитуда – около 2 нТл. Очередная вариация на станции наблюдается с середины апреля до середины августа 1986 г. Форма синусоидальная, период – 4 мес., амплитуда – 3.5 нТл.

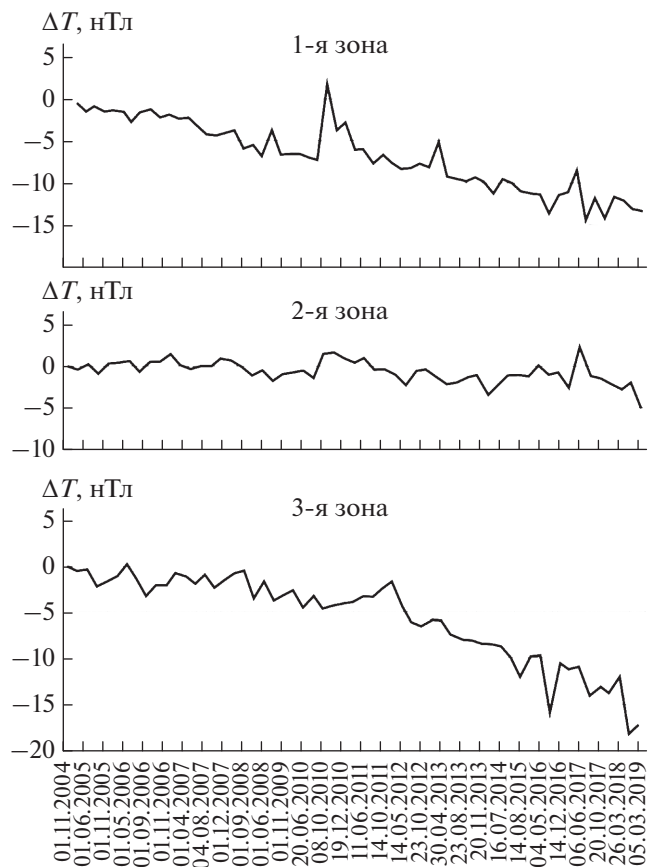


Рис. 9. Изменение средних значений ΔT на выделенных зонах.

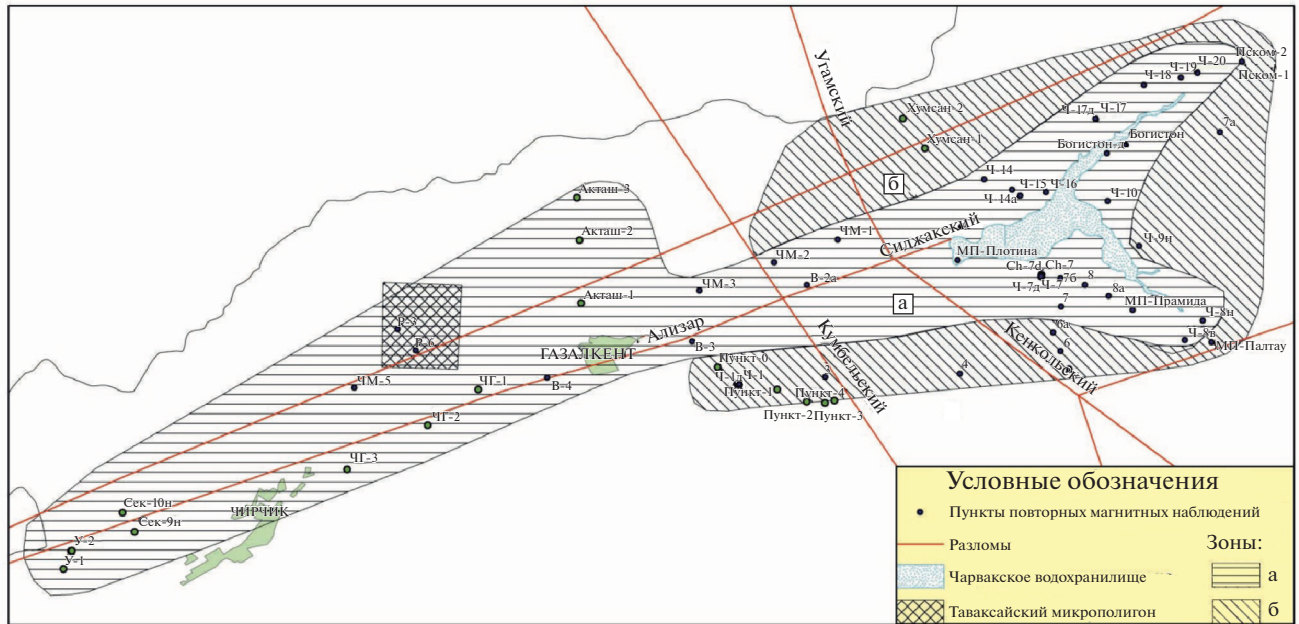


Рис. 10. Выделенные зоны по характеру изменения ΔT .

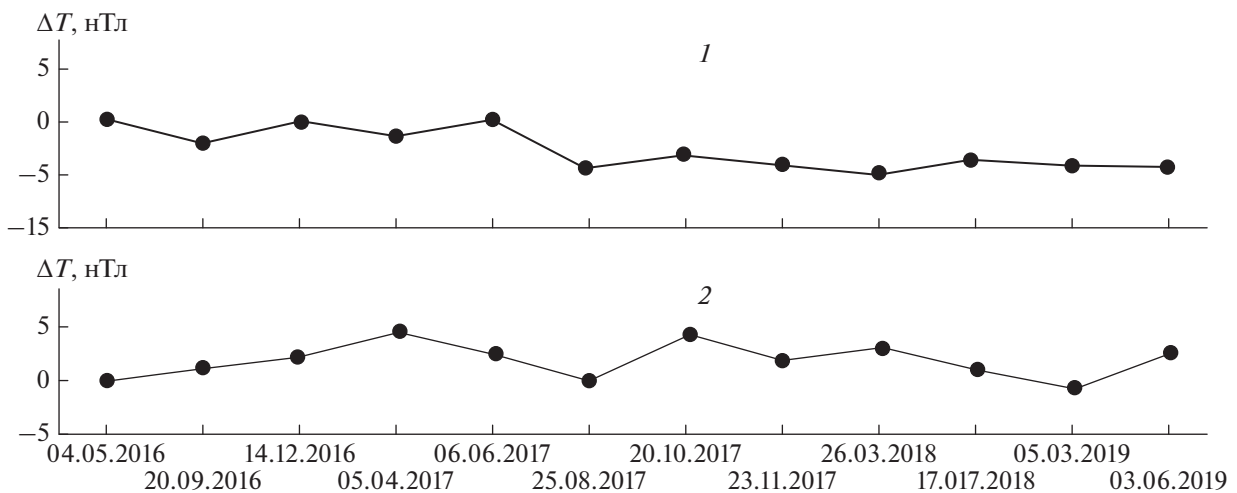


Рис. 11. Изменение средних значений ΔT на выделенных зонах.

Следующая аномалия проявляется с начала января до конца апреля 1988 г. Форма бухтообразная, продолжительность – 4 мес., амплитуда 2.5 нТл.

На станции Таш-Ата локальная аномалия наблюдалась только один раз в апреле–мае 1983 г. Форма – бухтообразная отрицательного знака, интенсивность 1.5 нТл (рис. 14).

На станции Андижан (Боги Шамол) за период 1979–1992 гг. локальная аномалия ни разу не происходила.

На отмеченных 40 пунктах повторных съемок локальная вариация впервые отмечена на пункте

№ 30 (рис. 15). Здесь на фоне медленного роста ΔT в течение 1982–1985 гг. наблюдается бухтообразная вариация отрицательного знака с интенсивностью порядка 14 нТл, с минимумом в январе 1984 г. Это самая продолжительная и большая по интенсивности локальная аномалия, наблюдаемая на пунктах повторных съемок на территории Восточно-Ферганского полигона.

Впервые на территории геодинамических полигонов Узбекистана выделены новые длиннопериодные изменения, проявившиеся в большом количестве пунктов повторных наблюдений.

Таблица 2. Каталог сильных ($M \geq 5$) землетрясений на территории Ташкентского геодинамического полигона за период 1959–2008 гг.

Год	Землетрясение	Магнитуда	Баллы по шкале MSK-64	Глубина, км
1959	Бурчмуллинское	5.7	8	13
1965	Коштепенское	5.5	7	11
1966	Ташкентское	5.3	8	8
1970	Пскентское	5.0	7	20
1977	Таваксайское	5.1	7	25
1980	Назарбекское	5.5	8	12
1987	Алтынтепинское	5.0	7	5
2008	Ташкентское	5.0	6–7	10

Анализ локальных изменений на территории Восточно-Ферганского полигона показал, что по характеру этих изменений площадь полигона разделилась на три зоны (см. рис. 12). В первую вошли станции Андижан (Боги Шамол), Маданият и ряд пунктов повторных наблюдений. В пунктах, включая станцию Маданият, – отсутствие каких-либо локальных изменений по отношению к станции Андижан (Боги Шамол). Эта зона составляет западную часть территории полигона.

Во вторую зону вошли 16 пунктов (кривая 1, рис. 16), среднее длиннопериодное изменение поля следующее. В 1980, 1981 гг. ΔT уменьшается. Затем до 1985 г. наблюдается рост значения ΔT . После незначительного уменьшения поля в 1986 г. вновь начинается возрастание. Общая амплитуда изменения за 1979–1988 гг. – порядка 5.5 нТл. Наибольшая амплитуда изменений в северных (№ 27–30) пунктах со значениями 8.0–9.5 нТл.

В третью зону вошли 15 пунктов. Здесь в 1980–1981 гг. поле также уменьшается, с минимальным значением в 1980 г. (кривая 2, см. рис. 16). Далее до 1983 г. оно возрастает, затем опять уменьшается до 1987 г. Изменение поля в этой зоне синусоидальной формы, период порядка 7.5 лет. Средняя величина амплитуды 5.3 нТл. Наибольшая амплитуда изменения наблюдается в центральной части на пунктах 3, 4, 19 и 22, где значение составляет 6–7 нТл. Зона занимает восточную часть полигона.

Отметим, что границы между выделенными зонами сложной конфигурации, особенно между II и III зонами.

Ширина зон разная на различных участках полигона. Судя по медленному затуханию интенсивности поля в пределах II и III зон, площадь проявления локальных аномалий, видимо, выходит за пределы территории исследований.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Выявлены многочисленные локальные аномальные изменения, обусловленные процессами, происходящими, видимо, на различных глубинах

в земной коре и верхней мантии. Об этом свидетельствуют вышеприведенные результаты – итоги высокоточных, частых (от 1 раза в 15 дней до 3–4 раза в году) измерений поля на пунктах повторных съемок и функционирование многочисленных магнитных станций стационарного режима на территориях геодинамических полигонов Узбекистана.

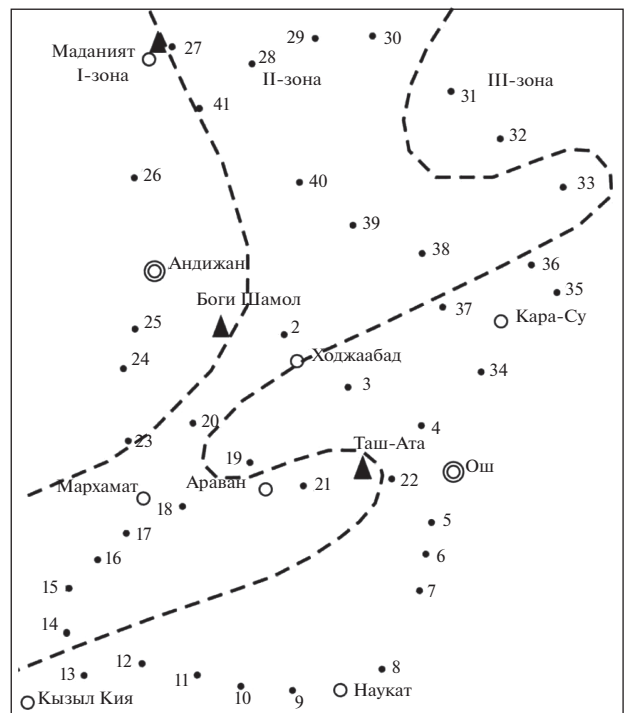


Рис. 12. Выделенные зоны длиннопериодных изменений геомагнитного поля на территории Восточно-Ферганского полигона: зачерненные кружки – пункты повторных магнитных съемок; зачерненные треугольники – пункты стационарных магнитных наблюдений; пунктир – линия границы между выделенными зонами; полые кружки – населенные пункты.

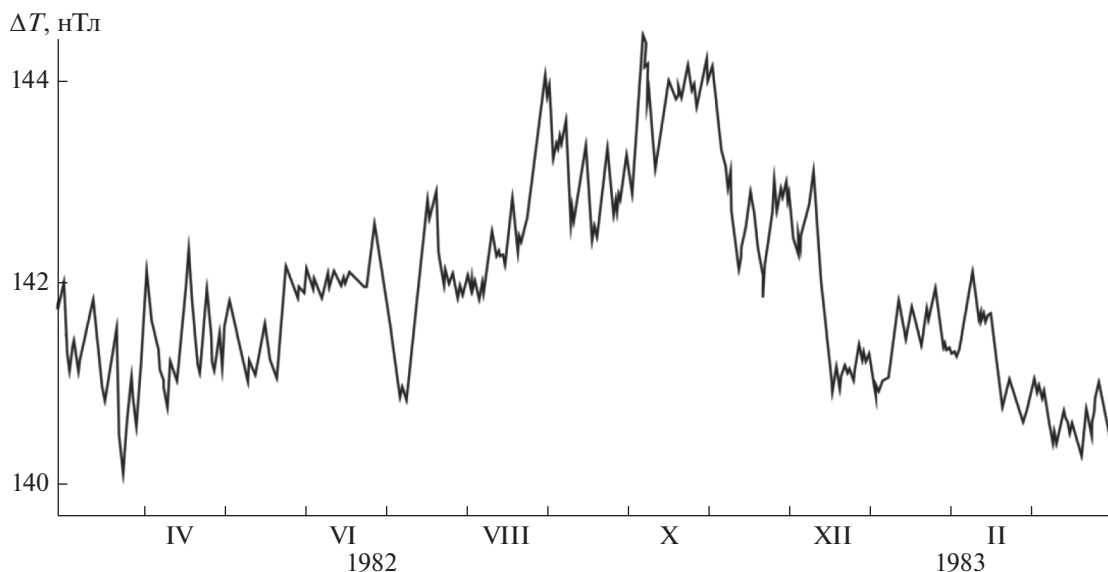


Рис. 13. Локальное изменение ΔT , зарегистрированное на станции “Маданият”.

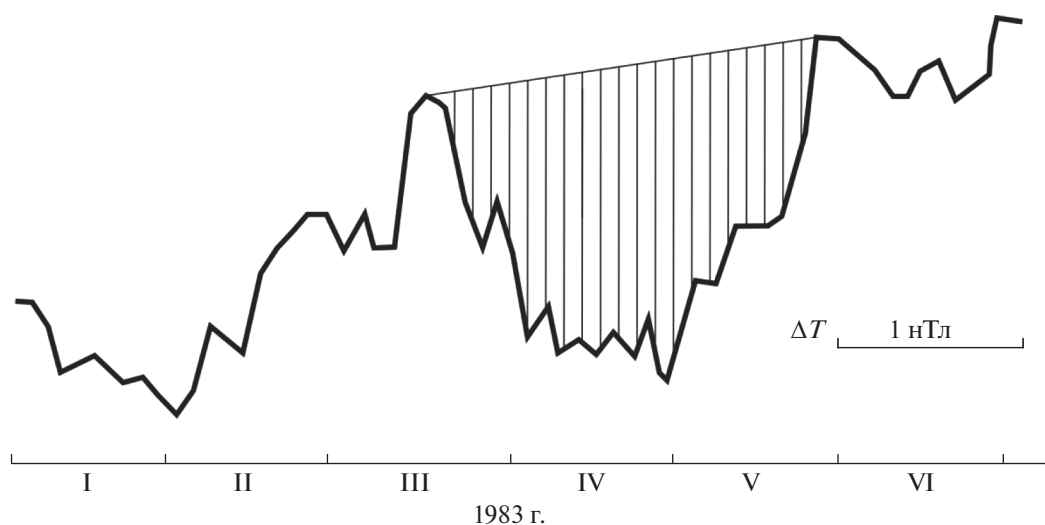


Рис. 14. Локальная anomальная вариация геомагнитного поля на станции Таш-Ата.

Итак, локальные anomальные вариации проявляются на территории с линейными размерами от первых единиц до 100 км и более.

Формы проявления локальных anomалий в большинстве случаев – бухтообразная, синусоидальная, трендовая. Бухтообразная и трендовая формы имеют как положительный, так и отрицательный знаки. Их интенсивность может составлять от 2–3 до 25 нТл и более. В случае проявления в виде тренда градиент изменения составляет от 0.5–1.0 до 3 нТл/год и более.

Как показывают результаты длительных наблюдений на территории ТГП, в частности в рай-

оне Чарвакского водохранилища, форма проявления, размеры площади, интенсивность anomалий не постоянные. Все они меняются со временем. В связи с этим не представляется возможным их связывать с геолого-тектоническими, геофизическими особенностями исследованных территорий. Что касается природы этих anomальных вариаций, то в приведенном обзоре литературных данных о природе ничего не говорится [Золотов, 1970] или отмечается, что они могут быть связаны с эффектом пьезомагнетизма, токами электрокинетической природы, теллурическими токами, термо ЭДС [Шапиро, 1986; Мухамадеева и др., 2014]. Как видно, данные по исследованию

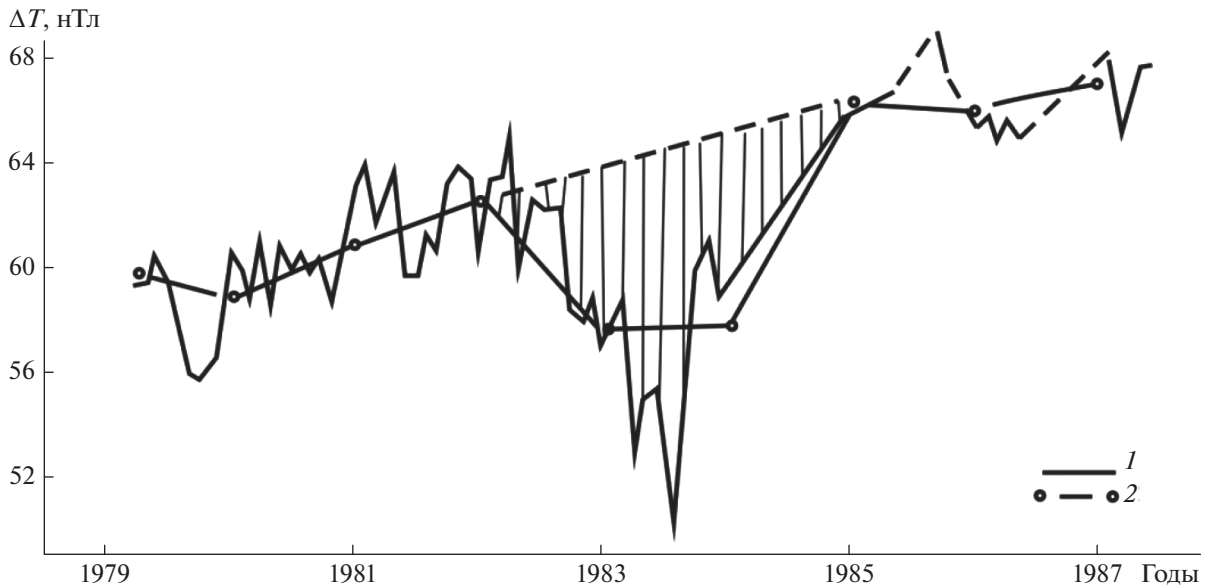


Рис. 15. Локальная вариация ΔT на пункте повторных наблюдений № 30 Восточно-Ферганского полигона. Значения: 1 – среднемесячные, 2 – среднегодовые.

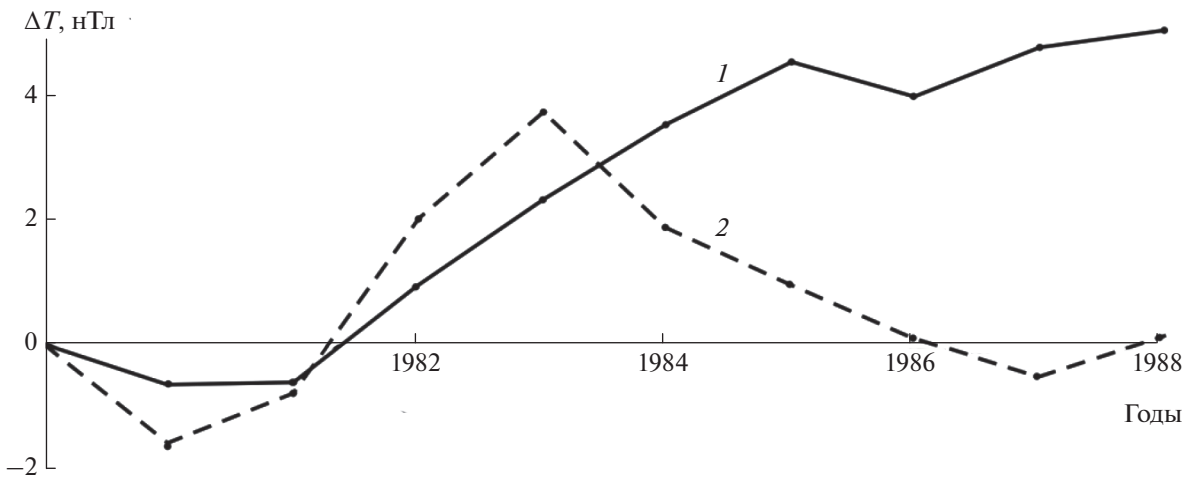


Рис. 16. Характер длиннопериодных изменений поля на выделенных зонах Восточно-Ферганского полигона.

АВХ немногочисленны и высказывания о природе этих аномалий также на уровне предположений. Для обоснования каждого из отмеченных механизмов требуется проведение специальных геолого-тектонических, гидрогеологических, геофизических и других исследований.

Локальные аномалии регионального характера на территориях восточной Ферганы и ТГП, кроме перечисленных возможных механизмов, не приурочены также к зонам аномальной электропроводности, которые были выявлены в работах [Бабаджанов и др., 1986; Муминов и др., 1986]. Более мелкие по площади проявления локальные аномалии, например в районе Чарвакского водо-

хранилища, не могут быть объяснены эффектом пьезомагнетизма, электрокинетикой, теллурическими или термоэлектрическими токами. Также не поддается объяснению за счет геолого-тектонических, гидрогеологических и геофизических условий района.

Самые малые по линейным размерам локальные аномалии на единичных пунктах повторных съемок и на некоторых станциях стационарных наблюдений – аномальные вариации, зарегистрированные впервые в достаточно большом количестве случаев. Линейные размеры проявления этих аномалий – 3–5 км. Иногда на фоне медленных длиннопериодных изменений геомагнитно-

го поля на определенной площади может проявляться очень локальная аномальная вариация на одном или нескольких пунктах. Они выявлены также на пунктах стационарных магнитных наблюдений. Отметим, что на большинстве геодинамических полигонов бывшего Союза геомагнитные исследования проведены с целью выявления предвестников сильных землетрясений, т.е. сейсмомагнитного эффекта. Выявленные локальные аномальные вариации без сейсмического события были восприняты как “ложная тревога”. На них не было обращено серьезного внимания из-за редкости случаев их выявления, поскольку измерения геомагнитного поля на полигонах проводились в редком случае раз в квартал, в большинстве же случаев 1–2 раза в году. Еще одной из причин является большая величина ошибки выделения аномальных вариаций на начальном этапе (60–70-е гг. прошлого столетия) исследований.

В последнее время появилось и стало развиваться новое направление в геофизике – приповерхностная геофизика. В качестве объектов исследований она рассматривает явления и процессы, протекающие в приповерхностной части земной коры до глубин порядка 10 км и приповерхностном слое атмосферы также толщиной порядка 10 км. Выбор такого интервала глубины земной коры и атмосферы связан с тем, что именно в этом интервале концентрируются наиболее опасные явления природного и техногенного происхождения [Адушкин, Спивак, 2019].

Здесь Земля со всеми геосферами и геофизическими полями представляет единую динамическую систему, где они, взаимодействуя между собой, обмениваются массой и энергией. Во взаимодействии могут участвовать геофизические поля: гравитационное, тепловое, электрическое и магнитное поле Земли, поля эманацй подземных флюидов, сейсмические и акустические колебания и т.д. [Итоги..., 1966].

Часть полученных нами результатов на территориях геодинамических полигонов Узбекистана, видимо, следует рассматривать как объект приповерхностной геофизики. Предположим, что выявленные вариации геомагнитного поля регионального характера (рис. 8, рис. 9) обусловлены процессами в глубинной части земной коры и верхней мантии и, возможно, имеют токовую природу. Другая группа – аномальные вариации геомагнитного поля локального характера (рис. 1, рис. 2, рис. 5, рис. 6, рис. 7, рис. 11), возможно, обусловлены изменением физико-механических свойств среды и динамики ее флюидопотоков, вызывающих токовые системы вблизи земной поверхности. Наиболее подходящим объяснением природы аномальных вариаций локального характера может служить предположение о возможном существовании на поверхности Земли токов

“утечки” из ядра Земли [Итоги..., 1966] или о динамике флюидопотоков, которые также создают токовую систему вблизи земной поверхности [Адушкин, Спивак, 2019]. В данном случае для подтверждения обоих отмеченных или других механизмов образования аномальных вариаций геомагнитного поля необходимо провести специальные детальные геомагнитные исследования. Так, их проведение требует длительное время и может составлять 8–10 лет и более. Эти исследования необходимо будет организовывать путем стационарных непрерывных измерений на нескольких пунктах и частых повторных площадных съемок геомагнитного поля. Для определения механизма проявления локальных аномальных вариаций геомагнитного поля следует также организовать или привлечь данные по исследованию сейсмомеханики, электродинамики, гидродинамики и других физических полей Земли.

ВЫВОДЫ

На территориях геодинамических полигонов Узбекистана в течение более 50 лет проведены высокоточные геомагнитные исследования методами повторных маршрутных площадных съемок в комбинации со стационарными режимными измерениями геомагнитного поля. В результате выявлены локальные аномальные вариации геомагнитного поля, обусловленные процессами на различных глубинах в земной коре и верхней мантии. Они обладают широким пространственно-временным и амплитудным спектром. Форма проявления их также разнообразная. Детальный анализ показал, что они не связаны с конкретными сильными землетрясениями, сейсмическим режимом исследованных территорий, а также с деятельностью подземных естественных газохранилищ, крупных водохранилищ и эксплуатируемых нефтяных и газовых месторождений. Наблюдается их динамика во времени и пространстве, иногда – наложение короткопериодных аномалий на более длиннопериодные.

Для определения природы этих локальных аномальных вариаций необходимо организовать, видимо, специальные длительные геофизические (магнитные, электромагнитные), геотектонические, гидрогеологические и другие исследования на территориях сейсмически активных регионов, геодинамических полигонов. Необходимость организации и проведения этих исследований продиктована важностью определения природы проявления отмеченных локальных аномальных вариаций геомагнитного поля. Последние по многим параметрам сопоставимы с параметрами выявленных аномальных вариаций геомагнитного поля, обусловленных процессами подготовки сильных ($M \geq 5$) землетрясений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абдуллабеков К.Н., Бердалиев Е.Б., Максудов С.Х., Туйчиев А.И. Первые результаты геомагнитных исследований в районе газового месторождения Шуртан // Узб. геол. журн. 1994. № 2. С. 16–18.
- Абдуллабеков К.Н., Максудов С.Х. Вариации геомагнитного поля сейсмоактивных районов. Т.: Фан. 1975. 128 с.
- Абдуллабеков К.Н., Максудов С.Х., Туйчиев А.И. Результаты многолетних исследований аномальных вариаций геомагнитного поля, обусловленных сейсмогеодинамическими и техногенными процессами // Геология и минеральные ресурсы. 2016. № 4. С. 56–60.
- Абдуллабеков К.Н., Туйчиев А.И. Особенности проявления предвестников землетрясений с расстоянием и размеры геотектонических блоков // Докл. АН РУз. 2016. № 3. С. 59–61.
- Абдуллабеков К.Н., Шапиро В.А. Наблюдения вариаций геомагнитного поля во время Газлийского землетрясения 17 мая 1976 г. // Геомагнетизм и аэрономия. 1978. Т. ХУІІІ. № 1. С. 177–179.
- Адушкин В.В., Спивак А.А. Проблемы взаимодействия геосфер и физических полей в приповерхностной геофизике // Физика Земли. 2019. № 1. С. 4–15.
- Бабаджанов Т.Л., Басов М.Д. и др. Южно-Тянь-Шаньская аномалия электропроводности // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1986. № 7. С. 79–90.
- Барсуков О.М. и др. О природе одной из аномалий векового хода магнитного поля Земли // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1968. № 9. С. 85–87.
- Бердалиев Е. Локальные изменения геомагнитного поля и их связь с сеймотектоническими процессами в земной коре. Дисс. ... канд. физ.-мат. наук. М. 1980. 27 с.
- Вольхин А.М., Брагин В.Д., Zubovich A.B и др. Проявление геодинамических процессов в геофизических полях. М.: Наука. 1993. 158 с.
- Золотов И.Г. О разделении векового хода на гладкую и случайные части. Тез. докл. VIII конф. по вопросам постоянного геомагнитного поля, магнетизма горных пород и палеомагнетизма. М. 1970. С. 23–26.
- Итоги науки. Геофизика. М. 1966. 326 с.
- Мунинов М.Ю. Пространственно-временные особенности проявления сейсмомагнитного эффекта в Узбекистане в прогнозировании землетрясений. Дисс. ... канд. физ.-мат. наук. Т. 1990. 30 с.
- Мунинов М.Ю., Шапиро В.А., Абдуллабеков К.Н. Региональная аномалия электропроводности по материалам высокоточной магнитометрии в Узбекистане // Узб. геол. журн. 1986. № 6. С. 20–23.
- Мухаммадеева В.А., Воронцова Е.В., Лазарева Е.А. Исторические аспекты геомагнитных наблюдений на Бишкекском геодинамическом полигоне. Тез. докл. шестого Междунар. симпоз. “Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов”. Бишкек. 2014. С. 207–211.
- Орлов В.П., Соколов В.П. Вековой ход геомагнитного поля и его аномалии. Настоящее и прошлое магнитного поля Земли. М.: Наука. 1965. С. 27–34.
- Туйчиев А.И. Аномальные изменения геомагнитного поля, обусловленные сейсмогеодинамическими техногенными процессами на территории Узбекистана // Геология и минеральные ресурсы. 2007. № 3. С. 52–54.
- Цветков Ю.П., Поляков В.В. и др. Протонный магнитометр ПМ-001 // Геомагнитное приборостроение. М.: Наука. 1977. С. 3–8.
- Шапиро В.А. О природе аномалий векового хода геомагнитного поля. Тез. докл. III Всесоюз. съезда по геомагнетизму. Киев. 1986. С. 89–90.
- Шапиро В.А., Борисова З.И. Аномалии векового хода на Среднем Урале. Мат.-лы IX конф. по вопросам постоянного геомагнитного поля, магнетизма горных пород и палеомагнетизма. Ч. 1. Баку. 1973. С. 144–145.
- Электрические и магнитные предвестники землетрясений / Под ред. Головкина В.П. Т.: Фан. 1983. 135 с.
- Abdullabekov K.N. Electromagnetic phenomena in the earth's Crust / A.A. Balkema. Rotterdam, Netherlands. 1991. 169 p.

Variations in the Geomagnetic Field Caused by the Different-Depth Processes in the Earth's Crust and Upper Mantle

S. Kh. Maksudov^a, K. N. Abdullabekov^a, A. I. Tuichiev^a, and V. R. Yusupov^a, *

^aInstitute of Seismology, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, 100128 Uzbekistan

*e-mail: valijon.yusupov@mail.ru

The results of geomagnetic studies in the Tashkent and Fergana geodynamic test sites, Uzbekistan, are presented. Anomalous variations in the geomagnetic field caused by the processes occurring at different depths in the Earth's crust and upper mantle are analyzed in detail. By the linear size, the variations are divided into regional (100 km and larger) and local (1 to 5 km and larger). Regional anomalous variations manifest themselves in the sinusoidal, bay-like, and trend forms and last for one to seven years. In the trend type of variations, the gradient is 0.5–2.0 nT/yr. Local anomalous variations typically have sinusoidal and bay-like shape. The bay anomaly has a positive and negative sign, and the change is reversible. The intensity of the anomalies ranges from 2 to 25 nT and the duration is from 10–15 days to three years or even longer. The local anomalous variations are neither precursory nor technogenic. This type of the anomalies was for the first time revealed in abundance in the geodynamic test sites in Uzbekistan. The analysis of the data for the past 40–50 years has shown the absence of any information on this type of anomalous variations. They can neither be explained by

the conventional mechanisms forming the secular behavior of the geomagnetic field, nor by lithologic composition of rocks, tectonics, hydrogeological conditions, and geophysical fields of the studied territories. One of the peculiarities of local anomalous variations of this type is that they can change in time, in shape, in size of the area, in intensity, and in sign. We have studied the published data relevant to the anomalies of secular variation of the geomagnetic field. However, unfortunately, these data provide almost no information on the origin of local anomalous variations discussed in our work.

Keywords: Earth's crust, mantle, magnetic field, local and regional anomalous variation, amplitude, duration, geodynamic test site