

УДК 550.380

Токтосопиев А. М.

Институт сейсмологии НАН КР

г. Бишкек, Кыргызстан

### СОПОСТАВЛЕНИЕ ВАРИАЦИЙ ФОНОВОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ЕСТЕСТВЕННЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ (ЕИЭМП) ЗЕМЛИ С ВАРИАЦИЯМИ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

**Анотация.** Рассматриваются анализ связи вариаций фоновой интенсивности ЕИЭМП с вариациями геомагнитного поля Земли.

**Ключевые слова:** формы сигналов ЕИЭМП; геомагнитные наблюдения; Sq – вариаций; магнитные бури (Dst); бухтообразные возмущения (суббури DPI).

### ЖЕРДИН ТАБИЙГЫЙ ИМПУЛЬСТУК ЭЛЕКТРОМАГНИТТИК ТАЛААСЫНЫН (ТИЭМТ) ФОНДУК ӨЗГӨРҮШТӨРҮН, ГЕОМАГНИТТИК ТАЛААНЫН ӨЗГӨРҮШТӨРҮ МЕНЕН САЛЫШТЫРУУ

**Кыскача мазмуну.** Жердин табийгый импульстук электромагниттик талаасы (ТИЭМТ) менен геомагниттик талаасынын өзгөрүштөрүнүн өз ара байланыштарын анализдөө каралат.

**Негизги сөздөр:** ТИЭМТ сигналдарынын формалары; геомагниттик байкоолор; Sq – өзгөрүүлөрү; магниттик бурганак (Dst); булуңокшош дүүлүгү (суббури DPI).

### COMPARISON OF BACKGROUND INTENSITY VARIATIONS OF NATURAL PULSED ELECTROMAGNETIC FIELDS (EINS) OF THE EARTH WITH VARIATIONS OF THE GEOMAGNETIC FIELD

**Abstract.** Analysis of the variation of the background intensity EINS variations of the geomagnetic field of the Earth is considered in the paper.

**Keywords:** waveforms EINS, geomagnetic observation, Sq – variations, magnetic storms (Dst), Cove-like disturbances (DP sub – storms).

В последние годы во многих странах мира (Япония, Греция, КНР, Россия, Узбекистан, Казахстан, Кыргызстан) уделяется большое внимание электромагнитным методам мониторинга различных оболочек Земли (литосферы, атмосферы и ионосферы). Эти методы позволяют контролировать процессы в локальных зонах литосферы и атмосферы. Полагают, что их совокупное использование позволит подойти к решению одной из основных проблем, а именно – проблеме краткосрочного прогноза времени возникновения сильнейших землетрясений. Фактически здесь существуют два методологических направления работ, в которых используются источники естественных или искусственных электромагнитных полей. Использование второго направления сопряжено с созданием специальной техники контроля и использованием трудоёмких методов долговременного зондирования. В связи с этим для территории указанных государств выбрано направление, при котором используются мониторинг и анализ характеристик естественных полей, контролируемых изменение параметров литосферы и атмосферы. Работа выполнена на основе экспериментальных методов исследований опубликованных в ряде работ [1, 2, 3].

Надо отметить, что за последнее десятилетие, например, в Японии, интерес к изучению земных токов в прогнозном аспекте заметно понизился. Причиной стали сложные геологические условия и высокий уровень промышленных помех.

Тем временем, такие работы осуществлялись в довольно большом объёме в СССР, КНР и Греции [4, 5, 6, 7, 8]. Сообщение о первых наблюдениях в Китае относятся к 1966 году, когда появились сведения о регистрации небольших аномалий (около 2 мВ/км) перед землетрясениями с  $M > 3.0$ , примерно, за 5 часов до события. Одновременно подчёркивалось - эти результаты нуждаются в подтверждении в случае достаточно близких и сильных землетрясений. Таким событием стало Хейченское землетрясение 4 февраля 1975 г. с  $M = 7.3$ , впервые в мире успешно предсказанное по комплексу предвестников, в том числе электрическим. К.Норитомы, входивший в Японскую делегацию по изучению истории прогноза этого землетрясения, оценил значение электрических предвестников как «эпохальное» и призвал к широкому развитию исследований в этой области [9].

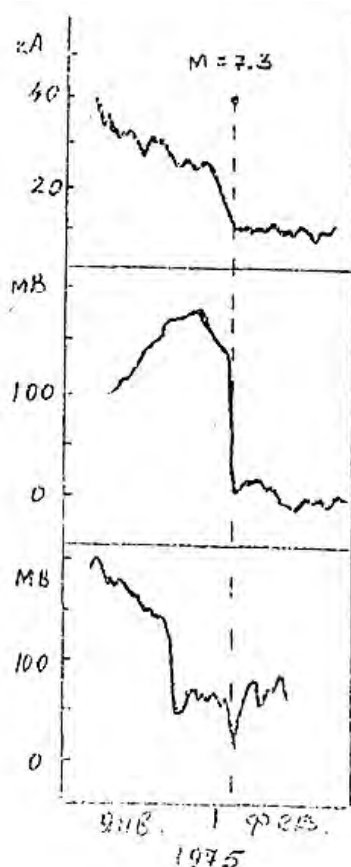


Рисунок 1. Примеры вариаций земных токов перед Хейченским землетрясением для станций наблюдения, расположенных в зоне образующихся разломов [9].

На рисунке 1 приведены графики изменения электрического сигнала для трёх станций в зоне нового тектонического шва, на эпицентральной дистанции около 20 км от Хейченского землетрясения. Разность потенциалов между электродами уменьшается от положительных значений 150 – 200 мВ, характерных, в принципе для пары Рв - Си в почве до 10-50 мВ, и даже до почти нулевых отметок. Надо отметить, что для Хейченского землетрясения данные взяты с ряда информативных станций, которые располагались в зонах активных тектонических нарушений, таких как разломы Танлу, Джинчжоу, и ряда второстепенных.

Значительное оживление по данному исследованию внесли греческие учёные, начиная с 1981 г. В 1982 г. ими было запущено 18 станций по регистрации ЭТП и с помощью телеметрии организована быстрая обработка и передача данных в единый центр [5, 6]. При этом ими отмечалась сильная неоднородность и мозаичность наблюдаемых эффектов: величина и длительность регистрируемых ими аномалий меняется в широких пределах. Наряду с бухтообразными и асимметричными возмущениями (быстрые изменения с более медленным спадом), наблюдаются и кратковременные (первые минуты) резкие смещения уровня записи с резким возвратом. Типичной амплитудой является значение 1 мВ, но есть показания и 15 мВ длительностью от минуты до 90 минут, а время опережения события - от 6 до 115 часов, при наиболее частом значении появления 7 часов (временные характеристики не зависят от магнитуды). Эпицентральные расстояния, где фиксируется аномалии, колеблются от десятков до 600 км для землетрясений с  $M = 5.0$ . Греческие исследователи рассматривают очаг готовящегося землетрясения в качестве непосредственного источника возмущений, а локальность его проявления связывают с аномалиями проводимости, местными геоэлектрическими условиями. Электрический сигнал «имитируется» из очаговой области, а механизм его генерации одинаков для всех сейсмогенных зон. Физической базой такого механизма является поляризация (деполяризация) твёрдого тела вследствие роста или спада напряжения в объёме очага.

Суммируя наблюдения исследователей, можно отметить, что перед землетрясениями неоднократно отмечались изменения электротеллурического поля. Длительность и величина их колеблется в широком диапазоне от первых минут до десятков суток и от десятых долей мВ до десятков мВ. Это может указывать на различные механизмы генерации электротеллурических предвестников и условия их регистрации. Природа этих предвестников окончательно не выяснена. Все это свидетельствует о сложности процессов формирования возмущений и недостаточной изученности их природы. Однако несомненным является то, что распределение в пространстве аномалий обусловлено деформационными процессами и неоднородностью свойств литосферы. В связи с этим накопленные данные по электромагнитным аномалиям представляют большой интерес для каждого региона. А что касается природы аномалий, то исследователи считают - они связаны с электрокинетическими явлениями.

На территории Кыргызстана длительные стационарные наблюдения естественных импульсных электромагнитных полей (ЕИЭМП) проводятся с 1978 г. Работа выполняется на основе экспериментальных методов и базируется на современных представлениях электромагнетизма. Экспериментальные исследования выполнялись с использованием современных средств физических наблюдений. Детально изучены их пространственно-временные структуры и выявлены основные закономерности регулярных и нерегулярных вариаций фоновых полей ЕИЭМП. Выявлены их связи с различными гелио – геофизическими факторами [10]. В ряде работ [11, 12, 13] делается предположение о возможном влиянии на поведение ЕИЭМП вариаций магнитного поля Земли. Однако детального анализа этих связей до настоящего времени никем не проводилось. В связи с этим ниже приводятся результаты сопоставлений вариаций фоновой интенсивности ЕИЭМП с вариациями геомагнитного поля и сопоставление возмущённых периодов ЕИЭМП с магнитными бурями и бухтами.

Длительные режимные наблюдения ЕИЭМП в городе Пржевальске (ныне г. Каракол) позволяют провести сопоставление вариаций ЕИЭМП с наблюдениями вариаций геомагнитного поля на обсерватории «Алма – Ата», которая входит в

мировую сеть геомагнитных обсерваторий. Сравнительная близость этой обсерватории от Пржевальска ( $R < 200$  км) делает такое сопоставление вполне правомерным.

Наблюдения вариаций геомагнитного поля на obs. «Алма – Ата» ведутся на двух 3-х компонентных магнитовариационных станциях системы Боброва на разверстке 20 км/час. Цены деления основной (стандартной) серии измерений составляют:

$$E_H = 3.00 \gamma / \text{мм}, E_Z = 3.00 \gamma / \text{мм}, E_d = 0.40 \text{ мин/мм}.$$

Чувствительность второй системы, которая предназначена для регистрации магнитных бурь, в несколько раз ниже.

Такая чувствительность записи и скорости разверстки позволяют произвести анализ вариаций с периодами больше часа. К таким вариациям относятся спокойные солнечно – суточные вариации ( $Sq$ ), магнитные бури и суббури, проявляющиеся в средних широтах в виде бухт.

Методики наблюдений и обработки ЕИЭМП позволяют анализировать периоды длительностью более одного часа. Исходя из этого, нами произведено сопоставление суточного хода ЕИЭМП с регулярными  $Sq$ -вариациями магнитного поля и возмущенных периодов ЕИЭМП с иррегулярными возмущениями –  $Dst$  – вариациями и бухтами.

$Sq$  – вариации относятся к классу регулярных геомагнитных вариаций. Они связаны с суточным вращением Земли вокруг своей оси и контролируются местным временем. Источником  $Sq$  – вариаций являются вихревые токи в  $E$  слое ионосферы. Центры токовых вихрей расположены на  $30^\circ$  северной и южной широт на полуденном меридиане.

Методика выделения  $Sq$  – вариаций по данным мировой сети магнитных обсерваторий сводится к осреднению данных среднечасовых значений компонент геомагнитного поля по 5 магнитоспокойным дням за каждый месяц. Такие дни характеризуются наименьшей суммой трёхчасовых значений  $K_p$  – индекса за месяц.

Нами были построены графики суточного хода  $H$ -,  $D$ -,  $Z$ -компонент геомагнитного поля для каждого месяца за период с 01.1978 г. по 12. 1981 г. по 5 магнито-спокойным дням по данным obs. «Алма – Ата».

За эти дни были построены графики среднесуточного хода ЕИЭМП. В качестве примера приведены графики за 1978 –1981 гг. (рисунок 2.). В левой стороне рисунка расположены кривые изменения  $H$ -,  $D$ -,  $Z$  – компонент магнитного поля, а в правой – суточные хода ЕИЭМП. Время на рисунке местное.

Как следует из графиков, суточные вариации  $H$ -,  $D$ -,  $Z$  – компонента характеризуются большой регулярностью и практически не изменяются. С восходом солнца они претерпевают следующие изменения:

- $H$  – компонента имеет минимум в местные полуденные часы;
- $Z$  – компонента имеет минимум в 13 часов местного времени;
- $D$  – компонента в утренние часы возрастает, а в 12 часов местного времени переходит через «0» и меняет знак на обратный.

Эти форма суточных вариаций является типичной для средних широт северного полушария. Она остается практически неизменной и в течение всего года. Изменяется только амплитуда вариаций. Летом она в несколько раз выше, чем зимой. Возрастание амплитуд  $Sq$  – вариаций от зимних к летним месяцам связано с изменением освещенности солнцем земной поверхности и увеличением в связи с этим ионизации в слое  $E$  ионосферы. Таким образом, основной чертой  $Sq$  – вариаций магнитного поля является неизменность их формы в течение года и закономерное возрастание амплитуд от зимних к летним месяцам.

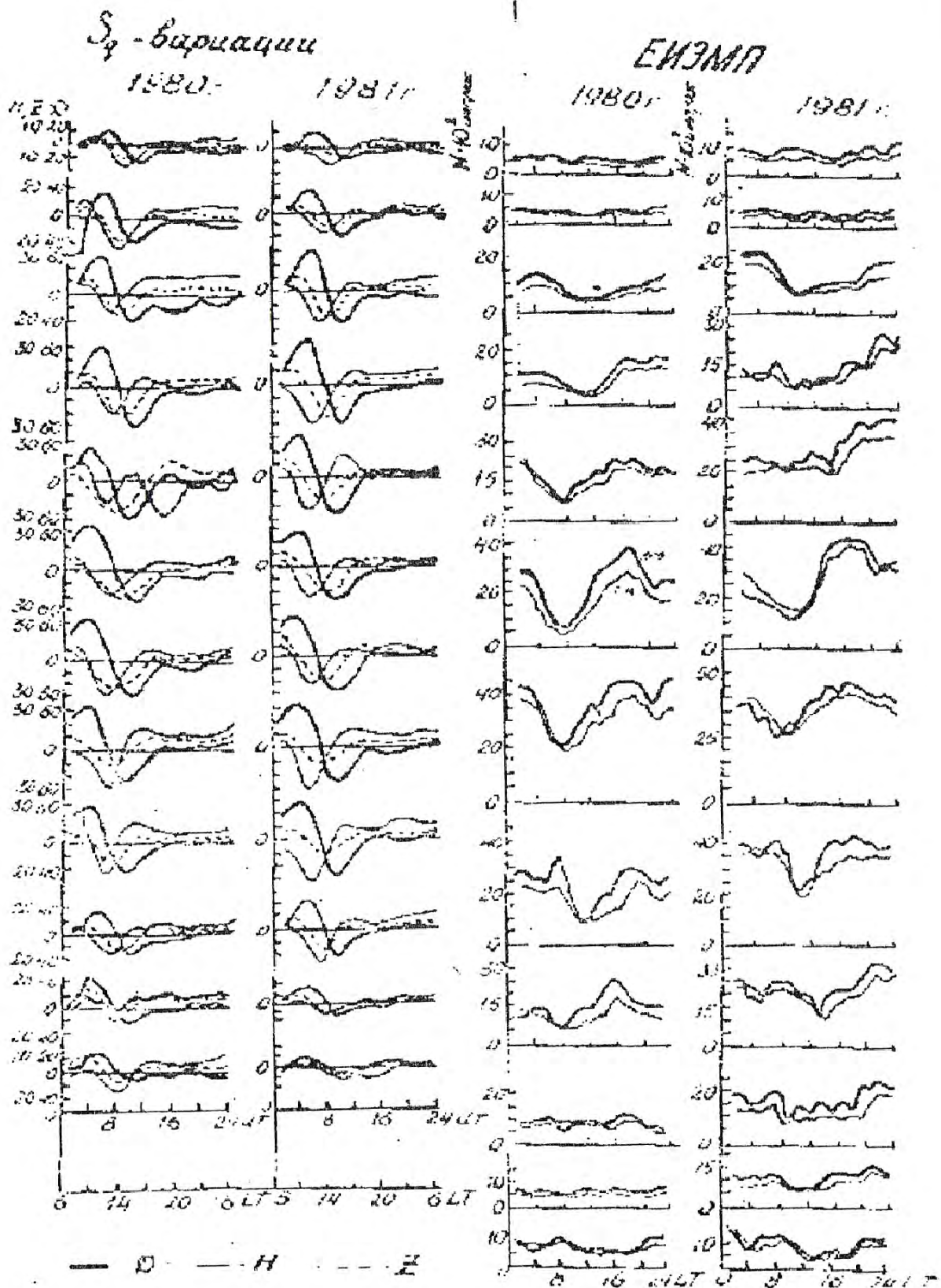


Рисунок 2. Сопоставление Sq-вариаций геомагнитного поля на обсерватории «Алма-Ата» и суточных ходов ЕИЭМП на станции «Пржевальск» по 5 международным спокойным дням за 1980-1981 гг.

Для суточного хода ЕИЭМП не обнаружено таких строгих закономерностей. Положение утреннего минимума сдвинуто, то на более ранние, то на более поздние часы. Положение максимума ещё более неустойчиво. В летние месяцы появляется дополнительный максимум после полудня. В зимние месяцы вообще не наблюдается чётко выраженных экстремальных значений. Изменение амплитуд с сезоном также не имеет таких строгих закономерностей, как для Sq – вариации геомагнитного поля и суточные вариации ЕИЭМП имеют разную природу.

К регулярным магнитным вариациям относятся магнитные бури (Dst) и бухтообразные возмущения (суббури DPI). Магнитные возмущения могут иметь локальный характер, что и наблюдается только в ограниченном секторе долгот и широт, или же, достигая большой интенсивности, охватить одновременно всю Землю. В последнем случае их называют мировыми магнитными бурями ( $\gamma$ Dst). Современные гипотезы о природе магнитных возмущений исходят из предположения, что причиной их является энергия, излучаемая Солнцем.

Усреднённая Dst – вариация проявляется, главным образом, в Н – составляющей и может быть разделена на три фазы: начальную, когда происходит увеличение величины поля; главную, когда наблюдается резкое уменьшение интенсивности, и фазу восстановления, когда поле медленно и постепенно возвращается к своему первоначальному и спокойному состоянию. Повышение интенсивности магнитного поля в начальной фазе бури обусловлено DCF – токами, возникающими на границе магнитосферы при взаимодействии солнечных корпускулярных потоков с магнитным полем Земли. Кольцевые DR – токи, текущие в западном направлении на расстоянии от 2 до 7 радиусов от центра Земли, оказывают противоположное действие – происходит уменьшение поля на земной поверхности. При постепенном затухании этих токов магнитное возмущение прекращается. То есть магнитная буря в нижних и средних широтах является результатом действия DCR – и DR – полей. В зависимости от соотношения этих полей длительность и интенсивность всех трёх фаз бури могут существенно различаться. Обычная длительность начальной фазы 1 – 6 часов, главной фазы 3 – 12 часов, фаза восстановления может длиться от нескольких часов до нескольких суток. Амплитуды магнитных бурь достигают сотен гамм. В зависимости от интенсивности бури делятся на слабые (малая – МБ), умеренные (УБ) и большие (ББ). Ввиду того, что интенсивность бурь возрастает от низких геомагнитных широт к высоким, шкала амплитуд для каждой из этих категорий возмущений должна быть своей для разных обсерваторий. Для обсерватории «Алма – Ата» амплитудные границы магнитных бурь в гаммах приведены ниже в таблице 1.

Таблица 1.

Интенсивность бурь											
Малая(МБ)			Умеренная(УБ)			Большая(ББ)			Очень Большая(ОБ)		
D	H	Z	D	H	Z	D	H	Z	D	H	Z
60-80γ	70-110γ	20-40γ	90-120γ	111-160γ	41-60γ	121-150γ	161-210γ	61-90γ	151γ	211γ	91γ

Dst – вариации могут быть с внезапным Sq-вариациями и постепенным началом. В первом случае на фоне спокойного хода всех элементов внезапно происходит скачок, отмечаемый одновременно в пределах одной – двух минут на всех станциях Земного шара. Особенно резко такой скачок проявляется в величине горизонтальной составляющей, которая внезапно увеличивается на десятки гамм. Во втором случае возмущения возникают в виде постепенного увеличения амплитуды всех элементов, при этом начальный момент с той точностью, с которой он устанавливается для бурь с внезапным началом, определить не удаётся. В этом случае моменты начала бури, определяемые на разных станциях, могут отстоять друг от друга на час и более.

Бухтообразные (DPI) возмущения максимальной интенсивности проявляются в авроральной зоне в виде положительных и отрицательных отклонений от спокойного уровня. Наиболее отчётливо они проявляются на записи горизонтальной составляющей. Источником бухтообразных возмущений является полярная электроструя (полярный, электроджет), расположенная на высоте 100 – 200 км [14]. Бухты появляются в вечерние и ночные часы (с 18<sup>h</sup> до 6<sup>h</sup> LT). Их амплитуды в средних широтах составляют от нескольких до десятков гамм, а длительность – от десятков минут до 2 – 3 часов.

Изучение связи иррегулярных вариаций магнитного поля и возмущений ЕИЭМП проводилось на основе непосредственных сопоставлений записей геомагнитного поля и ЕИЭМП. В результате проведённого анализа обнаружено, что из 100 рассмотренных магнитных бурь только в 18% случаев удаётся найти совпадение по времени в протекании обоих явлений, но даже и в этих случаях совпадение не является всегда удовлетворительным, а именно: случаям интенсивности магнитных бурь соответствуют относительные возмущения ЕИЭМП, и наоборот. Кроме того, начало возмущений в большинстве случаев, как правило, не совпадает. Часто наблюдается полностью противоположная картина в протекании обоих явлений: случаям интенсивности магнитных бурь соответствуют относительно спокойные состояния ЕИЭМП и наоборот.

Аналогичное сопоставление проведено для бухтообразных возмущений. Для анализа отобраны бухтообразные возмущения с длительности более 1 часа и с амплитудой более 15γ. Всего таких бухт отобрано 73. Результаты проведённого анализа показывают, как и для магнитных бурь, процент случаев совпадений в протекании бухтообразных возмущений магнитного поля и возмущений ЕИЭМП не превышает 10%.

Таким образом, произведённый анализ позволяет делать вывод о том, что низкая корреляция между иррегулярными возмущениями магнитного поля (магнитные бури, бухты) и возмущения ЕИЭМП, как и в случае регулярных Sq – вариаций, свидетельствует об отсутствии прямой связи между этими явлениями.

### Литература

1. Воробьев А. А. К вопросу об инициировании землетрясений подземными грозовыми явлениями. Кн. Электрическая аппаратура и электрическая изоляция. – М.: Энергия, 1970. – С. 494.
2. Программа работ по поиску предвестников землетрясений. – ИФЗ АН СССР, - 1971. – 40 с.
3. Rikitake T. e.a Geomagnetic and geoelectric studies of the Matsushiro earthquake swarm. (1). Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. – Tokyo, 44, - 1966 – p.399 – 402.

4. Гохберг М. Б., Гуфельд И.Л., Добровольский И.П. Источники электромагнитных предвестников землетрясений. – ДАН. СССР, - 1980, Т. 250, - № 2, - с. 323 – 326.
5. Varotsos P., Alexopolos K., Nomicjs K. Electrolluric precursors to earthquakes. Prak.Acad.Azhenon, - 1982, - 57, - p.311 – 363.
6. Varotsos P., Alexopolos K. Physical properties of the variations of the electric field of the earth preceding earthquakes. – Tectonophysycs, - 1984, - V, 110, - p. 73 – 125.
7. Основы прогноза землетрясений. Отв. Ред. М.А. Садовский. Прогноз землетрясения. – Душанбе: Дониш, – 1983 – 84, - №3. – 220с.
8. Lin, Mei, Li Ka ifu Electromagnetic wave anomalies of impending earthquakes. J. Seismol. Res. – 1985. – v. 8, - t5, - pp. 568 – 573.
9. Noritomi K. Geoelecttic and geomagnetic observations and phenomena associated with carthquake in China. Proc. On the Chinese earthquake prediction by the 1977 delegation of the Seismol.Soc. of Japan.Seismol.Soc.Jap. – Tokyo, - 1978, - p. 57 – 58.
10. А.Токтосопиев, Электромагнитные предвестники землетрясений. Учебное пособие. – Каракол: 2007. – 312 с.
11. Anderson D.I., Whitcomb J.H. The dialatancydiffusion model earthquake prediction. – In: Proc. Conf. Of tectonic problems of the San Andreas Fault System: Stanf.Univ.Publ., - 1973, - vol 13, - p.417.
12. Мигунов Н. И., Соболев Г. А., Хромов А. А., Естественное электромагнитное излучение в сейсмоактивных районах. – Изв. АН СССР, Физика земли, -1984, №7, с.55 -63.
13. Хусамиддинов С.С., Абдуллабеков К.Н. Результаты изучения вариации параметров ЕИЭМП во времени. – В кн.: Электрические и магнитные предвестники землетрясений. – Ташкент: ФАН УзССР, - 1983, -с. 56 – 62.
14. Филиппов С.Г. Интерполяция данных между основными сроками наблюдений.// Программа для ЭВМ, ОФАН, ВНИГМИ-МПД. Обнинск, 1980.

*Рецензент: д.ф-м.н. В.Н.Погребной*