

**ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА  
НАКЛОННОКОНДЕНСИРОВАННЫХ ПЛЁНОК**

**ВИГДОРОВИЧ В.Н.,\* КАДЫРОВ Ч.А.,\*\* КАРИМБЕКОВ М.А.,\*\*\* ОПАРИЧЕВ Е.Б.\*\***

*Институт химических проблем микроэлектроники, г.Москва\**,

*КГТУ им. И. Раззакова\*\**,

*МЭИ (технический университет), г.Москва\*\*\**

[izvestiva@ktu.aknet.kg](mailto:izvestiva@ktu.aknet.kg)

*На примере изотропных (хром, никель и тантал, константан и копель) и анизотропных (висмут и теллур) материалов показано, что наклонноконденсированные плёнки малой толщины на ориентирующих и неориентирующих подложках при не очень глубоком вакууме и при вполне определенной напылительной базе образуют армированную текстуру. Экспериментальным путем определены границы для нагрева, отжига и лазерного облучения в воздушной атмосфере.*

Известно о применении наклонноконденсированных пленочных материалов в технологии изготовления дисплеев (используется моноокись кремния) [1] и при исследовании системы железо-никель [2]. Обычным способом получения наклонноконденсированных пленок является напыление под малыми углами [1]. Если угол падения потока испаряемого вещества не совпадает с нормалью к поверхности подложки, то направление роста кристаллитов и соответственно ось текстуры часто бывают наклонены в сторону направления падения потока. Только в одном случае наблюдалось отклонение в противоположном направлении [2]. При напылении пленок с наклонным пучком образуется анизотропное распределение структурных дефектов, которое совершенно не зависит от направления магнитного поля, приложенного во время напыления [2].

На примере изотропных и анизотропных материалов (висмут и теллур – анизотропные, хром, никель и тантал, константан и копель – изотропные) показано, что наклонноконденсированные плёнки малой толщины (до 0,5... 3 мкм) на ориентирующих и неориентирующих подложках при не очень глубоком вакууме ( $10^{-2} \dots 10^{-3}$  мм рт.ст.) и при вполне определенной напылительной базе (400 мм) образуют армированную текстуру (рис. 1) [3]. В отечественной материаловедческой литературе это соответствует действию «фактора формы кристаллов».

Физико-технологические данные получения наклонноконденсированных плёнок висмута, теллура и хрома сведены в таблице.

Электросопротивление плёнок висмута при нагреве сначала уменьшается, затем начинает возрастать (рис. 2). При последующем охлаждении имеет место заметный гистерезис, если электросопротивление проходит через минимум. Он, по-видимому, соответствует критической температуре, при которой в плёнках происходят необратимые изменения, вероятно, связанные с окислением. Этот минимум смещается в сторону более высоких температур при каждом новом цикле нагрева. Если плёнка охлаждается с температуры ниже критической, то гистерезис практически не наблюдается.

**Таблица 1**

**Физико-технологические данные получения  
наклонноконденсированных плёнок висмута, теллура и хрома**

Условия получения	Материал плёнки		
	Висмут	Теллур	Хром
Давление в рабочей камере, Па	$10^{-2} \dots 10^{-3}$	$10^{-2} \dots 10^{-3}$	$10^{-2} \dots 10^{-3}$
Температура испарения, К	$840 \pm 5$	$620 \pm 5$	$2073 \pm 50$
<b>Температура подложки (начальная), К</b>	$313 \pm 5$	$410 \pm 5$	$383 \pm 5$
Угол наклона подложки, °	$75 \pm 2$	$75 \pm 2$	$80 \pm 1$
Скорость конденсации, нм/с	$20 \pm 2$	$15 \pm 2$	$4 \pm 1$
Толщина плёнки (минимальная), мкм	2 ... (3)	1 ... (2)	0,5 ... 2

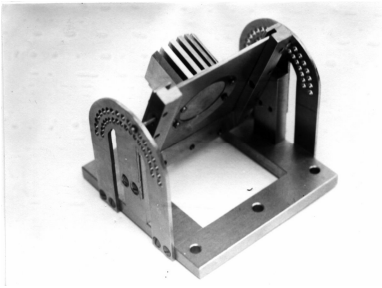


Рис. 1. Подложкодержатель

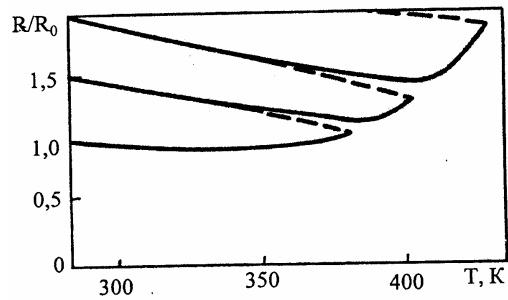


Рис. 2. Изменение температурной зависимости электросопротивления наклонноконденсированных плёнок висмута при циклическом нагреве со скоростью 1 К/с (сплошная линия) и охлаждении (штриховые линии)

Отжиг плёнок висмута приводит сначала к некоторому снижению электросопротивления и повышению удельной поперечной термоэдс (рис. 3). С увеличением температуры и длительности отжига электросопротивление начинает возрастать, но удельная поперечная термоэдс плёнок продолжает повышаться. Это связано, по-видимому, с прокислением плёнки по границам кристаллитов, приводящим к возрастанию контактного сопротивления.

Плёнки теллура после извлечения из вакуумной камеры имеют удельную поперечную термоэдс до 30 мВ·см/Вт и высокое электросопротивление (до 20 Ом·см), которые при выдержке в воздухе за первые 2 ч уменьшаются в 5-6 раз (рис. 4). Повторное вакуумирование плёнок приводит к восстановлению значений поперечной термоэдс и удельного электросопротивления практически до первоначальных значений (рис. 5). Это свидетельствует об адсорбционной природе явления. По-видимому, после извлечения из камеры на поверхности и в порах плёнки адсорбируются атомы кислорода, захватывающие электроны из валентной зоны. Появление дополнительных дырок снижает коэффициент термоэдс кристаллитов. При нагреве плёнок теллура на воздухе происходит необратимое изменение свойств и их стабилизация (рис. 6). По-видимому, при повышенных температурах кислород прочно связывается с поверхностью теллура.

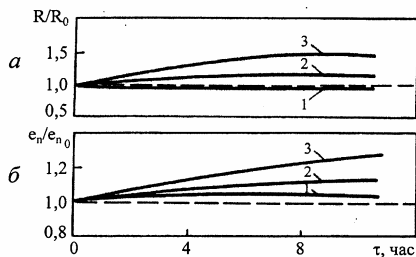


Рис. 3. Зависимость электросопротивления (а) и удельной поперечной термоэдс (б) наклонноконденсированных плёнок висмута от времени отжига при различных температурах: 1 – 353 К; 2 – 373 К; 3 – 393 К

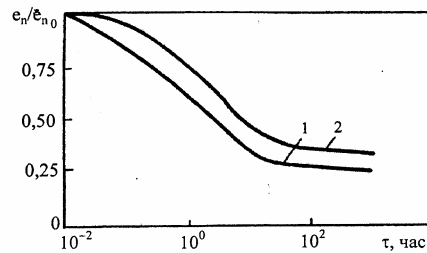
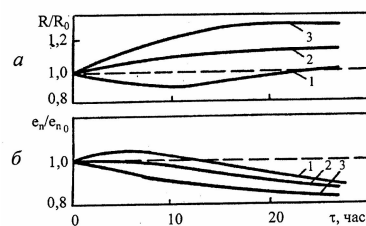
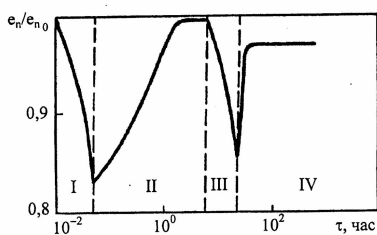


Рис. 4. Относительное изменение удельной поперечной термоэдс и электросопротивления наклонноконденсированных плёнок теллура во времени после извлечения из вакуумной камеры



**Рис. 5. Относительное изменение удельной поперечной термоэдс и электросопротивления наклонноконденсированных плёнок теллура при выдержке на воздухе (области I и III) и повторном вакуумировании (области II и IV)**

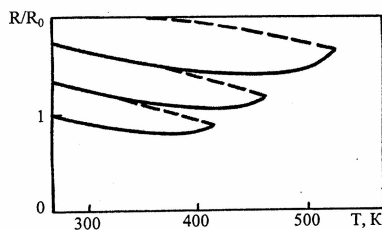
**Рис. 6. Зависимость электросопротивления (а) и удельной поперечной термоэдс (б) наклонноконденсированных плёнок теллура от времени отжига при различных температурах:**

1 – 373 К; 2 – 393 К; 3 – 333 К

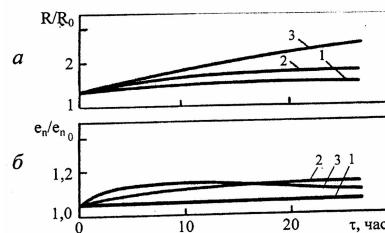
Плёнки хрома при термоциклировании ведут себя аналогично плёнкам висмута с тем отличием, что при охлаждении с температур выше критической, крутизна температурного хода электросопротивления больше, чем при нагреве (рис. 7). При каждом повторном цикле критическая температура заметно смещается в сторону больших значений. При 5...6 циклах критическая температура достигает 573 К и далее не возрастает. При этом сопротивление и его температурный ход стабилизируются. Повышение электросопротивления плёнок практически не сопровождается увеличением поперечной термоэдс.

Свойства плёнок хрома при низкотемпературном отжиге (рис. 8) практически не изменяются. При повышенных температурах (выше 423 К) как на воздухе, так и в вакууме электросопротивление хрома возрастает. При этом удельная поперечная термоэдс практически не меняется. В процессе отжига при докритических температурах плёнки стабилизируются.

Установлено, что при плотности излучения до  $10^5$  Вт/см<sup>2</sup> плёнки реагируют на него устойчиво и воспроизводимо. При плотности излучения  $5 \cdot 10^5$  Вт/см<sup>2</sup> поверхность плёнок висмута изменяет цвет от черного до серого, хотя изменения электросопротивления и выходного сигнала также не наблюдается. Микроскопическими исследованиями установлено, что на



**Рис. 7. Изменение температурной зависимости электросопротивления наклонноконденсированных плёнок хрома при циклическом нагреве со скоростью 1 К/с (сплошная линия) и охлаждении (штриховые линии)**



**Рис. 8. Зависимость электросопротивления (а) и удельной поперечной термоэдс (б) наклонноконденсированных плёнок хрома от времени отжига при различных температурах:**  
1 – 373 К; 2 – 413 К; 3 – 453 К

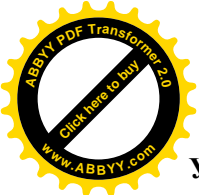
серых участках поверхности плёнок гребешки кристаллитов оказываются частично оплавленными. При плотности излучения  $10^6$  Вт/см<sup>2</sup> электросопротивление плёнок повышается, а выходной сигнал уменьшается. Это связано с проплавлением локальных участков плёнки и стягиванием их в капли. Таким образом, для плёнок висмута предельная плотность излучения составляет  $5 \cdot 10^5$  Вт/см<sup>2</sup>. При этой плотности плёнки выдерживают свыше  $10^5$  импульсов.

Для плёнок хрома предельная плотность излучения составляет  $10^6$  Вт/см<sup>2</sup>. При большей плотности излучения происходит локальное выжигание и прокисление плёнок.

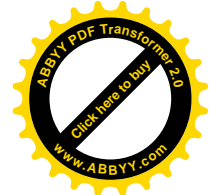
Применение наклонноконденсированных плёнок в термоэлектрических преобразователях лазерного излучения возможно без укора их термоэлектрических параметров, если не превышения критических значений температуры и мощности лазерного излучения.

#### Литература

1. Дисплеи. Пер. с англ. / Под ред. Ж. Панкова. – М.: Мир, 1982. – 320 с.
2. Физика тонких пленок: Современное состояние исследований и технические применения. Пер. с англ. / Под ред. Г. Хасса. Том 1. – М.: Мир, 1967. – 343 с.
3. Опаричев А.Б., Опаричев Е.Б., Вигдорович В.Н., Каримбеков М.А., Марков Ф.В. Изотропные и анизотропные материалы (висмут, теллур, хром, никель, тантал) для плёночных наклонноконденсированных термопреобразователей. // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. – 2005. № 4. С. 98-102



УДК 550.341.5



**ПРОГНОСТИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ  
ЕСТЕСТВЕННОГО ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ  
ЗЕМЛИ ПЕРЕД ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ**

**Бегалиев Д.К.**

*Ысык-Кульский государственный университет им. К.Тыныстанова, г.Каракол*

*В данной статье рассмотрены исследования регулярных вариаций фоновой интенсивности и изменений параметров естественного импульсного электромагнитного поля Земли перед слабыми землетрясениями в сейсмоактивном регионе Ысык-Кульской области.*



В настоящее время исследования по предвестникам землетрясений продолжает оставаться одной из основных проблем геофизики. Проводятся широкие поиски признаков подготовки землетрясений и непосредственно предшествующих им сейсмических, деформационных и электромагнитных аномалий [1].

Непосредственным объектом исследования становится горная среда – литосфера и окружающие, ее оболочки (атмосфера и ионосфера), а также электромагнитные и акустические процессы, вызывающие крупномасштабные взаимодействия оболочек. При этом возникает две основные задачи. Первая связана с обнаружением процесса подготовки землетрясения и прогноза его силы. Вторая – с диагностикой перехода среды в неустойчивое состояние [2].

При большой концентрации механической энергии в минералах и горных породах, в районе будущего эпицентра землетрясения наблюдаются повышение атмосферно – электрического и электротеллурической полей [3]. Следствием механоэлектрических преобразований в минеральных и горных породах являются электрические разряды, которые сопровождаются импульсным электромагнитным, световым и акустическим излучением.

Важнейшими проявлениями высоких электрических полей в литосфере является импульсное электромагнитное излучение электрических разрядов в этих полях и его участие в формировании естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ). Электромагнитные поля, возникающие в земной коре, могут увеличивать его амплитуду, нарушать периодичность, смещать начальную фазу [4].

Естественное импульсное поле Земли определяется плазменными процессами в ионосфере, а также в атмосфере при грозových разрядах [7]. Электрические явления в атмосфере развиваются вследствие преобразования энергии солнечного излучения в электрическую и происходят главным образом, над поверхностью Земли, освещаемой Солнцем [8]. По этой причине в течение суток напряженность ЕИЭМПЗ будет меняться с солнечной периодичностью смены дня и ночи.

Напряженность ЕИЭМПЗ определяется как результат суперпозиции в точке наблюдения электромагнитных волн, подающих и отраженных от многих источников, расположенных в космосе, ионосфере, атмосфере, земной коре [5]. Нарушение нормальной периодичности каждого из источников электромагнитной силы вызывает изменения напряженности ЕИЭМПЗ.

Данная работа посвящена изучению данных, полученных анализатором электромагнитных импульсов в сейсмоактивном регионе Ысык-Кульской области. Предполагается, что часть электромагнитных импульсов в сейсмоактивном регионе имеет литосферное происхождение, как следствие геодинамических явлений.

Ысык-Кульская область характеризуется 8-9 бальной зоной по сейсмической активности. В этом регионе следует ожидать определенную связь между сейсмическими и электромагнитными явлениями, как в атмосфере, так и в доступных верхних частях литосферы. Отсюда вытекает возможность установления закономерных связей этих явлений для прогноза землетрясений.

Учитывая, что основным информационным параметром при стационарных наблюдениях ЕИЭМПЗ является интенсивность исследуемого поля, показателем которой служит количество импульсов в единицу времени, превышающих заданный порог. Для этого подготовлен и проградуирован аппаратная изготовленного научно-производственного кооператива “Терминал”, Томского политехнического университета. Измеритель называется “Анализатор статистических характеристик импульсного электромагнитного потока” (АИП-4). Анализатор предназначен для изучения временной структуры случайного импульсного потока. Прибор работает с ЭВМ как асинхронное пассивное устройство. Анализатор позволяет:

1. Измерить временное положение импульса.
2. Пиковые значения его амплитуды.
3. Длительность импульса, превышавшего заданный порог по амплитуде.
4. Преобразует аналоговый сигнал с датчика (антенны) в цифровой последовательностей

код для ввода информации в ЭВМ через «COM» порт. В анализаторе регистрируется среднее число импульсов ЕИЭМПЗ в диапазоне частот 1-50 кГц.

Для обработки данных использовали программу «Advanced Serial Data Logger профессионал».

Ее возможности:

1. Возможность принятия информации по нескольким COM портам и изменения характеристик датчика, т.е. есть вариант изменения порога срабатывания и пиковых значений.
2. Установка времени включения программы записи и продолжительные ведение записи.

3. Возможность записи данных как EXCEL – документ, т.е. в виде столбцов и строк символов в ASC II – кодах.
4. Поставляются дополнительные программы (модули) для перехода в любую Windows или DOS программы, то есть мы можем делать любую последующую обработку записанных данных. Строить графики выводить на принтер и т.д.
5. Использование нескольких COM портов дает нам возможность независимой обработки данных с различных датчиков.

В дальнейшем прибор АИП-4 будет использоваться как сервер, например прибор АЭП (датчик для исследования напряженности атмосферного электрического поля) т.е. можно

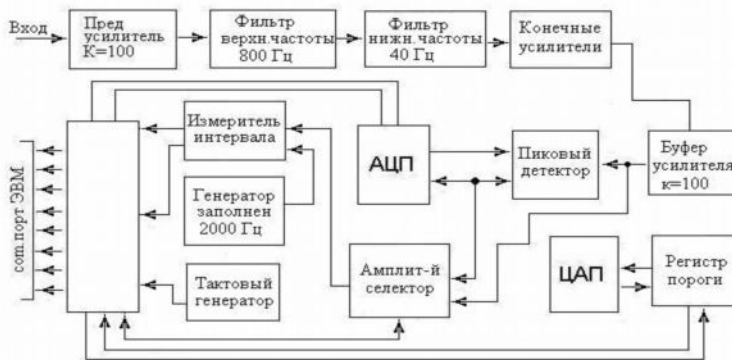


Рис.1. Блок схема прибора АИП-4

подсоединить на разные COM порты АИП-4 и вести независимую запись информации повременно с различных датчиков. Блок схема прибора АИП-4 приведен на рисунке 1.

Для исследования регулярной вариации фоновой интенсивности ЕИЭМПЗ использовался материал наблюдения, зарегистрированный прибором АИП-4 с января по ноябрь месяца 2007 г. в городе Каракол Ысык-Кульской области. Основой для анализа регулярных вариаций ЕИЭМПЗ служили, рассчитанные на ЭВМ, среднечасовые значения потока импульсов (число импульсов час) усредненной по каждому месяцу наблюдения, а также дисперсии или среднеквадратические отклонения от этих значений. Характер суточных вариаций фоновой интенсивности ЕИЭМПЗ анализировался по графикам среднемесячного суточного хода построенных по местному времени и для шестимесячного интервала наблюдений в городе Каракол [6]. В качестве примера на рис. 2. приведены графики суточного хода. Анализ графика показал, что суточные вариации фоновой интенсивности проявляется во все времена года, но их форма и амплитуда подвержены сезонным изменениям. Форма суточного хода в зимние месяцы более сглажена и не имеет четко выраженных закономерностей. Намечается ночной максимум после полуночи минимум в светлое

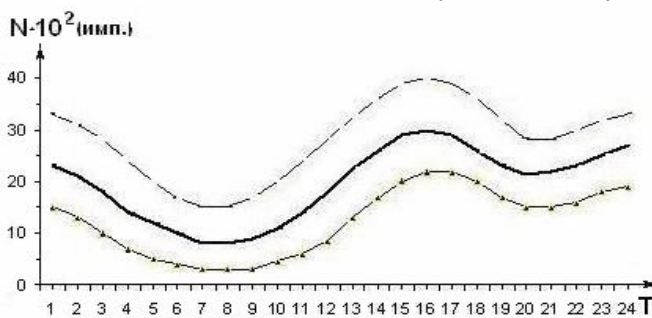
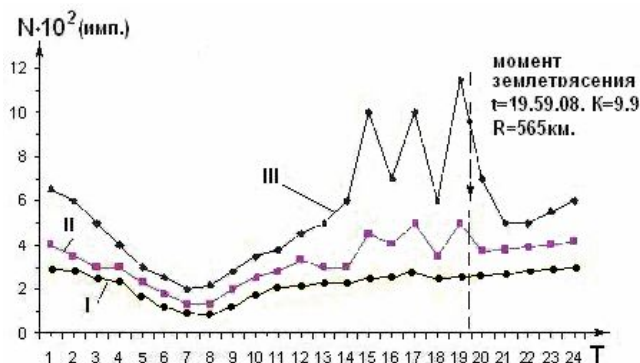


Рис.2. Среднемесячный суточный ход и его среднеквадратичные отклонения ЕИЭМПЗ на станции г.Каракол (ЫГУ) за июнь месяц 2008г.

время суток (9 - 16 часов). При переходе к весенне-летнему сезону форма суточного хода изменяется и характеризуется наличием двух максимумов - после полуденного (16 часов) и ночного. Минимум интенсивности ЕИЭМПЗ приходится на утренние часы (7-8). При переходе к осенне-зимнему сезону, после полуденного, максимум становится менее интенсивным и исчезает.

Амплитуды суточных вариаций наибольшие летом и наименьшие в зимние месяцы. В весенние и осенние месяцы они примерно одинаковы и являются средними между летними и зимними значениями. Летние значения интенсивности ЕИЭМПЗ достигают 4500- 4600 импульсов в час, а зимой они на порядок ниже. Среднеквадратическое отклонение от средне месячного хода составляет в среднем около 30%. Если принять эту величину за колебания уровня фона ЕИЭМПЗ,

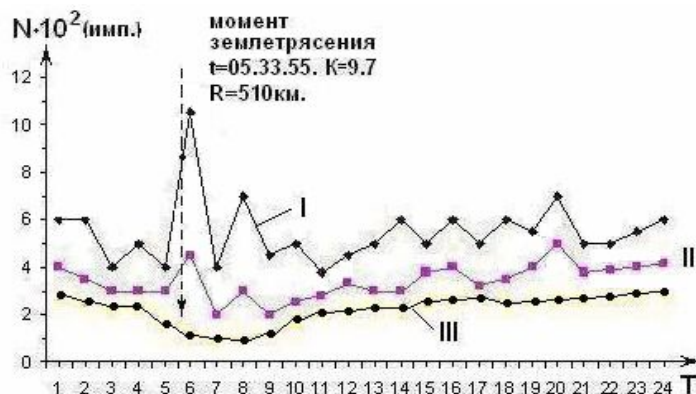
то аномалиями следует считать отклонение от среднемесячного хода равными среднеквадратическим отклонениям. Сопоставление формы суточного хода ЕИЭМПЗ в городе Каракол соответствуют данным наблюдениям в городе Томске. Обнаруживается большое сходство между ними, несмотря на существенную разницу в геологическом строении этих районов и их удаленности от Каракола. Это свидетельствует о том, что причины



**Рис.3.** I. Регулярный среднемесячный суточный ход ЕИЭМПЗ по станц. Каракол (ЫГУ) за январь месяц 2008г. (без учета аномалии).  
 II. Среднемесячный суточный ход ЕИЭМПЗ по станц. Каракол (ЫГУ) за январь месяц 2008г. (с учетом аномальных явлений)  
 III. Суточный ход за 29.01.08. по станц. Каракол (стрелкой отмечен момент толчка)

обуславливающие формы суточных вариаций ЕИЭМПЗ имеют межрегиональный характер. Наибольшие значения интенсивности ЕИЭМПЗ наблюдаются в летние месяцы (июнь, июль), а наименьшие - в зимние (январь, февраль). Абсолютные величины сезонных вариаций составляют в минимуме в порядке 300 имп. час, а максимуме 4500 имп. час.

Основные закономерности регулярных вариаций ЕИЭМПЗ заключаются, таким образом, в следующем:



**Рис.4.** I. Суточный ход за 26.02.08. по станц. г.Каракол (стрелкой отмечен момент толчка)  
 II. Среднемесячный суточный ход ЕИЭМПЗ по станц. Каракол (ЫГУ) за февраль месяц 2008г. (с учетом аномальных явлений)  
 III. Регулярный среднемесячный суточный ход ЕИЭМПЗ по станц. Каракол (ЫГУ) за февраль месяц 2008г. (без учета аномалии).

-суточные вариации ЕИЭМПЗ характеризуется минимальным уровнем сигналов в утренние часы местного времени и максимальным (зимой)- в ночные часы.

- сезонные вариации интенсивности ЕИЭМПЗ характеризуется максимумом интенсивности ЕИЭМПЗ в летние месяцы, а минимумом в зимние месяцы.

На рисунках 3 и 4 приведены сравненные, графические данные, регистрируемые по станции Каракол (ЫГУ) и Каракольской сейсмостанции за январь и февраль месяцы 2008 года. Повышенная сейсмичность последовательных месяцев года показывает, что слабые землетрясения в подавляющем большинстве случаев возникают под действием приливообразующей силы Солнца. Месяцы январь и июль соответствуют противоположным положением Земли относительно Солнца.

Сходство абсолютных максимумов, возникающих в интервале 12ч.-21ч. в декабре и январе, совместно со сходством вышеуказанных месяцев (соответствующих противоположным положениям Земли на ее орбите), позволяет предполагать, что распределение интенсивности

ЕИЭМПЗ по интервалам местного времени связано с приливыми действиями Солнца. Поэтому полученные нами данные дают факты в пользу гипотезы о литосферном происхождении ЕИЭМПЗ.

В рис.5 приведены месячные распределения преимущественной группируемости, ощутимого и слабого землетрясения с января по ноябрь месяц 2008 года, регистрируемых по станции Каракол (ЫГУ) с энергетическими классами,  $K=9-10$ ,  $R=50-910$  км, происшедших на территории Средней Азии и Казахстана за 1 год. Видно, что из полученной информации более сейсмичными интервалами оказались месяцы апрель, август и октябрь.

Месяцам, соответствующим весеннему (21 марта) и осеннему (22 сентября) равноденствию соответствуют одинаковые интервалы местного времени, в которых наблюдаются относительные максимумы ЕИЭМПЗ. Однако, в октябре абсолютный максимум интенсивности ЕИЭМПЗ

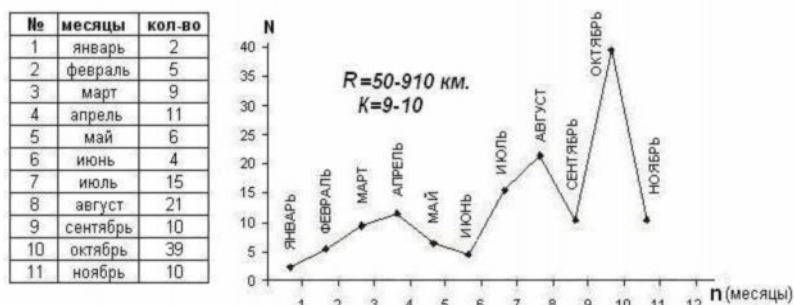


Рис.5. Количество ощутимых и слабых землетрясений с января по ноябрь месяц 2008 года, регистрируемых на станции Каракол (ЫГУ)

соответствует противоположному азимуту Солнца относительно интервалу местного времени марта месяца, в котором наблюдается абсолютный максимум интенсивности ЕИЭМПЗ. Это соответствует повороту направления силы притяжения Солнца на  $180^{\circ}$  относительно проекции оси вращения Земли на плоскость орбиты Земли.

Все исследования, проведенные нами, и анализ результата работ показывает, что на сегодняшний момент можно, в той или иной мере, определить предположительное время проявления будущего сейсмического события.

Анализ проведенных исследований позволяет сделать вывод, что природа аномалий ЕИЭМПЗ перед землетрясениями связана с изменением условий прохождения атмосфериков над зоной подготовки землетрясения. Причем появления такой зоны чувствуются измерительной системой на расстояниях, превышающих размер зоны деформационных предвестников.

На основании анализа изменений среднего число импульсов ЕИЭМПЗ с частотой 15 кГц перед слабыми близкими землетрясениями сделан вывод о том, что за 2-3 суток до даты происшествия. Таких землетрясений во всех одночасовых интервалах времени суток наблюдается только уменьшение среднего числа импульсов (в том числе и в двух часовом интервале, охватывающем момент восхода Солнца).

Изменения среднего числа импульсов зарегистрированных перед землетрясениями, должны находиться в зависимости от частоты регистрируемых импульсов ЕИЭМПЗ, так как при напряженном состоянии земной коры перед землетрясением, горными породами излучаются импульсы ЕИЭМПЗ, лежащие в различных диапазонах частот. Поэтому характер зависимости среднего числа импульсов, регистрируемых за один час или за один сутки, должен зависеть от ширины выбранного для приема диапазона частот ЕИЭМПЗ. Поэтому более надежные прогностические признаки изменения интенсивности ЕИЭМПЗ перед землетрясениями могут быть получены при регистрации импульсов ЕИЭМПЗ, охватывающих широкий диапазон частот. С другой стороны, для того, чтобы различать прогностические признаки близких слабых землетрясений, необходимо наблюдать одновременно и другие параметры ЕИЭМПЗ, не изученных другими исследованиями.

Все исследования, проведенные нами, и анализ результата работ показывают, что на сегодняшний момент можно, в той или иной мере, определить предположительное время проявления будущего сейсмического события.

## Литература

1. Альперт Я.Л. Распространение электромагнитных волн и ионосфера. М. Наука, 1972.





2. Воробьев А.А. Тектоноэлектрические, тектономагнитные явления и их практическое приложение. Часть 5. изд. ВИНТИ, № 3206-80.
3. Воробьев А.А. Физические условия залегания глубинного вещества и сейсмические явления. Часть 2. Томск. изд. ТГУ. 1974.
4. Гохберг М.Б., Моргунов В.А., Герасимович Е.А. и др. Оперативные электромагнитные предвестники землетрясений. М. Наука, 1985.
5. Кочербаев Т.К., Токтосопиев А.М. Изменения естественного импульсного электромагнитного излучения перед Жаланаш – Тюпским землетрясением 1978 г. Пржевальский Пед. институт: 1982г. Деп. в ВИНТИ № 4706-82.
6. Токтосопиев А.М. Электромагнитные предвестники землетрясений. Каракол 2007.
7. Лободин Т.В. Продолжительность гроз на земном шаре. Атмосферное электричество. Тр.ГГО. Вып. 442. С.39-46.
8. Тверской П.Н. Атмосферное электричество Л.: Гидрометеиздат, 1949.