

УДК 550.34.094

DOI: 10.23671/VNC.2014.3.55445

СЕЗОННЫЕ ЦИКЛИЧЕСКИЕ ВАРИАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ. АНАЛИЗ НАБЛЮДЕНИЙ ЕИЭМПЗ ПО СЕТИ СТАНЦИЙ СЕВЕРО-КАВКАЗСКОГО РЕГИОНА

© 2014 Д.Н. Забирченко

ОАО «Кавказгеолсъемка», Россия, 357600, Ставропольский край, г. Ессентуки,
ул. Кисловодская, д. 203, kavkazgs@rusgeology.ru
Центр геофизических исследований ВНЦ РАН и РСО-А, Россия, 362002,
г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: cgi_ras@mail.ru

В результате анализа многолетних рядов наблюдений за естественным импульсным электромагнитным полем Земли (ЕИЭМПЗ или ЭМИ) по сети из 10 регистраторов, расположенных от Черного до Каспийского моря в пределах сейсмоопасных районов Северо-Кавказского региона, выделены характерные региональные особенности поведения суточных и сезонных вариаций геофизических полей. Отработана методика выделения аномалий с учетом смещения интенсивности сезонного фона.

Ключевые слова: сезонные вариации геофизических полей, мониторинг, экзогенные геологические процессы, геологическая среда, Северо-Кавказский регион, сейсмичность, землетрясение, сейсмоактивная зона, магнитуда, гипоцентр, солнечная активность, барические вариации.

Из геофизических показателей сейсмической активизации недр наиболее перспективными представляются наблюдения за импульсным электромагнитным излучением Земли (ЕИМПЗ или ЭМИ). Наблюдения за вариациями ЭМИ, обусловленными сейсмотектонической деятельностью, были начаты вскоре после выхода работ А. А. Воробьева (1970), указавшего на возможность аномальных возмущений перед тектоническими землетрясениями. Первые шаги в организации наблюдений аномальных возмущений ЭМИ были предприняты с 1972 г. самим А. А. Воробьевым и сотрудниками Томского политехнического института в районах Байкала, Камчатки и Средней Азии. Интенсивность ЭМИ измерялась методом скорости счета электромагнитных импульсов, превышающих заданный порог по напряженности импульсного поля, на частотах 12,5 и 23 кГц. Датчиками, как правило, служили свинцовые пластины или заземленные металлические штыри. Проведенные наблюдения позволили отметить следующие особенности в изменении интенсивности ЭМИ перед близкими землетрясениями с $K=10:1$) аномальный ход наблюдается за 3 или менее суток до толчка, 2) максимум интенсивности приходится на 8-40 часов до землетрясения, 3) сейсмические события всегда происходили на спаде интенсивности, 4) интенсивность ЭМИ в максимуме аномального хода в 4-5 раз и более превышает интенсивность регулярных вариаций.

Длительные ряды наблюдений были получены С. С. Хасамеддиновым (1981) при работах на Ташкентском геодинамическом полигоне в 1974-1978 гг. Измерения производились синхронно на двух обсерваториях на частоте 13,5 кГц с чувствительностью приемной аппаратуры порядка 10 мкВ/м. Аномальные вариации ЭМИ наблюдались за несколько суток или часов до землетрясений. Амплитуда аномалий в 1,5-4 раза превышала фоновые значения. Обычно момент землетрясения соответствовал спаду

аномалий ЭМИ до фонового уровня. Аномалии, зарегистрированные по методу счета импульсов, проявлялись более отчетливо, чем зарегистрированные по методу огибающей интенсивности сигнала. Для всех глубокофокусных землетрясений аномальные вариации ЭМИ отсутствовали. Из 12-ти коровых землетрясений с магнитудой $M=4,5-7,3$, при которых станции наблюдений находились в зоне их подготовки, аномалии ЭМИ зарегистрированы одновременно обеими станциями лишь в 5 случаях.

Институтом сейсмологии АН Казахстана наблюдения ЭМИ были организованы на Алма-Атинском геодинамическом полигоне в обсерватории Тургень. Здесь с 1979 г. на частоте 35 кГц с помощью магнитной антенны измерялась вертикальная магнитная составляющая ЭМИ. Порог срабатывания канала по регистрации импульсов составляет 5,3 мкА/м ($6,7 \cdot 10^{-3}$ нТл). Наряду с суточными, наблюдались **сезонные вариации ЭМИ**, имеющие характер двугорбого колебания. *Здесь минимумы излучения приходились на осенние и весенние месяцы, а максимумы – на зимние и летние.* За время наблюдений зарегистрированы случаи аномального возмущения ЭМИ, превышающие в 104-105 раз средний уровень суточных и сезонных вариаций ЭМИ. Были выделены аномалии перед Баканасским землетрясением 25.09.79 г. ($K=14$, $H=35$ км, $R=200$ км) и землетрясением 05.07.80 г. на южном склоне хребта Терской-Алатоо ($K=14$, $H=27$ км, $R=170$ км). Обе аномалии носили ярко выраженный импульсный характер. Первая возникла за 5 суток до момента толчка, а вторая – почти за 2 месяца. Следует отметить, что обе аномалии исчезли не сразу после землетрясения, а сохранялись еще некоторое время. Периоды интенсификации излучения сменялись периодами затишья.

Институтом физики Земли РАН с 1977 г. широкие исследования ЭМИ в сейсмоактивных районах проводятся в двух направлениях. В первом направлении, возглавляемым Г.А. Соболевым, использовался метод счета импульсов в полосе 0,5-50 кГц. Для исключения влияния помех естественного и искусственного происхождения выбрана низкая чувствительность приемной аппаратуры, порядка 1 В/м. С помощью системы рамочных антенн осуществлялась пеленгация источников излучения, т.е. определялось направление прихода сигналов с точностью до 1 градуса, что позволяло получить информацию о местоположении источников электромагнитного излучения, а также выделить возмущения, обусловленные метеорологическими явлениями. По результатам наблюдений, в Прикарпатье, отмечено увеличение интенсивности ЭМИ в направлении, близком к эпицентру землетрясений в Румынии 04.03.77 г. ($M=7,5$ и $5,5$, $H=120$ и 20 км, $R=300$ км).

Во втором направлении работ (руководитель – профессор М.Б. Гохберг) использовалась регистрация огибающей ЭМИ в диапазоне от килогерц до единиц мегагерц при высокой чувствительности приемных устройств (10 мкВ/м). Наблюдения в Дагестане во время Иранского землетрясения 16.09.78 г. ($M=7,5$, $H=20-25$ км, $R=1200$ км) за 55 минут до главного толчка отмечено возрастание уровня поля на частотах 27, 385 и 1630 кГц. С окончанием наиболее интенсивной фазы землетрясения уровень сигнала на частотах 27 и 1630 кГц резко уменьшился, а на частоте 385 кГц оставался повышенным еще в течение 6 часов. В этот период произошло 5 афтершоков с $M=4,7-4,9$. [2]

По аналогичной методике проводились исследования ЭМИ в Японии в рамках научно-технического сотрудничества ОИФЗ РАН и Токийского университета [1,2]. Для определения местонахождения источника ЭМИ велась синхронная регистрация при наземном и подземном расположении антенн в двух пунктах на расстоянии

30 км друг от друга. Наземные наблюдения велись на магнитную антенну на частоте 81 кГц в обсерватории Сугодойра, а подземные – в тоннеле Хукошим на глубине 60 м на шаровую антенну, фиксирующую электрическую составляющую поля на частотах 5,1-100 и 170 кГц. За трое суток до землетрясений: корового 30.03.80 г. ($M=4$, $H=40$ км) и глубокофокусного 31.03.80 г. ($M=5$, $H=480$ км, $R=250$ км) отмечено аномальное возмущение фона, выражающееся в искажении формы суточной вариации, снижении общего уровня сигнала и появлении более интенсивных и регулярных выбросов, которые имели место до 03.04.80 г. На наземной станции за 30 мин. до глубокофокусного землетрясения зарегистрировано аномальное увеличение интенсивности сигнала на 15 дБ и четкими границами возникновения и окончания, как и при Иранском землетрясении. Отличительной особенностью этих наблюдений является появление предвестника перед глубокофокусным землетрясением. Аномальные возмущения ЭМИ отмечены также на независимом комплекте аппаратуры для регистрации ОНЧ-излучения в диапазоне 200-1500 Гц перед землетрясениями на обсерватории Сучинами вблизи Токио. К 1985 г. аномалии ЭМИ перед землетрясениями в Японии были зарегистрированы еще в 11-ти случаях. Исследования в бывшем СССР по изучению аномальных эффектов ЭМИ перед землетрясениями послужили толчком для постановки работ в этом направлении в других странах. В настоящее время они ведутся в Японии, Китае, США, Франции и Болгарии.

Значительный вклад в изученность данной проблемы внесли работы Ю.П. Малышкова и С.Ю. Малышкова (Томск), являющихся авторами многих статей и патентов, разработчиками используемых в настоящее время на Северном Кавказе аппаратных регистраторов ЕИЭМПЗ типа МГР-01 и ГР-01. В их работах проанализированы многолетние наблюдения естественных импульсных электромагнитных полей Земли в сейсмоактивных районах Прибайкалья, изучены периодические вариации геофизических полей и сейсмичности, показана их возможная связь с движением ядра Земли. В том числе показана несостоятельность общепринятых представлений о возникновении шумовой составляющей ЕИЭМПЗ только в результате грозových атмосферных разрядов. Доказывается, что значительная доля регистрируемых электромагнитных импульсов возникает в земной коре и возбуждается плохо изученными высокостабильными суточными и годовыми ритмами движения коры. По мнению авторов, именно эти виды движения активизируют механоэлектрические преобразования в горных породах, определяют появление ЕИЭМПЗ в диапазоне очень низких частот, суточные и годовые вариации полей. Аргументами в пользу литосферного происхождения многих регистрируемых импульсов являются многогранные связи электромагнитных полей с процессами подготовки землетрясений, их энергией и удаленностью, высокой корреляцией суточных вариаций полей и сейсмической активности региона. Выполнен спектральный анализ многолетних временных рядов естественного импульсного электромагнитного поля Земли и сейсмичности на примере Прибайкалья. Результаты анализа сравниваются с известными спектральными характеристиками приливных волн Луны и Солнца. Делается вывод о вероятном отсутствии прямой связи обнаруженных ритмов с гравитационным воздействием [3,4].

В настоящее время исследования вариаций естественного электромагнитного излучения ЕИЭМПЗ (ЭМИ) на Северном Кавказе проводятся в непрерывном режиме по региональной сети из 10 станций (рис. 1) [5,6]. Регистрация ведется посредством трех типов оборудования: программно-аппаратного комплекса «Alarm-

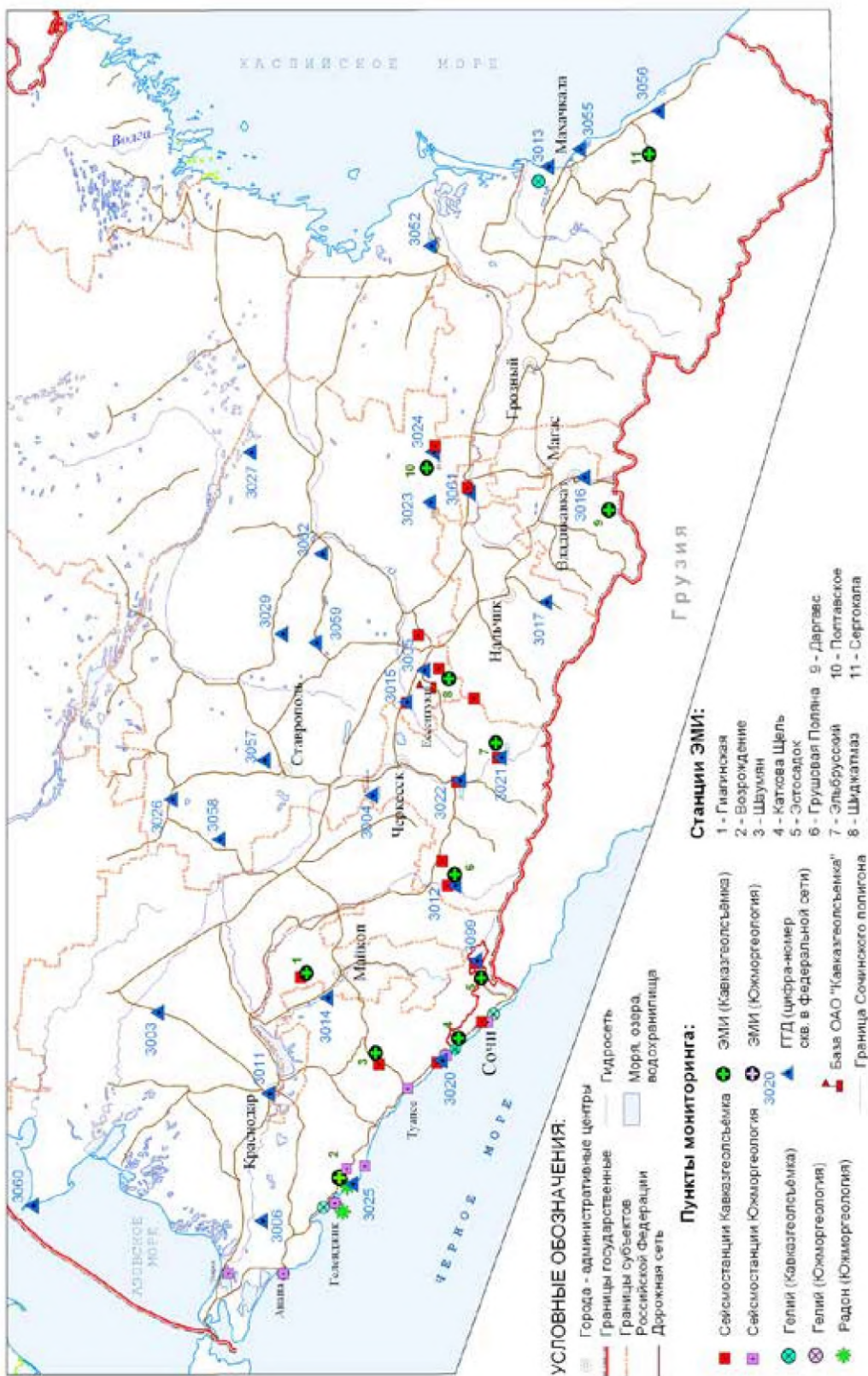


Рис. 1. Схема расположения пунктов сети мониторинга ГГД и геофизических полей Северо-Кавказского региона.

seismo», многоканальных регистраторов «МГР-01М», одноканальных регистраторов с регулируемой резонансной частотой «ГР-01». В течение всего периода работ автором дорабатывалась методика обработки данных регистраторов ЭМИ при помощи самостоятельно разработанной информационно-аналитической системы ИС «ГГД-Комплекс». Параллельно с этим были пересмотрены критерии настройки чувствительности аппаратуры, коэффициентов усиления и порогов применительно к каждому конкретному типу оборудования. В частности, мы пришли к выводу, что с учетом сезонных вариаций среднего значения интенсивности ЭМИ, оптимальным для отстройки чувствительности является период апрель-август. В это время можно подобрать коэффициент усиления, который позволит снять нижнюю (летнюю) часть динамического диапазона и не выйти в режим переусиления и отсечки в активный осенне-зимний период.

Однако, ввиду различных условий на пунктах регистрации ЭМИ с точки зрения геологии и тектоники, с учетом влияния техногенных факторов, настройка чувствительности аппаратуры происходит таким образом, чтобы в сейсмичный период на обработанных специальными программными фильтрами графиках четко прослеживалось наличие выраженных суточных вариаций количества импульсов ЭМИ. Таким образом, фоновые суточные вариации могут быть ярко выражены как на интенсивности до 100 импульсов за 10 минут так и на интенсивности до 10000 имп/10 мин. В процессе обработки данных, после применения селективных фильтров, для нивелирования суточных вариаций и выделения аномалий используется построение сглаженной кривой методом скользящего среднего с шириной окна 24 часа. Далее, для сопоставления графиков разных по значениям интенсивности станций, ряды нормируются на среднее фоновое значение в интервале построения (моду).

На рис. 2. приведен характерный пример суточных вариаций и выделения аномалий по трем различным частотным каналам регистратора «Алярм-Сейсмо-03» по станции Эльбрусский.

Как видно из данного примера, при верной настройке аппаратной части, вариации ЭМИ по всем трем частотным каналам практически идентичны. Причем большей чувствительностью традиционно обладает канал 1-3 кГц. Этот пример, подтвержденный неоднократно на различных станциях и в разные сезоны, однозначно убеждает нас в допустимости использования только одного частотного диапазона при мониторинге ЭМИ. Причем, в зависимости от геологических и технических условий расположения пункта, значение базовой частоты регистрации можно изменять в небольших пределах. Данный вывод послужил основанием для приобретения нового типа регистраторов ЭМИ – одноканального регистратора ГР-01 с телеметрией и регулируемой опорной частотой, что почти вдвое позволило снизить затраты на оборудование сети.

В связи с тем, что аномальные проявления ЭМИ фиксируются краткосрочно – за несколько суток до землетрясения – эта особенность реакции ЭМИ использовалась для уточнения стадии развития сейсмогеодинамического процесса и степени сейсмической опасности. Как и в работах авторов, указанных в первой части статьи, аномально высокая электромагнитная эмиссия регистрируется на последней фазе подготовки землетрясения, когда уже начался практически необратимый процесс разрушения горных пород, что подтверждается и результатами наблюдений. Так, наиболее четкие и контрастные всплески ЭМИ в связи с сейсмической активностью прослеживались по пунктам высокогорной части региона в низкочастотном диапазоне: Даргавс (до 65000 имп/10 мин продолжительностью около 8 час и 16

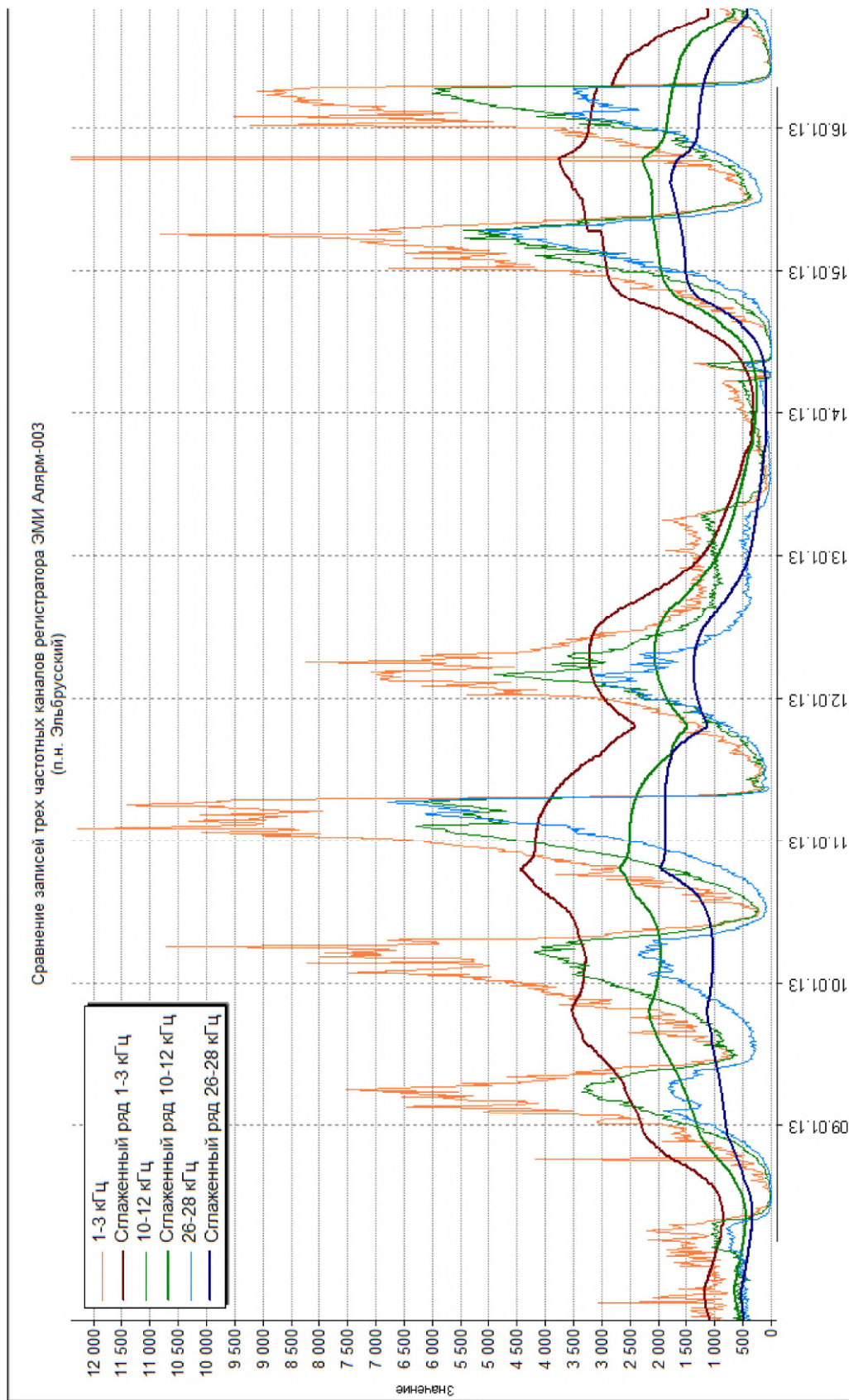


Рис. 2. Пример суточных вариаций и выделения аномалий по трем различным частотным каналам регистратора «Аляри-Сейсмо-03» по станции Эльбрусский.

час) и новый Эльбрусский (порядка 25000 имп/10 мин продолжительностью до суток) с заблаговременностью проявления аномалий от 0,5 до 11 суток.

Следует отметить, что аномальные повышения интенсивности импульсов ЭМИ в период подготовки сейсмических событий в данном случае носят ярко выраженный региональный характер, о чем свидетельствуют практически синхронные и схожие по форме аномалии по восточным, центральным и западным станциям. При дальнейшем более детальном анализе поведения аномалий возможно будет установлена зависимость направления распространения аномалии (по времени «вступления») от предполагаемого района подготовки землетрясения с учетом особенностей тектонического строения региона. На рис. 3. показана аномальная активность ЭМИ по всем станциям от Черного моря (станции Сочинского полигона) до Каспийского моря (Сергокала, Дагестанский полигон) в сопоставлении с сейсмичностью в радиусе 300 км от ст. Эстосадок. Значительное повышение уровня фона и наложенных на него аномалий наблюдалось на всей территории с начала ноября 2012 года и по первые числа мая 2013 г. В этот период наблюдается повышение сейсмической активности региона с возникновением трех очаговых зон: в акватории Черного моря, в приграничной зоне Дагестан-Азербайджан и в горной части Чеченской республики. Также следует отметить три ощутимых землетрясения магнитудой более 4-5,4 в районе Тебердинского поднятия.

В более детальном примере на рис. 4. показаны синхронные аномалии, предшествовавшие возникновению Сухумской очаговой зоны в акватории Черного моря. На графике показаны только сейсмические события магнитудой выше 4. Основное событие произошло 23 декабря 2012 года. Затухающая активность очага продолжалась по май 2013 года и практически отсутствует по настоящее время (за редким исключением). Пик возникновения афтершоков пришелся на первую декаду после основного события. Число афтершоков магнитудой выше 4 достигло 10.

Рис. 5. демонстрирует четко выраженную сезонную цикличность изменения интенсивности ЭМИ по трем пунктам наблюдения – Эстосадок, Эльбрусский и Даргавс. Эта закономерность прослеживается и в данных с остальных регистраторов региональной сети. *Нарастание среднесуточного значения количества импульсов начинается в октябре-ноябре и продолжается до мая, достигая максимума в январе-феврале, сезонный минимум приходится на летние месяцы.* Заметны также промежуточные локальные максимумы в марте-апреле. При этом характерная форма суточных вариаций сохраняется. В связи с этой особенностью сезонного смещения фона, приходится использовать плавающий коэффициент нормирования при выделении аномалий.

Сопоставление многолетних графиков сезонных вариаций ЭМИ с графиком солнечной активности (синяя пунктирная линия) и сглаженной кривой среднемесячных значений чисел Вольфа (жирная синяя пунктирная линия) на первый взгляд не позволяет визуально выделить заметную взаимосвязь указанных процессов. Однако этот факт следует проверить путем обработки спектральных форм сигналов. В то же время анализ среднемесячных барических вариаций по центральной части Северного Кавказа за период наблюдений 2011-2014 гг. в сопоставлении с графиком солнечной активности (рис.6) показывает наличие корреляционной зависимости. В настоящее время ведется работа по количественной оценке корреляции многолетних рядов наблюдений геофизических полей и барических вариаций.

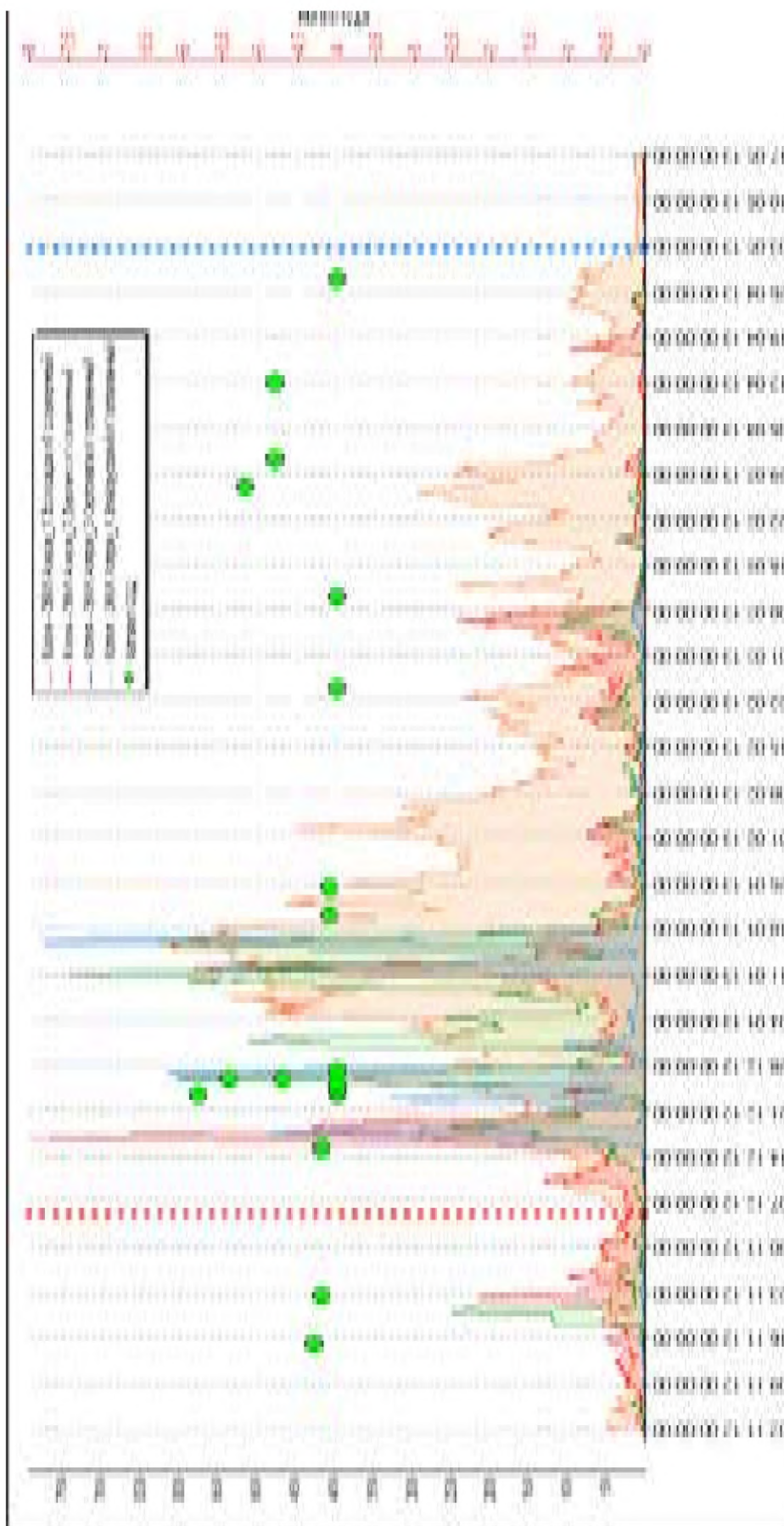


Рис. 3. Комплексный график ЭМИ по четырем станциям в период зимне-весенней сейсмической активности.

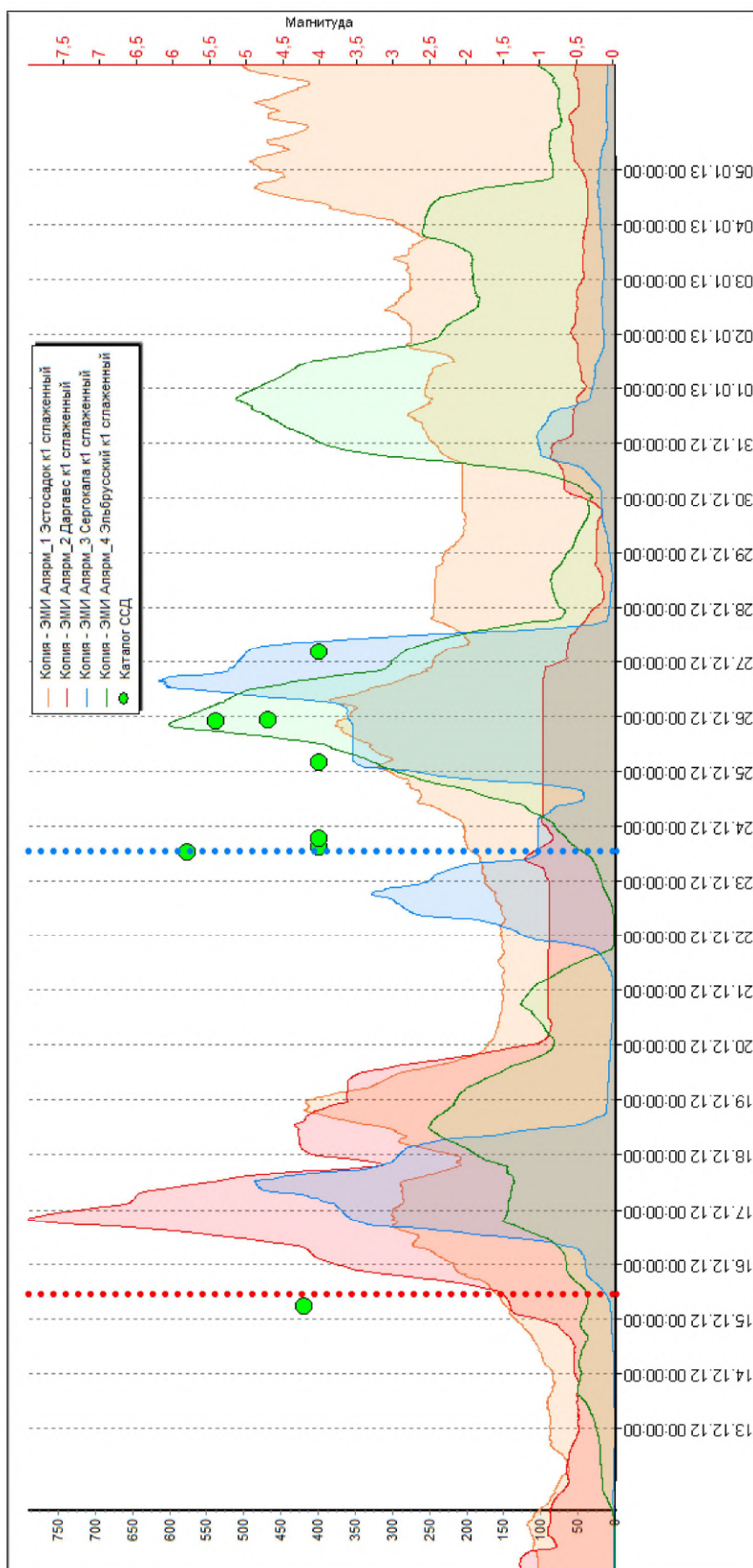


Рис. 4. Синхронные региональные аномалии ЭМИ по четырем станциям перед возникновением Сухумского очага и в период максимальной по магнитуде афтершоковой активности.

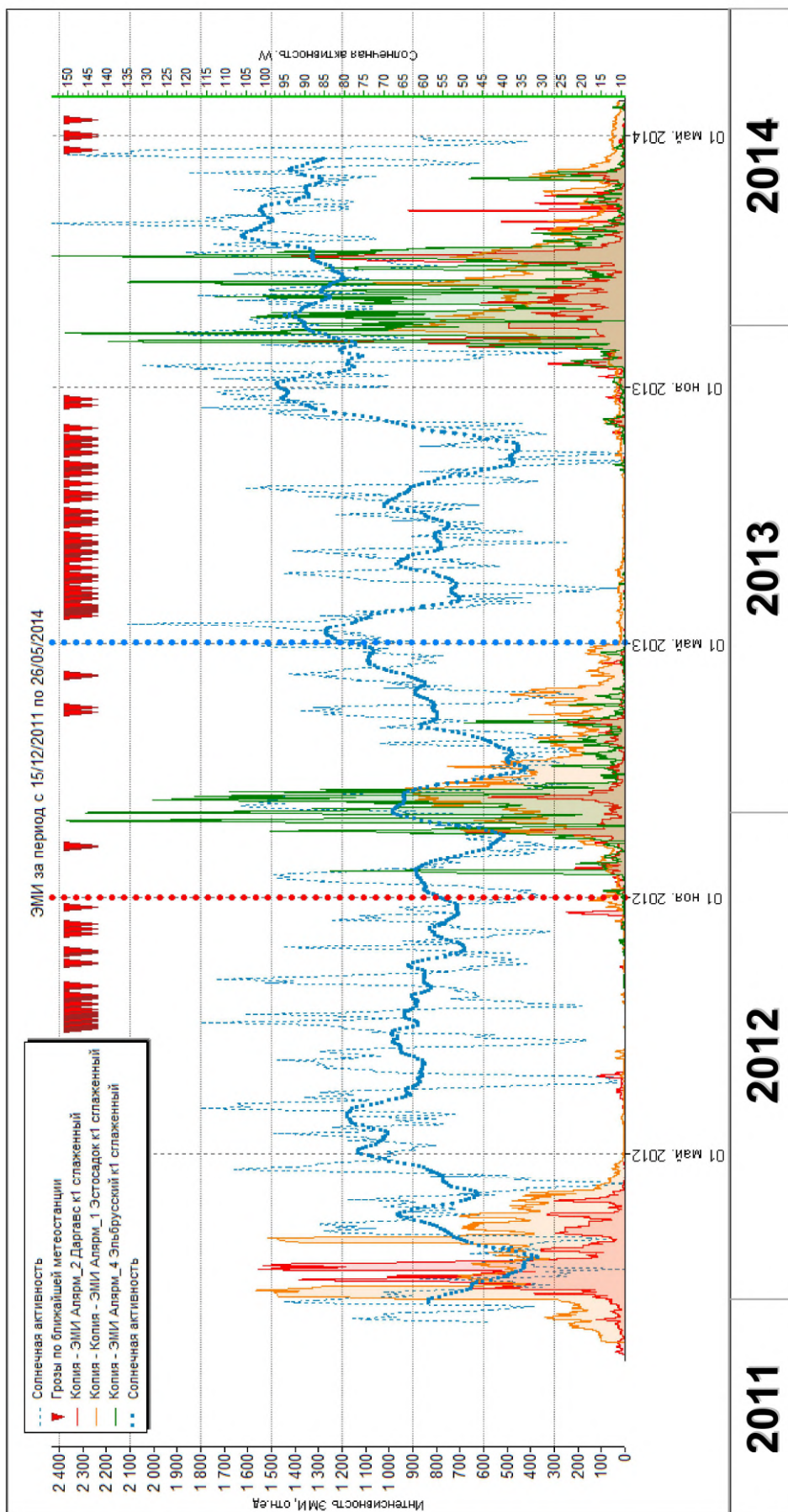


Рис. 5. Устойчивые сезонные вариации интенсивности импульсов ЭМИ за период наблюдений 2011-2014 гг. в сопоставлении с графиком солнечной активности (числа Вольфа) и атмосферной грозовой активности.

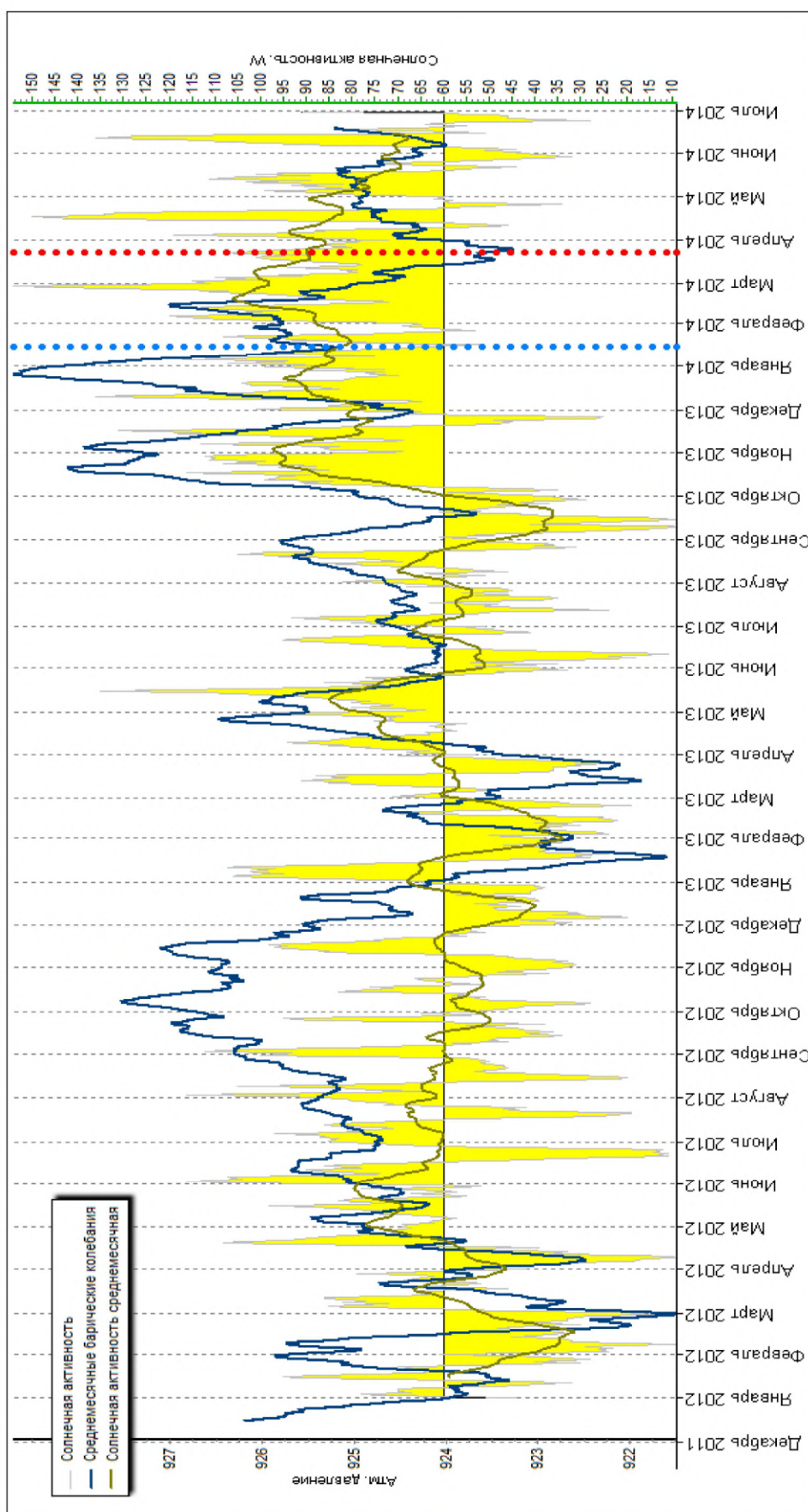


Рис. 6. Сопоставление среднемесячных барических вариаций по центральной части Северного кавказа за период наблюдений 2011-2014 гг. в сопоставлении с графиком солнечной активности (числа Вольфа).

Литература

1. Гохберг М.Б., Ешино Т., Моргунов В.А., Огава Т. Результаты регистрации оперативного электромагнитного предвестника землетрясений в Японии. (Известия АН СССР), «Физика Земли», т. 2, с. 85-87, 1982.
2. Гохберг М.Б., Моргунов В.А., Похотелов О.А. Сейсмозлектромагнитные явления. М.: Наука, 1988.
3. Малышков Ю.П., Малышков С.Ю. Периодические вариации геофизических полей и сейсмичности, их возможная связь с движением ядра земли» Геология и геофизика», 2009, т. 50, N2, с. 152-172.
4. Малышков Ю.П., Малышков С.Ю. Суточные ритмы движения земной коры и их роль в подготовке землетрясений // Институт оптического мониторинга СО РАН, г. Томск. – 2009.
5. Шемпелев А.Г., Забирченко Д.Н., Здоров А.Г., Куренков В.Н. ЭМИ Дагестанского полигона // Материалы десятых ежегодных чтений им. В.В. Федынского 27-29 февраля 2008 года. Москва, 2008. – С. 46-47.
6. Шемпелев А.Г., Забирченко Д.Н. Суточные вариации электромагнитного поля Земли. //Материалы совещания «Информационные технологии и системы (наука и практика)», Владикавказ, ВНЦ РАН и PCO-A, 2009. С. 307-309.

DOI: 10.23671/VNC.2014.3.55445

SEASONAL CYCLIC VARIATIONS IN THE GEOPHYSICAL FIELDS. ANALYSIS OF OBSERVATIONS EIEMPZ ON THE STATIONS NETWORK OF THE NORTH-CAUCASIAN REGION

Zabirchenko D.N.

ОАО «Kavkazgeolsiomka, 357600, 203, Kislovodskaya str., Essentuki, Stavropolskyi krai, Russia, kavkazgs@rusgeology.ru
Center of geophysical investigations RAS and RNO, 93a, Markov str., Vladikavkaz, Russia, e-mail: cgi_ras@mail.ru

An analysis of long-term series of observations of the natural pulsed electromagnetic field of the Earth in a network of 10 registrars, located on the Black Sea to the Caspian Sea within the seismic areas of the North Caucasus region, marked characteristic regional features of the behavior of diurnal and seasonal variations of geophysical fields. Developed a method for detecting anomalies with the offset intensity seasonal background.

Keywords: seasonal variations of geophysical fields, monitoring, exogenous geological processes, geological environment, the North Caucasus region, seismic, earthquake, seismic zone, magnitude, hypocenter, solar activity, pressure variation.