

УДК 550.34.094

DOI: 10.23671/VNC.2015.4.55305

## АНАЛИЗ НАБЛЮДЕНИЙ ЕИЭМПЗ ПО СЕТИ СТАНЦИЙ СЕВЕРО-КАВКАЗСКОГО РЕГИОНА. ВЫДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРНОГО ОБРАЗА АНОМАЛИЙ, ПРЕДВАРЯЮЩИХ АКТИВИЗАЦИЮ СЕЙСМИЧНОСТИ ЦЕНТРАЛЬНОГО И ВОСТОЧНОГО КАВКАЗА

© 2014 Д. Н. Забирченко<sup>1,2</sup>, С. С. Дьяконов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ОАО «Кавказгеолсъемка», Россия, 357600, Ставропольский край, г. Ессентуки,  
ул. Кисловодская, д. 203, kavkazgs@rusgeology.ru

<sup>2</sup>Геофизический институт ВНЦ РАН, 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) по сети из 10 регистраторов, расположенных от Черного до Каспийского моря в пределах сейсмоопасных районов Северо-Кавказского региона, выделены характерные образы аномалий, предваряющих сейсмические события с магнитудой более 4. Сделана попытка проанализировать взаимосвязь аномалий ЕИЭМПЗ с активизацией сейсмичности наиболее «горячих» сейсмических областей Центрального и Восточного Кавказа.

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

Комплексный мониторинг опасных эндогенных процессов на территории сейсмоопасных районов Северного Кавказа проводится уже более 20 лет. Он включает в себя наблюдения за гидрогеодеформационным (ГГД) полем, газогидрохимическими полями (содержание свободного и растворенного гелия в подземных водах), а также геофизическими полями (ЕИЭМПЗ) и сейсмической активностью. Традиционно, наиболее активными в сейсмическом плане являются Центральная и Восточная части региона. По результатам ранее проведённых нами работ, в процессе построения схем глубинного строения и сейсмического районирования выделены Центрально-Кавказская сейсмоактивная зона, прослеживающаяся вдоль Нальчикского разлома и Зеленокумск-Грозный-Кумухская линейно-координированная сейсмоактивная зона (ЛКСЗ), являющаяся кососекущей по отношению к общекавказскому простиранию и характеризующаяся землетрясениями мантийного заложения. Сейсмические события Центральной части – в основном мелкофокусные и не имеют достаточно чётко локализованных очагов. Возможно, причиной их возникновения являются глубинные деформационные процессы, протекающие в Восточной части региона. Глубинные разломы, тянущиеся от Каспийского до Чёрного моря, имеют большое значение в сейсмическом режиме всего Северо-Кавказского региона и Восточного Кавказа в частности. Расположение этих разломов обуславливает особенности сейсмичности региона, геотектонического и флюи-

додинамического режима, особенности пространственного положения и миграции очагов землетрясений больших магнитуд. Повышенная сейсмичность Восточной части по отношению к Западной и Центральной исходит из более высокой её подвижности в течение всего Альпийского этапа. Под влиянием давления Аравийской плиты происходит миграция сейсмической активности с юго-запада на северо-восток. Сопоставление тектонической схемы и складчатых зон с картой новейшей неотектоники позволило четко определить зоны возможных очагов землетрясений (ВОЗ). Возникновение этих зон обусловлено высокой геодинамической активностью глубинных нарушений в фундаменте.

К тектонически активным ныне живущим разломам отнесены разрывные нарушения, в зоне которых геодинамические процессы происходят в настоящее время или происходили в недалёком прошлом. Признаками жизни разломов являются в том числе и наблюдаемые в их зоне влияния изменения сейсмических, гидрогеодинамических и газгидрогеохимических полей, ЕИЭМПЗ. Перемещения сосредоточены в узких линейно вытянутых межблоковых зонах. В описываемом регионе (рис. 1) к активным тектоническим нарушениям (зонам ВОЗ) нами отнесены:

– Субмеридиональная Терекская зона, совпадающая с одноименной складчато-разрывной структурой глубинного заложения и разделяющая Центрально-Предкавказский и Восточно-Предкавказский блоки, а в горной части ограничивающая Ардонский перешеек с востока. Ее ширина изменяется от 10–12 км на юге, до 20 км на севере. В Закавказье в пределах этой зоны расположен Пасанаурский (Хевсурский) очаг землетрясений. За период с 1910 г. в этой зоне зарегистрировано больше десятка землетрясений с магнитудой более 5,5.

– Субширотная Дуба-Юрт-Центоройская зона ВОЗ протяженностью около 70 км, ограничивающая с юго-востока Сунженскую впадину и простирающаяся вдоль одноименного надвига. Сейсмическая активность зоны проявлялась в основном в виде землетрясений слабых и средних энергий. К юго-востоку от неё выделены зоны ВОЗ второго порядка Урус-Мартанская, Махкетинская и Элистанжинская, активизировавшиеся видимо в результате деформаций вызванных движением блоков Восточного Предкавказья.

– Диагональная, общекавказского простираения, Гудермесская зона ВОЗ приурочена к СЗ окончанию Восточно-Кавказской зоны концентрации тектонических деформаций. Имеет протяженность около 80 км, при ширине 10–15 км. Северо-западная часть структуры даёт начало прерывистой Малотерской зоне субмеридионального простираения приуроченной к надвиговым и складчато-разрывным нарушениям.

Нами были выделены зоны существующих очагов землетрясений, очевидно, являющихся следствием активных тектонических нарушений в структурах субмеридионального и субширотного простираения первого и второго порядков. Выделены также крупные структуры с возможностью возникновения новых очагов.

Их характерной чертой является обилие складчато-разрывных зон и разрывных нарушений различных порядков. Зоны возможного возникновения очагов землетрясений приурочены и к активным разломам, тяготеющим, в свою очередь, как правило, к глубинным разломам. Преимущественная приуроченность к ним большого количества очагов известных землетрясений, различные геологические признаки и материалы дистанционного дешифрирования позволяют их характеризо-

вать как зоны возможных очагов землетрясений с определённым сейсмическим потенциалом.

Сейсмическая опасность наиболее высока на участках пересечения продольных и поперечных по отношению к Большому Кавказу тектонических нарушений земной коры. За период работ локализовано несколько основных очагов землетрясений, с магнитудами более 4. Эти очаги, а также рои слабых землетрясений ( $M < 2-3$ ), способствуют более обоснованному наглядному выделению зон ВОЗ. Сейсмоактивной является, практически, вся территория Чеченской и Ингушской Республик, а также часть Дагестана.

На юго-восточном пересечении Дуба-Юрт-Центоройской и Гудермесской зон (рис. 2.) выделен глубинный очаг землетрясений Шелковская-Хасавюрт-Гудермес (1). Средняя глубина реализации землетрясений около 60–70 км. Очаг расположен севернее пересечения зон, поскольку глубинное простираение нарушений севернее их проекции на поверхности. Землетрясения магнитудами 5 и более фиксировались в очаге достаточно часто в течение последних 30 лет. Подобные очаги землетрясений наблюдаются и в Дагестане: – Буйнакский (2) на пересечении Гудермесской и межблоковой шовной зон с глубинами реализации 80–150 км и Тляротинский (4) на схождении нескольких мелких зон ВОЗ второго порядка.

Учитывая, что сейсмическая активность Восточной и Центральной частей Северо-Кавказского региона оценивается по ОСР-97 в 9–10 баллов, отмеченные выше зоны возможных очагов землетрясений в сейсмическом отношении представляют серьёзную опасность и требуют дальнейшего изучения.

Из геофизических показателей сейсмической активизации недр наиболее перспективными представляются наблюдения за импульсным электромагнитным излучением Земли (ЕИМПЗ или ЭМИ). Наблюдения за вариациями ЭМИ, обусловленными сеймотектонической 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. Проведенные в тот период 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.

Исследованиями большого количества ученых [Гохберг и др., 1982, 1988] в различных регионах страны и мира были сделаны некоторые выводы, находящие подтверждение и развитие в работе авторов статьи:

– **обычно момент землетрясения соответствовал спаду аномалий ЕИЭМПЗ до фонового уровня;**

– наряду с суточными, наблюдались **сезонные вариации ЕИЭМПЗ**, имеющие характер двугорбого колебания.

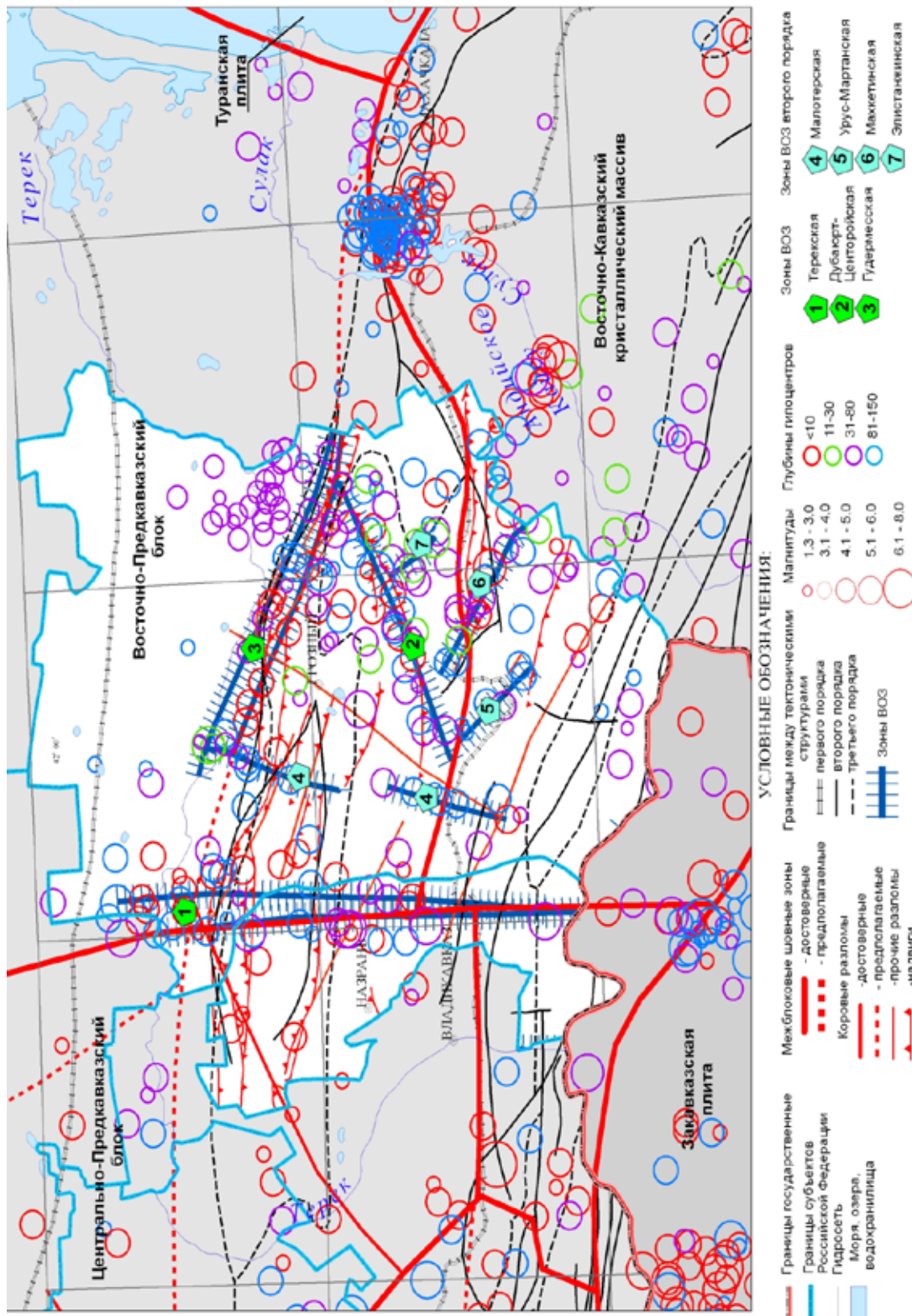


Рис. 1. Схема эпицентров землетрясений с учетом глубин гипоцентров и зоны возможных очагов землетрясений на основе карты глубинного строения

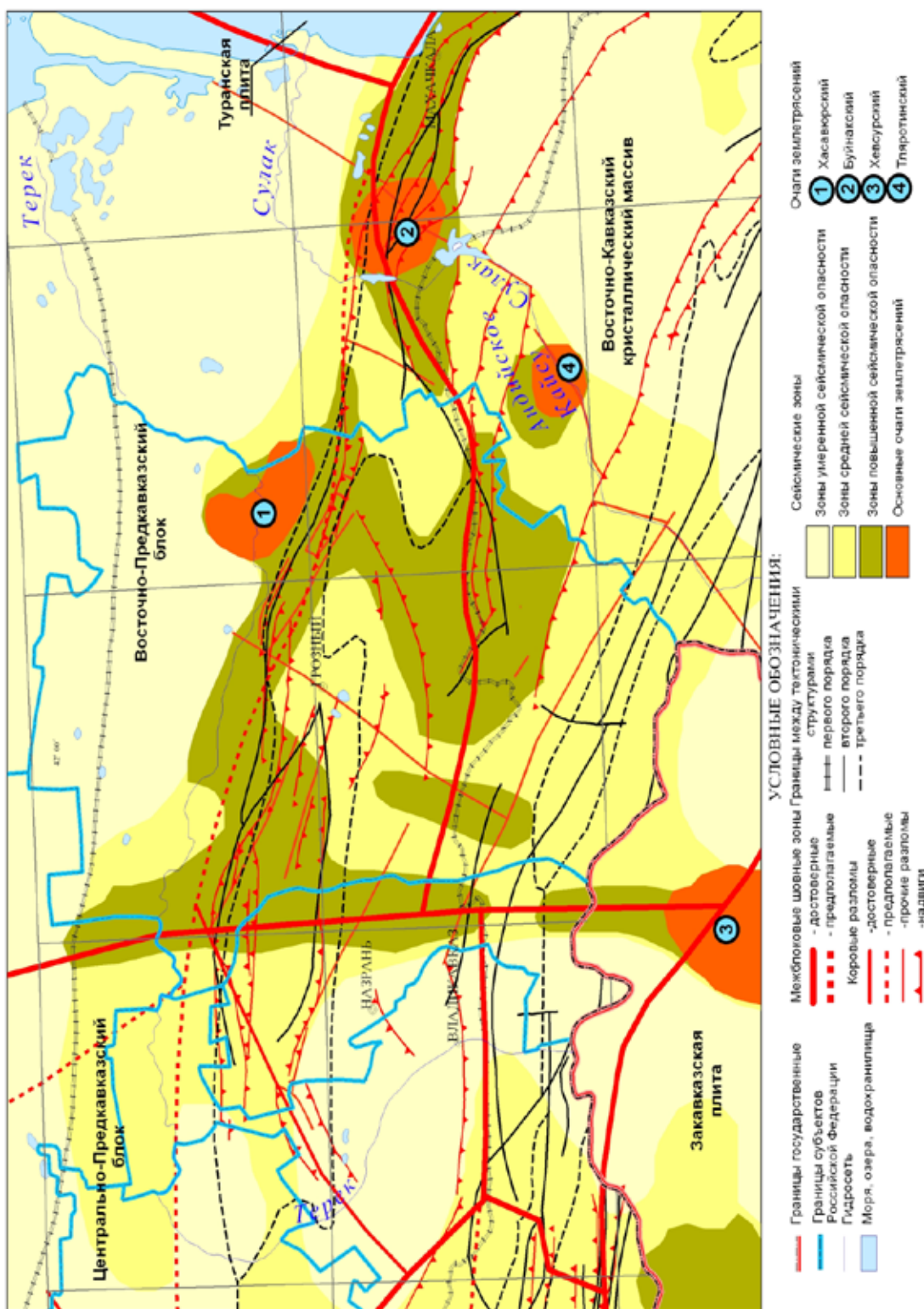


Рис. 2. Схема сеймотектонического районирования Восточной и Центральной частей Северо-Кавказского региона на основе схемы глубинного строения.

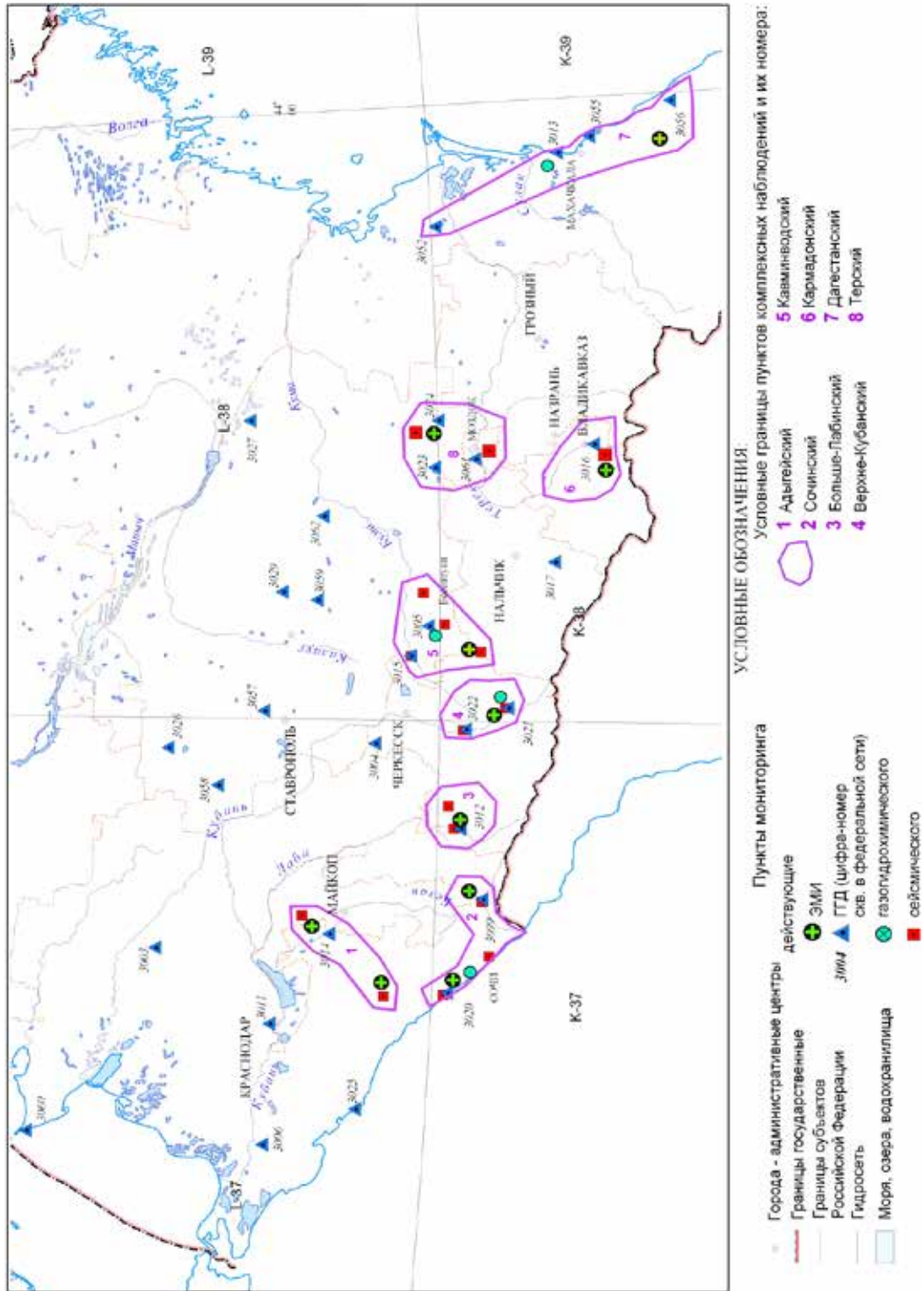


Рис.3. Схема наблюдательной сети ведения мониторинга опасных эндогенных геологических процессов сейсмоактивных территорий Северо-Кавказского региона по состоянию на 2015 г.

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 аппаратурных 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. Предполагается, 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 [Малышков Ю., Малышков С., 2009а, б].

В настоящее время исследования вариаций естественного электромагнитного излучения ЕИЭМПЗ (ЭМИ) на Северном Кавказе проводятся в непрерывном режиме по региональной сети из 10 станций (рис. 3) [Шемпелев и др., 2008; Шемпелев, Забирченко, 2009]. Регистрация ведется посредством трех типов оборудования: программно-аппаратного комплекса «Alarm-seismo», многоканальных регистраторов «МГР-01М», одноканальных регистраторов с регулируемой резонансной частотой «ГР-01». В процессе работы были уточнены 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 асейсмичный 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. 4. приведен характерный пример суточных вариаций и выделения аномалий по трем различным частотным каналам регистратора «Алярм-Сейсмо-03» по станции Эльбрусский.

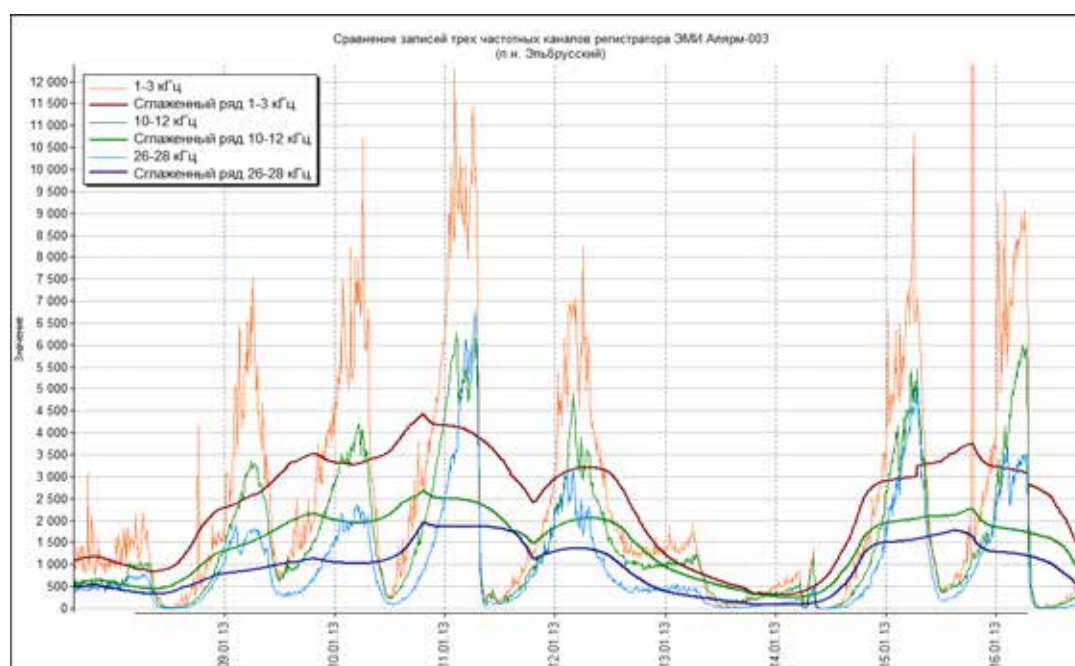


Рис. 4. Пример суточных вариаций и выделения аномалий по трем различным частотным каналам регистратора «Аляр-Сейсмо-03» по станции Эльбрусский.

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.

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 предшественников, аномально высокая электромагнитная эмиссия регистрируется на последней фазе подготовки землетрясения, когда уже начался практически необратимый процесс разрушения горных пород, что подтверждается и результатами наблюдений.

Рис. 4 демонстрирует описанную в предыдущих публикациях [Забирченко, 2014] четко выраженную сезонную цикличность изменения интенсивности ЭМИ по всем пунктам наблюдения. *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.

На рис. 5 показаны синхронные аномалии, предшествовавшие возникновению Сухумской очаговой зоны в акватории Черного моря. На графике показаны только сейсмические события магнитудой выше 4. Основное событие с  $M=5.8$  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.



Возвращаясь к вышеописанным схемам сейсмотектонического районирования Восточной части региона, проанализируем характерные примеры возникновения аномалий ЭМИ по нескольким станциям, предваряющим высокомагнитудные события в очаговых зонах и в пределах зон средней и повышенной сейсмоопасности.

Так, например, на рис.6. приведен сводный график вариаций ЭМИ за период с 29.10 по 28.11.14 г. в низкочастотном диапазоне в сопоставлении с сейсмичностью по данным ССД ГС РАН. Предполагаемые предвестники сейсмических событий (то есть группа аномалий, превышающих фоновые значения в 5–8 раз) выделены красной огибающей, которая представляет собой некую трехпиковую кривую с достаточно резким фронтом, явно выраженными максимумами и плавным спадом, возвращающимся к фоновому уровню. Продолжительность аномалии составила 8–9 суток (по длительности реакции ближайшей к очагу землетрясений станции «Сергокала» в Дагестане, синяя кривая). От момента наступления «затишья» до момента активизации очаговых зон прошло 10–11 суток. При этом станция «Сергокала» продолжала регистрировать менее интенсивные плавно нарастающие всплески количества импульсов ЭМИ вплоть до завершения сейсмической активности в очаге.

Аналогичные примеры приведены на рисунках 7 и 8, демонстрирующих аномальную активность геофизических полей в процессе подготовки серий землетрясений в тех же очаговых зонах и в пределах областей повышенной сейсмоопасности Восточного Кавказа. Форма абриса аномалии представляется весьма характерной, что подтверждается и множеством примеров, не приведенных в данной статье. Варьируются только скорости фронтов и спадов, а также выраженность первичного максимума.

### Выводы

На основании анализа данных пятилетних наблюдений по региональной сети регистраторов *можно выделить характерный образ аномального повышения количества импульсов ЕИЭМПЗ* по нескольким пунктам наблюдений в процессе подготовки землетрясений или активизации очаговых зон с магнитудой 4 и выше. Так, наиболее четкие и контрастные трехпиковые всплески длительностью 3–5 суток прослеживались по пунктам высокогорной части региона в низкочастотном диапазоне с заблаговременностью проявления аномалий (от момента спада) от 0,5 до 15 суток. Следует отметить, что аномальные повышения интенсивности импульсов ЭМИ в период подготовки сейсмических событий в приведенных на рис. 3 областях в данном случае носят ярко выраженный региональный характер, о чем свидетельствуют практически синхронные и схожие по форме аномалии по восточным, центральным и западным станциям, с очевидным ступенчатым продолжением аномалии по восточным пунктам наблюдений (направление аномалии Запад-Центр-Восток). При более детальном анализе поведения аномалий возможно будет подтверждена очевидная на данных примерах зависимость направления распространения аномалии (по времени «вступления») от предполагаемого района подготовки землетрясения с учетом особенностей тектонического строения региона. Выделение характерного образа аномалии может позволить автоматизировать обнаружение предвестников.

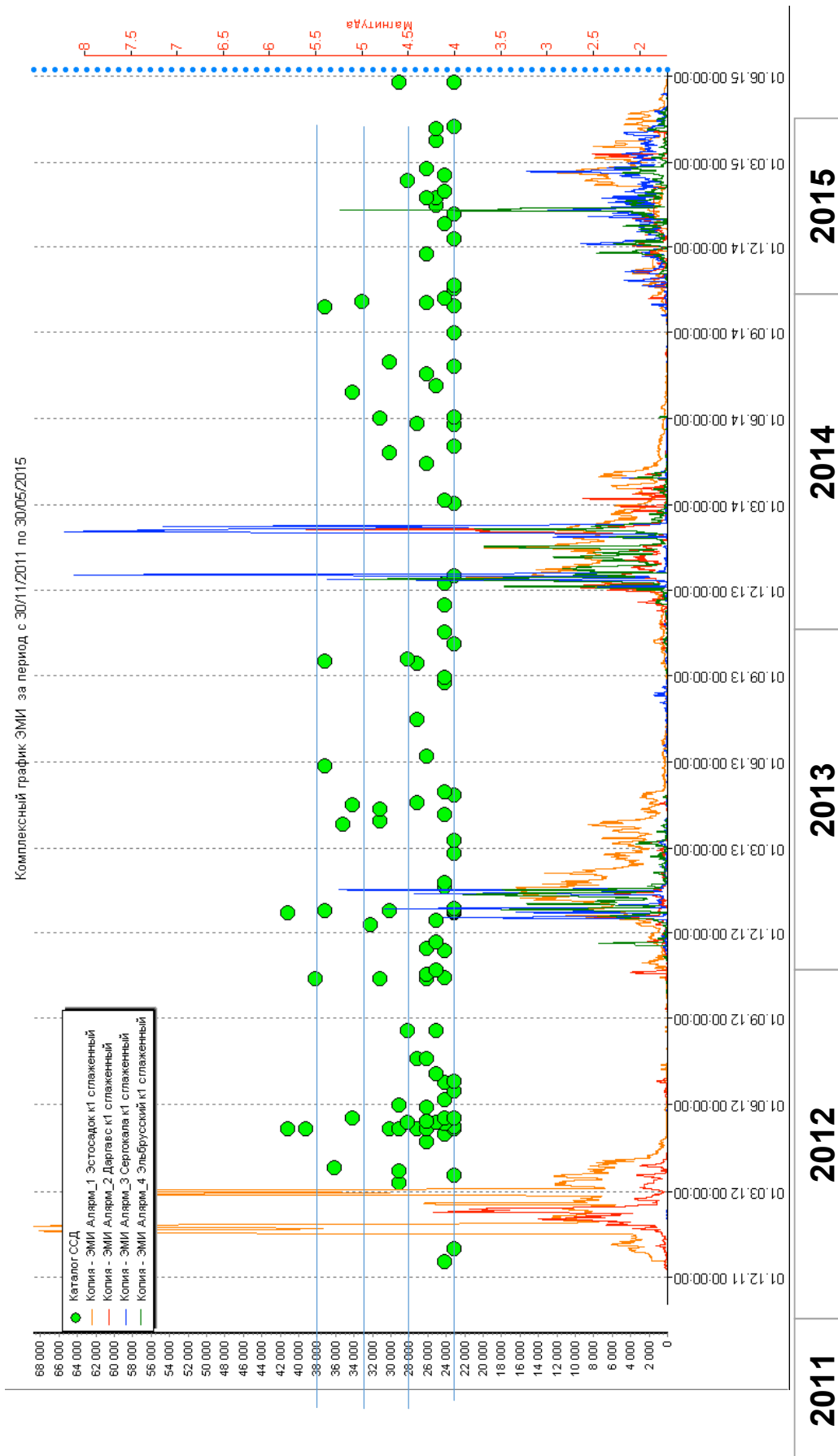


Рис. 4. Устойчивые сезонные вариации интенсивности импульсов ЭМИ за период наблюдений 2011–2015 гг. в сопоставлении с сейсмичностью региона с магнитудой более 4.

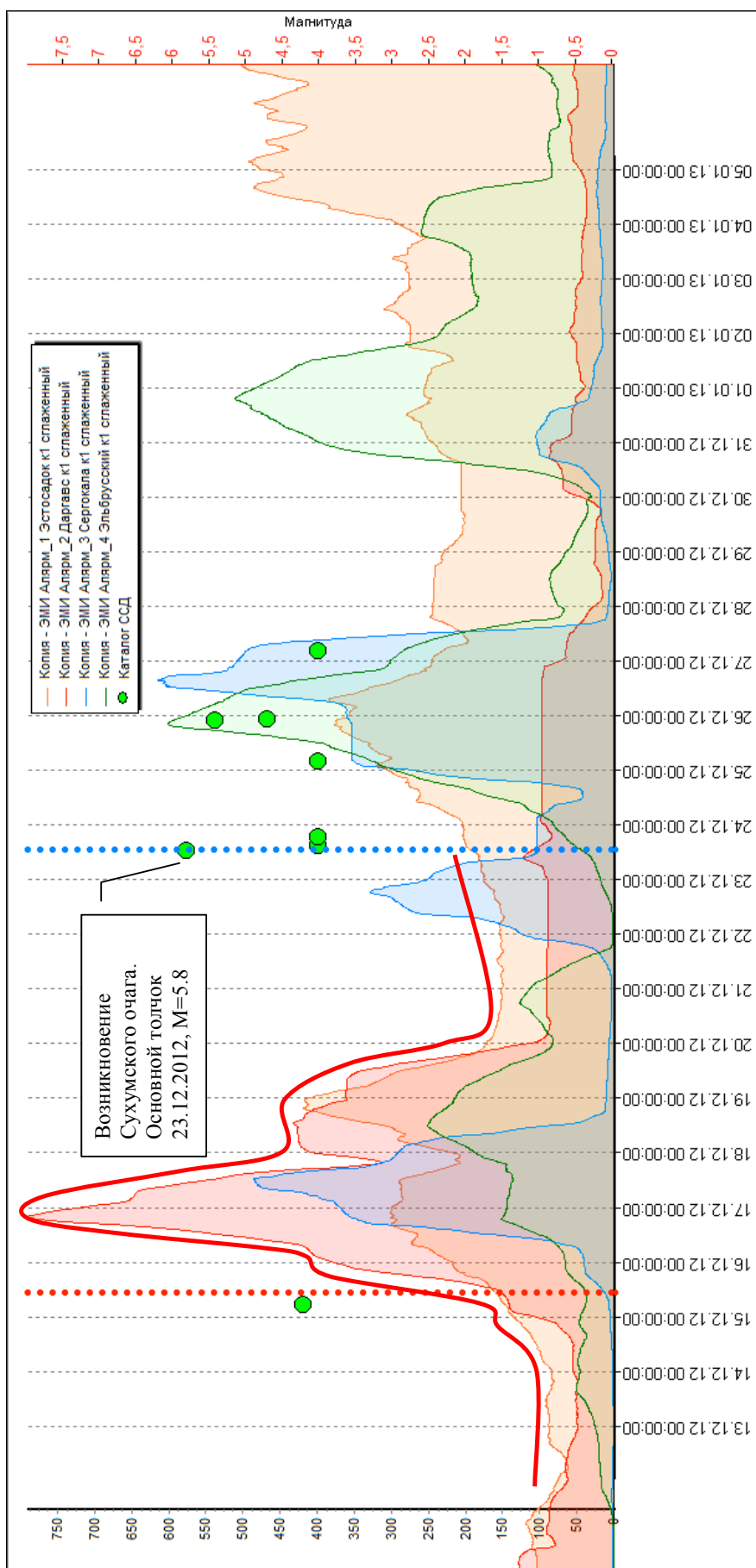


Рис. 5. Синхронные региональные аномалии ЭМИ по четырем станциям перед возникновением Сухумского очага и в период максимальной по магнитуде афтершоковой активности.

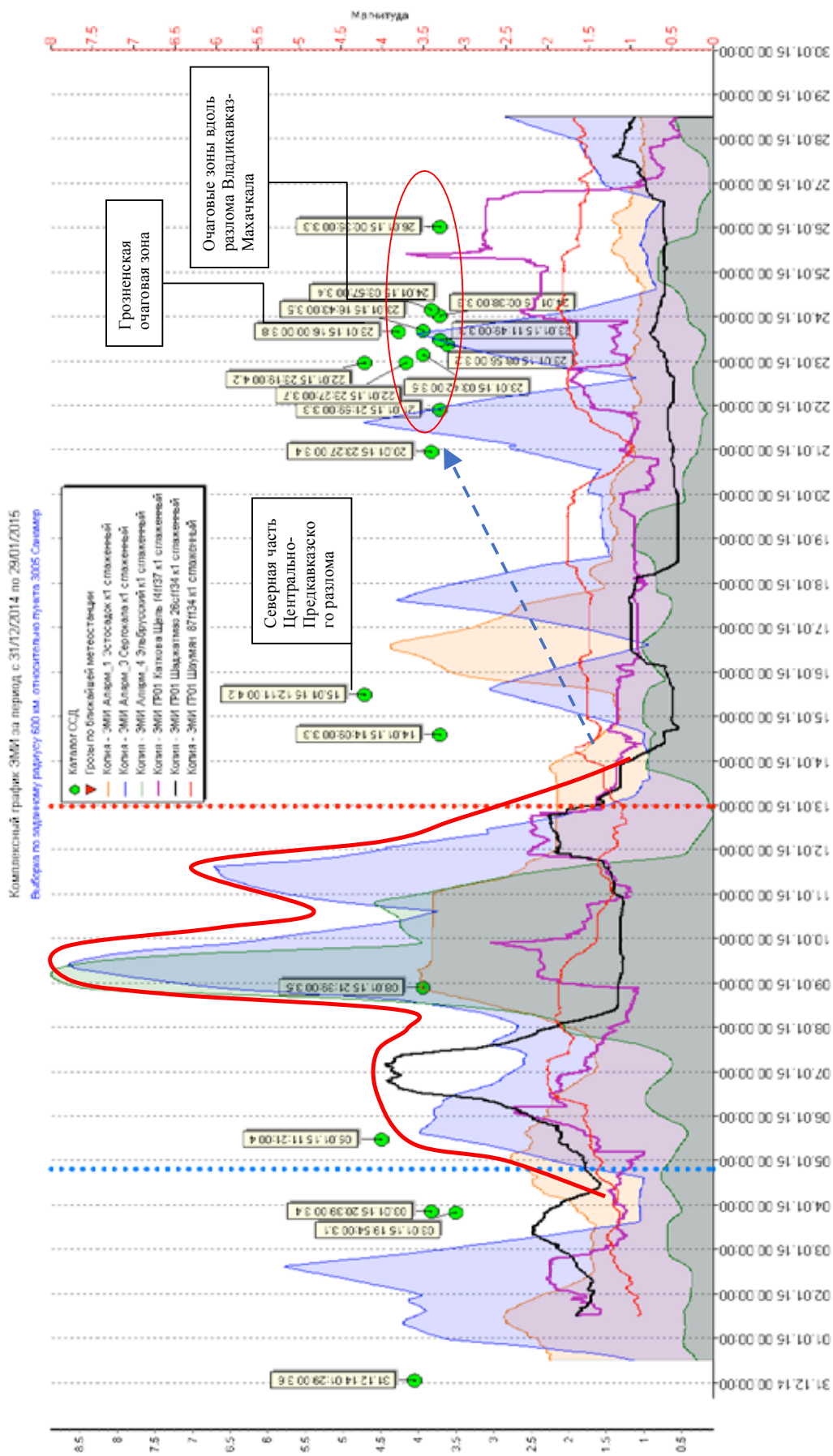


Рис. 6. Сводный график вариации ЭМИ за период с 29.10 по 28.11.14 г. в низкочастотном диапазоне в сопоставлении с сейсмичностью по данным ССД ГС РАН. Предполагаемые предвестники сейсмических событий.

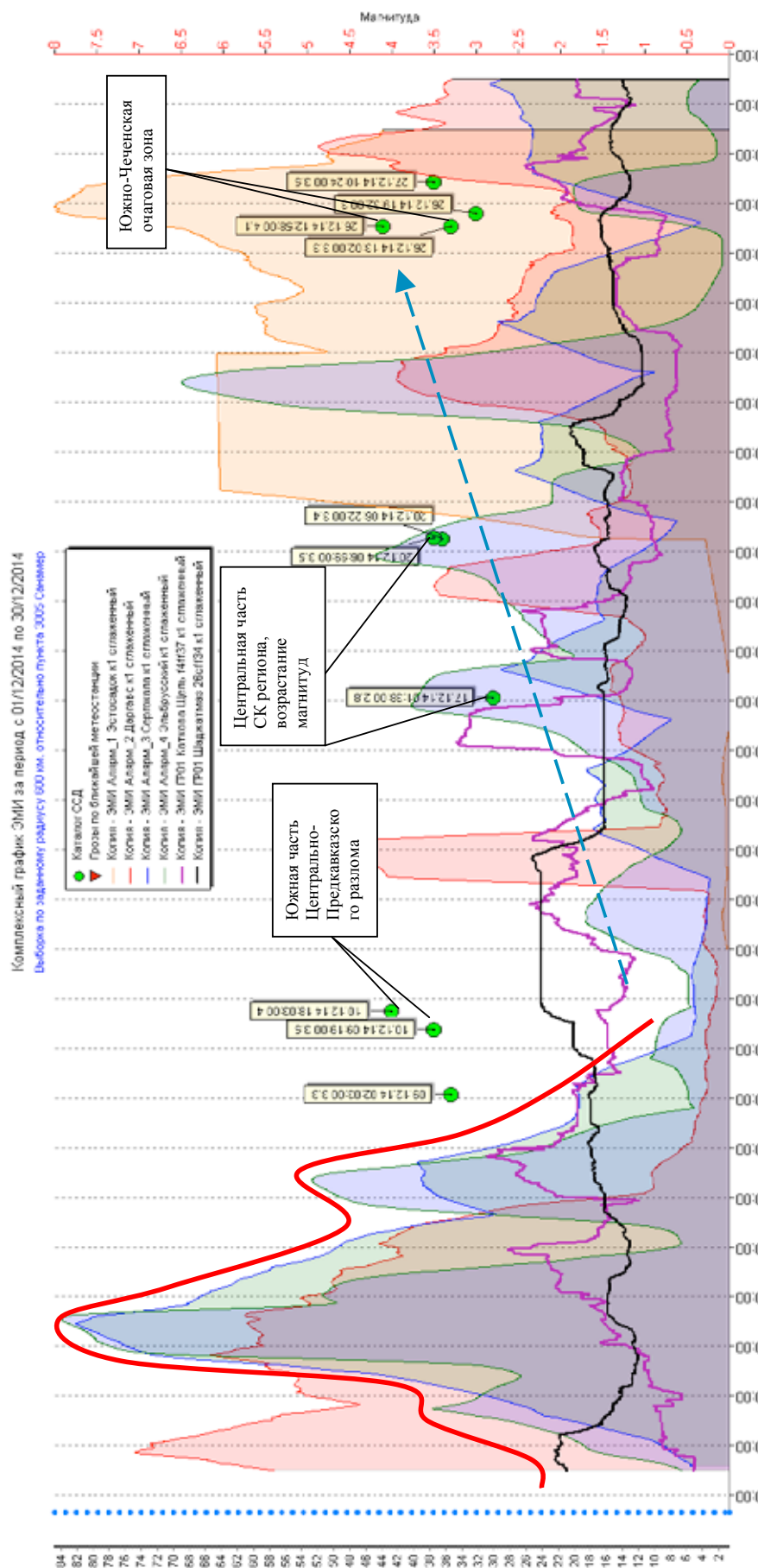


Рис. 7. Сводный график вариации ЭМИ за период с 01.12 по 30.12.14 г. в низкочастотном диапазоне в сопоставлении с сейсмичностью по данным ССДГС РАН. Предполагаемые превентивки сейсмических событий.

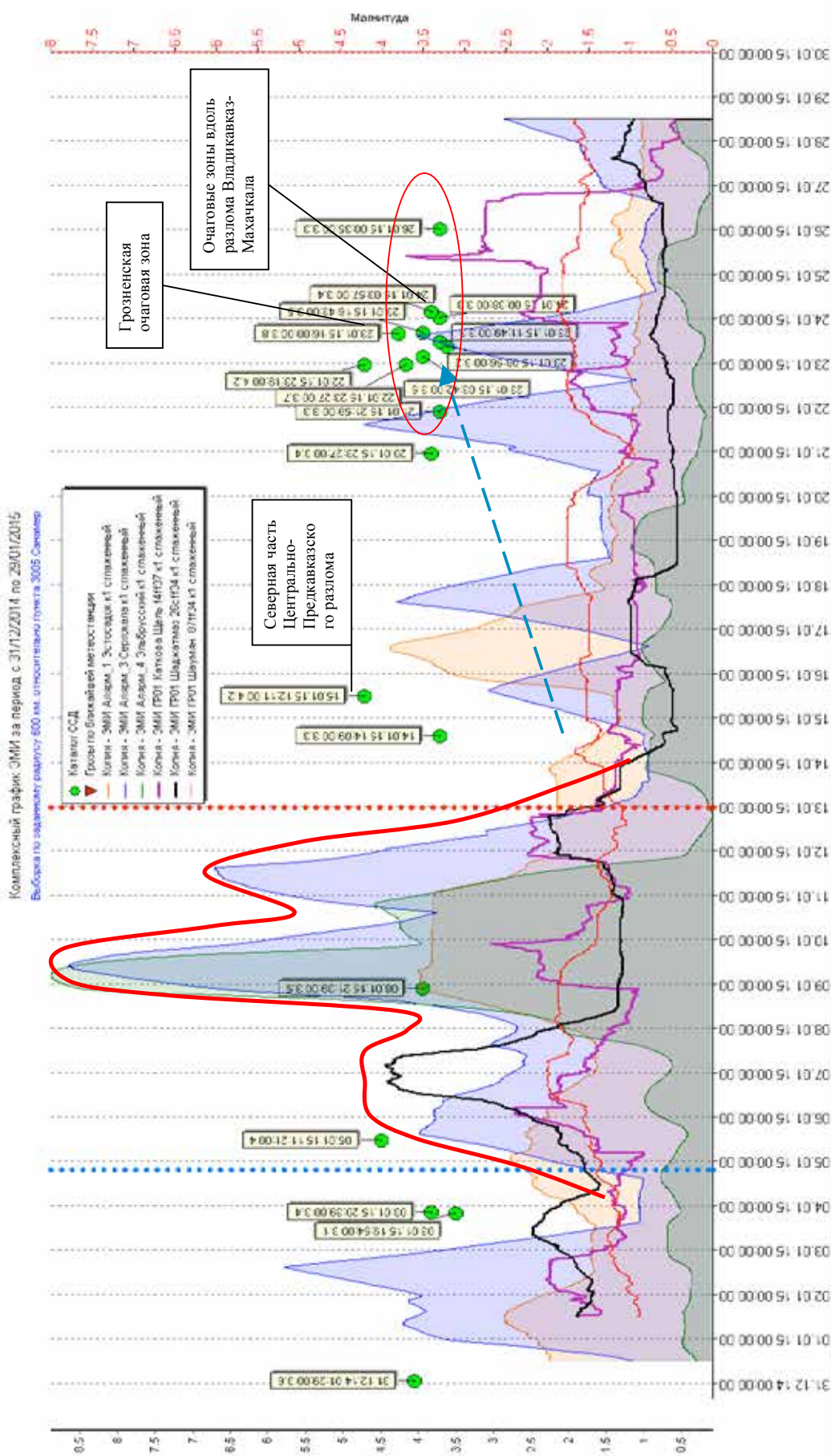


Рис. 8. Сводный график вариаций ЭМИ за период с 31.12.2014 по 30.01.2015 г. в низкочастотном диапазоне в сопоставлении с сейсмичностью по данным ССД ГС РАН. Предполагаемые предвестники сейсмических событий.

### 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. Сейсмоэлектромагнитные явления. М.: Наука, 1988.
3. Забирченко Д. Н. Сезонные циклические вариации геофизических полей. Анализ наблюдений ЕИЭМПЗ по сети станций Северо-Кавказского региона. Геология и геофизика Юга России. 2014. № 3. С. 40–51.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Шемпелев А. Г., Забирченко Д. Н. Суточные вариации электромагнитного поля Земли. // Материалы совещания «Информационные технологии и системы (наука и практика)», Владикавказ, ВНИЦ РАН и РСО-А, 2009. С. 307–309.

DOI: 10.23671/VNC.2015.4.55305

## **ANALYSIS OF OBSERVATIONS OF NATURAL PULSED ELECTROMAGNETIC FIELD OF THE EARTH USING STATIONS NETWORK OF NORTH CAUCASUS REGION. ISOLATION OF CHARACTERISTIC ANOMALY FORMS, THAT ARE PRECEDING SEISMICITY ACTIVATION OF THE CENTRAL AND EASTERN CAUCASUS**

© 2015 D. N. Zabirchenko<sup>1,2</sup>, S. S. Dyakonov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>OSC «Kavkazgeolsiomka, 357600, 203, Kislovodskaya str., Essentuki, Stavropolskiy krai, Russia, e-mail: kavkazgs@rusgeology.ru

<sup>2</sup>Geophysical institute of VSC RAS, Russia, 362002, Vladikavkaz, Markov street, 93a, 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. Do an attempt to analyze the relationship anomalies with the activation of the «hot» seismic regions in Central and Eastern Caucasus.

**Key words:** 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.