

УДК 550.34.094

DOI: 10.23671/VNC.2016.2.20806

АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ ЦИКЛИЧЕСКИХ ВАРИАЦИЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ С ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПРИЛИВНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ ЕИЭМПЗ В СЕВЕРО-КАВКАЗСКОМ СЕЙСМОАКТИВНОМ РЕГИОНЕ

© 2016 Д.Н. Забирченко^{1,2}, Л.Л. Круткин¹

¹Филиал ФГБУ «Гидроспецгеология» «Южный региональный центр ГМСН»,
Россия, 357600, Ставропольский край, г. Ессентуки, пер. Садовый, д. 4-а,
e-mail: dmitry.n.zab@gmail.com;

²ФГУБН Геофизический институт 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 особенности поведения суточных и сезонных вариаций геофизических полей. Проведен анализ взаимосвязи вариаций ЭМИ с воздействием лунно-солнечных приливных деформаций.

Ключевые слова: сезонные вариации геофизических полей, мониторинг, эндогенные геологические процессы, геологическая среда, Северо-Кавказский регион, сейсмичность, землетрясение, сейсмоактивная зона, лунно-солнечные приливные деформации.

Введение

Исследованиями последних десятилетий убедительно показано, что проблема краткосрочного прогноза землетрясений – это проблема изучения неупругих деформаций земной коры в районе подготовки землетрясения. Разработка надежных методов краткосрочного прогноза базируется на знании не только механизмов подготовки события, но и процессов, происходящих в окружающей среде в области тензочувствительности. Однако прямые деформационные измерения, в силу ряда обстоятельств (в частности, вследствие «точечности» применяемых методов измерения и фрагментарности фазы), не вполне адекватно отражают масштабные деформационные процессы, предшествующие сейсмическому удару.

Таким образом, из геофизических показателей сейсмической активизации недр наиболее перспективными представляются наблюдения за импульсным электромагнитным излучением Земли (ЕИЭМПЗ 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 наблюдения позволили отметить следующие особенности в изменении интенсив-

ности ЭМИ перед близкими землетрясениями с $K \geq 10$) 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.

Также в исследованиях ряда специалистов [Гохберг и др., 1982, 1988] наряду со стабильными суточными, наблюдались **сезонные вариации ЭМИ**, имеющие характер двугорбного 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.

Значительный вклад в изученность данной проблемы внесли работы [Малышков Ю., Малышков С., 2009а, б] 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 грозовых 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. Авторами был 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** [Малышков Ю., Малышков С., 2009а, б].

В настоящей статье будет сделана попытка некоторым образом уточнить выводы относительно причин возникновения короткопериодных циклических вариаций ЕИЭМПЗ и их взаимосвязи с воздействием приливных сил. Исследования проводились на основе данных многолетних наблюдений по сети станций Северо-Кавказского сейсмоактивного региона.

Наблюдения за вариациями ЕИЭМПЗ на Северном Кавказе

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) [Шемпелев и др., 2008; Шемпелев,

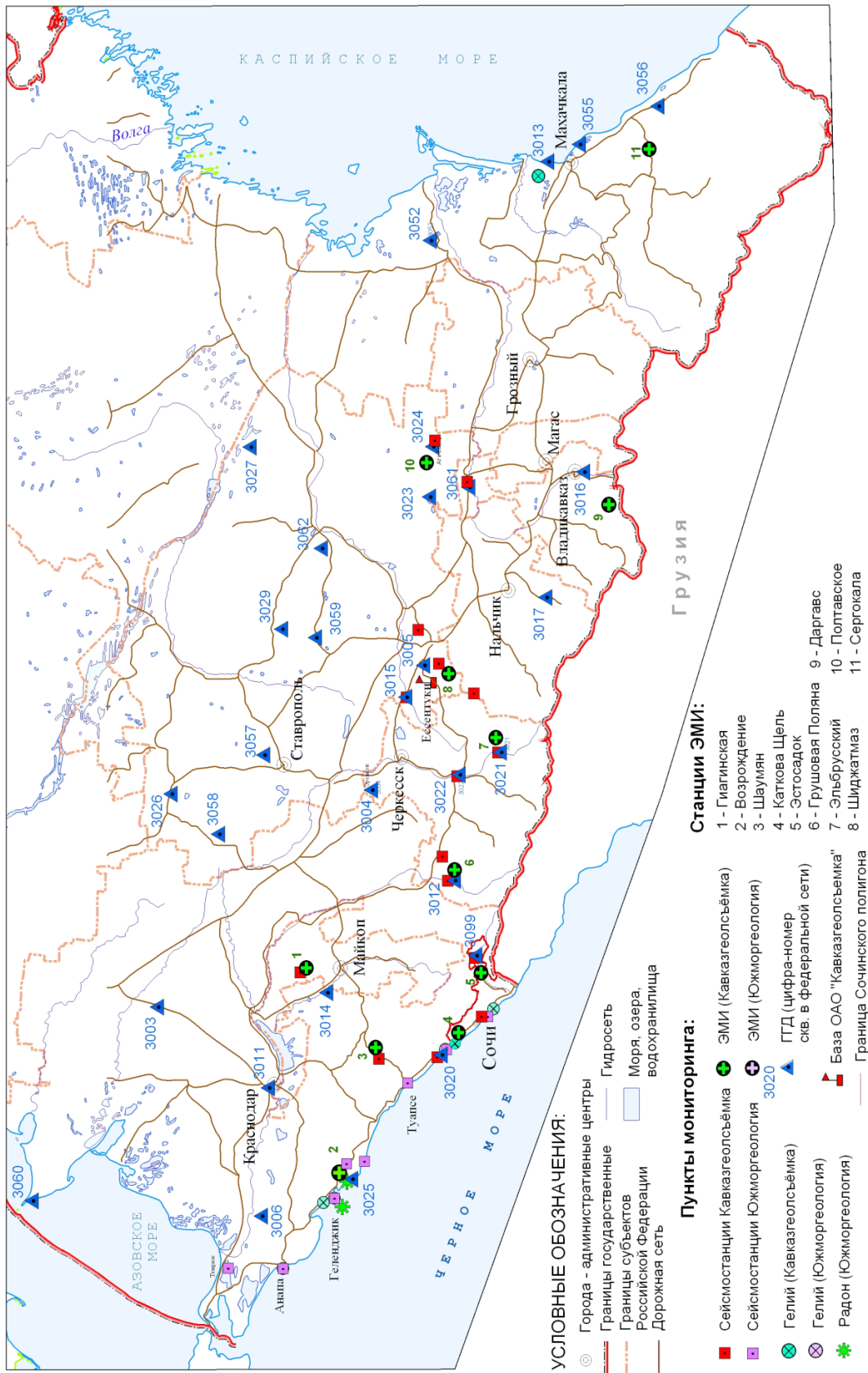


Рис. 1. Схема расположения пунктов сети мониторинга ГГД и геофизических полей Северо-Кавказского региона.

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 течение всего периода работ автором дорабатывалась методика обработки данных регистраторов ЭМИ при помощи самостоятельно разработанной информационно-аналитической системы ИС «ГГД-Комплекс» [Забирченко, 2015]. Параллельно с этим были пересмотрены критерии настройки чувствительности аппаратуры, коэффициентов усиления и порогов регистрации применительно к каждому конкретному типу оборудования. В частности, мы пришли к выводу, что с учетом сезонных вариаций среднего значения интенсивности ЭМИ, в Северо-Кавказском регионе 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 сигнала в активный осеннее-зимний период.

Однако, ввиду различных условий на пунктах регистрации ЭМИ с точки зрения геологии и тектоники, с учетом влияния местных 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. 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. 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 наших наблюдений. Так, наиболее четкие и контрастные всплески вариаций ЭМИ в связи с сейсмической активностью прослеживались по пунктам высокочастотной части региона в низкочастотном диапазоне: Даргавс (до 65000 имп/10 мин продолжительностью около 8 час и 16 час) и Эльбрусский (порядка

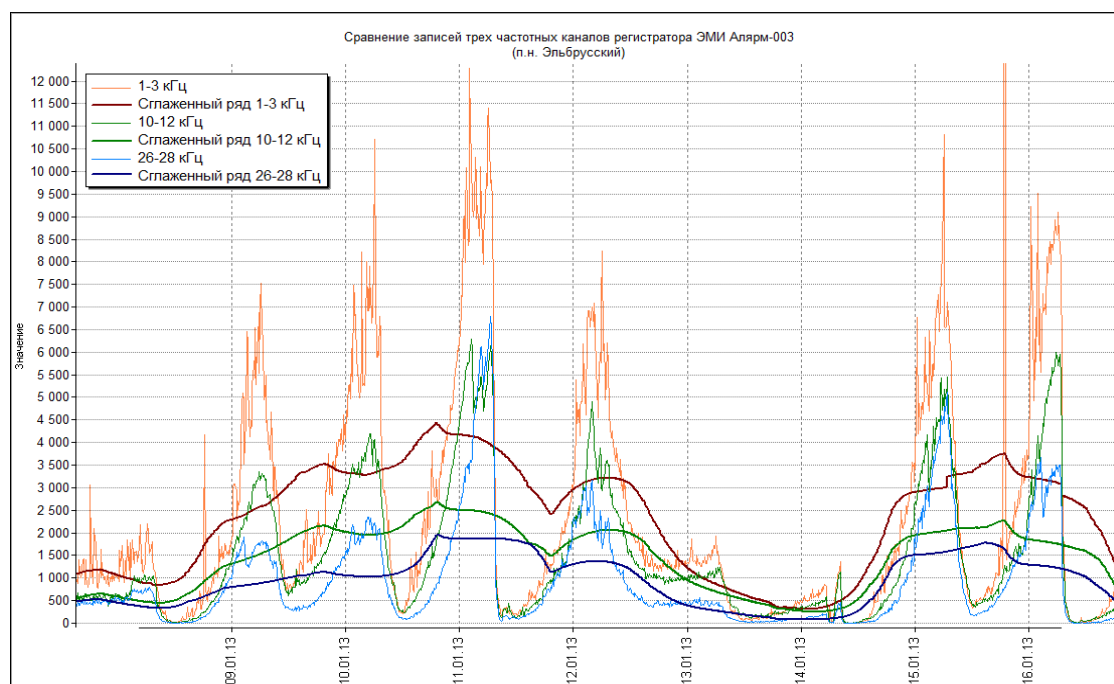


Рис. 2. Пример суточных вариаций и выделения аномалий по трем различным частотным каналам регистратора «Алярм-Сейсмо-03» по станции Эльбрусский.

25000 имп/10 мин продолжительностью до суток) с заблаговременностью проявления аномалий от 0,5 до 15 суток.

Анализ суточных и сезонных вариаций ЕИЭМПЗ

В работах большинства исследователей указывалось на наличие явно выраженного сезонного цикла количества импульсов ЕИЭМПЗ. Анализ публикаций однозначно доказывает, что характер сезонных особенностей вариаций ЕИЭМПЗ явно зависит от региона наблюдений. Так в некоторых случаях наблюдались как зимние, так и летние максимумы и весенне-осенние минимумы. Рис.3а демонстрирует уже описанную в предыдущих работах четко выраженную сезонную цикличность изменения интенсивности ЭМИ по пункту наблюдения Эстосадок. Эта закономерность прослеживается и в данных с остальных регистраторов региональной сети. *Нарастание среднесуточного значения количества импульсов в Северо-Кавказском регионе начинается в октябре-ноябре и продолжается до мая, достигая максимума в декабре-январе, сезонный минимум приходится на август-сентябрь.*

Подходя к вопросу о стабильной характерной форме суточных вариаций, напомним, что в работах Ю.П. Малышкова и С.Ю. Малышкова неоднократно указывалось на то, что усредненный за период суточный ход практически идентичен по форме для определенного месяца. Эти выводы однозначно подтверждаются нашими наблюдениями. На рис. 3б показаны среднегодовые суточные вариации по трем различным станциям (Эстосадок, Сергокала и Эльбрусский) за период с 2012 по 2016 гг. На графиках видно, что амплитуда среднегодовых суточных ходов может меняться от года к году, но характерная форма практически неизменна. Некоторые осложнения в графики вносит разброс в настройке чувствительности регистрационной аппаратуры и, вероятно, различные состояния напряженности геологической среды в разные годы. Рис. 4а наглядно показывает подобие форм среднеме-

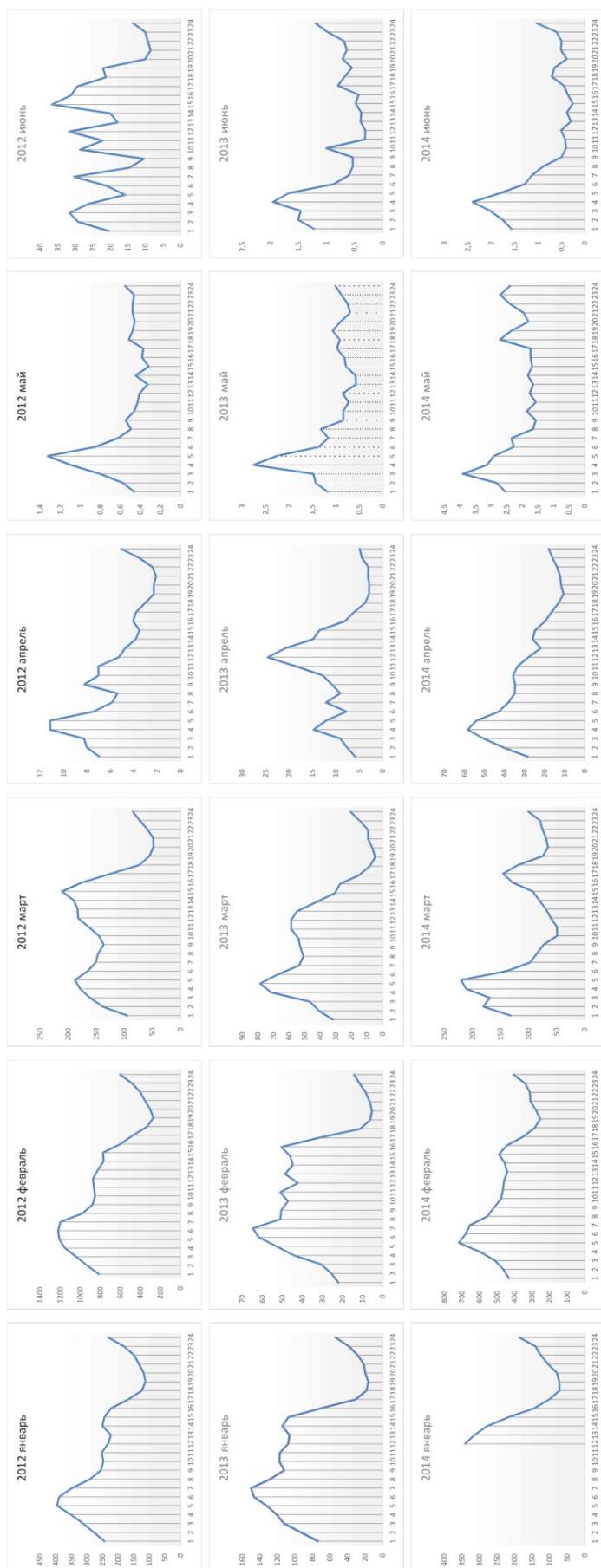


Рис. 4а Среднемесячные суточные вариации ЕИЭМПЗ по станции Даргавс за период с 2012 по 2014 гг.

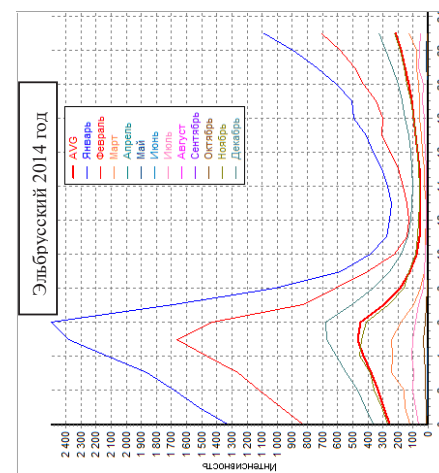
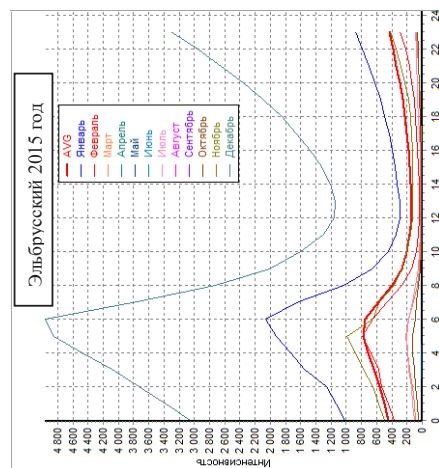
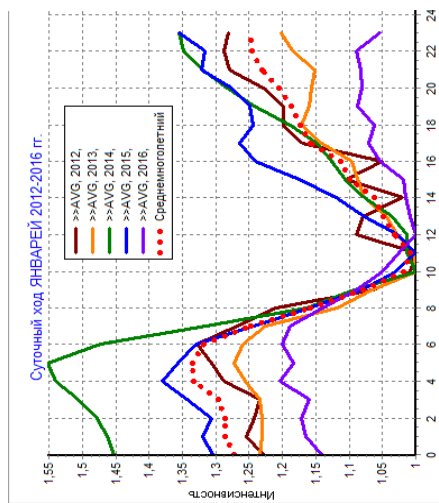


Рис. 4б Различия интенсивности среднемесячных суточных вариаций ЕИЭМПЗ в пределах года и по январям за пять лет.

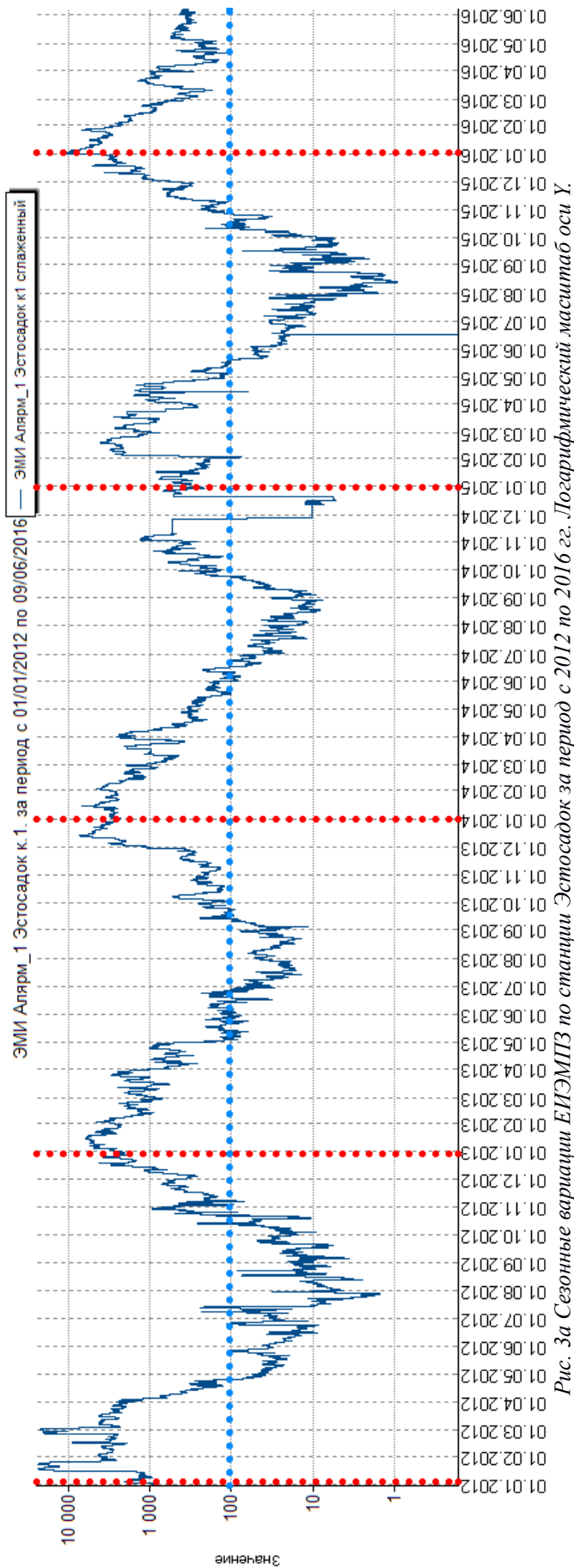


Рис. 3а Сезонные вариации ЕИЭМПЗ по станции Эстосадок за период с 2012 по 2016 гг. Логарифмический масштаб оси Y.

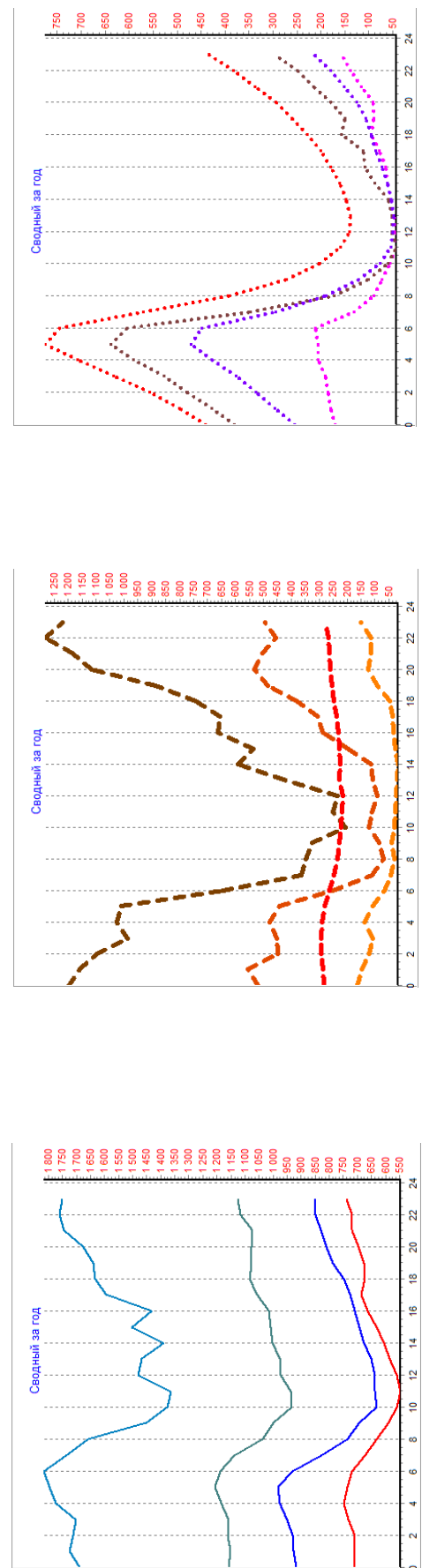


Рис. 3б Среднегодовые суточные вариации ЕИЭМПЗ по станциям Эстосадок, Серокала и Эльбрусский за период с 2012 по 2016 гг.

сячных суточных вариации ЕИЭМПЗ по станции Даргавс за период с 2012 по 2014 гг при различной интенсивности вариаций по одним и тем же месяцам разных лет. Рис. 4.б иллюстрирует различие интенсивности среднемесячных суточных вариаций ЕИЭМПЗ в пределах года и по январям за пять лет. Так, по станции Эльбрусский, наименее подверженной влиянию помех, суточные вариации имеют практически идеальную форму, однако заметно, что линия декабря на графике 2015 года значительно выше линии января, в отличие от графика 2014 года, где максимум интенсивности однозначно приходился на январь. Более толстой красной линией показан среднегодовой ход. Третий график рисунка 4а сравнивает нормированные на минимальное значение суточные ходы январей (как периодов максимальных сезонных значений) по пункту Эстосадок за пять лет. Здесь видно, что наиболее активными были 2014 и 2015 годы (интенсивность в них превышает среднемноголетнюю пунктирную кривую).

Таким образом, в характере поведения вариаций ЕИЭМПЗ прослеживается сложносоставная циклическая закономерность, которая более достоверно может быть исследована анализом спектра путем разложения временного ряда на гармонические составляющие функцией быстрого преобразования Фурье.

В процессе анализа были обработаны многолетние ряды данных по станциям Даргавс, Эстосадок, Эльбрусский, Шаджатмаз. Полученные спектры исследовались на совпадение периодов значимых выделенных гармоник с теоретическими периодами основных гармоник лунно-солнечных приливных воздействий [Spiridonov et al., 2015]. Значения частоты и периода (в часах, сутках и годах) теоретических лунно-солнечных циклов приведены в табл. 1 [Spiridonov et al., 2015].

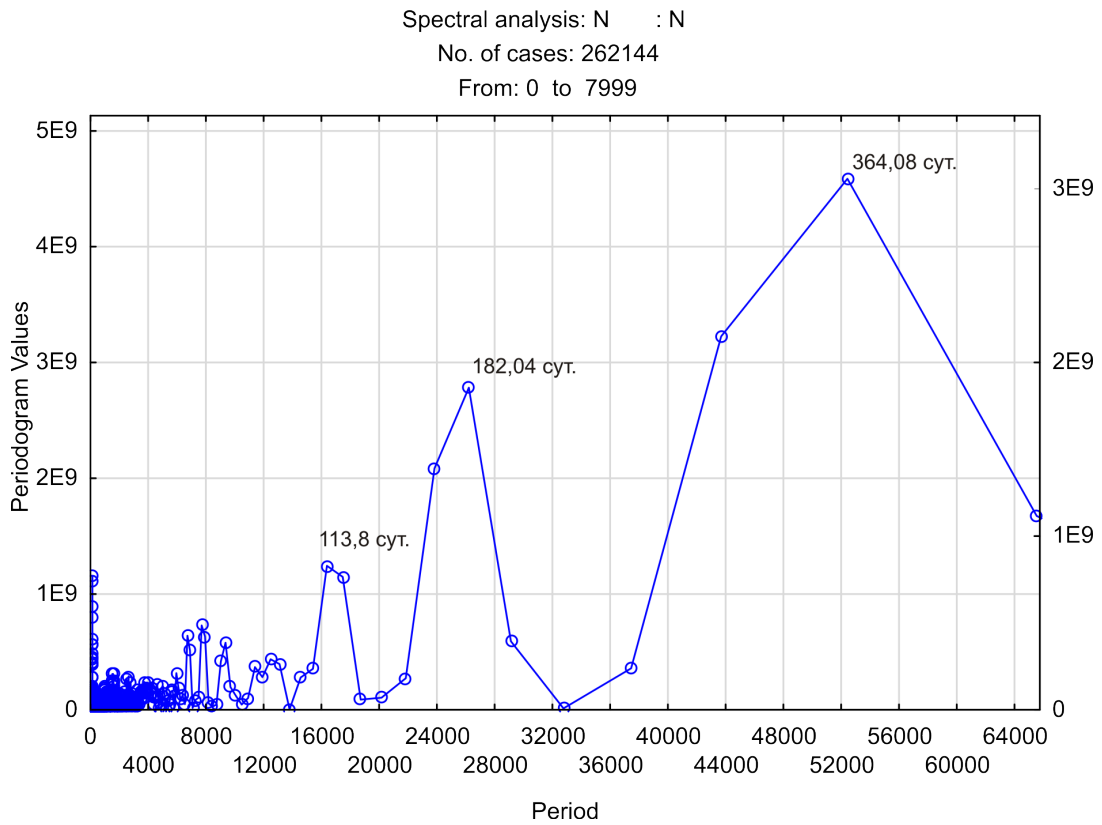
Дискретность анализируемых рядов наблюдений ЕИЭМПЗ составляет 10 минут (1/6 часа), следовательно, значению периода 144 единицы соответствует значение 24 часа. Графики построены в единицах исходного ряда.

Таблица 1.

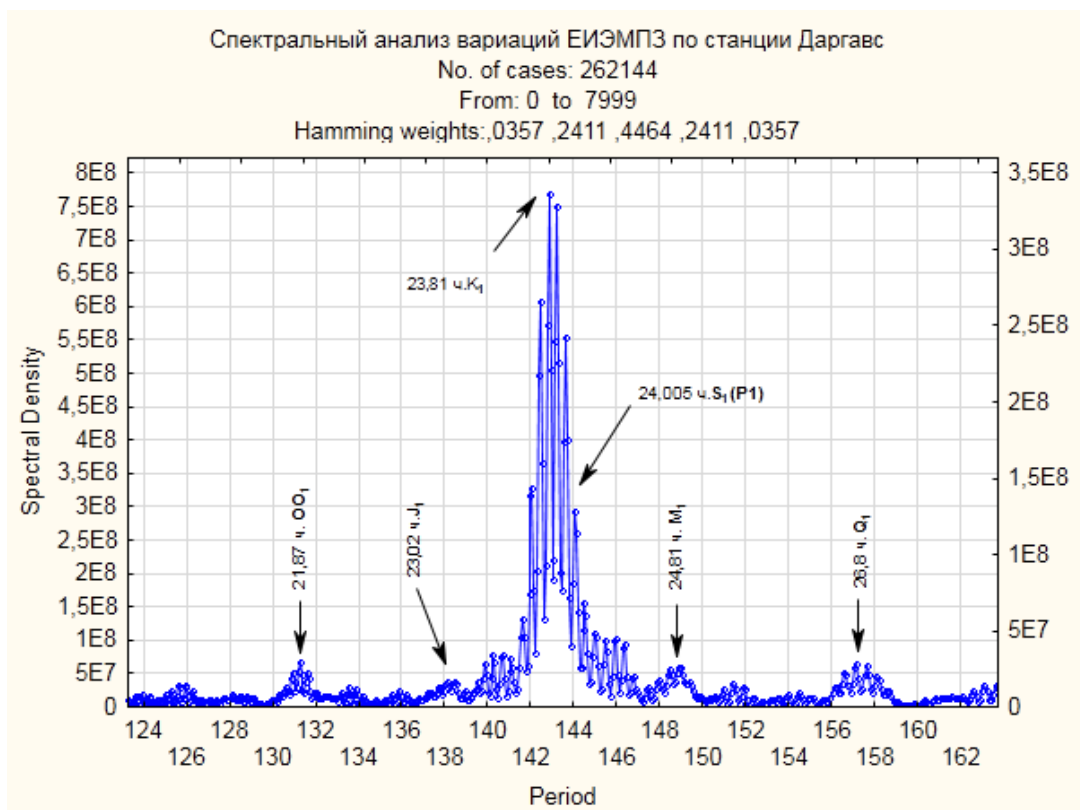
Параметры теоретических расчетных циклов лунно-солнечных приливных воздействий

N	Группа волн	Амплитуда, нм/с**2	Частота, Цикл/Сут	Период		
				Часы	Сутки	Годы
1	M4	0,91451	2,97161	8,07643	0,336518	
2	M3	7,01912	2,89841	8,280402	0,345017	
3	ETA2	3,23297	2,04177	11,75451	0,489771	
4	KSI2	1,87187	2,00577	11,96548	0,498562	
5	K2	57,82324	2,00548	11,96721	0,498634	
6	R2	1,77965	2,00274	11,98358	0,499316	
7	S2	212,74914	2	12	0,5	
8	T2	12,43269	1,99726	12,01646	0,500686	
9	TL2	3,23189	1,96918	12,18781	0,507826	
10	L2	12,92498	1,96857	12,19159	0,507983	
11	LM2	3,37194	1,96371	12,22176	0,50924	
12	M2	457,27659	1,93227	12,42062	0,517526	
13	MNI	1,57185	1,92954	12,4382	0,518258	
14	NI2	16,62923	1,90084	12,626	0,526083	

15	NIN	0,81804	1,89872	12,64009	0,526671	
16	N2	87,55012	1,89598	12,65836	0,527432	
17	NMI	0,94334	1,86729	12,85285	0,535535	
18	MI2	13,98132	1,86455	12,87174	0,536322	
19	MIN	0,35759	1,86424	12,87388	0,536412	
20	2N2	11,58524	1,85969	12,90538	0,537724	
21	NEP	0,65254	1,83311	13,0925	0,545521	
22	EPS2	3,37798	1,82826	13,12724	0,546968	
23	3N2	1,30356	1,8234	13,16222	0,548426	
24	222	0,55939	1,79196	13,39316	0,558048	
25	V1	2,49611	1,11223	21,57827	0,899095	
26	OV	0,62659	1,10676	21,68492	0,903538	
27	OO1	13,03706	1,07594	22,30608	0,92942	
28	OJ	3,95301	1,07046	22,42027	0,934178	
29	J1	23,83138	1,03903	23,09847	0,962436	
30	THE1	4,55719	1,03417	23,20702	0,966959	
31	FI1	6,06752	1,00821	23,80456	0,991857	
32	PSI1	3,33251	1,00548	23,8692	0,99455	
33	K1	426,17775	1,00274	23,93442	0,997267	
34	KS	0,23882	1,00243	23,94182	0,997576	
35	S1	3,33228	1	24	1	
36	P1	140,99789	0,99726	24,06594	1,002748	
37	PI1	8,24189	0,99452	24,13224	1,00551	
38	PIC	0,19465	0,97404	24,63965	1,026652	
39	CH1	4,55788	0,9713	24,70915	1,029548	
40	CHM	0,1472	0,96918	24,7632	1,0318	
41	M1	23,83207	0,96645	24,83315	1,034715	
42	MTU	2,23608	0,96097	24,97477	1,040615	
43	TAU1	3,95233	0,93501	25,66817	1,069507	
44	TO	1,95353	0,93015	25,80229	1,075095	
45	O1	303,02724	0,92954	25,81922	1,075801	
46	OR	1,0422	0,9268	25,89555	1,078981	
47	RO1	11,02046	0,8981	26,72308	1,113462	
48	RQ	0,54121	0,89598	26,78631	1,116096	
49	Q1	58,01826	0,89324	26,86848	1,11952	
50	QSIG	0,55459	0,89279	26,88202	1,120084	
51	SIG1	9,26549	0,86181	27,84837	1,160349	
52	2Q1	7,67667	0,85695	28,0063	1,166929	
53	MSQM	0,33202	0,14093	170,2973	7,095721	
54	MTM	2,07906	0,10949	219,1981	9,133254	
55	MSTM	0,39489	0,10464	229,3578	9,556575	
56	MF	10,85895	0,0732	327,8689	13,6612	
57	MSF	0,95163	0,06773	354,3481	14,76451	
58	MM	5,73751	0,03629	661,3392	27,5558	
59	MSM	1,09728	0,03143	763,6017	31,81674	
60	SSA	5,05292	0,00548	4379,562	182,4818	0,49995
61	SA	0,80223	0,00274	8759,124	364,9635	0,9999



а) Даргавс. Полный диапазон спектра. Характеристики длиннопериодных гармоник.



б) Даргавс. Суточный пик. Выделение короткопериодных суточных гармоник приливных воздействий.

Рис. 5. Спектральный анализ вариаций ЕИЭМПЗ по станции Даргавс за период 2012–2014.

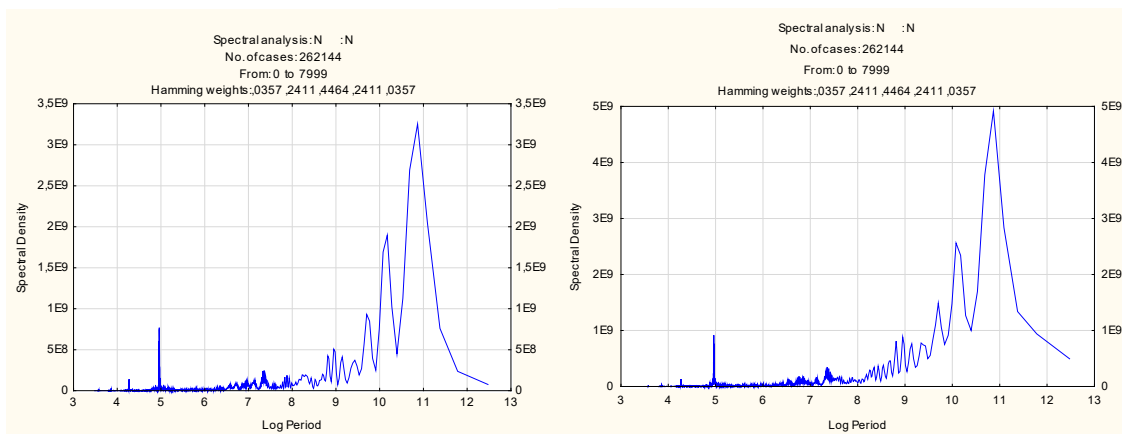


Рис. 6. Сравнение спектров вариаций ЕИЭМПЗ по станциям Даргавс и Эльбрусский за период 2012–2014 гг. По оси X взят логарифм периода.

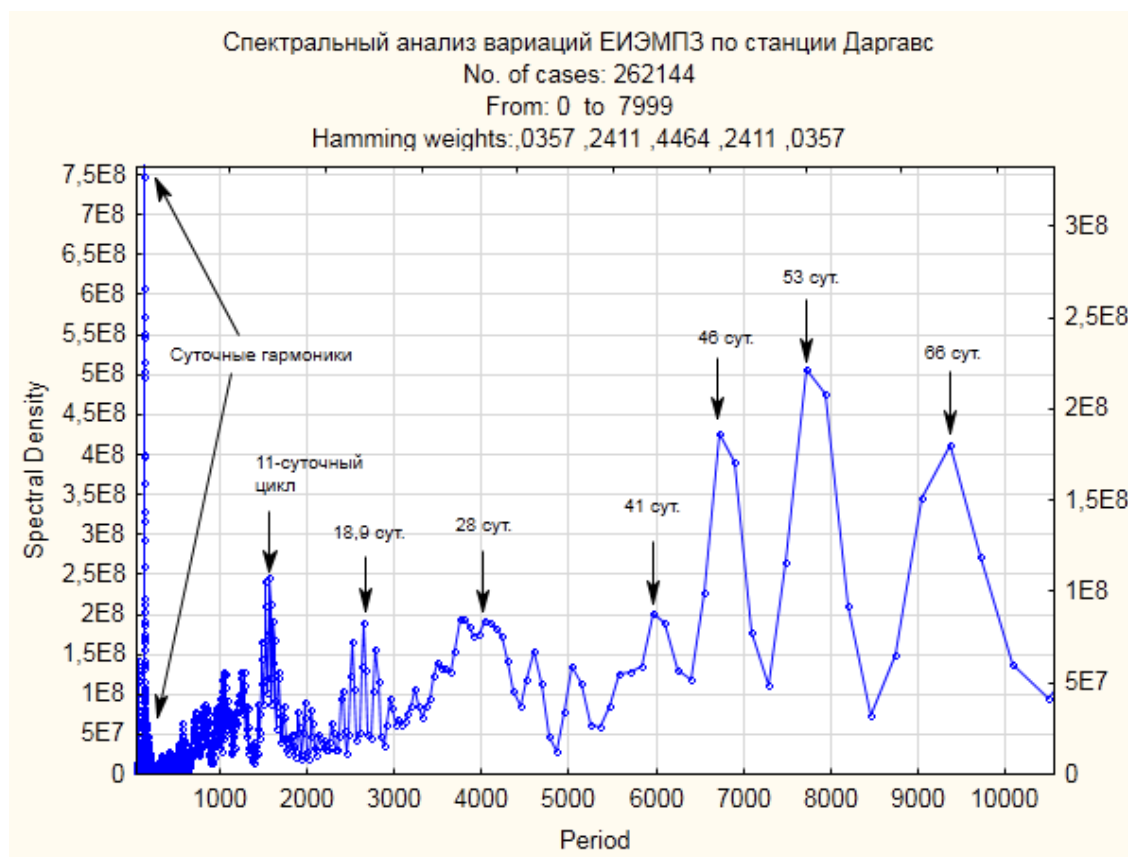


Рис. 7. Средняя часть спектра вариаций ЕИЭМПЗ по станции Даргавс за период 2012–2014.

На рис. 5а приведен график полного диапазона спектра вариаций ЕИЭМПЗ по станции Даргавс за период 2012–2014 и указаны хорошо видимые значения длиннопериодных гармоник: годовой SA – 364,08 суток и полугодовой SSA – 182,04 суток. Однако, основным критерием зависимости параметров наблюдений от приливных гравитационных воздействий служит совпадение пиков короткопериодной части спектра с теоретическими суточными, полусуточными и производными компонентами. Это совпадение хорошо прослеживается на рис. 5б. Наиболее заметной является лунно-солнечная деклинационная волна K1–23,81 часа, главная, эллип-

тические (M1, J1, Q1) и деклинационная (OO1) лунные волны. Также однозначно присутствуют полусуточные (K2 и M2) и третьсуточные (M3, M4) волны.

Как показано на рисунке 6, спектры вариаций ЕИЭМПЗ за один и тот же пятилетний период по различным станциям практически идентичны (особенно в короткопериодной части), что позволяет предположить достаточно устойчивую зависимость изменений суточного количества импульсов ЕИЭМПЗ от воздействия лунно-солнечных приливов. Различие наблюдается в среднепериодной части спектра (рис.7), где помимо явно выраженной 28-суточной волны ММ присутствуют гармоники с периодами 11,3, 41, 46, 53, 66 суток, которые могут быть показателями проявления эндогенных процессов в литосфере (в т.ч. движения ядра Земли, модуляций, вызываемых консолидацией подвижных блоков в периоды накопления напряженности и подготовки сейсмических событий и т.д.), а также барического и температурного влияния атмосферы.

Выводы

На основании анализа спектральных характеристик суточных и сезонных вариаций ЕИЭМПЗ по Северо-Кавказскому региону установлена явная взаимосвязь с гравитационными приливными воздействиями. Источником фоновых суточных вариаций ЕИЭМПЗ могут служить механоэлектрические преобразования в подвижных блоках земной коры под воздействием циклических приливных сил, а изменение амплитуды вплоть до исчезновения суточного хода – уменьшением подвижности блоков за счет их консолидации. Аномальные и сезонные амплитуды вариаций, по-видимому, модулированы эндогенными процессами.

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 Информационная система для комплексного анализа данных геофизического и ГГД-мониторинга «ГГД-комплекс» // Геология и Геофизика Юга России, №4, 2015, с. 84–92.
4. Малышков Ю.П., Малышков С.Ю. Периодические вариации геофизических полей и сейсмичности, их возможная связь с движением ядра земли» // Геология и геофизика, 2009а, т. 50, №2, 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. 2009б.
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 PCO-A, 2009. С. 307–309.
8. E. Spiridonov, O. Vinogradova, E. Boyarskiy, and L. Afanasyeva ATLANTIDA3.1_2014 FOR WINDOWS: A SOFTWARE FOR TIDAL PREDICTION, 2015, Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow

DOI: 10.23671/VNC.2016.2.20806

INTERRELATION OF GEOPHYSICAL FIELDS CYCLIC VARIATIONS WITH THE TIDAL DEFORMATIONS ACTION ACCORDING TO THE NPEMFE OBSERVATIONAL DATA IN THE NORTH-CAUCASIAN SEISMOACTIVE REGION ANALYSIS

© 2016 D.N. Zabirchenko, L.L. Krutkin

«Hydrospetzgeologiya» «Southern Regional Center SMSC», Russia, 357600, Stavropolskiy krai, Essentuki, Sadovy lane, 4-a, e-mail: dmitry.n.zab@gmail.com;
Geophysical Institute of Vladikavkaz Scientific Center, Russia, 362002, Vladikavkaz, Markov str., 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. An analysis of the relationship of variations with the impact of lunisolar tidal deformation.

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