

К вопросу о возможности выявления предвестников сильных землетрясений по локальным изменениям переменного геомагнитного поля

А.Г. Григорян, К.Х. Канониди

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук
г. Москва, ул. Б. Грузинская 10, ag-grig@ifz.ru*

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
им. Пушкова РАН (ИЗМИРАН) г. Троицк, kkkh@izmiran.ru*

Аннотация

Исследованиям, связанным с проблемой прогноза землетрясений, посвящена весьма обширная литература, отечественная и зарубежная. Среди обобщающих монографий последних лет можно упомянуть Г.А. Соболев и А.В. Пономарев [2003] рассматривающие проблему более широко. Помимо обсуждения возможности прогноза землетрясений, приведены результаты экспериментальных исследований формирования разрыва и дан анализ сейсмических и геофизических предвестников. Упомянутая работа не претендует на исчерпывающее освещение проблемы прогноза, которое, вообще, вряд ли возможно при сложившемся обилии и многосторонности ее компонентов.

Известно, что к разрушению пород приводят изменение физических свойств и напряженно-деформационное состояние горных пород. Наблюдение за изменениями физических полей, как магнитного, гравитационного, сила тяжести, электрического и т.д. дает возможность обнаружить эти изменения и аномальные изменения этих параметров могут быть предвестниками землетрясения. Не существует ни одного поля, аномалии которого предпочтительны для прогноза землетрясения. Только комплексное изучение может служить в качестве основания при оценке процесса подготовки

землетрясения. Необходимо системный подход для решения этой сложной задачи. [И.Г. Киссин 1996, 2013]

В данной работе, с целью выявления аномальных изменений при подготовке сильных землетрясений ($M \geq 5$) магнитометрическими методами, изучены изменения солнечно-суточные Sq-вариации переменного геомагнитного поля δT .

Геомагнитные солнечно-суточные Sq- вариации, создаваемые солнцем, содержат в себе важную информацию о процессах в земной коре. Используя гармоника этих вариаций для разных землетрясений, зафиксированы аномальные изменения локального отклика геомагнитного поля, отражающие активизацию различных геодинамических процессов в земной коре и верхней мантии в пределах исследуемой территории. Применяемая методика позволяет оценить пространственно-временные изменения в локальном отклике геомагнитного поля.

Ключевые слова:

магнитное поле Земли, аномальные вариации геомагнитного поля, геодинамические процессы, подготовка крупных сейсмических событий

Введение

Сеймотектонический процесс, который рассматривается как изменение напряженно-деформированного состояния геологической среды, является довольно сложным и способствует возникновению неоднородностей в среде [Добровольский, 1984].

Развитие геодинамических процессов, которые сопровождаются изменением напряженно-деформационного состояния земной кары и накоплением сейсмогенерирующей энергии, проявляется в изменениях физических параметров различных геофизических полей, доступных нашему наблюдению. Для решения многих научных и прикладных задач, связанных с изучением геомагнитного поля, необходимо разделять его на части, обусловленные различными источниками.

а) Взаимодействие солнечных корпускулярных потоков с магнитным полем Земли порождают сложные токовые системы и являющиеся одним из источников локальных геомагнитных Sq- вариаций, наблюдаемых на поверхности Земли [Yamazaki, Rikitake, 1970; Яновский, 1978].

Установлено, что в слое E ионосферы на высотах между 90 и 130 км текут электрические токи, которые вызывают вариации магнитного поля спокойных типов (солнечно-суточные). Эти вариации обнаруживаются в средних и низких широтах и далее называются вариациями, вызванными *внешними* источниками - δH^e .

б) Переменное магнитное поле внешнего происхождения во всем спектре геомагнитных вариаций индуцирует внутри проводящей Земли электрические токи, которые, в свою очередь сами становятся источниками изменения магнитного поля. Такие вариации будем называть вариациями, вызванными *внутренними* источниками, и обозначать как H^i . Две трети амплитуды суммарной вариации δH^n геомагнитного поля на поверхности Земли обусловлены внешними, а оставшаяся треть – внутренними источниками [Яновский, 1964].

Наибольший интерес для геофизических приложений представляют низкочастотные электромагнитные поля, которые связаны с крупномасштабными тектоническими процессами, приводящими к деформациям и разрушению локальных объемов земной коры [Сковородкин Ю. П., 1986; Григорян А. Г., 2007].

В настоящей работе приведены результаты исследований землетрясения Хорватской Петрине, $M=6,4$ по шкале Рихтера, в 29 декабря 2020 года.

Методика исследований

Электромагнитная индукция, создаваемая в Земле Sq и бухтообразными вариациями, характеризует состояние среды, так как величина локального магнитного отклика среды на внешние вариации

зависит от электропроводности, диэлектрической и магнитной проницаемости.

Выбранная нами методика позволяет выявить и оценить изменения электромагнитной индукции изучаемой геологической среды. Аномальные изменения электромагнитной индукции или электропроводности является признаком изменений физических свойств горных пород.

Вариации переменного геомагнитного поля, зарегистрированные на поверхности земли δH^n , являются суммой внешней индуцирующей δH^e и внутренней индуцированной δH^i составляющих:

$$\delta H^n = \delta H^e + \delta H^i \quad (1)$$

Очевидно, что изменение внутренней индуцированной составляющего δH^i характеризует состояние геологической среды. Чтобы исключить влияние внешней индуцирующей δH^e составляющей из суммарного значения δH^n поля, профессором Ю.П. Сковородкиным был применен следующий подход: наблюдательные пункты были расположены так, чтобы влияние внешнего поля δH^e на все пункты были одинаково, то есть, внешнее поле должно быть однородное. В таком случае влиянием внешнего источника можно пренебречь и значения суммарного поля δH^n будет отражать только изменение внутренней составляющей δH^i . Для оценки изменения поля δH^i применяют методику отношения синхронно измеренных вариаций на трех и более станциях.

Профессором Ю.П. Сковородкиным в начале 80-десятых годов, прошлого столетия, предложен параметр, с помощью которого можно было оценить изменение проводимости горных массивов.

$$N(A) = A_i / A_j \quad (2)$$

где A_i и A_j амплитуды вариаций компонент переменного геомагнитного поля δT на пунктах i, j .

В Гармском полигоне были выполнены расчеты для широт, охватывающих всю территорию Таджикской ССР ($\Delta\theta = \theta - \theta_0 = 2,5^\circ$), (Безуглая Л. С., Тоноян

Е. П., Сковородкин Ю. П., 1986). С помощью этих расчетов авторы показали, что пространственно-временную структуру поля Sq-вариаций (поля внешнего происхождения) можно считать однородной. Следовательно, неоднородность внешнего поля не вносит заметных искажений в параметр $N(A)$. Данная методика была применена в некоторых сейсмоактивных районах, где происходили сильные землетрясения $M \geq 6$, например как Спитакское-07.12.1988г., $M=7.0$, Л'Акуиле - 06.04.2009 года Италия $M=6.3$, Турецкое-12.02.2023г. $M=7.8$, а также проводились работы в районе Эльбрусского вулканического центра за период 2012-2013гг.

Результаты этих исследований показали, что во всех перечисленных регионах, перед сольными событиями зафиксированы аномальные изменения в электропроводности.

СПИТАК-88

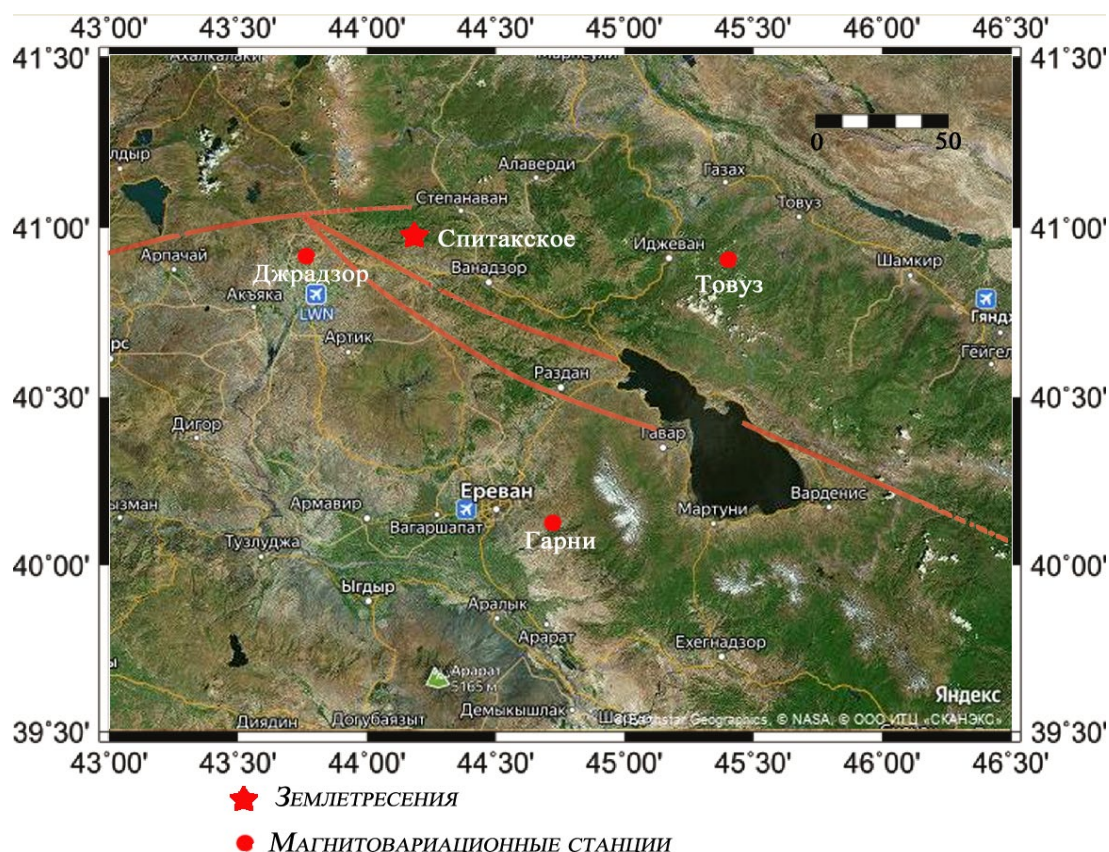


Рис.1 Расположение магнитовариационных станций в Армении

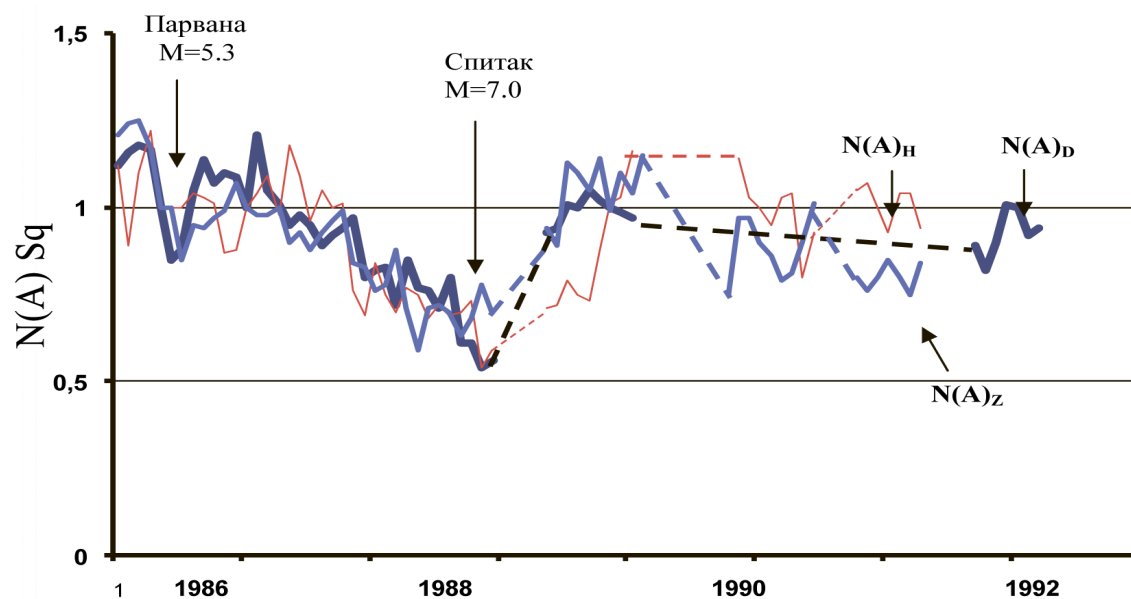


Рис.2 Изменение среднемесячных значений параметра $N(A)$ для Sq вариаций компонентов δD , δH и δZ геомагнитного поля между станциями Джрадзор – Товуз за период 1986-1993 гг.

IZN (Турция) 2023

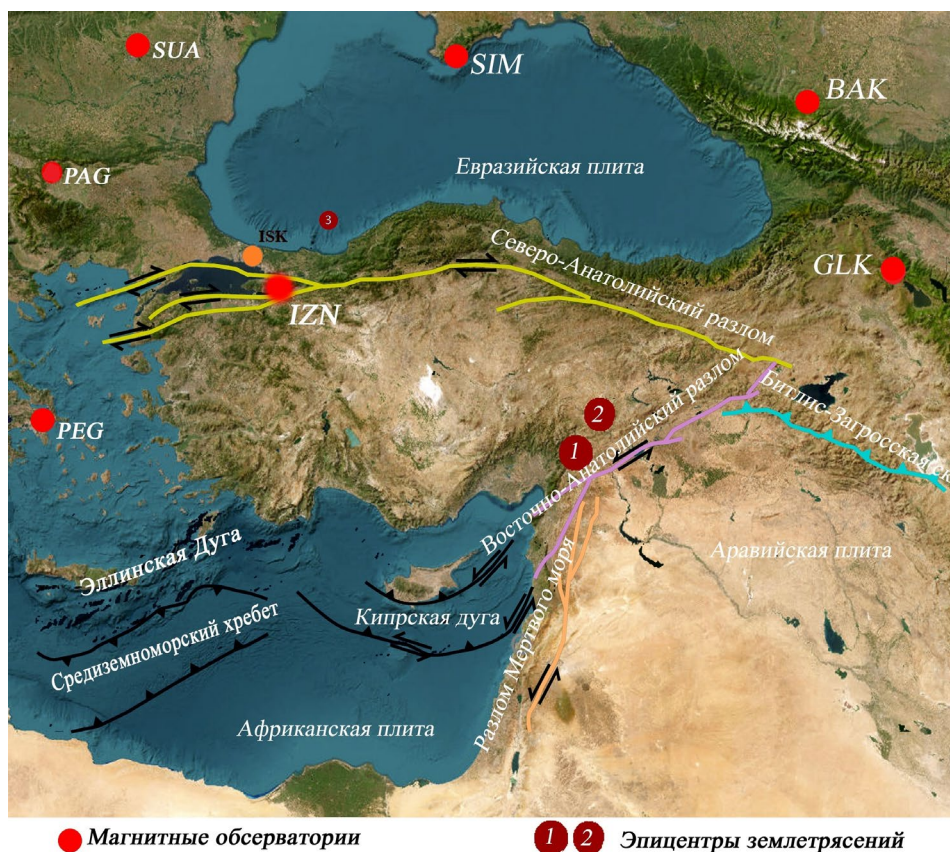


Рис. 3 Расположение магнитовариационных станций в регионе

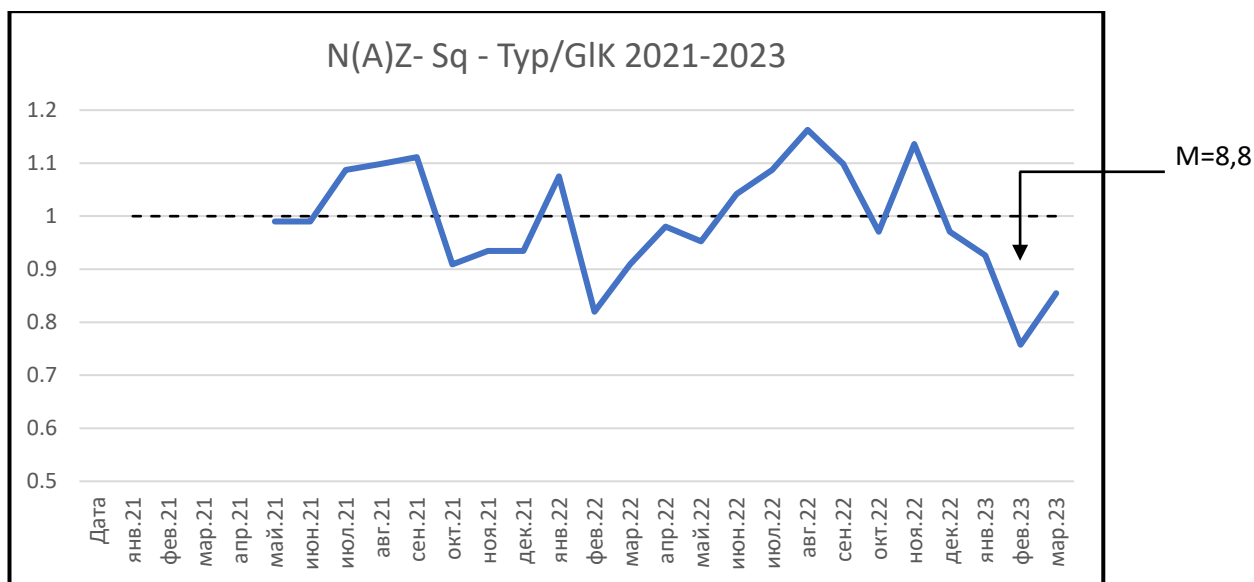
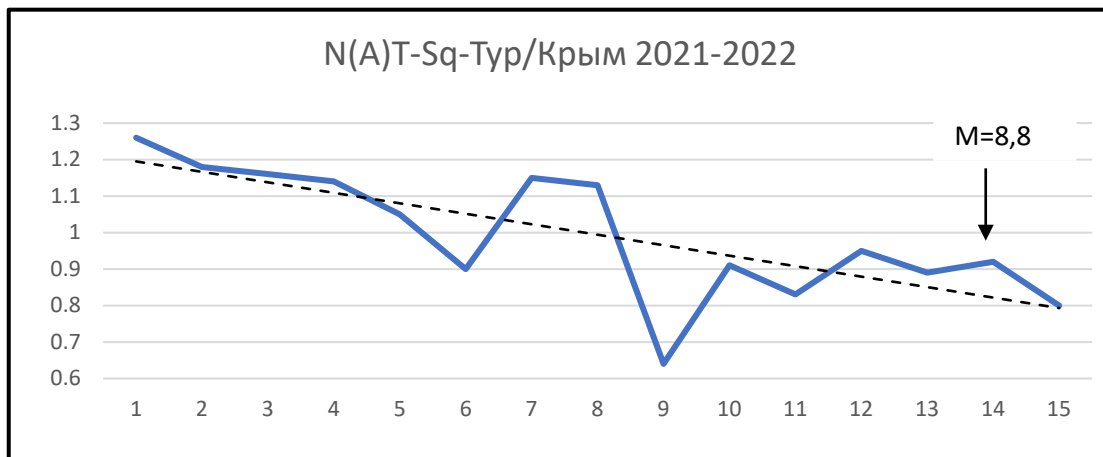


Рис.4 Среднемесячные значения параметра N(A)Т между Турция-Крым (а) N(A)Z между станциями GLK (Армения)-Турция (б) для Sq-вариации за период 2021-2022гг. перед Турецким землетрясением

ИТАЛИЯ 2009

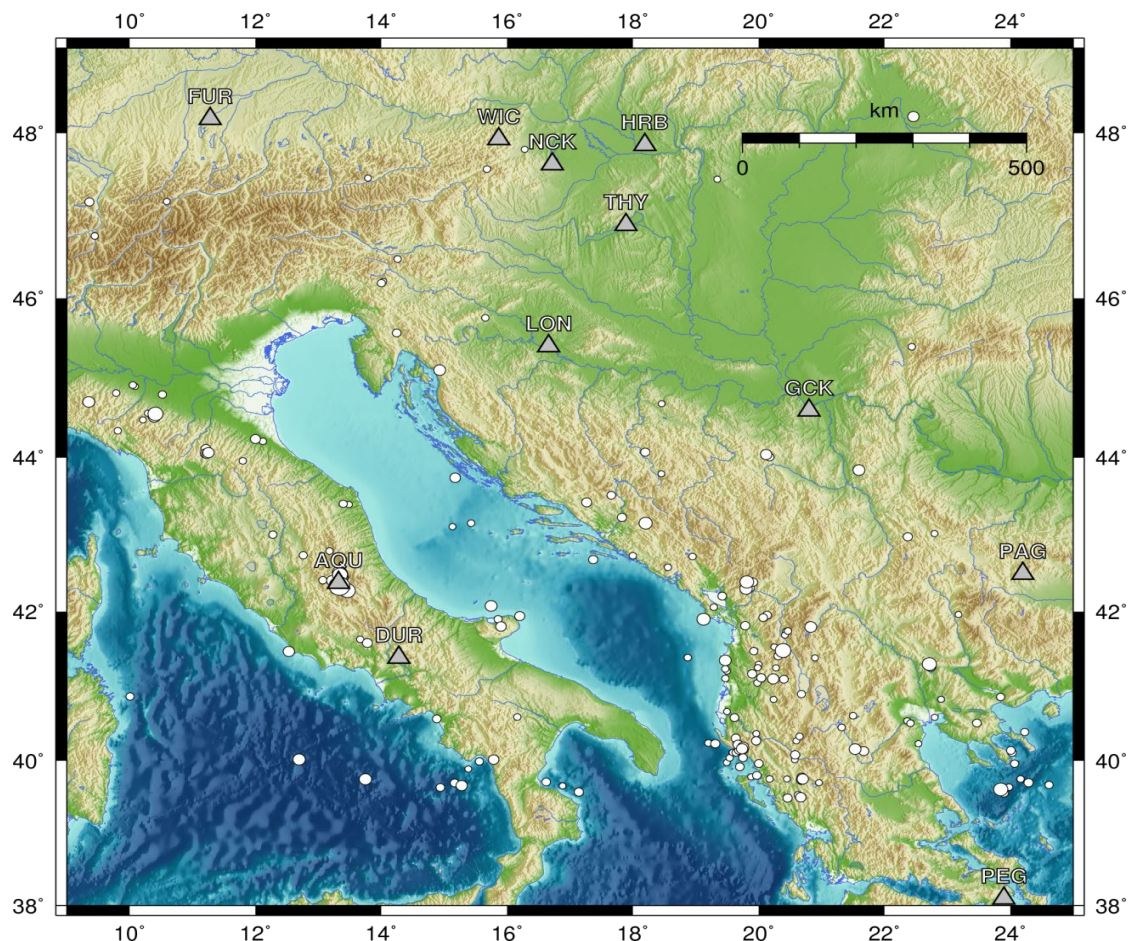


Рис.5 Расположение эпицентра землетрясения и магнитовариационных станций в регионе

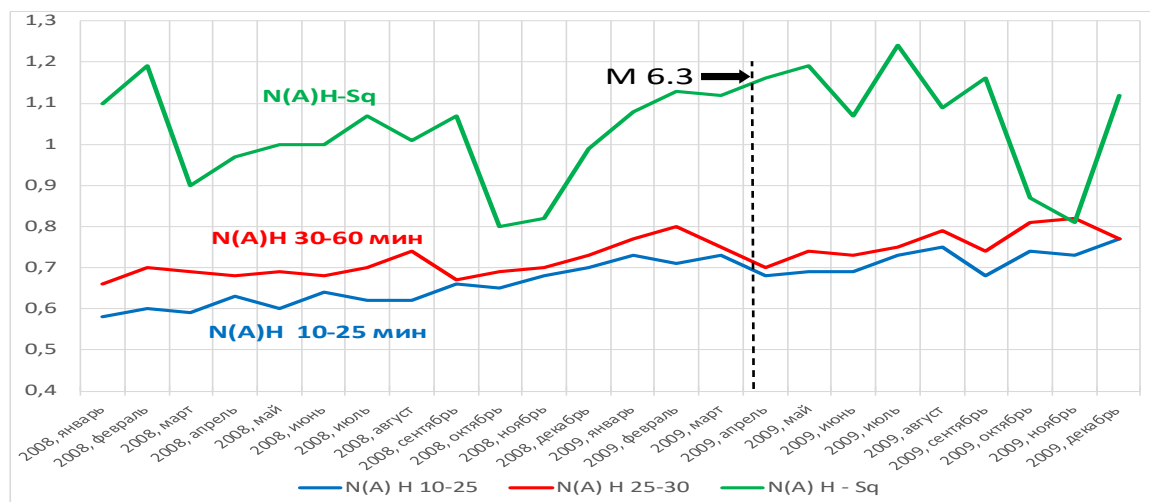


Рис.6 Изменение параметра $N(A)H$ в районе г. Л'Акуили (Италия) до и после землетрясения 06.04.2009г., $M=6.3$, для Sq и бухтообразных вариаций между станциями Тихань- Л'Акуили за 2008-2009гг.

ХОРВАТИЯ 2020

В данной работе также представляются полученные результаты изменений параметра $N(A)$ при подготовке землетрясения в Петрине 29.12.2020 $M=6,4$ - Хорватия.

Изучены записи трех магнитовариационных станций, которые были получены из ИНТЕРМАГНЕТ-а, за что благодарим организацию за предоставление качественных данных.

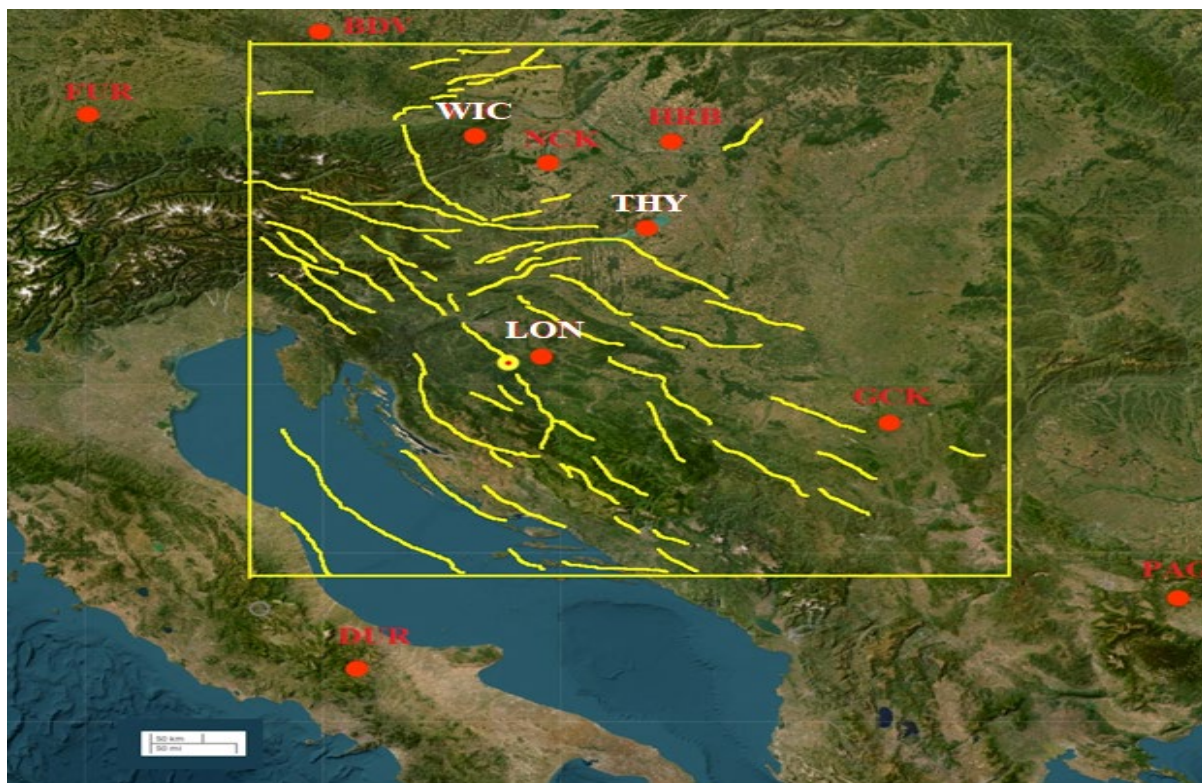
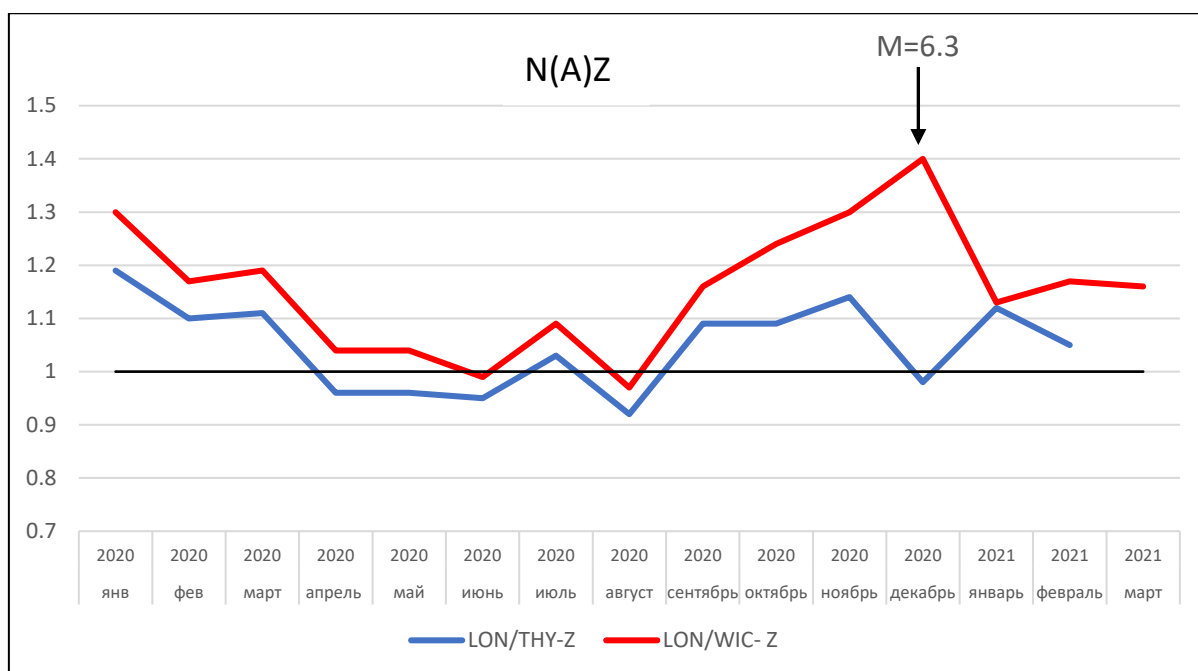
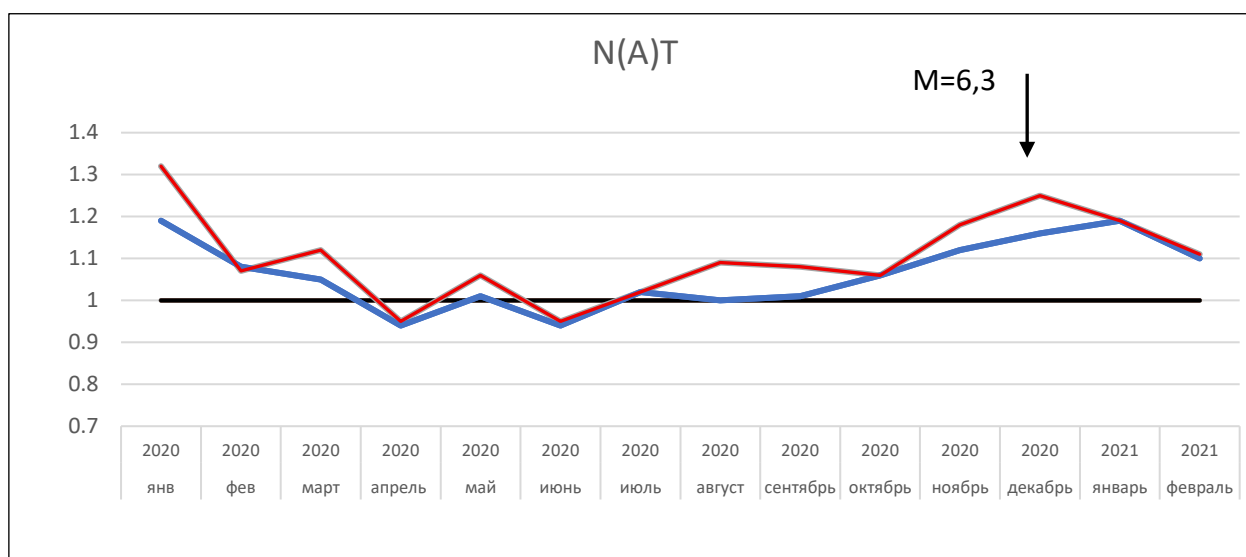


Рис. №7 Расположение магнитовариационных станций и координаты эпицентра землетрясения в Петрине 2020

2020-12-29T11:19:54.762Z 45,4244 С.Ш. 16,2573В.Д. 10км $M_{6,4}$ LON



(a)



(б)

Рис.8 Изменения параметра N(A)Z (a) и N(A)T (б) между станциями
 — LON / THY; — LON / WIC за период 2020-202

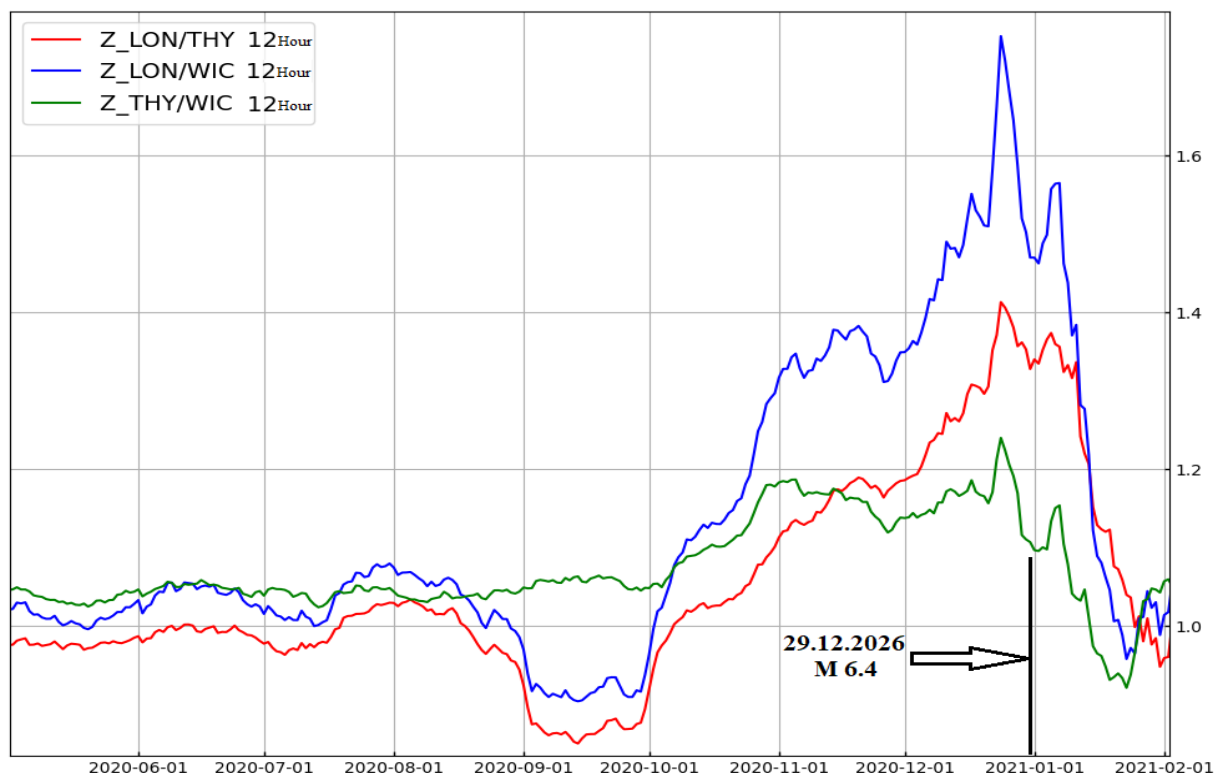


Рис. 9 График отношений амплитуд 12 часовых гармоник спектра Z компоненты геомагнитного поля обсерваторий LON к WIC; LON к THY. Стрелкой отмечено землетрясение в Петрине M=6.4 2020-12-29 11:19:54.

Все полученные результаты подтверждают выводы о том, что перед сильными землетрясениями значительно меняется электромагнитная индукция т.е. электропроводность горных пород, а причиной изменения проводимости последствие изменения физических свойств среды. Возникает вопрос: какие же процессы происходили в земной коре, в результате которых происходили такие изменения.

Изменение индукционного поля δH^i может происходить за счет возникновения **локальных дополнительных электрических полей**, (которые может быть вызваны изменением гидрорежима) и как следствие возникновением электрокинетическим эффектом.

Однако, по мнению ряд ученых, исходя из результатов проведенных наблюдений, наиболее приемлемым механизмом изменения электрической

проводимости считают дегазация Земли и возникновение фильтрационных потоков флюидов. (Гуфельд И.Л. 2019) . [Киссин, 2015; Kissin I.G., и др. 1996]

ВЫВОДЫ

1. Изучение локальных аномальных изменений с помощью параметра $N(A)$, позволило оценить изменения электропроводности геологической среды, которые связаны с развитием геодинамических процессов в земной коре изучаемых регионов.
2. Как естественные восходящие потоки флюида, так и проникновение водорода и гелия в геологическую среду, являются одним из основных факторов, можно сказать даже главным, влияющие на сейсмические деформации, в механизме землетрясений и имеют триггерный эффект.
3. Для дальнейшего изучения геодинамического процесса и выявления возможных предвестников сильных землетрясений в сейсмоактивном регионе России как Крым, планируется проводить постоянный мониторинг изменений геомагнитного поля.

Литература

1. Безуглая Л. С, Прохоров А.А., Тоноян Е.П. Изучение Sq- вариаций при тектономагнитных наблюдениях. В. кн.: Тезисы докл. на III всесоюзном съезде по геомагнетизму. Киев-Ялта, 1986, с. 70.
2. Григорян А.Г. Изменения локального магнитного поля внешнего происхождения на примере Армении // Физика Земли. 2007. № 6. С. 88 – 95 .
3. Гуфельд И.Л. Сейсмическая опасность: предотвратить или предупредить -М.: Издательство ООО «Сам Полиграфист», 2019.-98 с

4. Добровольский, И. Механика подготовки землетрясения. - М. : ИФЗ АН СССР, 1984, 189 с.
5. Г.А.Соболев и А.В.Пономарев, Физика землетрясений и предвестники. М.: Наука. 2003. 270 с.
6. Сковородкин Ю.П., Тоноян Е.П. Временные изменения электромагнитной индукции на прогностических полигонах. - В кн. : Сейсмический мониторинг земной коры. М. : ИФЗ, АН СССР, 1986, с. 199-203
7. Яновский Б. М., 1964, Земной магнетизм. - Л.: ЛГУ, 1964, 445 с.
8. Яновский Б. М., Земной магнетизм. - Л.: ЛГУ, 1978, 482 с.6
9. Сковородкин Ю.П., Тоноян Е.П. Временные изменения электромагнитной индукции на прогностических полигонах. - В кн. : Сейсмический мониторинг земной коры. М. : ИФЗ, АН СССР, 1986, с. 199-203
- 10.[Киссин, 2015] Флюиды в земной коре: геофизические и тектонические аспекты, 327 стр.
- 11.Kissin I.G., Belikov V.M., Ishankuliev G.A. Short-term groundwater level variations in a seismic region as an indicator of the geodynamic regime // Tectonophysics. 1996. V. 265. P.313 – 326.
- 12.Yamazaki Y., and Rikitake T. Local anomalous changes in the geomagnetic field at Matsushiro. – Bull. Earthq. Res. Inst., 1970, v. 48, part 4, p. 637-643.