

АНАЛИЗ ВАРИАЦИЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ В ПУНКТЕ ГЛУБИННОГО МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Ксения Сергеевна Непеина

Научная станция РАН в г. Бишкеке, 720049, Кыргызстан, г. Бишкек, Бишкек-49, НС РАН, младший научный сотрудник лаборатории глубинных магнитотеллурических исследований, тел. 996(312)316140, e-mail: neks@gdirc.ru

Виталий Евгеньевич Матюков

Научная станция РАН в г. Бишкеке, 720049, Кыргызстан, г. Бишкек, Бишкек-49, НС РАН, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории глубинных магнитотеллурических исследований, тел. 996(312)316140, e-mail: vitaliy@gdirc.ru

В работе рассматриваются результаты обработки и анализа данных глубинных магнитотеллурических зондирований (ГМТЗ), выполненных в 2018 году. Выполнено сравнение вариаций кажущегося сопротивления, эндогенной составляющей магнитотеллурического поля, лунно-солнечными приливными деформациями и сейсмическими событиями, которые были зарегистрированы во время зондирований. Задачей исследования заключается в обнаружении зависимости между появлением вариаций электромагнитных параметров на данных магнитотеллурического мониторинга от произошедших землетрясений, их удаленности, энергетического класса и положения относительно пункта ГМТЗ.

Ключевые слова: магнитотеллурические зондирования, каталог землетрясений, кажущееся сопротивление, лунно-солнечные приливы

ANALYSIS OF GEOPHYSICAL PARAMETERS VARIATIONS AND SEISMIC EVENTS AT THE POINT OF DEEP MAGNETOTELLURIC SOUNDING

Kseniia S. Nepeina

Research Station RAS in Bishkek, 720049, Kyrgyzstan, Bishkek, Bishkek-49, RS RAS, Junior Scientific Researcher of the Laboratory of Deep Magnetotelluric Investigations, phone: 996(312)316140, e-mail: neks@gdirc.ru

Vitalii E. Matiukov

Research Station RAS in Bishkek, RS RAS, Bishkek, Bishkek-49, 720049, Kyrgyzstan, PhD, Senior Scientific Researcher of the Laboratory of Deep Magnetotelluric Investigations, phone: 996(312)316140, e-mail: vitaliy@gdirc.ru

The paper considers the results of processing and analysis of data from deep magnetotelluric soundings (DMT) performed in 2018. Comparison of variations in apparent resistivity, the endogenous component of the magnetotelluric field, lunar-solar tidal deformations and seismic events that were recorded during the research. The objective of the study is to detect the relationship between the appearance of variations in electromagnetic parameters of the data of magnetotelluric monitoring from the occurred earthquakes, its' distance, energy class and position, relative to the DMT point.

Keywords: magnetotelluric soundings, earthquake catalog, apparent resistivity, lunar-solar tides

В 2018 году Научной станцией РАН в г. Бишкеке были выполнены глубинные магнитотеллурические зондирования (ГМТЗ) в 12 пунктах на 3 профилях с продолжительностью 72 часа регистрации 5 компонент электромагнитного поля станциями Phoenix MTU-5 (Phoenix Geophysics, Canada) (рис. 1). Эти исследования выполнены в рамках режимного мониторинга и частично повторяют пункты этих профилей, измеренных в 2011 году [1]. Пространственное расположение эпицентров землетрясений, также параметры их энергетических классов заимствуются из каталогов сейсмических событий международного сейсмологического центра ISC по данным цифровых сетей KNET, KRNET [2].

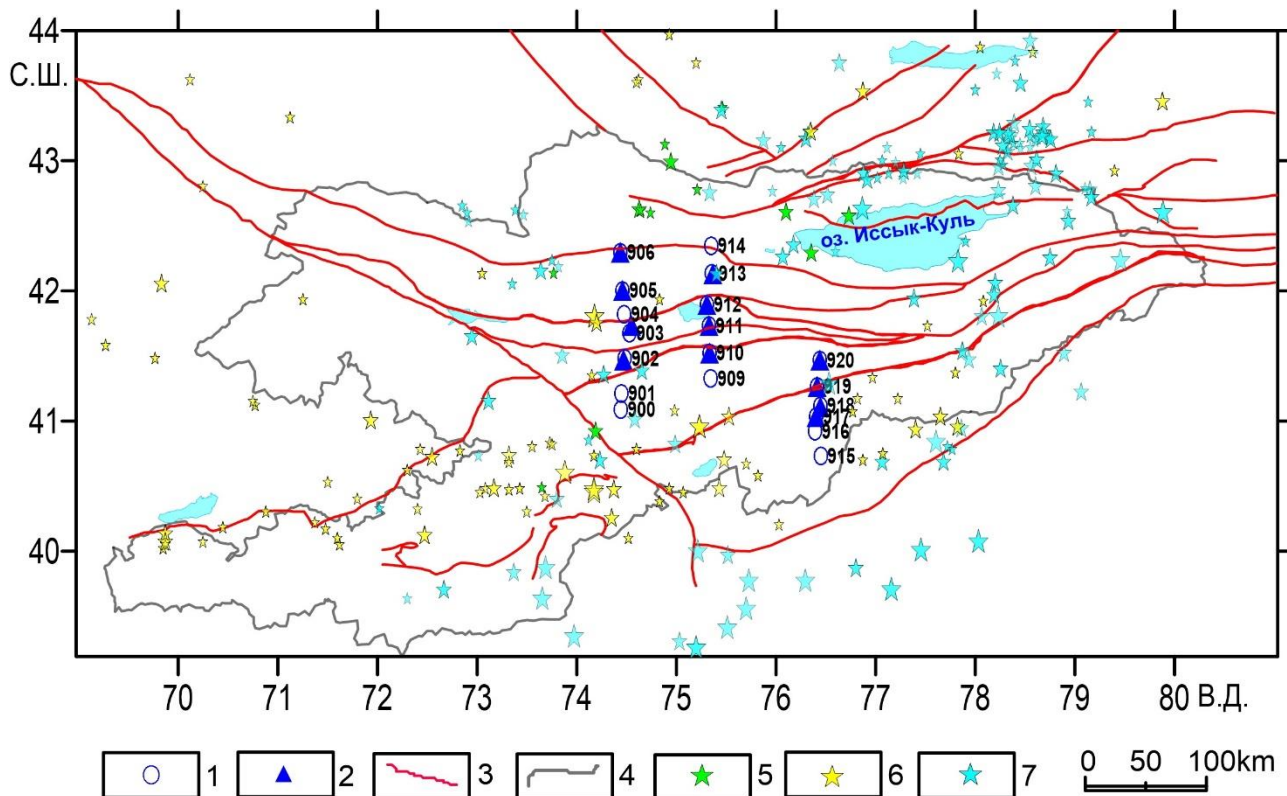


Рис. 1. Карты исследуемой территории:

1 – пункты ГМТЗ выполненные в 2011 году; 2 – пункты ГМТЗ выполненные в 2018 году; 3 – основные разломные зоны; 4 – граница Киргизской Республики; землетрясения по каталогам сейсмических сетей и центров: 5 – KNET; 6 – KRNET; 7 – ISC

В рамках исследований была проанализирована взаимосвязь поведения вариаций электромагнитных параметров и напряженно-деформированного состояния земной коры сейсмоактивных регионов Тянь-Шаня, а также корреляционные связи между компонентами лунно-солнечных приливных воздействий и вариациями электромагнитных параметров для пунктов ГМТЗ Центрального Тянь-Шаня. Для исследований нами был выбран пункт 913, который находится в Нарынской области на профиле $75^{\circ}20'$ (рис. 1).

Для анализа взаимосвязи с пространственно-временным распределением сейсмичности был применен алгоритм для пересчета параметров очагов землетрясений (относительных координат). Результаты распределения сейсмичности по отношению к пункту ГМТЗ 913 представлены в виде круговых диаграмм в полярных координатах, где длина вектора R отвечает за удаленность эпицентра землетрясения, а его относительное азимутальное расположение - в градусах (Az) (рис. 2). Для этого из координат очага землетрясения (X_0, Y_0) вычитаются координаты точки наблюдения (X_{MT}, Y_{MT}) и вычисляется расстояние в километрах $R = \sqrt{(X_0 - X_{MT})^2 + (Y_0 - Y_{MT})^2}$. Азимут рассчитывается как арктангенс отношения $Az = \arctg\left(\frac{Y_0 - Y_{MT}}{X_0 - X_{MT}}\right)$.

Для всех пунктов ГМТЗ строятся частотно-временные ряды (ЧВР) всех электромагнитных параметров по методике азимутального магнитотеллурического мониторинга [3]. Методика заключается в анализе построенных временных рядов - псевдоразрезов, и выявлении вклада каждой из компонент тензора импеданса в информативность данного вида исследований на основании соотношений из [4]. В рамках комплексного подхода к изучению современных геодинамических процессов для пункта ГМТЗ 913 были рассмотрены энергетическая характеристика электромагнитного поля эндогенного происхождения (рис. 3а), полученная в результате обработки в программе [5], расчетные лунно-солнечные приливы в программе TIDE_3.exe (рис. 3б), ЧВР кажущегося сопротивления с шагом по азимуту 15° (рис. 3в), распределение сейсмичности во времени вертикальными линиями и по энергетическому классу (рис. 3г) за выбранный период наблюдений.

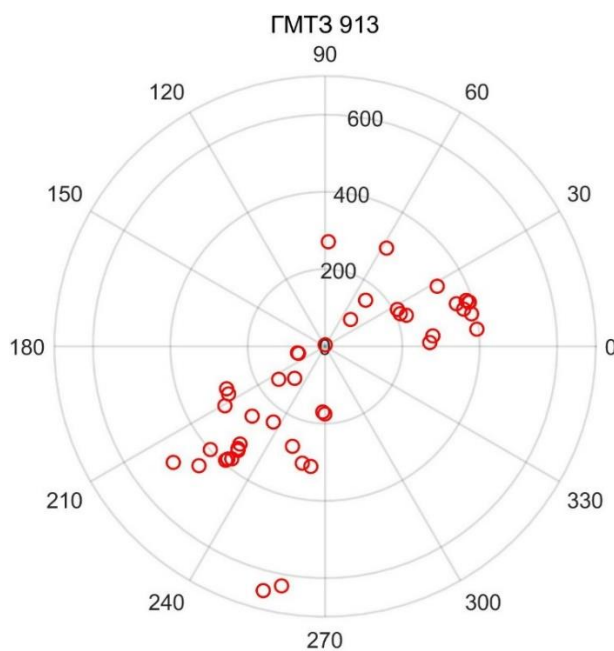


Рис. 2. Пространственное расположение эпицентров землетрясений относительно пункта ГМТЗ 913 (13.08.2018-16.08.2018).

Напряженно-деформированное состояние геологической среды обусловлено воздействием на вариации электромагнитных параметров приливных деформаций. Происходящие в геосреде процессы, такие как разрушение, трещинообразование и сопутствующие им, сопровождаются генерацией геофизических полей различной природы и могут быть как обратимыми, так и необратимыми [6-8]. Проявление их в электромагнитном и упругом полях вызывают особый интерес с точки зрения вариативности процессов [9-12].

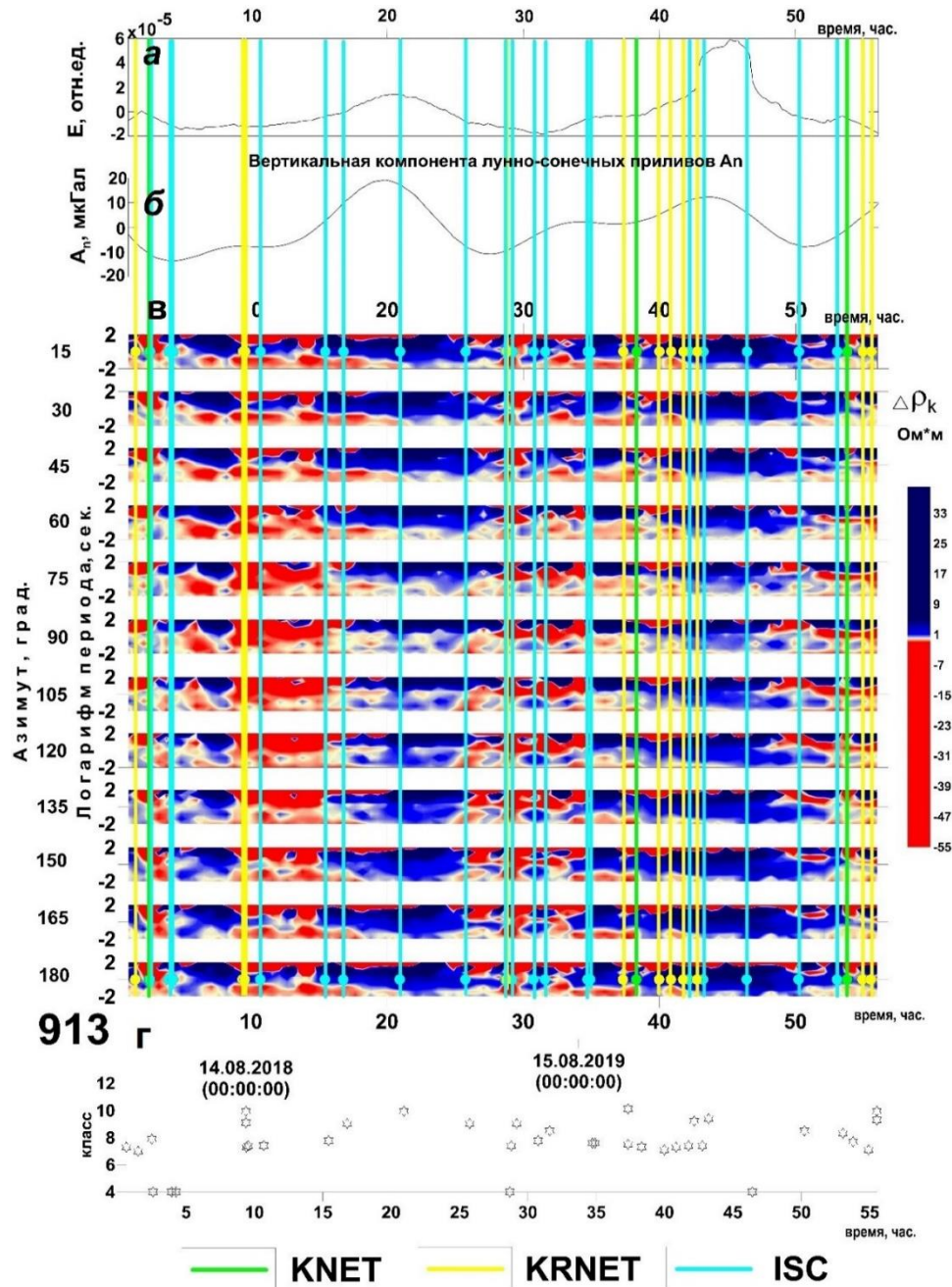


Рис. 3. Результаты мониторинга точки ГМТЗ 913 (13.08.2018-16.08.2018): (а) эндогенная характеристика электромагнитного поля, (б) лунно-солнечные приливы, (в) частотно-временные ряды ($\Delta\rho_k$), (г) энергетические классы землетрясений из сейсмических каталогов

Наблюдается ряд закономерностей в отклике геофизических полей на геодинамическую активизацию сейсмоактивных регионов Тянь-Шаня. Предполагается, что в результате подготовки землетрясения или его инициирования происходит перераспределение флюидов в горных породах, вследствие чего в мониторинговых данных по глубине и по времени наблюдается смена знака вариаций. На частотно-временных рядах кажущегося сопротивления (ρ_k) наблюдаются вариации, связанные с деформационными процессами, сопутствующими сейсмическим событиям, и могут быть использованы для оценки чувствительности к ним. По результатам построений ЧВР вариаций кажущегося сопротивления на мониторинговых данных можно отчетливо выделить контрастные изменения в некоторых временных отрезках. Например, на отрезке 15-25 и 42-48 часы крупные положительные аномалии в энергетической характеристике и вертикальной компоненте лунно-солнечных приливов имеет закономерное продолжительное соответствие в повышенном значении кажущегося сопротивления на ЧВР. Также наглядно выделяется взаимосвязь энергетической характеристики электромагнитного поля эндогенного происхождения и вертикальной компоненты лунно-солнечных приливов с некоторым пространственно-временным смещением, что ранее отмечалось авторами [9, 10] в подобных исследованиях.

Сопоставление энергетических классов (рис. 3г) дает основание полагать о зависимости измеряемых и расчетных геофизических параметров. Основные особенности поведения указанных рядов достаточно схожи. Во время регистрации электромагнитного поля (13.08.2018-16.08.2018) произошли землетрясения, некоторые из них фиксируются на расстояниях менее 100 км от пункта ГМТЗ 913. Одно из них зарегистрировано на удалении порядка 70 км обеими сетями KNET и KRNET 13.08.2018, которое попало на начало записи МТЗ и находится на втором часу ЧВР. Ещё одно сейсмическое событие, представляющее интерес, произошло в непосредственной близости от пункта наблюдений в радиусе 4 км, и было зарегистрировано по каталогу ISC 14.08.2018 в 22:14:08.54 UTC, то есть на через 32 часа после начала записи МТЗ. Для этого ближайшего землетрясения на ЧВР хорошо прослеживается смена знака полярности относительных вариаций кажущегося сопротивления. При уменьшении логарифма периода (ось Y, рис.3) наблюдается изменение от отрицательных значений $\Delta\rho_k$ к положительным при повороте системы координат в пространстве. Это подтверждает вывод о том, что для близких землетрясений (в радиусе менее 10 км), несмотря на невысокое значение энергетического класса ($K < 10$), происходит синфазное изменение электромагнитных параметров на ортогональных азимутах при внутренней перестройке вследствие напряженно-деформированного состояния среды.

Заключение

Можно отметить, что на максимумы энергетической характеристики электромагнитного поля эндогенного происхождения и вертикальной компоненты лунно-солнечных приливов приходятся положительные изменения в псевдорезах частотно-временных рядов.

Результаты интерпретации магнитотеллурических данных, полученных в сейсмоактивных регионах Центрального Тянь-Шаня, свидетельствуют о синхронности в поведении вариаций электромагнитных параметров (энергетической характеристики и частотно-временных разрезов кажущегося сопротивления) и сейсмического поля под влиянием пространственно-временного распределения сейсмичности, лунно-солнечных приливов и других факторов. Как показали результаты электромагнитных наблюдений в 2018 г., вариации ρ_k отражают изменения напряженно-деформированного состояния геосреды не только перед значимыми сейсмическими событиями, но и перед слабыми, которые произошли вблизи точки мониторинга.

Благодарности

Работы выполнены в рамках выполнения государственного задания Научной станции РАН по теме АААА-А19-119020190063-2.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баталёва Е.А., Рыбин А.К., Баталёв В.Ю. Вариации кажущегося сопротивления горных пород как индикатор напряженно-деформированного состояния среды // Геофизические исследования. – 2014. – Т. 15. – № 4. – С. 54-63.
2. Каталог ISC-GEM Global Instrumental Earthquake Catalogue. Version 7.0 - released on 2020-04-09. Дата обращения 12.01.2021. <https://doi.org/10.31905/D808B825>.
3. Баталева Е.А., Баталев В.Ю. Вариации кажущегося сопротивления горных пород как индикатор напряженного состояния среды // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. материалы докладов конференции: в 2 т. Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. – 2012. – С. 365-368.
4. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Магнитотеллурическое зондирование горизонтально-однородных сред. – М. : Недра, 1992. – 250 с. <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2019-2-42-42-56>.
5. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2019618606. Программа разделения электромагнитного поля по положению источников по данным магнитотеллурических зондирований / Александров П.Н., Баталева Е.А. – М., 2019. 1 с.
6. Жамалетдинов А.А., Митрофанов Ф.П., Токарев А.Д., Шевцов А.Н. Влияние лунно-суточных приливных деформаций на электропроводность и флюидный режим земной коры // Докл. РАН. – 2000. – Т. 371, № 2. – С. 235–239.
7. Александров П.Н. К теории сейсмического и электромагнитного мониторинга современных геодинамических процессов // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2009. – № 2, Вып. 14. – С. 49-58.
8. Баталев В.Ю., Баталева Е.А., Матюков В.Е., Рыбин А.К. Изучение необратимых деформаций в литосфере Тянь-Шаня по магнитотеллурическим данным (методологический аспект) // Вестник КРАУНЦ. – 2019. – № 2(42). – С. 42-56. <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2019-2-42-42-56>.
9. Rybin A.K., Bataleva E.A., Nepeina K.S., Kaznacheev P.A., Matyukov V.E., Aleksandrov P.N. Definition of the seismic field of the underground sources in the ambient seismic noise in the Tien Shan region using a three-component gradient system // Journal of Earth Science. – 2020. – 31(5). – P. 988–992. <https://doi.org/10.1007/s12583-020-1327-5>.
10. Rybin A., Bataleva E., Nepeina K., Matiukov V., Alexandrov P., Kaznacheev P. Response of cracking processes in variations of geophysical fields // Journal of Applied Geophysics. – 2020. – 104144. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2020.104144>.

11. Шалагинов А.Е., Неvedрова Н.Н., Шапаренко И.О. Вариации электрофизических параметров по данным электромагнитного мониторинга как индикатор активности разломных зон // Геодинамика и тектонофизика. – 2018. – Т. 9, № 1. – С. 93-107. – <https://doi.org/10.5800/GT-2018-9-1-0339>.

12. Неvedрова Н.Н., Шалагинов А.Е. Мониторинг электромагнитных параметров в зоне сейсмической активизации Горного Алтая // Геофизика. – 2015. – № 1. – С. 31-40.

REFERENCES

1. Bataleva E.A., Rybin A.K., Batalev V.Yu. Variatsii kazhushchegosya soprotivleniya gornyx porod kak indikator napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya sredey // Geofizicheskiye issle-dovaniya. – 2014. – Т. 15. – № 4. – С. 54-63.

2. Katalog ISC-GEM Global Instrumental Earthquake Catalogue. Version 7.0 - released on 2020-04-09. Data obrashcheniya 12.01.2021. <https://doi.org/10.31905/D808B825>.

3. Bataleva E.A., Batalev V.Ye. Variatsii kazhushchegosya soprotivleniya gornyx porod kak indikator napryazhennogo sostoyaniya sredey // Tektonofizika i aktual'nyye voprosy nauk o Zemle. materialy dokladov konferentsii: v 2 t. Institut fiziki Zemli im. O.YU. Shmidta RAN. – 2012. – С. 365-368.

4. Berdichevskiy M.N., Dmitriyev V.I. Magnitotelluricheskoye zondirovaniye gorizonta'lnykh sred. – М. : Nedra, 1992. – 250 s. <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2019-2-42-42-56>.

5. Svidetel'stvo o registratsii programmy dlya EVM RU 2019618606. Programma razde-leniya elektromagnitnogo polya po polozheniyu istochnikov po dannym magnitotelluricheskikh zondirovaniy / Aleksandrov P.N., Bataleva E.A. – М., 2019. 1 s.

6. Zhamaletdinov A.A., Mitrofanov F.P., Tokarev A.D., Shevtsov A.N. Vliyaniye lunno-sutochnykh prilivnykh deformatsiy na elektroprovodnost' i flyuidnyy rezhim zemnoy kory // Dokl. RAN. – 2000. – Т. 371, № 2. – С. 235–239.

7. Aleksandrov P.N. K teorii seysmicheskogo i elektromagnitnogo monitoringa sovre-mennykh geodinamicheskikh protsessov // Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle. – 2009. – № 2, Vyp. 14. – С. 49-58.

8. Batalev V.Yu., Bataleva E.A., Matiukov V.E., Rybin A.K. Izucheniye neobratimyykh deformatsiy v litosfere Tyan'-Shanya po magnitotelluricheskim dannym (metodologicheskyy aspekt) // Vestnik KRAUNTS. – 2019. – № 2(42). – С. 42-56. <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2019-2-42-42-56>.

9. Rybin A.K., Bataleva E.A., Nepeina K.S., Kaznacheev P.A., Matiukov V.E., Aleksandrov P.N. Definition of the seismic field of the underground sources in the ambient seismic noise in the Tien Shan region using a three-component gradient system // Journal of Earth Science. – 2020. – 31(5). – P. 988–992. <https://doi.org/10.1007/s12583-020-1327-5>.

10. Rybin A., Bataleva E., Nepeina K., Matiukov V., Alexandrov P., Kaznacheev P. Response of cracking processes in variations of geophysical fields // Journal of Applied Geophysics. – 2020. – 104144. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2020.104144>.

11. Shalaginov A.Ye., Nevedrova N.N., Shaparenko I.O. Variatsii elektrofizicheskikh parametrov po dannym elektromagnitnogo monitoringa kak indikator aktivnosti razlomnykh zon // Geodinamika i tektonofizika. – 2018. – Т. 9, № 1. – С. 93-107. <https://doi.org/10.5800/GT-2018-9-1-0339>.

12. Nevedrova N.N., Shalaginov A.E. Monitoring elektromagnitnykh parametrov v zone seysmicheskoy aktivizatsii Gornogo Altaya // Геофизика. – 2015. – № 1. – С. 31-40.

© К. С. Непеина, В. Е. Матюков, 2021