

УДК 504.5.06  
DOI 10.29222/ipng.2078-5712.2018-23.art86

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧАСТОТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА АКТИВНОСТЬЮ ЙЕЛЛОУСТОНСКОГО ВУЛКАНА

Левашов С.П.<sup>1</sup>, Якимчук Н.А.<sup>1</sup>, Корчагин И.Н.<sup>2</sup>, Божежа Д.Н.<sup>1</sup>  
1 – ИППЭГГ; 2 – Институт геофизики им. С.И.Субботина НАНУ  
E-mail: korchagin.i.n@gmail.com

**Аннотация** Анализируются результаты экспериментальных исследований с использованием частотно-резонансной технологии обработки спутниковых снимков на территории парка «Yellowstone Park» (США). Для изучения процесса активизации вулканической активности во времени обработаны спутниковые снимки с Landsat-8 за 13.09.2013, 12.02.2017 и 10.10.2017. На крупном участке работ обнаружены и локализованы 13 аномальных геоэлектрических зон типа «Активизация Вулканической Деятельности (АВД)». На заключительном этапе обработки снимков, полученных 13.09.2013, 12.02.2017 и 10.10.2017, на территории парка и его окрестностей оценены глубины расположения прогнозной зоны плавления пород с использованием методики вертикального электрорезонансного сканирования разреза. Существенный подъем расплавленных пород установлен сканированием в центральных частях аномальных зон типа «АВД». Анализ данных за отрезок времени с 2013 по 2017 гг. показал, что наиболее активным является участок № 26, расположенный в районе действующих гейзеров. Для этого участка построена диаграмма скорости подъема магмы.

**Ключевые слова:** частотно-резонансный метод, вулкан, гейзер, спутниковые данные, мобильная технология, обработка данных ДЗЗ, интерпретация.

## THE USE OF FREQUENCY-RESONANCE PROCESSING OF SATELLITE DATA FOR YELLOWSTONE VOLCANO ACTIVITY MONITORING

Levashov S.P.<sup>1</sup>, Yakimchuk N.A.<sup>1</sup>, Korchagin I.N.<sup>2</sup>, Bozhezha D.N.<sup>1</sup>  
1 – IPPEG; 2 – Geophysical Institute of NUAS  
E-mail: korchagin.i.n@gmail.com

**Abstract** Experimental frequency-resonance processing of satellite data in Yellowstone Park (USA) shows the geoelectric «Volcanic activity intensification (VAI)» type zones under the park and surrounding territories. The process of activation was studied using three Landsat-8 images for 13.09.2013, 12.02.2017 and 10.10.2017. 13 VAI zones were located in the area.

Finally the images were processed using the electric resonance scanning method. Significant uplift of melt rocks was detected in the centers of VAI zones. The most active part was the parcel 2B near the geysers. The speed of magma uplift diagram was built for this parcel.

**Keywords:** frequency-resonance method, volcano, geyser, satellite data, mobile technologie, Earth remote sensing data processing, interpretation.

### **Введение**

В 2010 г. началась активная и целенаправленная апробация супер-мобильной прямопоисковой технологии частотно-резонансной обработки дешифрировании данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) [1–3] при поисках и разведке рудных и горючих полезных ископаемых в различных регионах мира [1–3, 6–7]. В процессе дешифрирования спутниковых снимков участков расположения эпицентров землетрясений в Турции, Индонезии и Японии были обнаружены аномальные зоны в естественном импульсном электромагнитном поле Земли (ЕИЭМПЗ) на очень высоких частотах – десятки-сотни мегагерц. В связи с этим, в 2016–2017 гг. технология частотно-резонансной обработки данных ДЗЗ целенаправленно использовалась для обнаружения и локализации участков высокоинтенсивного электромагнитного излучения в различных сейсмоактивных районах планеты с целью изучения возможности применения разрабатываемой технологии для мониторинга сейсмоопасных территорий и прогноза сильных землетрясений [5, 8].

В это же время с использованием технологии частотно-резонансной обработки спутниковых снимков проводилось изучение характера электромагнитного излучения в районах активного вулканизма (Флегрейские поля, Италия; Мауна-Лоа, Гавайские острова; Йеллоустонский вулкан, США; вулканы Авачинский и Безымянный, полуостров Камчатка) [4]. Эти эксперименты показали, что оперативная обработка спутниковых снимков действующих вулканов позволяет обнаружить аномальные зоны поля ЕИЭМПЗ, которые могут быть предвестниками извержений. В феврале 2018 г. в районе Йеллоустонского вулкана проведены дополнительные исследования.

### **Метод исследований**

Технология частотно-резонансной обработки данных ДЗЗ является методом «прямых» поисков различных полезных ископаемых [1–3], разработанным на принципах «вещественной» парадигмы геофизических исследований, сущность которой – поиски

конкретного вещества – нефти, газа, урана, золота, и т.д. [3]. В этом методе выделение полезного сигнала при дешифрировании снимков осуществляется частотно-резонансным способом. Для различных полезных ископаемых (нефть, газ, уран, золото, вода, цинк и т.д.) на их образцах определены характерные для них резонансные частоты, которые используются при дешифрировании данных ДЗЗ. Отличительные особенности метода, а также его потенциальные возможности описаны во многих публикациях, в том числе и в статьях [1-3, 6-7]. Дополнительные сведения об этом мобильном методе, а также примеры его практического применения для оперативного решения разнообразных поисковых и разведочных задач можно найти на сайте [<http://www.geoprom.com.ua/index.php/ru/>].

#### **Результаты исследований 2016-2017 гг. в районах активного вулканизма [4]**

На начальном этапе экспериментальных работ решался вопрос о наличии или отсутствии зон высокочастотного электромагнитного излучения на участках расположения активных вулканов. С использованием частотно-резонансного метода были обработаны спутниковые снимки: Флегрейских полей, Италия; вулкана Мауна-Лоа, Гавайские острова; Йеллоустонского супервулкана, США.

В результате обработки снимков в пределах вулканических построек были обнаружены и локализованы аномальные зоны с разными максимальными значениями частоты электромагнитного излучения – 75 МГц (Флегрейские поля), 1300 МГц (Мауна-Лоа) и 700 МГц (Йеллоустонский вулкан) [4].

На следующем этапе были обработаны снимки в масштабе 1:150000 районов расположения вулканов Авачинский и Безымянный на полуострове Камчатка, Россия. В районах активно действующих вулканов (Корякский, Авачинский, Ключевской, Безымянный) максимальные значения частот ЕИЭМПЗ заключены в пределах 1150–1350 МГц, в то время как для Налычевской геотермальной системы  $f_{max}=200$  МГц. Для не проявляющего активность Плоского Толбачика  $f_{max}=750$  МГц [4].

На очередном этапе экспериментов исследовалась динамика ЕИЭМПЗ для Йеллоустонского вулкана – были обработаны спутниковые снимки за 13.09.2013, 15.08.2015 и 12.02.2017. Анализ полученных результатов засвидетельствовал об увеличении максимальной частоты и площади аномальной зоны ЕИЭМПЗ в этом районе со временем. Если в 2013 г.  $f_{max}=100$  МГц, а площадь аномальной зоны составляла  $S \sim 2$  км<sup>2</sup>, то в 2017 г.  $f_{max}=1300$  МГц, а  $S \sim 4$  км<sup>2</sup> [4].

### **Дополнительные исследования в районе «Yellowstone Park»**

В феврале 2018 г. в районе Йеллоустонского вулкана проведены дополнительные исследования. Основные задачи дополнительных работ – обнаружение и локализация локальных аномальных геоэлектрических зон типа «Активизация Вулканической Деятельности (АВД)» и определение (оценка) прогнозируемых глубин зоны плавления (в том числе и частичного) пород на участке обследования.

Для проведения частотно-резонансной обработки использовались снимки спутника Landsat-8. С целью изучения процесса активизации вулканической активности во времени обработаны снимки за 13.09.2013, 12.02.2017 и 10.10.2017.

При проведении исследований выполнялась частотно-резонансная обработка снимков достаточно крупного участка, на территории которого расположен национальный парк «Yellowstone Park». Масштаб обработки снимков – 1:500000. На начальном этапе работ на обследованной площади обнаружены и прослежены некоторые зоны тектонических нарушений (рис. 1). На следующем этапе исследований, на участке работ были обнаружены и локализованы 13 аномальных геоэлектрических зон типа «Активизация Вулканической Деятельности (АВД)». Положение обнаруженных зон показано на рис. 1. Структура двух наиболее характерных аномальных зон 2а и 2б (центральная часть участка и район действующих гейзеров) показана в более крупном масштабе на рис. 3, на спутниковом снимке местности. Все эти зоны были выделены в процессе частотно-резонансной обработки снимков путем регистрации аномального повышения напряженности естественного электрического поля Земли (ЕЭПЗ) и аномального повышения концентрации положительных зарядов в приземном атмосферном слое. Такие же особенности (закономерности) в поведении поля ЕЭПЗ и распределения зарядов фиксировались также при проведении исследований на действующих вулканах ранее [4].

На заключительном этапе обработки снимков, полученных 13.09.2013, 12.02.2017 и 10.10.2017, на территории парка и его окрестностей определялись глубины расположения прогнозной зоны плавления (в том числе и частичного) пород. Значения глубин в отдельных точках участка определялись с использованием методики вертикального электрорезонансного сканирования разреза (ВЭРС), которая в последнее время очень активно применяется для оценки глубин расположения границ между породами различного состава, в том числе и коллекторов с нефтью и газом [6-7].

На рис. 1 приведена карта глубин зоны прогнозируемого плавления пород, построенная по результатам вертикального сканирования снимка за 10.10.2017. Здесь прогнозируемая граница зоны плавления пород для периферийной части парка находится в интервале глубин 28000-30000 м. В центральной части парка зона прогнозируемого плавления пород поднимается до глубины 23000 м. Еще более существенный подъём расплавленных пород установлен в центральных частях аномальных зон типа «АВД». Здесь расплавленные породы по состоянию на 10.10.2017 поднялись до глубин от 12 800 м (зона № 11) до 2890 м (зона № 2а). Обратим внимание на то, что подъём вещества осуществляется по локальным вертикальным каналам, расположенным вдоль выделенных зон тектонических нарушений.

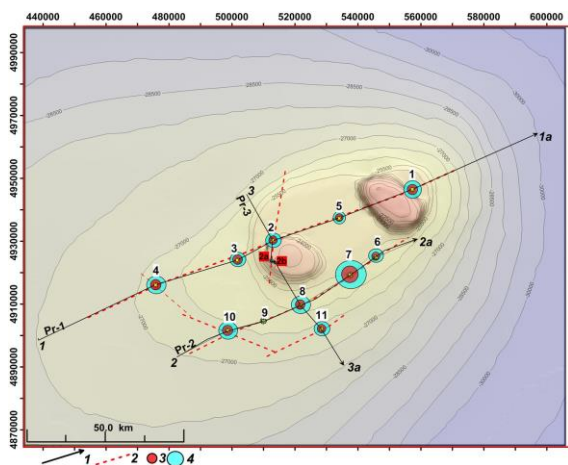


Рис. 1. Карта глубин до верхней кромки зоны плавления пород в районе парка «Yellowstone Park» (по данным частотно-резонансной обработки спутникового снимка за 10.10.2017). 1 – линия вертикального разреза; 2 – тектонические нарушения; 3 – зона концентрации положительных зарядов; 4 – зона повышенной концентрации отрицательных зарядов.

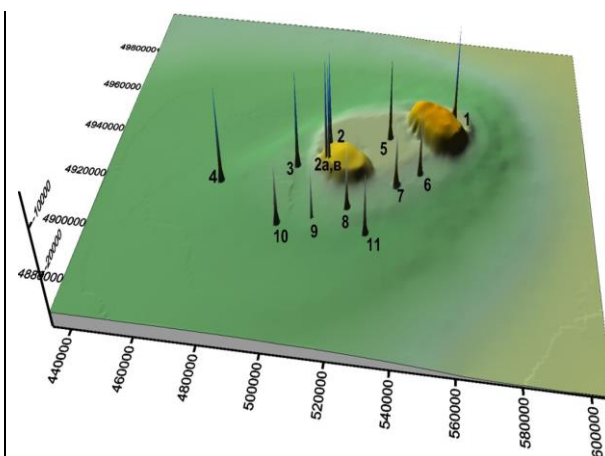


Рис. 2. 3D модель глубин до верхней кромки зоны плавления пород в районе парка «Yellowstone Park» (по данным частотно-резонансной обработки снимка за 10.10.2017).

На рис. 2 представлена трехмерная модель прогнозируемой зоны плавления пород для территории «Yellowstone Park». Три вертикальных разреза прогнозируемой зоны плавления пород через основные выделенные аномальные зоны типа «Активизация Вулканической Деятельности» приведены на рис. 5.

Отметим также, что в центральных частях выделенных аномальных зон типа «АВД» глубины прогнозной зоны плавления пород оценивались по всем трем спутниковым снимкам, полученным в разное время. Анализ этих результатов показал, что

за отрезок времени с 2013 по 2017 гг. наиболее активной зоной является участок № 2б. Он расположен в районе действующих гейзеров. На рис. 3 аномальные геоэлектрические зоны типа «АВД» участков № 2а и № 2б показаны на спутниковом снимке участка в более крупном масштабе – 1:200000.

По результатам оценки глубины расположения расплавленной магмы (прогнозируемой) во временном интервале с 2013 по 2017 гг. построена диаграмма скорости подъема магмы для участка № 2б (рис. 4). При условии, что оцененная скорость внедрения магмы будет примерно постоянной, извержение вулкана в данном месте можно ожидать в феврале 2025 г. Полученная оценка даты извержения может быть скорректирована в сторону увеличения или уменьшения при проведении регулярного мониторинга за вулканической активностью на территории парка.

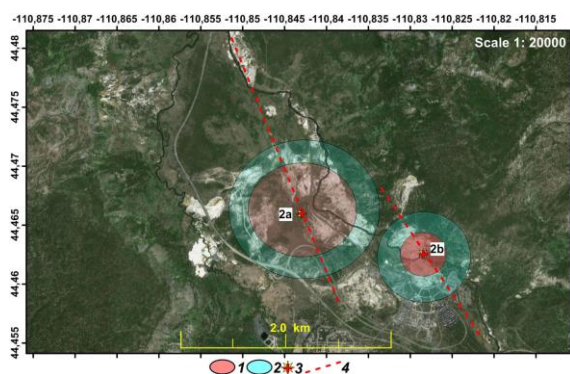


Рис. 3. Геоэлектрические аномальные зоны в районе возрождающихся вулканов в «Yellowstone Park» (Зоны 2а, 2б). 1 – зона повышенной концентрации положительных зарядов; 2 – зона повышенной концентрации отрицательных зарядов; 3 – центральная точка аномальной зоны; 4 – тектонические нарушения.

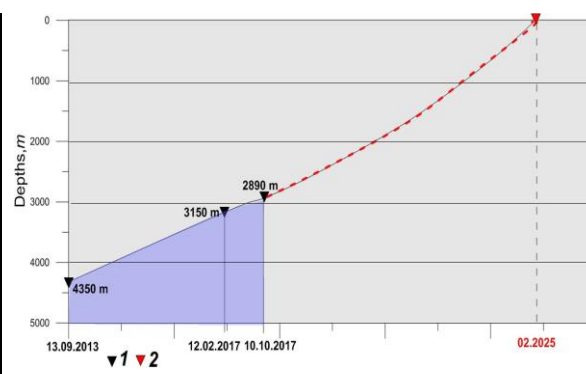


Рис. 4. График скорости внедрения расплавленной магмы в зоне вулкана № 2б. 1 – даты определения глубины зоны внедрения магмы; 2 – прогнозная дата извержения вулкана.

### Возможные дополнительные исследования в районе вулканов

Результаты оперативно выполненных экспериментальных исследований на территории Йеллоустонского вулкана свидетельствуют о целесообразности проведения в этом районе мониторинговых наблюдений с целью изучения характера изменений параметров обнаруженных аномальных зон, а также глубин залегания прогнозируемых зон плавления пород. Очередной этап исследований такого характера планируется провести по результатам частотно-резонансной обработки снимка территории парка, который будет получен через полгода (конец августа – начало сентября 2018 г.)

Существенный интерес представляет изучение характера изменения параметров электромагнитного излучения (площади аномальной зоны и значений максимальной частоты) во времени над вулканами, извержение которых состоялось относительно недавно. Это позволит оценить в первом приближении максимальные значения частоты (или же интервал частот) излучения, при которых происходит извержение вулканических продуктов. Такого рода исследования над эпицентрами прошедших землетрясений ранее были проведены [5, 8].

С использованием технологии вертикального сканирования геологического разреза целесообразно также выполнить оценки глубин залегания аномальных зон (очагов) электромагнитного излучения в районах активных вулканических комплексов. Отметим при этом, что с использованием технологии вертикального сканирования ранее оценены глубины расположения аномальных зон в районах расположения эпицентров некоторых землетрясений. Так, в районе недавно произошедшего (24.02.2017 г.) землетрясения магнитудой 4.4 в Новой Зеландии оценки глубин залегания аномальной зоны составили 12.3–13.7 км. Глубина гипоцентра этого землетрясения по сейсмологическим данным равна 13 км.

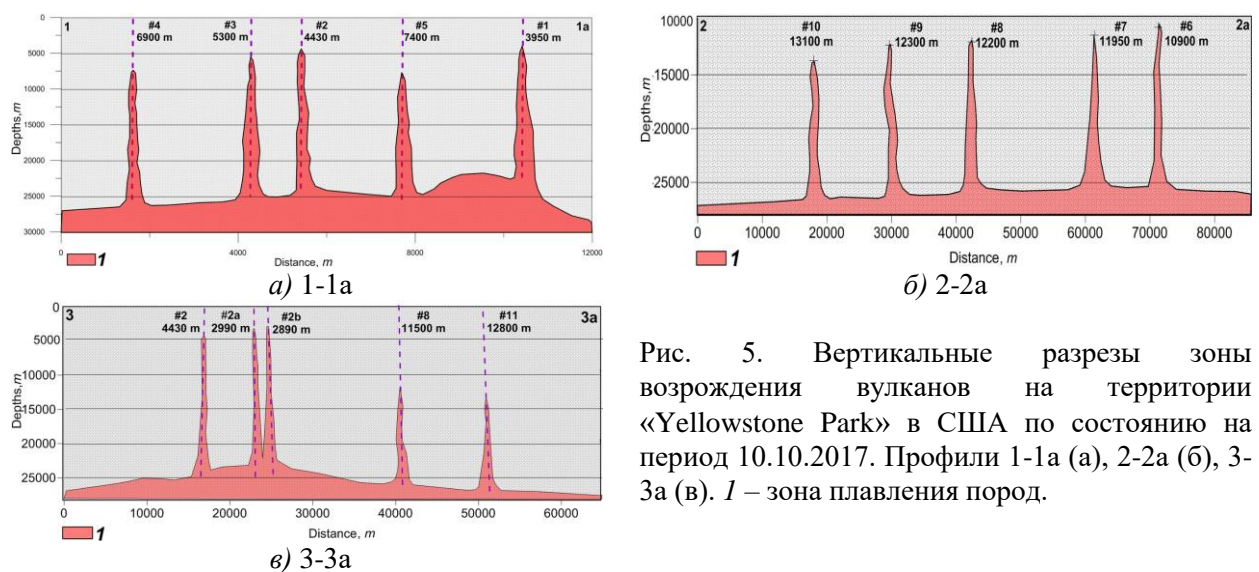


Рис. 5. Вертикальные разрезы зоны возрождения вулканов на территории «Yellowstone Park» в США по состоянию на период 10.10.2017. Профили 1-1а (а), 2-2а (б), 3-3а (в). 1 – зона плавления пород.

Результаты экспериментальных исследований дают основания для констатации, что метод вертикального сканирования геологического разреза (ВЭРС) может стать тем инструментом, который позволит оценивать приближенно скорость подъема продуктов вулканических извержений к поверхности в контурах обнаруженных аномальных зон (участков) высокочастотного электромагнитного излучения, аномальных значений

напряженности естественного электрического поля Земли и аномального повышения концентрации положительных зарядов в приземном атмосферном слое.

### **Заключение**

Отметим, что одной из основных целей проведенных исследований – обратить внимание представителей научного сообщества и технических специалистов на уже накопленные (в огромных объемах) массивы данных ДЗЗ, которые при использовании эффективных методов и технологий их дешифрирования могут быть использованы для оперативного мониторинга за активностью вулканов и сейсмически опасными регионами земного шара.

Принципиальным следует считать то, что материальные затраты на использование данных ДЗЗ из космических аппаратов для мониторинга будут незначительными. Локальные центры оперативной обработки данных ДЗЗ могут быть созданы в рамках уже существующих систем мониторинга (в том числе и глобального аэрокосмического) как за активными вулканами, так и за сейсмически опасными регионами мира.

Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности проведения дальнейших исследований в обозначенном направлении – изучении характера (особенностей) электромагнитного излучения (эмиссии) на участках расположения активных вулканов и эпицентров прошедших сильных землетрясений в различных регионах земного шара. Результаты детального изучения характера изменения электромагнитных параметров излучения (максимальной частоты и площади аномальной зоны) во времени могут быть использованы в дальнейшем для мониторинга за активными вулканами и районами подготовки сильных землетрясений.

Технология частотно-резонансной обработки спутниковых снимков предоставляет возможность оперативно обнаруживать и картировать аномальные зоны высокочастотного излучения. За обнаруженными аномальными зонами может быть организован мониторинг, в том числе и путем проведения наземных измерений.

Результаты ранее проведенных исследований [4–5, 8], а также представленные в настоящей статье указывают на целесообразность более активного и целенаправленного использования данных ДЗЗ для оперативного решения задач поисково-разведочного, экологического и мониторингового характера с помощью их обработки частотно-резонансной технологией. На настоящий момент спутниковые снимки на все регионы земного шара накоплены в громадных объемах. Значительное их количество находится в



свободном доступе, а апробированная мобильная технология обработки и дешифрирования снимков также может найти применение как в задачах мониторинга за активностью вулканов, так и сейсмоактивных территорий с целью прогноза землетрясений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н. Новые возможности оперативной оценки перспектив нефтегазоносности разведочных площадей, труднодоступных и удаленных территорий, лицензионных блоков. / Геоинформатика. 2010. № 3. С. 22–43.
2. Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н. Оценка относительных значений пластового давления флюидов в коллекторах: результаты проведенных экспериментов и перспективы практического применения. Геоинформатика. 2011. № 2. С. 19–35.
3. Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н. Частотно-резонансный принцип, мобильная геоэлектрическая технология: новая парадигма геофизических исследований. Геофизический журнал. 2012. Т. 34, № 4. С. 167–176.
4. Левашов С. П., Якимчук Н. А., Корчагин И. Н., Божежа Д.Н., Фирстов П.П., Мельников Д.В. Частотно-резонансная технология обработки спутниковых снимков: о возможности ее применения для мониторинга активности вулканов. Материалы XX региональной научной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвящённой Дню вулканолога, 30-31 марта 2017 г. – Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2017. С. 58–61.
5. Levashov, S.P., Yakymchuk, N.A., Korchagin, I.N. and Bozhezha, D.N., 2016. High-frequency electromagnetic emission in the earthquake epicentral areas detected by the remote sensing frequency-resonance data processing. NCGT Journal, v. 4, no. 3, December 2016, p. 601-614. [www.ncgt.org](http://www.ncgt.org)
6. Levashov, S.P., Yakymchuk, N.A., Korchagin, I.N. and Bozhezha, D.N., (2017a), Application of mobile and direct-prospecting technology of remote sensing data frequency-resonance processing for the vertical channels of deep fluids migration detection. NCGT Journal, v. 5, no. 1, March 2017. P. 48-91. [www.ncgt.org](http://www.ncgt.org)
7. Levashov Sergey, Yakymchuk Nikolay, Korchagin Ignat. (2017b), On the Possibility of Using Mobile and Direct -Prospecting Geophysical Technologies to Assess the

Prospects of Oil -Gas Content in Deep Horizons. Oil and Gas Exploration: Methods and Application. Said Gaci and Olga Hachay Editors. April 2017, American Geophysical Union. P. 209–236.

8. Levashov, S.P., Yakymchuk, N.A., Korchagin, I.N. and Bozhezha, D.N., 2017. High-frequency electromagnetic emission in the area between Kamchatka Peninsula and Komandorsky Islands detected by frequency-resonance analysis of remote sensing data. NCGT Journal, v. 5, no. 3, September 2017. P. 389-392. [www.ncgt.org](http://www.ncgt.org).