

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В РАЙОНАХ ЭПИЦЕНТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПО ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ РЕЗУЛЬТАТАМ ЧАСТОТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЗЗ

С.П. Левашов^{1,2}, Н.А. Якимчук^{1,2}, И.Н. Корчагин³, Д.Н. Божежа²

¹*Институт прикладных проблем экологии, геофизики и геохимии, пер. Лабораторный, 1, г. Киев, 01133, Украина*

²*Центр менеджмента и маркетинга в области наук о Земле ИГН НАН Украины, пер. Лабораторный, 1, г. Киев, 01133, Украина*

³*Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, просп. Акад. Палладина, 32, г. Киев, 03680, Украина, e-mail: korchagin@karbon.com.ua*

Анализируются результаты изучения особенностей электромагнитного излучения на локальных участках расположения эпицентров землетрясений по результатам обработки и декодирования данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с космических аппаратов (спутниковых снимков) в различных регионах мира: в Республике Казахстан, Японии, Украине и Италии. В пределах обследованных участков проводилась регистрация аномальных откликов в частотном диапазоне 20–1350 МГц. На участке расположения эпицентра землетрясения в районе месторождения Тенгиз (Казахстан) обнаружена аномалия высокочастотного излучения в диапазоне частот от 215 до 1300 МГц. В центре аномалии закартирована аномальная зона типа «газ» с давлением 45–50 МПа. Характер образования, увеличения и исчезновения аномальных зон во временном интервале более 3 лет исследован на участках эпицентров землетрясений на шельфе Японии 11.03.2011 и в районе г. Мариуполь 07.08.16 (Украина). В результате обработки снимка участка эпицентра примерно «за год до» землетрясения в Италии 24.08.2016 обнаружена аномальная зона с максимальной частотой свыше 80 МГц. Результаты исследований указывают на целесообразность использования данных ДЗЗ для оперативного решения поисково-разведочных, экологических и мониторинговых задач. На настоящее время данные ДЗЗ (спутниковые снимки) накоплены в громадных объемах. Значительное их количество находится в свободном доступе. Оперативная обработка спутниковых снимков сейсмоопасных территорий предоставляет возможность выявить и закартировать аномальные зоны высокочастотного излучения. Возможен мониторинг обнаруженных аномалий, в том числе путем проведения наземных измерений.

Ключевые слова: частотно-резонансный метод, эпицентр землетрясения, предвестник, спутниковые данные, мобильная технология, обработка данных ДЗЗ, интерпретация, зона высокочастотного излучения.

Введение. С целью повышения оперативности и экономической эффективности процесса поисков и разведки рудных и горючих полезных ископаемых в последнее время активно разрабатывают и целенаправленно применяют прямопоисковые геофизические технологии и методы. Такого рода технологии построены на принципах “вещественной” парадигмы геолого-геофизических исследований, суть которой состоит в “прямых” поисках конкретного вещества: нефти, газа, золота, серебра, платины, цинка, железа, воды и др. [8].

Существенно сократить временные и финансовые ресурсы на проведение поисково-разведочных работ позволяют прямопоисковые технологии, которые базируются на обработке и интерпретации (дешифрировании, декодировании) данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с космических аппаратов (спутниковых снимков). Такие технологии и методы дают возможность получать значительный объем новой и полезной информации о перспективах обнаружения в пределах изучае-

мых крупных площадей или локальных объектов промышленных скоплений искомого полезного ископаемого (ископаемых) без проведения полевых работ, т. е. в камеральных (лабораторных) условиях. Прямопоисковые методы (технологии) можно считать супероперативными, их эффективность выше, чем у традиционных геофизических методов! Это технологии “Инфоскан”, “Томко”, “Поиск” и др.

На принципах “вещественной” парадигмы геофизических исследований базируются также разработанные и активно используемые авторами мобильные геоэлектрические методы становления короткоимпульсного электромагнитного поля (СКИП) и вертикального электрорезонансного зондирования (ВЭРЗ) [8]. Уже на протяжении многих лет они успешно применяются для оперативного решения широкого класса геолого-геофизических задач, в том числе поисков рудных и горючих полезных ископаемых.

В 2010 г. мобильная прямопоисковая экспресс-технология СКИП–ВЭРЗ была дополнена (расши-

рена) частотно-резонансным методом обработки и интерпретации (дешифрирования) данных ДЗЗ [6–8]. В этом методе обработки данных ДЗЗ выделение полезного сигнала из спутниковых снимков осуществляется частотно-резонансным способом. Для различных полезных ископаемых (нефть, газ, уран, золото, вода, цинк и др.) на их образцах определены характерные для них резонансные частоты, которые используются при обработке и дешифрировании данных ДЗЗ.

Ниже рассмотрены результаты применения супермобильной технологии для обнаружения и локализации участков (зон) высокоинтенсивного электромагнитного излучения в районах эпицентров произошедших землетрясений.

Метод исследований. Как отмечалось, технология частотно-резонансной обработки данных ДЗЗ является методом “прямых” поисков различных полезных ископаемых [6–8]. **Отличительные особенности** и потенциальные возможности метода описаны во многих публикациях и отчетах по выполненным исследованиям, в том числе в работах [6–9]. **Дополнительные сведения и многочисленные** примеры его практического применения для оперативного решения разнообразных поисковых задач можно найти на сайте [<http://www.geoprom.com.ua/index.php/ru/>].

Обратим внимание на то, что технология частотно-резонансной обработки данных ДЗЗ разработана и совершенствуется экспериментальным путем. На сегодня нет законченного теоретического обоснования отдельных методов технологии. В связи с этим авторы продолжают целенаправленно проводить эксперименты с целью изучения возможностей применения частотно-резонансной обработки данных ДЗЗ для решения разнообразных задач, в том числе экологического и мониторингового характера. Результаты каждых дополнительных экспериментальных работ вносят определенный вклад в дальнейшее становление и развитие оригинальной технологии.

Значительный объем экспериментальных исследований с использованием прямопоисковых методов выполнен авторами в 2016 г. Так, в начале года в процессе апробации усовершенствованной модификации частотно-резонансной обработки спутниковых снимков [6–8] в районе Шебелинского газоконденсатного месторождения был обнаружен вертикальный канал миграции глубинных флюидов — локальный участок с очень высокими значениями пластового давления. В процессе проведения значительного объема дополнительных исследований такие каналы были зафиксированы и в других регионах земного шара, например, три вертикальных канала в районе расположения нефтяного месторождения Тенгиз (Казахстан). Результаты экспериментальных работ представлены в статье [9].

В мае 2016 г. появилась информация о землетрясении с эпицентром в районе месторождения Тенгиз [4]. Интерес авторов к этому информационному сообщению обусловлен следующими обстоятельствами. Во-первых, некоторыми исследователями высказываются предположения, что землетрясения могут также инициироваться процессом внедрения под высоким давлением флюидов (в том числе углеводородов (УВ)) в верхние горизонты земной коры [2, 5, 10]. Во-вторых, ранее авторами уже проводилась частотно-резонансная обработка спутниковых снимков локальных участков расположения эпицентров землетрясений в Турции, Индонезии и Японии. В результате в пределах участков были зарегистрированы на очень высоких частотах (десятки—сотни мегагерц) аномальные зоны в естественном импульсном электромагнитном поле Земли (ЕИЭМПЗ).

С учетом изложенного было принято решение провести обработку спутниковых снимков нескольких участков расположения произошедших землетрясений с целью изучения возможности применения указанной супермобильной технологии в задачах мониторинга сейсмоопасных территорий с целью прогноза землетрясений.

В статье представлены и анализируются графические материалы частотно-резонансной обработки и декодирования спутниковых снимков четырех участков, в пределах которых расположены эпицентры землетрясений. Экспериментальные работы выполнены в мае и августе 2016 г.

Землетрясение в районе месторождения Тенгиз. Согласно оперативным сведениям из Центра данных РГП ИГИ 8 мая 2016 г. в 01 ч 27 мин по времени г. Астана (7 мая в 19 ч 27 мин по Гринвичу) зарегистрировано землетрясение с эпицентром в районе месторождения Тенгиз. Координаты эпицентра: 45,99° с. ш., 53,97° в. д. Магнитуда $m_b = 3,9$. Энергетический класс $K = 8,5$ [4].

При проведении экспериментальной обработки спутникового снимка локального участка целенаправленно предпринимались попытки: а) обнаружить вертикальный канал миграции глубинных флюидов; б) зарегистрировать аномальные отклики на высоких частотах ЕИЭМПЗ. Для частотно-резонансной обработки подготовлен спутниковый снимок участка расположения эпицентра землетрясения в масштабе 1 : 25 000 (рис. 1).

На участке изучения выявлена и закартирована аномалия на высоких частотах ЕИЭМПЗ. На рис. 1 аномалия обозначена изолиниями от 215 до 1300 МГц. Центральная точка аномалии расположена в контуре изолинии 1300 МГц, она смещена от эпицентра землетрясения на 650 м.

Аномальные отклики на таких же высоких частотах зафиксированы ранее в районах расположения эпицентров землетрясений в Турции, Индонезии и Японии.

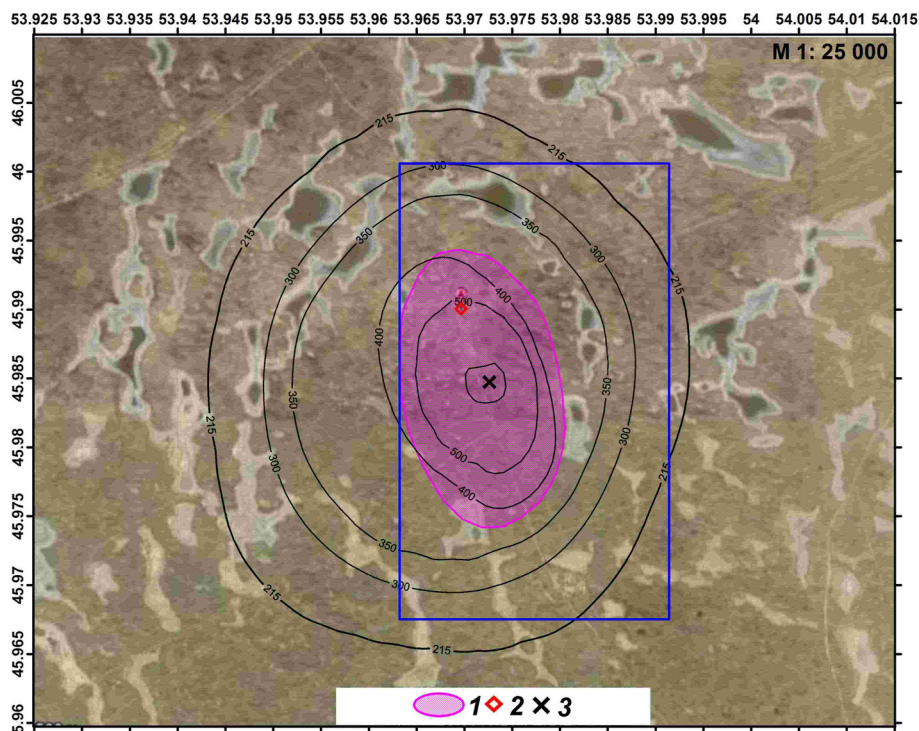


Рис. 1. Контуры геоэлектрической аномальной зоны естественного импульсного электромагнитного поля Земли на спутниковом снимке эпицентра землетрясения 08.05.2016 в Республике Казахстан (значения изолиний – в МГц): 1 – аномальная геоэлектрическая зона типа “газ”, пластовое давление 45–50 МПа; 2 – эпицентр землетрясения по данным Центра данных РГП ИГИ [4] (45,99° N; 53,97° E); 3 – центр аномальной зоны (45,9847° N, 53,9724° E), расположен в контуре изолинии 1300 МГц

Fig. 1. Contours of geoelectric anomalous zone of natural pulsed electromagnetic field of the Earth (NPEMFE) on the satellite image of the earthquake epicenter of 08.05.2016 in the Republic of Kazakhstan (Magnitude: $m_b = 3.9$, Energy class: $K = 8.5$) (contour values are given in MHz). 1 – anomalous geoelectric zone of the “gas” type, reservoir pressure – 45.0–50.0 MPa; 2 – epicenter of the earthquake according to Data Center of IGR RSE [4]: N 45.99, E 53.97; 3 – coordinates of the center of the anomalous zone: N 45.9847, E 53.9724 (located in the 1300 MHz contour)

В пределах обследованной площади аномальные отклики на резонансных частотах водорода, гелия и нефти не зафиксированы.

На резонансных частотах газа обнаружена и оконтурена относительно небольшая аномальная зона типа “газ” (рис. 1). Оценки пластового давления флюидов в пределах данной зоны составили 45–50 МПа.

Результаты исследований позволяют констатировать следующее.

1. Вертикальный канал миграции глубинных флюидов не обнаружен. Тем не менее утверждать, что он отсутствует, преждевременно. Канал может быть очень малым по площади, и в масштабе обработки снимка 1 : 25 000, возможно, был пропущен.

2. Небольшая аномальная зона типа “газ” в центре участка также свидетельствует в пользу возможного наличия вертикального канала миграции глубинных флюидов на участке.

3. Обнаружена и закартирована зона аномальных откликов на высоких частотах.

4. Центральные части аномальных зон высокочастотного излучения и типа “газ” практически совпадают.

5. На обследованной площади целесообразно провести дополнительные, более детальные исследования – выполнить частотно-резонансную обработку спутникового снимка в более крупном масштабе.

6. Следует продолжить экспериментальные исследования такого же характера на участках расположения эпицентров других землетрясений в различных нефтегазоносных регионах, в том числе в бассейнах добычи УВ из сланцевых пород.

7. Представляет интерес задача исследования процесса формирования и изменения зоны высокочастотного излучения во времени. Для этого необходимо провести частотно-резонансную обработку серии спутниковых снимков участка расположения эпицентра какого-либо землетрясения, полученных в разное (и достаточно продолжительное) время.

Такого рода исследования проведены на участке эпицентра землетрясения в море возле берегов Японии, а также в районе г. Мариуполь (Украина).

Японское землетрясение 11.03.2011 г. 11 марта 2011 г. вблизи тихоокеанского побережья о-ва Хонсю (Япония) произошло землетрясение на глубине 22 км с эпицентром примерно в 100 км от г. Мияге и в 400 км от г. Токио. Землетрясение стало

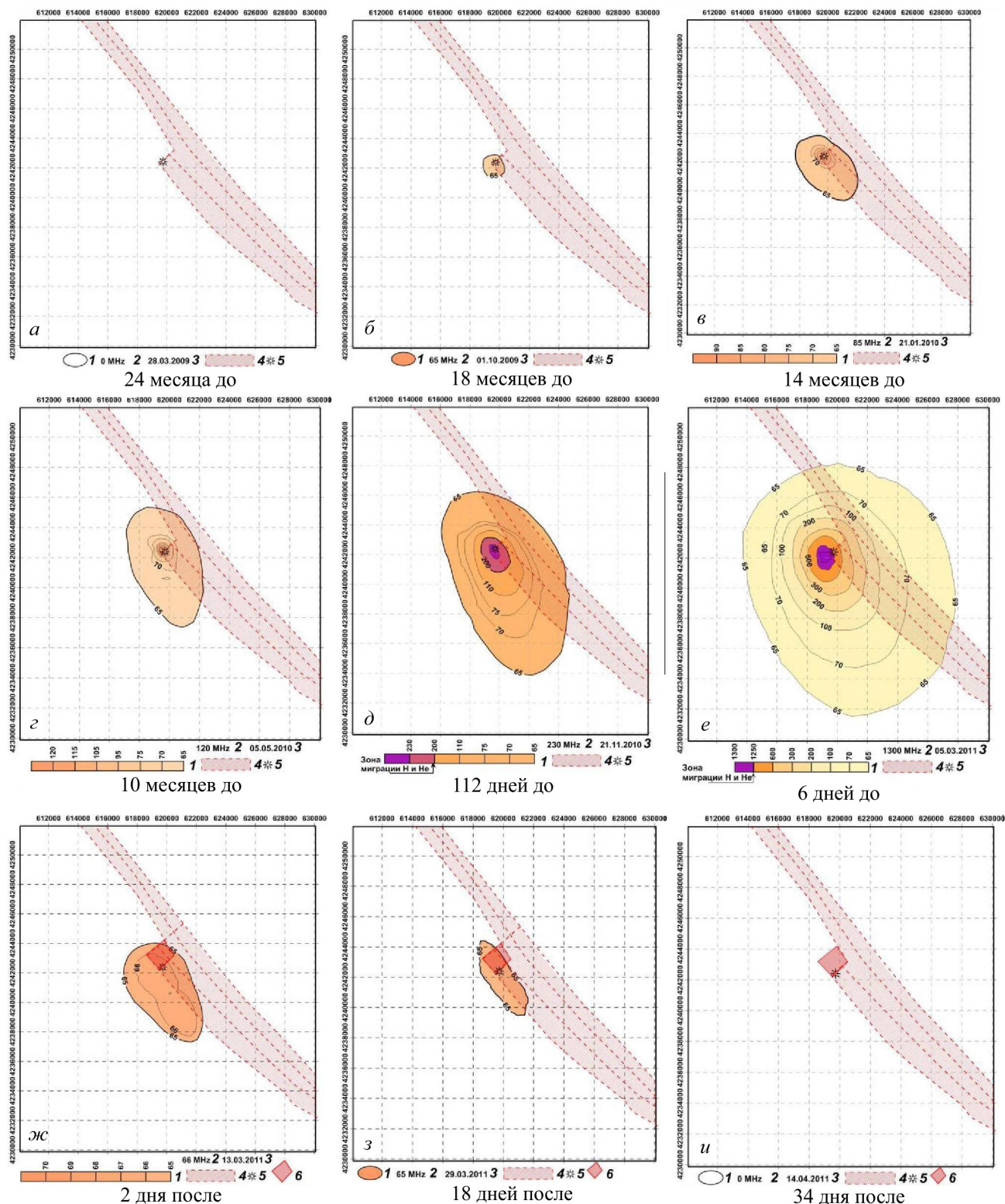


Рис. 2. Карта геоэлектрической аномальной зоны в районе эпицентра землетрясения 11.03.2011 магнитудой 9,1 (Япония, Фукусима): 1 – шкала (или контур) значений частоты ЕИЭМПЗ, МГц; 2 – максимальное значение частоты в центральной части аномальной зоны; 3 – дата получения спутникового снимка участка; 4 – зона тектонического нарушения; 5 – эпицентр землетрясения; 6 – зона дробления пород, образовавшаяся после землетрясения

Fig. 2. Map of the geoelectric anomalous zone in the region of the 11.03.2011 earthquake epicenter of magnitude 9.1 (Japan, Fukushima). 1 – scale (or contour) of frequency values of the natural pulsed electromagnetic field of the Earth (NPEMFE), MHz; 2 – the maximum frequency value in the anomalous zone center; 3 – date of receipt of the satellite image of area; 4 – zone of tectonic fractures; 5 – epicenter of the earthquake; 6 – zone of rock crushing, formed after the earthquake

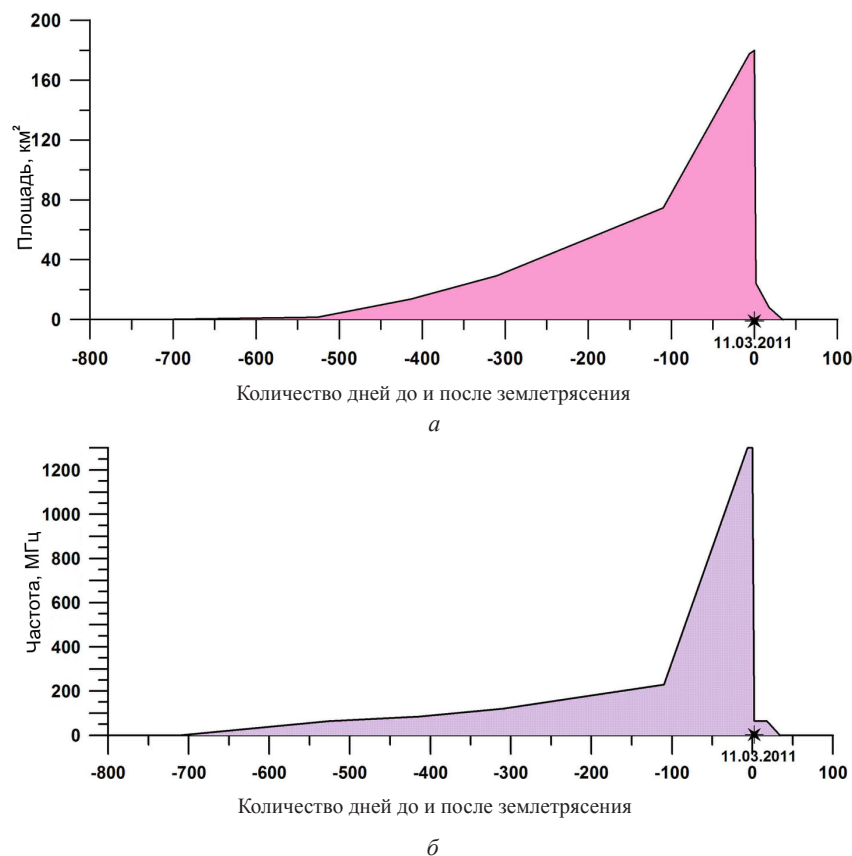


Рис. 3. Изменение площади аномальной зоны (а) и частоты (б) естественного импульсного электромагнитного поля Земли во временном диапазоне над эпицентром землетрясения 11.03.2011 в Японии (Фукусима)

Fig. 3. Graphs of change of the anomalous zone area (a) and frequency (b) of NPEMFE field in the time range over the earthquake epicenter of 11.03.2011 in Japan (Fukushima)

крупнейшей катастрофой за всю историю Японии. Вследствие уникально сильных по степени сейсмического воздействия толчков и мощного цунами, разрушившего несколько прибрежных городов. Кроме того, эффект землетрясения был усугублен опасной радиационной обстановкой, сложившейся на атомной электростанции Фукусима-1. Количество жертв и пропавших без вести составило более 23 000 человек [11, 15].

В этом районе был обследован участок размерами $20 \times 22 = 440 \text{ км}^2$ (рис. 2). Спутниковые снимки участка (до землетрясения — б, после землетрясения — 4) были обработаны в масштабе 1 : 100 000 (рис. 2). Результаты декодирования снимка за 08.07.2016 (5 лет после землетрясения) не приведены, поскольку практически идентичны результатам, показанным на рис. 2, а, — аномальная зона в мегагерцевом диапазоне ЕИЭМПЗ в эпицентре месторождения не обнаружена.

Рис. 2 в достаточной степени наглядно демонстрирует процессы возникновения, увеличения и исчезновения геоэлектрической аномальной зоны в мегагерцевом диапазоне. Вместе с тем целесообразно добавить следующее.

1. Максимальные значения частоты (в МГц) и площади (в км^2) аномальной зоны соответственно

изменялись во времени следующим образом (рис. 2): а — 0; 0; б — 65; 1,57; в — 85; 13,57; г — 120; 29,26; д — 230; 74,54; е — 1300; 177,5; 11.03.2011 — 1300; 180; з — 66; 24,7; ж — 65; 7,95; и — 0; 0; 08.07.2016 — 0. В графическом виде эти параметры аномальной зоны показаны на рис. 3.

2. За 112 (см. рис. 2, д) и 6 дней (рис. 2, е) до землетрясения в центральной части аномальной зоны зафиксированы аномальные отклики на резонансных частотах водорода и гелия. В этой части могут быть расположены вертикальные каналы миграции глубинных флюидов.

3. Время исчезновения аномальной зоны существенно короче времени ее формирования.

4. Дополнительная обработка спутникового снимка за 08.07.2016 (5 лет после землетрясения) показала отсутствие высокочастотной аномальной зоны в районе эпицентра.

В публикациях [11, 15] приводится информация (в том числе графическая) о значительном количестве форшоков и афтершоков в пределах участка обследования. В связи с этим спутниковый снимок участка, полученный 06.03.2011, был обработан в более широком диапазоне частот (рис. 4). Из рисунка следует, что в пределах обследованной площади обнаружено значительное количество от-

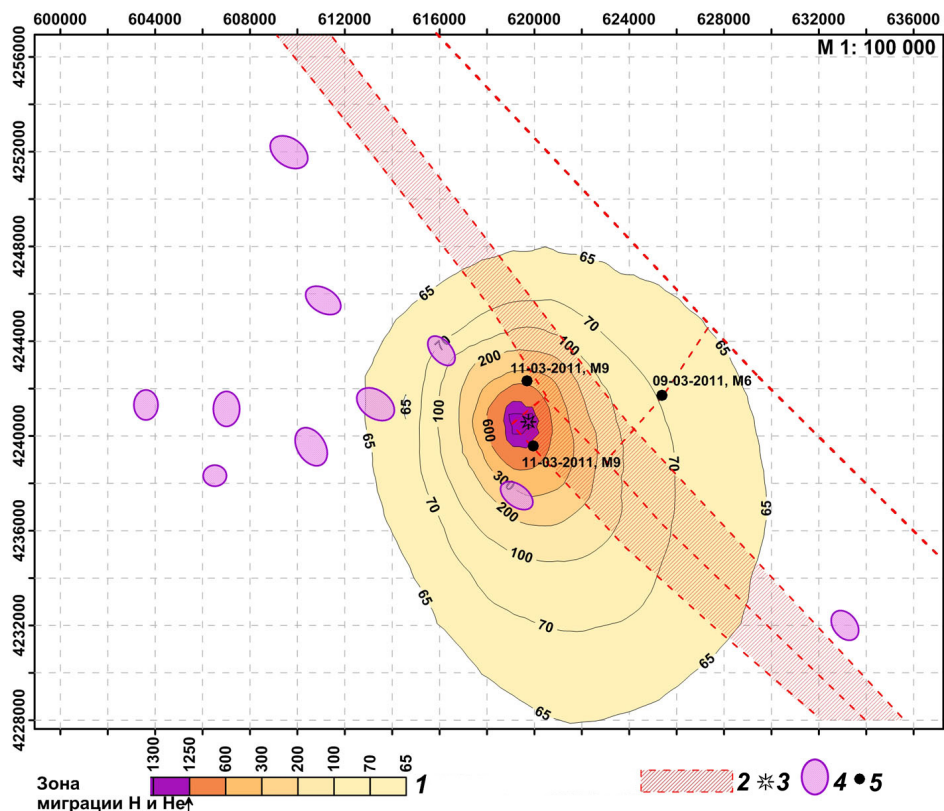


Рис. 4. Карта геоэлектрической аномальной зоны в районе эпицентра землетрясения 11.03.2011 магнитудой 9,1 (Япония, Фукусима). Максимальное значение частоты в центральной части аномальной зоны 1300 МГц (дата получения спутникового снимка участка 06.03.2011): 1 – шкала значений частоты ЕИЭМПЗ, МГц; 2 – зона тектонического нарушения; 3 – эпицентр землетрясения; 4 – зоны ЕИЭМПЗ в частотном диапазоне 23–25,5 МГц; 5 – эпицентры землетрясений, в том числе основного, по разным источникам

Fig. 4. Map of the geoelectric anomalous zone in the region of the 11.03.2011 earthquake epicenter of magnitude 9.1 (Japan, Fukushima). The maximum frequency value in the anomalous zone center 1300 MHz (date of receipt of the satellite image of area 06.03.2011): 1 – scale (or contour) of frequency values of the natural pulsed electromagnetic field of the Earth (NPEMFE), MHz; 2 – zone of tectonic fractures; 3 – epicenter of the earthquake; 4 – zones of NPEMFE field in the frequency range of 23.0–25.5 MHz; 5 – epicenters of earthquakes, including the main according to various sources

носителю небольших по площади аномальных зон в частотном диапазоне 23–25,5 МГц. Однако изменений параметров этих аномальных зон со временем на данном этапе исследований не прослежено.

Землетрясение в районе г. Мариуполь. 7 августа 2016 г., примерно в 11:15, вблизи г. Мариуполь произошло землетрясение с магнитудой, которая по данным различных сейсмических станций оценена как 4,6–4,9. Вследствие землетрясения никто не пострадал [1].

Параметры очага землетрясения, полученные по данным украинских сейсмических станций и ближайших станций Глобальной сейсмической сети, оценены таким образом: широта 47,35° N, долгота 37,52° E; глубина очага 10 км. Вследствие большой глубины очага землетрясение фиксировалось на значительной по площади территории. В эпицентре землетрясение проявилось с интенсивностью 6 баллов по шкале MSK-64. Оно ощущалось в Мариуполе, Бердянске, Запорожье, Днепро-

петровске, Донецке, Ростове-на Дону и в других населенных пунктах.

По информации Института геофизики НАН Украины причиной землетрясения являются процессы, связанные с движением тектонических плит. Его эпицентр расположен на северном краю крупного сейсмоактивного пояса нашей планеты, возникшего вследствие коллизии континентальных плит: Евразийской, Африканской, Арабской и Индийской.

Последнее из инструментально зарегистрированных недалеко от г. Мариуполь землетрясений произошло в акватории Азовского моря 4 января 2014 г. До этого в Азовском море были зарегистрированы землетрясения в 1978 и 1990 гг.

На начальном этапе исследований (работ) выполнена обработка спутникового снимка локального участка расположения эпицентра в масштабе 1 : 50 000. Полученные при этом результаты можно резюмировать следующим образом.

1. В районе расчетного эпицентра высокочастотная аномальная зона не зафиксирована.

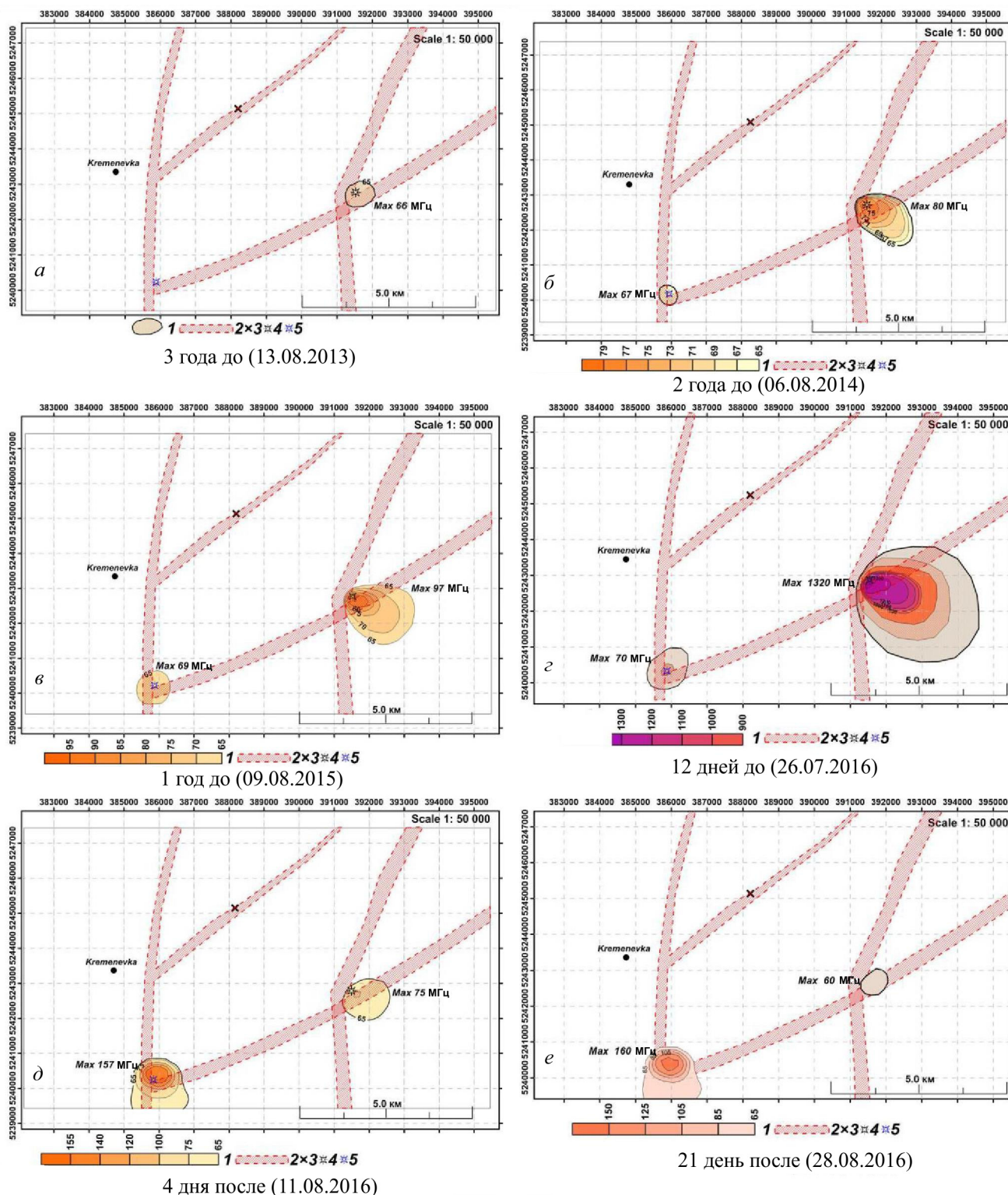


Рис. 5. Карта геоэлектрических аномальных зон в естественном импульсном электромагнитном поле Земли зоны землетрясения 07.08.2016 в районе г. Мариуполь: 1 – шкала частот ЕИЭМПЗ (контур аномалии), МГц; 2 – зоны тектонических нарушений по данным дешифрирования; 3 – эпицентр землетрясения по расчетным сейсмическим данным, координаты: 47,35° N; 37,52° E; 4 – эпицентр землетрясения по данным частотно-резонансного анализа спутниковых снимков, координаты: 47,3290558° N; 37,5643334° E; 5 – эпицентр зоны формирования нового землетрясения, координаты: 47,3060454° N; 37,489186° E

Fig. 5. Map of geoelectric anomalous zones in the natural pulse delectromagnetic field of the Earth (NPMEFE) of the 07/08/2016 earthquake zone near Mariupol. 1 – scale of the NPMEFE frequency range (anomaly contour), MHz; 2 – zones of tectonic fractures according to decoding; 3 – epicenter of the earthquake on the calculated seismic data, the coordinates: N 47.35°, E 37.52°; 4 – epicenter of the earthquake according to the frequency-resonance analysis of satellite images, the coordinates: N 47.3290558°, E 37.5643334°; 5 – epicenter of zone of the new earthquake formation, coordinates: N 47.3060454°, E 37.489186°

2. Аномалия с максимальными значениями свыше 1200 МГц обнаружена и закартирована примерно в 4,5 км на юго-восток от расчетного эпицентра. На одном из сайтов точность определения эпицентра оценена в 6,4 км.

3. В центральной части аномальной зоны зафиксированы аномальные отклики на резонансных частотах водорода и гелия. Здесь можно предположить наличие вертикального канала миграции глубоководных флюидов.

4. В юго-западной части обследованной площади обнаружена еще одна относительно небольшая аномальная зона с максимальным значением частоты 70 МГц. Эту зону можно считать участком формирования “будущего” (“прогнозируемого”) землетрясения.

На втором этапе работ исследовался характер зарождения и развития аномальных зон высокочастотного излучения во времени. Было обработано шесть снимков участка расположения эпицентра (рис. 5): за 3, 2, 1 год и 12 дней до землетрясения, а также через 4 и 21 день после землетрясения. По

результатам дешифрирования снимков построены графики изменения площади аномальной зоны (рис. 6, а) и частоты (рис. 6, б) ЕИЭМПЗ во времени над эпицентром землетрясения. Анализ рис. 5 и 6 позволяет констатировать следующее.

1. Характер изменения параметров аномальной зоны высокочастотного излучения (площадь аномалии и значение максимальной частоты) в районе г. Мариуполь примерно такой же, как и на участке землетрясения в Японии. Отметим, однако, что площадь закартированной аномалии в первом случае существенно меньше.

2. Зона высокочастотного излучения начала формироваться в районе г. Мариуполь несколько раньше, чем в Японии, — за 3 года до землетрясения.

3. За 2 года до землетрясения в юго-западной части участка обследования начала формироваться вторая зона высокочастотного излучения (см. рис. 5, б).

4. После землетрясения вторая аномальная зона не исчезла — частота электромагнитного излучения в ее пределах продолжает расти, что можно считать дополнительным свидетельством в пользу

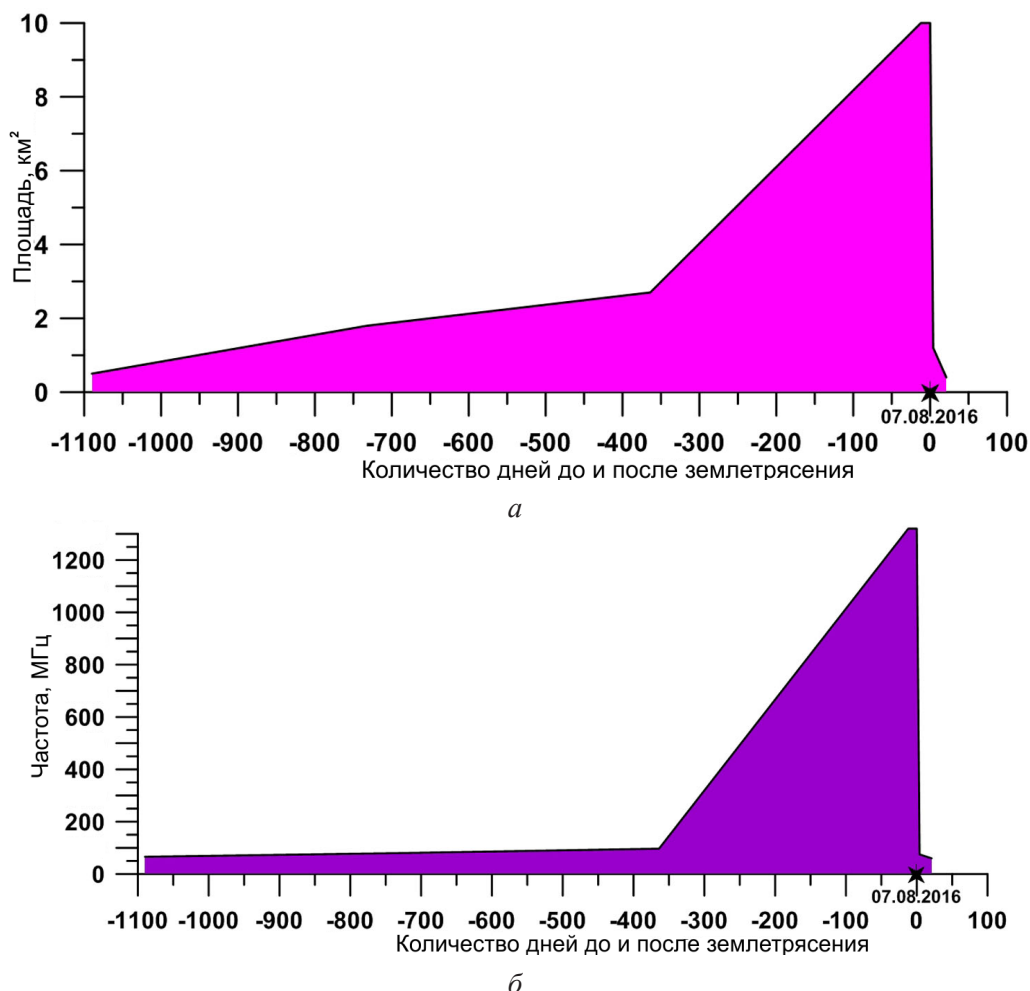


Рис. 6. Изменение площади аномальной зоны (а) и частоты (б) естественного импульсного электромагнитного поля Земли во временном диапазоне над эпицентром землетрясения 07.08.2016 в районе г. Мариуполь

Fig. 6. Graphs of change of the anomalous zone area (a) and frequency (b) of NPMEFE field in the time range over the earthquake epicenter of 08.07.2016 near Mariupol

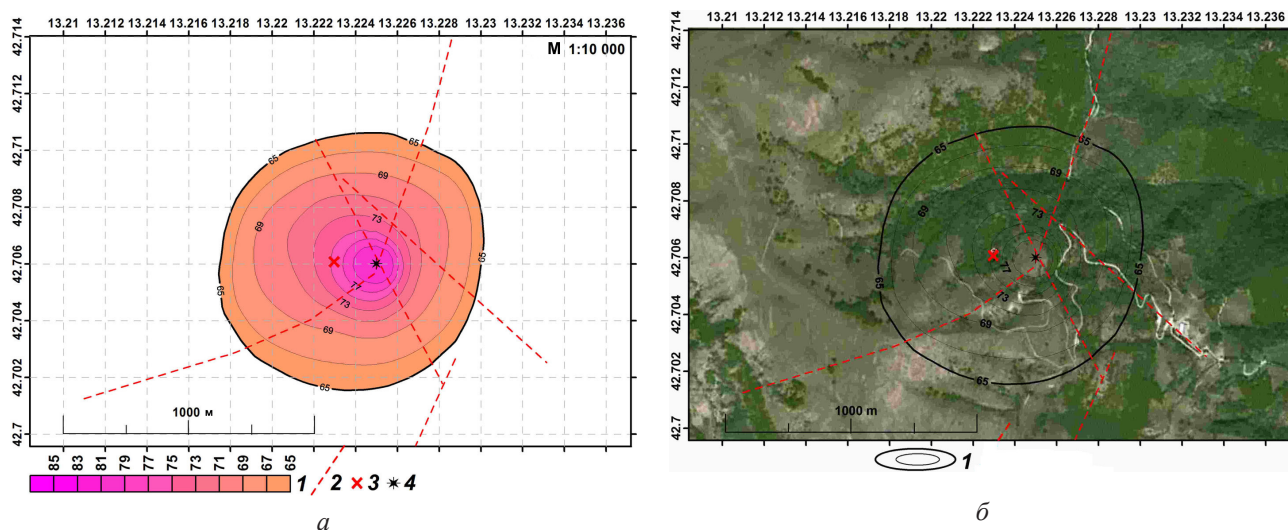


Рис. 7. Аномальная геоэлектрическая зона в естественном импульсном электромагнитном поле Земли за год до землетрясения в Италии 24.08.2016 (магнитуда 6,2) (по данным частотно-резонансного дешифрирования спутникового снимка): 1 – шкала (а) и изолинии (б) частот ЕИЭМПЗ, МГц; 2 – зоны тектонических нарушений; 3 – эпицентр землетрясения по сейсмическим данным; 4 – центральная точка аномальной зоны (вероятный эпицентр землетрясения, смещение на 150 м)

Fig. 7. Anomalous geoelectric zone in the NPEMFE field a year before the earthquake in Italy 24/08/2016 (magnitude 6.2) (according to the frequency-resonance decoding of satellite image). 1 – scale (a) and isolines (б) of NPEMFE frequencies, MHz; 2 – zone of tectonic fractures; 3 – epicenter of the earthquake on the seismic data; 4 – central point of the anomalous zone (probable epicenter of the earthquake, the displacement is up to 150 m)

формирования (подготовки) на участке обследования нового землетрясения.

5. Целесообразно организовать мониторинг второй аномальной зоны путем обработки спутниковых снимков через определенные интервалы времени по мере их появления в открытом доступе, а также наземными измерениями.

Землетрясение в центральной Италии. Мощное землетрясение магнитудой 6,2 произошло в Италии 24.08.2016. Координаты эпицентра землетрясения – 42,706° N, 13,223° E. Вследствие землетрясения 295 человек погибло, более 400 – ранено, 2500 человек остались без крова [14].

Для последующей частотно-резонансной обработки был подготовлен спутниковый снимок участка расположения эпицентра в масштабе 1 : 10 000 (рис. 7, б). Дата получения снимка – примерно за год до землетрясения.

В результате обработки и декодирования снимка обнаружена изометрическая аномальная зона с максимальной частотой в центре свыше 80 МГц (рис. 7). Центральная часть аномалии расположена на участке пересечения тектонических нарушений (выделенных по результатам декодирования спутникового снимка) и смещена от расчетного эпицентра на восток примерно на 150 м. Максимальное значение частоты в аномальной зоне сопоставимо со значениями частот на участках возле Японии и в районе г. Мариуполь (за такое же время до начала землетрясения).

Краткие комментарии и выводы. Отметим, что авторы целенаправленно не занимаются проблемой исследования (изучения) вариаций геофизических полей для прогноза землетрясений. Основная цель

исследований, результаты которых представлены выше, – обратить внимание представителей научного сообщества и технических специалистов, а также широкой общественности на уже накопленные (в огромных объемах) массивы данных ДЗЗ, которые при использовании эффективных методов и технологий их дешифрирования, а также интерпретации могут быть успешно использованы для оперативного мониторинга сейсмически опасных регионов земного шара. К тому же, массивы информации ежедневно пополняются. Эта информация, часть которой находится в свободном доступе, может также использоваться более активно и целенаправленно для решения других задач – поисков и разведки рудных полезных ископаемых, скоплений углеводородов и воды (питьевой, технической, минеральной, геотермальной). Акцентируем также внимание на следующем.

1. Принципиальным следует считать то обстоятельство, что затраты на использование данных ДЗЗ для мониторинга будут незначительными. Локальные центры оперативной обработки и дешифрирования данных ДЗЗ могут быть созданы (организованы) в рамках уже существующих систем глобального аэрокосмического мониторинга. Структура и функции одной из таких систем описаны в работе [16].

2. Можно достаточно обоснованно утверждать, что результаты проведенных экспериментальных исследований не противоречат разработкам многих исследователей, в том числе представленным в публикациях [2, 5, 10, 12, 13, 17]. Так, в монографии [2] рассматривается физико-химическая модель сейсмичности, в основе которой лежат представ-

ления о реакции блочной геологической среды на взаимодействия с восходящими потоками легких газов и об экзотермических реакциях водорода с другими газами.

Автор статьи [5, ч. 1, с. 9] констатирует, что «сейсмичность может рассматриваться с позиции нафторудогенеза как сопутствующий процесс при образовании месторождений флюидного генезиса». Во второй части статьи [5, ч. 2, с. 17] утверждается следующее: «Чем интенсивнее газонасыщение среды при тектонической активизации, тем реальнее сейсмическое событие. Насыщение геологических структур газом ведет к потенциальной сейсмоопасности территорий. В качестве таких примеров можно назвать Кольский п-ов, Кандалакшский грабен, Северное и Северо-Восточное Приазовье».

В монографии [10] представлена феноменологическая модель условий формирования геохимических, гидрогеологических, геотермальных, биологических и других геофизических аномалий, а также модель каскадно-взрывного механизма субвертикальной миграции флюидов в земной коре на стадиях подготовки и свершения землетрясений.

В статьях [12, 13] исследуются проблемы электромагнитной эмиссии литосферы и сейсмичности, а также анализируются возможности применения аэрокосмических зондирований для мониторинга сейсмоопасных районов в различных регионах земного шара.

В монографии [17] приводятся многочисленные факты регистрации электромагнитного излучения (в том числе высокочастотного) наземными измерительными устройствами на разных расстояниях от эпицентров землетрясений.

3. Еще в 19 в. выдвигалось предположение о существовании электрической энергии в недрах Земли, которая может быть причиной землетрясений. Известные взгляды на причины землетрясений с этих позиций рассматриваются и анализируются в электронной публикации Г.Д. Ершова [3]. Среди значительного количества известных предвестников землетрясений автор обращает внимание на три основных (по его представлениям): наиболее достоверными признаками могут быть всего три изменяющиеся характеристики: напряженность электромагнитного поля, электрическое сопротивление почвы и горных пород, поведение животных. Г.Д. Ершов полагает, что ключ к разгадке возникновения землетрясений и возможность их успешного прогнозирования лежит в подробном изучении электромагнитных полей и закономерностях их изменения.

С этой точки зрения на землетрясения заслуживает также внимания следующая проблема. Во-первых, в районах подготовки землетрясений идет накопление громадного количества энергии (электричества). Во-вторых, данный процесс происходит

относительно продолжительный период времени (несколько лет, как продемонстрировали результаты проведенных исследований). В-третьих, выше показано, что зоны накопления энергии (электричества) могут быть обнаружены и локализованы с использованием частотно-резонансного метода обработки и декодирования данных ДЗЗ. Возникает интересная проблема – разработать метод (технологии) «изъятия» (утилизации) этой энергии (электричества) из недр Земли!

4. Представленные в статье практические материалы достаточно наглядно свидетельствуют о целесообразности проведения дальнейших исследований в обозначенном направлении – изучении характера (особенностей) электромагнитного излучения (эмиссии) на участках расположения эпицентров средних и крупных землетрясений в различных сейсмоопасных регионах. На локальных участках расположения эпицентров произошедших землетрясений есть возможность детально изучить характеристические особенности изменения электромагнитных параметров излучения (частоты и площади) во времени. Результаты таких детальных исследований могут быть использованы в дальнейшем для мониторинга зон (эпицентров) “будущих” (“прогнозируемых”) землетрясений.

5. Технология частотно-резонансной обработки спутниковых снимков сейсмоопасных территорий предоставляет возможность оперативно обнаруживать и картировать аномальные зоны высокочастотного излучения. Возможен мониторинг обнаруженных аномальных зон, в том числе путем проведения наземных измерений.

6. Материалы выполненных исследований могут быть дополнительным аргументом в пользу концепции глубинного синтеза УВ в рамках процесса водородной дегазации Земли.

Заключение. Результаты исследований в очередной раз (и достаточно убедительно) указывают на возможность более активного и целенаправленного использования данных дистанционного зондирования Земли, а также частотно-резонансной технологии их обработки для оперативного решения поисково-разведочных, экологических и мониторинговых задач. Данные ДЗЗ (спутниковые снимки) накоплены в громадных объемах, и значительное их количество находится в свободном доступе. Мобильная технология обработки спутниковых снимков может найти применение и в задачах мониторинга сейсмоопасных территорий с целью прогноза землетрясений.

Можно надеяться, что демонстрация работоспособности частотно-резонансной технологии обработки данных ДЗЗ (и частотно-резонансного принципа выделения полезного сигнала) на локальных участках расположения землетрясений будет способствовать повышению внимания к этой технологии специалистов нефтегазового сектора, а также

сервисных геофизических компаний. Не вызывает сомнений то обстоятельство, что целенаправленное использование рассматриваемой технологии на различных этапах геолого-разведочного процесса на нефть и газ позволит существенно сократить время и материальные ресурсы на проведение необходимого комплекса геолого-геофизических исследований. Особенно ощутимый выигрыш может принести применение этой технологии в слабоизученных, удаленных и труднодоступных регионах земного шара.

1. В Мариуполе произошло землетрясение [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://fakty.ua/220667-v-mariupole-proizoshlo-zemletryasenie> (дата обращения: 10.09.2016).
2. Гуфельд И.Л. Сейсмический процесс. Физико-химические аспекты / И.Л. Гуфельд. — Королев: ЦНИИМаш, 2007. — 160 с.
3. Ершов Г.Д. Землетрясения и вулканы [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://gennady-ershov.ru/zemlya/zemletryaseniya-i-vulkany.html> (дата обращения: 10.09.2016).
4. Землетрясение в районе месторождения Тенгиз [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://kapshagai.kz/informaciya-kapshagai/zemletrjasenie-v-raione-mestorozhdenija-tengiz.html> (дата обращения: 10.09.2016).
5. Кузин А.М. О некоторых общих свойствах флюида в геологических процессах, явлениях и закономерностях (к обоснованию единой системы геолого-геофизического изучения недр) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://oilgasjournal.ru/vol_12/kuzin1.pdf (часть 1); http://oilgasjournal.ru/vol_12/kuzin2.pdf (часть 2) (дата обращения: 10.09.2016).
6. Левашов С.П. Новые возможности оперативной оценки перспектив нефтегазоносности разведочных площадей, труднодоступных и удаленных территорий, лицензионных блоков / С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин // Геоинформатика. — 2010. — № 3. — С. 22–43.
7. Левашов С.П. Оценка относительных значений пластового давления флюидов в коллекторах: результаты проведенных экспериментов и перспективы практического применения / С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин // Геоинформатика. — 2011. — № 2. — С. 19–35.
8. Левашов С.П. Частотно-резонансный принцип, мобильная геоэлектрическая технология: новая парадигма геофизических исследований / С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин // Геофизический журнал. — 2012. — Т. 34, № 4. — С. 167–176.
9. Левашов С.П. Мобильные прямопоисковые технологии: факты обнаружения и локализации каналов вертикальной миграции флюидов — дополнительные свидетельства в пользу глубинного синтеза углеводородов / С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин, Д.Н. Божжежа, В.В. Прилуков // Геоинформатика. — 2016. — № 2. — С. 5–23.
10. Осика Д.Г. Энергетика и флюидодинамика сейсмичности / Д.Г. Осика, В.И. Черкашин. — М.: Наука, 2008. — 244 с.
11. Сейнасинов Н.А. Японское землетрясение 11.03.2011 г. и его афтершоки по записям станций НЯЦ РК / Н.А. Сейнасинов, Н.Н. Михайлова // Вестник НЯЦ РК. — 2011. — Вып. 3. — С. 154–158.
12. Шуман В.Н. Электромагнитная эмиссия литосферы: новые экспериментальные результаты и анализ проблемы / В.Н. Шуман // Геоинформатика. — 2010. — № 3. — С. 79–93.
13. Шуман В.Н. Нелинейная динамика, сейсмичность и аэрокосмические зондирующие системы / В.Н. Шуман // Геофизический журнал. — 2015. — Т. 37, № 2. — С. 38–55.
14. 2016 Central Italy earthquake [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/2016_Central_Italy_earthquake (дата обращения: 10.09.2016).
15. Kizer E. Preliminary Rupture Modelling of the March 11, 2011 Tohoku-Chiho Taiheiyō-Oki Earthquake and Sequence of Events using the USArray Transportable Array [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://seismology.harvard.edu/research_japan.html (дата обращения: 10.09.2016).
16. Menshikov V.A. Global aerospace monitoring and disaster management / V.A. Menshikov, A.N. Perminov, Yu.M. Urlichich. — New York: SpringerWien, 2012. — 323 p.
17. Pulinets S. Ionospheric precursors of earthquakes / S. Pulinets, K. Boyarchuk. — Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2004. — 315 p.

Поступила в редакцию 07.09.2016 г.

ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ В РАЙОНАХ ЕПІЦЕНТРІВ ЗЕМЛЕТРУСІВ ЗА ПОПЕРЕДНІМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ЧАСТОТНО-РЕЗОНАНСНОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ ДЗЗ

С.П. Левашов^{1,2}, М.А. Якимчук^{1,2}, І.М. Корчагін³, Д.М. Божжежа²

¹Інститут прикладних проблем екології, геофізики і геохімії, пров. Лабораторний, 1, м. Київ, 01133, Україна

²Центр менеджменту та маркетингу в галузі наук про Землю ІГН НАН України, пров. Лабораторний, 1, м. Київ, 01133, Україна

³Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, просп. Акад. Палладіна, 32, м. Київ, 03680, Україна, e-mail: korchagin@karbon.com.ua

Проаналізовано результати вивчення особливостей електромагнітного випромінювання на локальних ділянках розташування епіцентрів землетрусів за результатами обробки і декодування даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) з космічних апаратів (супутникових знімків) у різних регіонах світу: Республіці Казахстан,

Японії, Україні та Італії. В межах обстежених ділянок зареєстровано аномальні відгуки у частотному діапазоні 20–1350 МГц. На ділянці розміщення епіцентру землетрусу в районі родовища Тенгіз (Казахстан) виявлено аномалію високочастотного випромінювання в діапазоні частот від 215 до 1300 МГц. У центрі аномалії закартовано аномальну зону типу “газ” з тиском 45–50 МПа. Характер утворення, збільшення і зникнення аномальних зон у часовому інтервалі понад 3 роки досліджено на ділянках епіцентрів землетрусів на шельфі Японії 11.03.2011 і в районі м. Маріуполь 07.08.16 (Україна). В результаті обробки знімка ділянки епіцентру приблизно “за рік до” землетрусу в Італії 24.08.2016 виявлено аномальну зону з максимальною частотою понад 80 МГц. Результати досліджень вказують на доцільність використання даних ДЗЗ для оперативного вирішення пошуково-розвідувальних, екологічних і моніторингових завдань. На теперішній час дані ДЗЗ (спутникові знімки) нагромаджено у величезних обсягах. Значна їх кількість має вільний доступ. Оперативна обробка супутникових знімків сейсмонебезпечних територій дає змогу виявляти і картувати аномальні зони високочастотного випромінювання. Можливий моніторинг виявлених аномалій, в тому числі за наземними вимірюваннями.

Ключові слова: частотно-резонансний метод, епіцентр землетрусу, провісник, супутникові дані, мобільна технологія, обробка даних ДЗЗ, інтерпретація, зона високочастотного випромінювання.

ELECTROMAGNETIC RADIATION IN AREAS OF EARTHQUAKE EPICENTERS BY THE PRELIMINARY RESULTS OF REMOTE SENSING DATA FREQUENCY-RESONANCE PROCESSING

S.P. Levashov^{1,2}, N.A. Yakymchuk^{1,2}, I.N. Korchagin³, D.N. Bozhezh

¹*Institute of Applied Problems of Ecology, Geophysics and Geochemistry, 1, Laboratory Lane, Kyiv, 01133, Ukraine*

²*Management and Marketing Center of the Institute of Geological Science, NAS of Ukraine, 1, Laboratory Lane, Kyiv, 01133, Ukraine*

³*Institute of Geophysics, NAS of Ukraine, 32, Palladin Ave., Kyiv, 03680, Ukraine, e-mail: korchagin@karbon.com.ua*

The **purpose** of the paper is to study the features of electromagnetic radiation on local areas of earthquake epicenter locations based on the results of remote sensing data (satellite images) processing and decoding in various regions of the world: in the Republic of Kazakhstan, Japan, Ukraine and Italy; to research and analyses the changes in time of the radiation parameters (frequency and spatial characteristics); to develop methodological principles of the anomalous zones of high-frequency electromagnetic radiation detection and localization.

Design/methodology/approach. An original method of satellite images frequency-resonance processing was used for experimental studies. This mobile method is based on the principles of “substance” paradigm of Geophysical Research and has been actively applied during many years for the accumulations of ore and petroleum minerals prospecting and exploration and study of geological and tectonic processes. The method is based on the registration of anomalous responses to the resonance frequencies of each specific object (substance). The anomalous responses registration within the surveyed sites was carried out in the frequency range of 20–1350 MHz.

Findings. At the site of an earthquake epicenter located in the area of Tengiz field (Kazakhstan), an anomaly of high-frequency radiation in the range from 215 MHz to 1300 MHz was identified and mapped. The central point in the anomaly contour of 1300 MHz is offset from the earthquake epicenter up to 650 m. In the anomaly center, a relatively small anomalous zone of the “gas” type was discovered and delineated on the resonance frequencies of gas. The fluid pressure in reservoirs was assessed at 45.0–50.0 MPa within this anomalous zone. The character of formation, increase and disappearance of the high-frequency anomalous zone in the area of the earthquake epicenter of 11.03.2011 on the Japanese shelf were traced in the time interval from “24 months before” and up to “5 years after” the earthquake. For the 112 and 6 days before the earthquake, the anomalous responses at resonant frequencies of hydrogen and helium were fixed in the central zone. The vertical channels of deep fluids migration may be located in this part of the area. On the site of the earthquake in the area of Mariupol (Ukraine) the parameters of electromagnetic radiation were monitored in the range from “3 years before” to “21 days after” the earthquake. The anomaly with maximum values over 1300 MHz was detected and mapped about 4.5 km in the south-east direction from the epicenter calculated by seismic data. In the south-western part of the surveyed area, another small anomaly with a maximum frequency of 70 MHz was found. It can be considered as an area of the “future” earthquake formation. As a result of the image processing of the epicenter area of about “a year before” the 24.08.2016 earthquake in Italy we detected an anomalous zone with a maximum frequency in excess of 80 MHz.

Practical significance and conclusions. Further experiments in this direction will permit, on the areas of earthquake epicenters location, in sufficient detail to track and study along the time the features of origin, increase and disappearance of the anomalous zones of high-frequency radiation. The results of these detailed works may be used in monitoring for the zones (epicenters) of “future” earthquakes. Operative processing of satellite images of earthquake-prone areas makes it possible to identify and map anomalous zones of high-frequency radiation. Monitoring for the detected anomalies can be implemented, by means of ground-based measurements, among others. Based on the results of the research, we would clearly and convincingly advocate for a more active and purposeful use of remote sensing data in

operative solving of exploration, environmental and monitoring problems. At present, there is a considerable amount of accumulated remote sensing data (satellite images). A significant number of these data are in the public domain.

Keywords: frequency-resonance method, epicenter of the earthquake, precursor, satellite data, mobile technology, RS data processing, interpretation, high-frequency radiation zone.

References:

1. An earthquake in Mariupol. Available at: <http://fakty.ua/220667-v-mariupole-proizoshlo-zemletryasenie> (Accessed 10 September 2016) (in Russian).
2. Gufeld I.L. The seismic process. Physical and chemical aspects. Korolev, 2007, 160 p. (in Russian).
3. Ershov G.D. Earthquakes and volcanoes. Available at: <http://gennady-ershov.ru/zemlya/zemletryaseniya-i-vulkany.html> (Accessed 10 September 2016) (in Russian).
4. An earthquake in the area of Tengiz oilfield. Available at: <http://kapshagai.kz/informaciya-kapshagai/zemletrjasenie-v-raione-mestorozhdenija-tengiz.html> (Accessed 10 September 2016) (in Russian).
5. Kuzin A.M. Some general properties of fluids in geological processes, phenomena and laws (to the justification of a unified system of geological and geophysical study of the subsoil). Available at: http://oilgasjournal.ru/vol_12/kuzin1.pdf (Part 1); http://oilgasjournal.ru/vol_12/kuzin2.pdf (Part 2) (Accessed 10 September 2016) (in Russian).
6. Levashov S.P., Yakymchuk N.A., Korchagin I.N. New possibilities for the oil-and-gas prospects operative estimation of exploratory areas, difficult of access and remote territories, license blocks. *Geoinformatika*, 2010, no. 3, pp. 22-43 (in Russian).
7. Levashov S.P., Yakymchuk N.A., Korchagin I.N. Assessment of relative values of reservoir pressure of fluids in collectors: results of conducted experiments and prospects of practical application. *Geoinformatika*, 2011, no. 2, pp. 19-35 (in Russian).
8. Levashov S.P., Yakymchuk N.A., Korchagin I.N. Frequency-resonance principle, mobile geoelectric technology: new paradigm of geophysical investigations. *Geofizicheskiy zhurnal*, 2012, vol. 34, no. 4, pp. 166-176 (in Russian).
9. Levashov S.P., Yakymchuk N.A., Korchagin I.N., Bozhezha D.N., Prylukov V.V. Mobile direct-prospecting technology: facts of the channels detection and localization of the fluids vertical migration-additional evidence for deep hydrocarbon synthesis. *Geoinformatika*, 2016, no. 2, pp. 5-23 (in Russian).
10. Osyka D.G., Cherkashin V.I. Energy and fluid dynamics of seismicity. Moscow: Nauka, 2008. 244 p. (in Russian).
11. Seynasinov N.A., Mikhailova N.N. Japan earthquake of 11.03.2011 and its aftershocks by the records of NNC stations of Kazakhstan. *NNC RK Bulletin*, 2011, iss. 3, pp. 154-158 (in Russian).
12. Shuman V.N. Electromagnetic lithosphere emission: new experimental data and analysis of the problem. *Geoinformatika*, 2010, no. 3, pp. 79-93 (in Russian).
13. Shuman V.N. Nonlinear dynamics, seismic activity and aerospace sounding systems. *Geofizicheskiy zhurnal*, 2015, vol. 37, no. 2, pp. 38-55 (in Russian).
14. 2016 Central Italy earthquake. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/2016_Central_Italy_earthquake (Accessed 10 September 2016).
15. Kizer E. Preliminary rupture modelling of the March 11, 2011 Tohoku-Chiho Taiheiyō-Oki earthquake and sequence of events using the USArray transportable array. Available at: http://seismology.harvard.edu/research_japan.html (Accessed 10 September 2016).
16. Menshikov V.A., Perminov N., Urlichich Yu.M. Global aerospace monitoring and disaster management. New York: SpringerWien, 2012, 323 p.
17. Pulinets S., Boyarchuk K. Ionospheric precursors of earthquakes. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2004, 315 p.

Received 07/09/2016