

ГЕОФИЗИКА, ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 550.031+ 550.34

Анализ геофизических полей для выделения зон возможных очагов землетрясений восточной окраины Восточно-Европейской платформы

Ю.В. Баранов

ГИ УрО РАН, 614007, Пермь, ул. Сибирская, 78а

E-mail: baranov@mi-perm.ru

(Статья поступила в редакцию 6 сентября 2016 г.)

Рассмотрена возможность применения соотношения аномального магнитного и гравитационного поля для выделения зон возможных очагов землетрясений (зон ВОЗ) в сейсмически слабоактивном регионе. Выявлена связь соотношения нормированных аномальных магнитных и гравитационных полей (адмиттанс) с расположением эпицентров сейсмических событий на территории восточной окраины Восточно-Европейской платформы и Урала. Использование геофизических полей и адмиттанса позволяет дополнить и детализировать имеющиеся представления о сейсмическом потенциале региона.

Ключевые слова: *адмиттанс, зоны возможных очагов землетрясений, сейсмическая активность*

DOI: 10.17072/psu.geol.33.36

Исследования региональной сейсмичности и сейсмическое районирование связаны с анализом и интерпретацией геофизических данных. В сейсмологии расположение очагов землетрясений обусловлено протяженностью, глубиной и активностью тектонических нарушений. Для сейсмически слабоактивной территории восточной окраины Восточно-Европейской платформы, с небольшим количеством достоверно лоцированных землетрясений, выявление взаимосвязи расположения их эпицентров с характером гравитационных и магнитных аномалий и других геофизических полей является необходимым условием для понимания сейсмического потенциала региона и построения зон возможных очагов землетрясений (зон ВОЗ).

Анализ геофизических полей, исследование их связи с сейсмической активностью восточной окраины Восточно-Европейской платформы, дополнительные детальные исследования в регионах с высокой техногенной нагрузкой позволяют оценить сейсмическую опасность при проведении строительных и горных работ, при проектировании и эксплуатации трубопроводов, железных дорог и других объектов транспортной и городской инфраструктуры, оценить риски землетрясений и связанных с ними разрушений хозяйственных объектов. Исследования позволяют рационально планировать дальнейшее развитие сети регионального сейсмического мониторинга, уточняя и дополняя имеющиеся представления о региональной сейсмичности.

В настоящее время нет строгой математической модели, позволяющей определить вероятность и интенсивность землетрясения на основании анализа всей доступной геолого-геофизической информации о строении земной коры в окрестности потенциального очага. Невозможно выделить единственный признак, значение которого может свидетельствовать о сейсмическом режиме региона, для выделения зон ВОЗ необходимо использовать комплекс различных параметров.

Крупнейшей работой, связанной с сопоставлением геофизических данных и региональной сейсмичности, является построение комплекта карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации [3]. В то же время построенные по единой методике и охватывающие территорию России карты не обладают достаточной детальностью для описания сейсмического потенциала относительно некрупных регионов с небольшим количеством слабых землетрясений. Уточненные данные о магнитном и гравитационном полях, дополненный каталог землетрясений, новые сведения о тектоническом строении региона позволяют уточнить, дополнить и детализировать существующие представления о региональной сейсмичности. Одним из результатов такой работы является построение карт ВОЗ восточной окраины Восточно-Европейской платформы, Тиманской плиты и прилегающих территорий Урала [1].

Основой для построения карты ВОЗ является каталог сейсмических событий. С 1992 г. научными сотрудниками лаборатории природной и техногенной сейсмичности ГИ УрО РАН и Геофизической службы РАН проводится работа по совершенствованию региональной сети сейсмического мониторинга и исследованию сейсмической активности [2].

В настоящее время непрерывные сейсмологические наблюдения на территории региона ведутся с помощью более чем 70 сейсмопавильонов, одиночных сейсмостанций и сейсмических групп. Ежегодно

сейсмическими станциями региона регистрируются примерно 5-6 тыс. сейсмических событий разной природы, 20-25 из которых являются региональными землетрясениями и микроземлетрясениями. Определяется местоположение их очагов, рассчитывается магнитуда. При наличии макросейсмических проявлений проводится опрос населения на месте эпицентра землетрясения и с помощью заполнения анкет на сайте <http://pts.mi-perm.ru/region/>. Обработанные события пополняют каталог региональных землетрясений.

Значительные различия в геологическом строении регионов и разная степень их изученности, недостаточные каталоги сейсмических событий в сейсмически слабоактивных регионах не позволяют выделить единственный признак, значение которого может свидетельствовать о сейсмическом режиме. Для выделения зон ВОЗ необходимо использовать комплекс различных параметров. Важную роль в таком выделении играет анализ аномального магнитного и гравитационного полей, их соотношения (адмиттанс). Адмиттанс позволяет оценить взаимосвязи между различными физическими полями, создаваемыми геологическими телами разных масштабов. Такие исследования проводились М.С. Чадаевым, В.И. Костицыным, Р.Г. Ибламиновым, В.А. Гершанком и др. [4].

Связь гравитационного и магнитного поля выражается через формулу Пуассона

$$U = -\frac{J}{f\sigma} \frac{\partial V}{\partial i}, \quad (1)$$

где U – магнитный потенциал, J – намагниченность, V – гравитационный потенциал, f – гравитационная постоянная, σ – плотность вещества.

Одним из способов, используемых для выделения зон ВОЗ, является исследование взаимосвязи расположения эпицентров сейсмических событий с отношением аномального гравитационного поля Δg и значения вектора аномального магнитного поля T_a (рис. 1). Исходя из формулы Пуассона, для использования метода адмиттанса требуется построение поля

отношений $V_{zz}/\Delta g$, но, учитывая подобие полей V_{zz} и Δg , в этом нет практической необходимости [4]. Для исследований использовались данные гравитационной съемки [6] и данные магнитной съемки [5].

Для построения карты использованы приведенные и нормированные по максимальным значениям аномальные гравитационные и магнитные поля. Анализ карты, отражающей взаимное расположение сейсмичности и адмиттанса, показал совпадение большинства эпицентров региональных землетрясений с высокими значениями адмиттанса. Из 91 сейсмического события 75 связаны со значениями адмиттанса 3 и более (рис. 1).

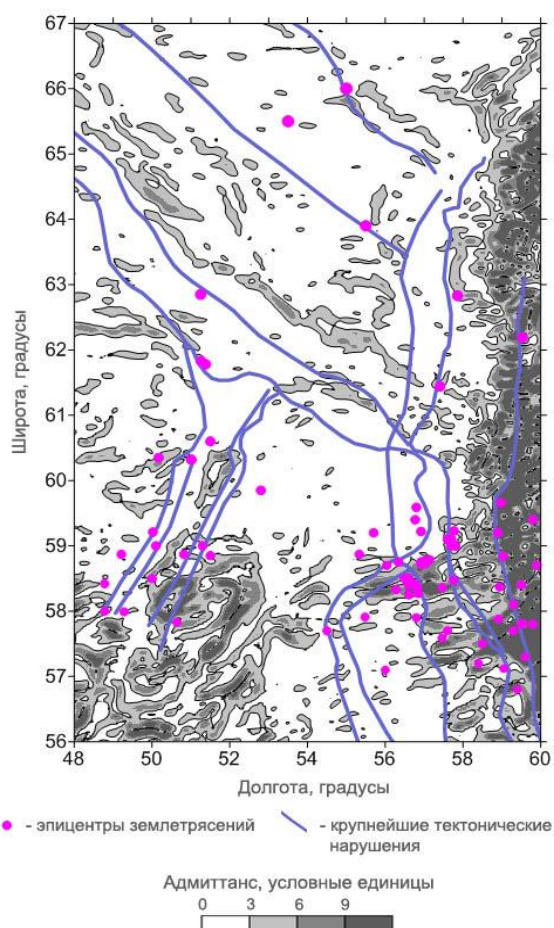


Рис.1. Карта отношения нормированных приведенных значений аномального гравитационного и магнитного поля (адмиттанс)

Такое соотношение позволяет сделать вывод о перспективности использования адмиттанса в качестве одного из параметров для выделения зон ВОЗ.

Другим параметром, используемым для выделения зон ВОЗ, является соотношение горизонтального градиента аномального гравитационного поля и аномального магнитного поля. Землетрясения, как правило, связаны с границами крупных блоков земной коры, смещенных относительно друг друга, такие границы представлены уступами и надвигами различных форм, направлений и амплитуд, поэтому для интерпретации аномалий в данном случае лучше всего подходит модель уступа или контакта двух тел с разным намагничением.

Пример аномального магнитного поля над расположенным во вмещающей породе вертикально намагниченным телом представлен на рис. 2.

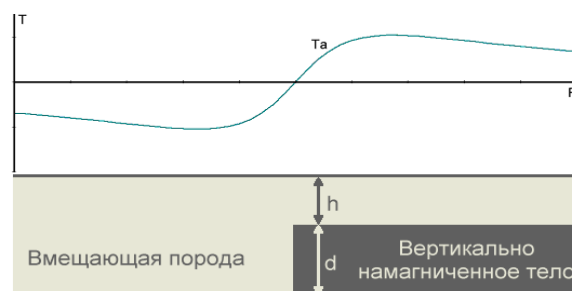


Рис. 2. Пример магнитного поля над вертикально намагниченным телом

В данном случае отношение модуля горизонтального градиента силы тяжести к значению T_a над уступом будет стремиться к бесконечному значению.

Анализ карты отношения модуля горизонтального градиента аномального гравитационного поля к значению T_a показал наличие связи расположения эпицентров региональных землетрясений и линий максимальных значений такого отношения. Более наглядна карта модуля горизонтального градиента этого отношения (рис. 3). Из 91 эпицентра землетрясений 67 находятся внутри десятикилометровой зоны от линий максимальных значений комплексного параметра. Это дает возможность использовать рассматриваемое отношение в качестве дополнительного критерия для выделения зон возможных очагов землетрясений.

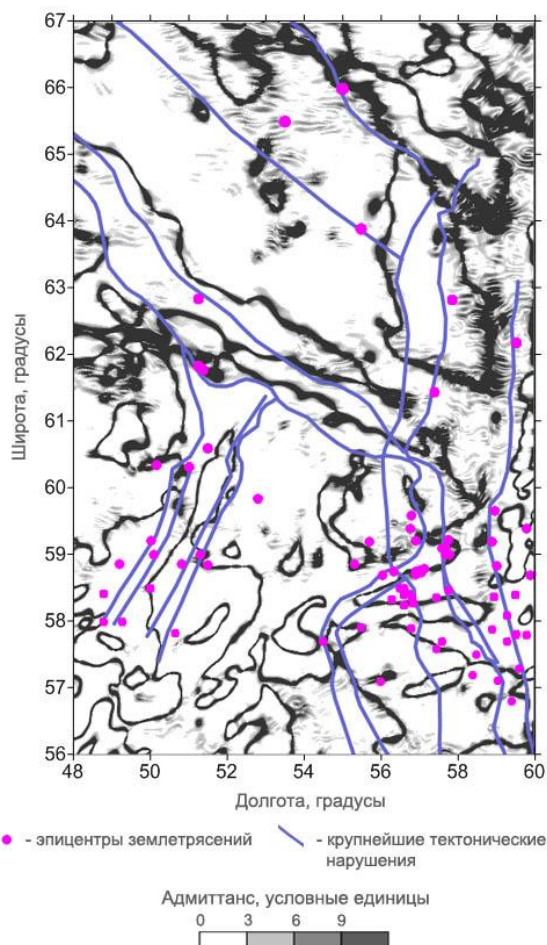


Рис.3. Карта модуля горизонтального градиента отношения аномального гравитационного и магнитного поля (адмиттанс)

Сопоставляя два подхода к использованию адмиттанса гравитационного и магнитного полей, можно сделать вывод, что для выделения зон ВОЗ наиболее информативен второй способ, отображающий более четкую зависимость расположения эпицентров землетрясений и значений предложенного параметра.

Для выделения зон ВОЗ восточной окраины Восточно-Европейской платформы также использовались данные о глубине залегания поверхности Мохорвичича, мощности нижнего слоя и скорости современных вертикальных движений земной коры, близости к крупнейшим тектоническим нарушениям. Таким образом, были учтены наиболее значимые геолого-геофизические факторы, наличие которых позволяет выделить зоны возможных очагов региональных землетрясений.

Занимаемая ими площадь составляет 269 700 км² (34.6% площади территории исследуемого региона). Из 91 эпицентра сейсмических событий на этой площади находятся 85, что составляет 93.4% всех очагов землетрясений (рис. 4). Такое соотношение позволяет сделать вывод о правильности выбранного подхода.

Выделенные зоны ВОЗ хорошо согласуются с другими исследованиями региональной сейсмической активности, подтверждают и дополняют распределение сейсмического потенциала в данном регионе. Кроме того, имеют более дифференцированный характер и уточняют имеющиеся представления о региональной сейсмичности.

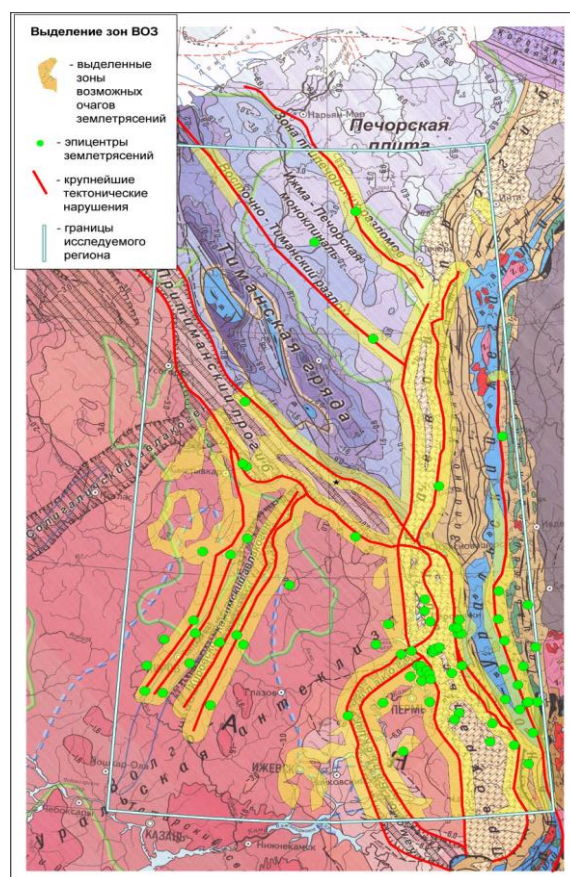


Рис.4. Расположение зон возможных очагов землетрясений на тектонической карте региона

Библиографический список

1. Блинова Т.С., Удортин В.В., Дягилев Р.А., Баранов Ю.В., Носкова Н.Н., Конанова

- Н.В.* Сейсмичность и сейсмическое районирование слабоактивных территорий // ГИ УрО РАН. Пермь, 2015. 278 с.
2. *Маловичко А.А., Дягилев Р.А., Маловичко Д.А., Шулаков Д.Ю., Бутырин П.Г., Верхоланцев Ф.Г.* Четырехуровневая система сейсмического мониторинга на территории Среднего Урала // Геофизика. 2011. №5. С. 8–17.
 3. *Общее* сейсмическое районирование территории Российской Федерации ОСР – 97. Комплект карт и другие материалы для Строительных норм и правил – СНиП «Строительство в сейсмических районах» / ОИФЗ РАН. М., 1998. 31 с.
 4. *Чадаев М.С., Гершанок В.А., Гершанок Л.А., Копылов И.С., Коноплев А.В.* Гравиметрия, магнитометрия, геоморфология и их параметрические связи: монография / Перм. гос. нац. иссл. ун-т. Пермь, 2012. 91с.
 5. *Earth Magnetic Anomaly Grid (2-arc-minute resolution).* URL: <http://geomag.org/models/emag2.html>.
 6. *Satellite Geodesy.* URL: http://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi

Analysis of Geophysical Data to Highlight Areas of Possible Earthquakes in the Eastern Margin of the East European Platform

Y.V. Baranov

Mining Institute of Ural Branch of Russian Academy of Science, 78a Sibirskaya Str., Perm 614007, Russia. E-mail: baranov@mi-perm.ru

The article considers the possibility of applying the ratio of the anomalous magnetic and gravity fields for determining zones of the possible earthquakes in seismically quiet region. Correlation between the normalized anomalous magnetic and gravity fields (admittance) and location of earthquake's epicenter at the Eastern margin of the East European platform and the Urals was found. Analysis of geophysical data and applying of admittance allow obtaining additional detailed information about seismicity of the region.

Key words: *admittance, seismogenic zone, seismic activity*

References

1. *Blinova T.S., Udoratin V.V., Dyagilev R.A. et al.* 2015. Seysmichnost i seysmicheskoe rayonirovanie slaboaktivnykh territoriy [Seismicity and seismic zoning of subactive areas]. GI UrO RAN, Perm, p. 278. (in Russian)
2. *Malovichko A.A., Dyagilev R.A., Malovichko D.A. et al.* 2011. Chetyrekhurovnevaya sistema seysmicheskogo monitoringa na territorii Srednego Urala [Four-level system of seismic monitoring at the territory of the Middle Urals]. *Geofizika*. 5:8-17. (in Russian)
3. *Obshchee* seysmicheskoe rayonirovanie territorii Rossiyskoy Federatsii OSR – 97. Komplekt kart i drugie materialy dlya Stroitelnykh norm i pravil – SNiP Stroitelstvo v seysmicheskikh rayonakh» [General seismic zoning of the territory of the Russian Federation, OSR – 97. A set of maps and other materials for building codes - SNiP Building in seismic regions]. OIFZ RAN, Moskva, 1998, p. 31. (in Russian)
4. *Chadaev M.S., Gershanok V.A., Gershanok L.A. et al.* 2012. Gravimetriya, magnitometriya, geomorfologiya i ikh parametricheskie svyazi: monografiya [Gravimetry, magnetometry, geomorphology and their parametric relations: monograph]. Perm State Univ., p. 91. (in Russian)
5. *Earth Magnetic Anomaly Grid (2-arc-minute resolution).* URL: <http://geomag.org/models/emag2.html>.
6. *Satellite Geodesy.* URL: http://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi