

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абрамов Д.В., Бебнев А.С., Бычков С.Г., Горожанцев С.В., Дробышев М.Н., Овчаренко А.В., Храпенко О.А. Проведение синхронных экспериментальных гравиметрических наблюдений в 2017-2018 годах в точках, разнесенных на большие расстояния // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: сб. науч. тр. Вып. 1 (46) / ГИ УрО РАН [и др.]. – Пермь, 2019. – С. 8-11.
2. Антонов Ю.В. Всплески непривливаемых вариаций силы тяжести // Геофизика. – 2017. – №1. – С. 28-34.
3. Бебнев А.С. Сезонная составляющая по результатам мониторинговых наблюдений гравитационного поля на обсерватории «Арти» // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей: материалы конф. / Ин-т геофизики УрО РАН [и др.]. – Екатеринбург, 2017. – С. 51-54. – (Девятые науч. чтения памяти Ю.П. Булашевича).
4. Бычков С.Г. Аномальные временные ряды записи гравиметров // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 16 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2018. – С. 140-142. DOI: 10.7242/gdsp.2018.16.36.
5. Бычков С.Г., Мичурин А.В., Симанов А.А. Гравиметрический мониторинг рудников Верхнекамского месторождения калийных солей // Геофизика. – 2017. – № 5. – С. 10-16.
6. Дробышев М.Н., Конешов В.Н. Учет сейсмического воздействия на высокоточные измерения гравиметром CG_5 Autograv // Физика Земли. – 2014. – № 4. – С. 131-134. DOI: 10.7868/S0002333714040024.
7. Михайлов И.Н. Новые результаты по регистрации краткосрочных предвестников катастрофических событий (землетрясений) // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: материалы 32-й сес. Междунар. науч. семинара им. Д.Г. Успенского / ГИ УрО РАН [и др.]. – Пермь, 2005. – С. 193-194.
8. Симанов А.А. Гравиметрический мониторинг карстово-суффозионных процессов в районах интенсивного освоения недр // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 16 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2018. – С. 161-163. DOI: 10.7242/gdsp.2018.16.42.
9. Ovcharenko A.V. Processing and interpretation of time series high precision gravimetric monitoring // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей: материалы 45-й сес. Междунар. семинара им. Д.Г. Успенского / Казан. фед. ун-т. – Казань, 2018. – С. 143.

УДК 550.34.01+550.34.013.2

DOI: 10.7242/echo.2019.2.15

**ВЫДЕЛЕНИЕ ЗОН ВОЗМОЖНЫХ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ
ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ****Ю.В. БАРАНОВ***Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

Аннотация: Исследование сейсмичности необходимо для познания строения и развития Земли, для обеспечения безопасности человеческой жизнедеятельности, развития городских агломераций и транспортных путей. Землетрясение, произошедшее 4 сентября 2018 г. В районе г. Катав-Ивановск является одним из крупнейших инструментально зарегистрированных землетрясений Урала, оно позволяет по-новому оценить региональную сейсмичность и выделить зоны возможных очагов землетрясений Урала.

В тектоническом отношении в исследуемом регионе выделяются крупные структуры – восточная окраина Восточно-Европейской платформы, Пердуральский краевой прогиб и структуры Урала, обладающие разным сейсмическим потенциалом, что требует особого подхода к выделению зон возможных очагов землетрясений.

Для выделения зон возможных очагов землетрясений Челябинской области и прилегающих территорий использовался ранее уже примененный подход к исследованию сейсмичности сейсмически слабоактивной территории Западного Приуралья. Суть такого подхода заключается в формировании базы данных о геологическом строении и геофизических полях региона, современных вертикальных движениях земной коры и другой информации и сопоставлении такой информации с сейсмической активностью региона. Предполагается, что сейсмическая активность связана с некоторыми геологическими параметрами – мощностью слоев земной коры, глубиной залегания поверхности Мохоровичича, зонами изменения знака аномальных геофизических полей. С помощью специальной сетевой геоинформационной системы (ГИС) исследователь выбирает параметры, по его оценке связанные с сейсмической активностью. Сетевая ГИС, разделив регион на ячейки, выделяет те из них, которые имеют схожие геолого-геофизические параметры, и, оконтурив такие ячейки, выделяет зоны возможных очагов землетрясений.

Выделенные зоны возможных очагов землетрясений Челябинской области и прилегающих территорий определяются расположением крупнейших тектонических нарушений и расположением аномальных геофизических полей. Их выделение позволяет получить новое представление о сейсмическом потенциале региона.

Ключевые слова: выделение зон возможных очагов землетрясений, сейсмическое районирование.

4 сентября 2018 года в 22:58:15 UTC (5 сентября 2018 03:58:15 местного времени) в районе г. Катав-Ивановск произошло тектоническое землетрясение. Первоначально координаты эпицентра были определены по данным лаборатории природной и техногенной сейсмичности «ГИ УрО РАН», г. Пермь, федерального исследовательского центра Единой геофизической службы Российской академии наук (ФИЦ ЕГС РАН), European-Mediterranean Seismological Centre (EMSC) и United States Geological Survey, (USGS). Впоследствии координаты уточнялись и составили 54.74 С.Ш. 58.11 В.Д. Магнитуда землетрясения M_b 5.4, глубина гипоцентра – 10 км, интенсивность в эпицентре - 6 баллов (шкала MSK-64). После основного толчка в течение дня сейсмологической сетью Уральского региона было зарегистрировано 19 афтершоков, в том числе один магнитудой 4.7, что свидетельствовало о продолжении сейсмического процесса в эпицентральной зоне [5].

Землетрясение стало крупнейшим природным сейсмическим событием, зарегистрированным на территории Челябинской области, его макросейсмические проявления были отмечены в Челябинске, Екатеринбурге, Уфе, Перми, а также во многих населенных пунктах Южного и Среднего Урала.

Эпицентр землетрясения находился в незаселенной местности, в 6 км к западу от г. Катав-Ивановск. Землетрясение вызвало значительные колебания поверхности и сопровождалось сошедшим в районе эпицентра оползнем. В случае расположения очага землетрясения такой интенсивности в районе промышленной агломерации последствия такого сейсмического события могли привести к разрушениям строений, дорог и трубопроводов, нарушению подземных коммуникаций, к дезорганизации деятельности поселений и промышленных предприятий. Таким образом, инструментальное исследование сейсмической активности в западной части Челябинской области и прилегающих территорий, выделение зон возможных очагов землетрясений данного региона становится актуальной научной и прикладной задачей, связанной с обеспечением безопасности жизнедеятельности населения сейсмически слабоактивных территорий.

До настоящего времени на территории Челябинской области «ГИ УрО РАН» и ФИЦ ЕГС РАН не проводили регулярные инструментальные исследования сейсмической активности в Челябинской области. Ближайшими к эпицентру землетрясения сейсмическими станциями, зарегистрировавшими землетрясение, являлись станции Уфа (BA1R), Арти (ARU) и Свердловск (SVE), расположенные, соответственно, в 143, 185 и 282 км от эпицентра.

Исследуемый регион, включающий запад Челябинской области, восток Башкирии, прилегающие территории Свердловской и Оренбургской областей является сейсмически слабоактивным. Основными геологическими структурами региона являются восточная окраина Восточно-Европейской платформы, Предуральский краевой прогиб и структуры Урала. В западной части региона расположены Абдулинский и Камско-Бельский авлакогены. Площадь исследуемого региона составляет 324 тыс. км². Крупнейшими сейсмически активными структурами можно считать зоны сопряжения Восточно-Европейской платформы и Урала, а также Главный Уральский глубинный разлом.

Выделение зон возможных очагов землетрясений является одним из основных этапов сейсмического районирования. Для такого исследования анализируется каталог сейсмических событий региона, их эпицентры сопоставляются с рельефом, особенностями геофизических полей, тектоникой, глубиной залегания поверхности Мохоровичича и другими параметрами. Оценка сейсмического потенциала сейсмически слабоактивного региона осложняется небольшим количеством сейсмических событий, а отсутствие сети сейсмических станций снижает регистрационные возможности, затрудняет локацию и определение параметров землетрясений.

Для оценки природной сейсмичности из имеющегося каталога сейсмических событий Среднего и Южного Урала были выбраны тектонические землетрясения. Полученный каталог включает 27 сейсмических событий зарегистрированных с 1836 по 2018 годы.

Для выделения зон возможных очагов землетрясений использовалась сетевая векторно-растровая геоинформационная система «Геопроцессор 2.0», разработанная Институтом проблем

передачи информации Российской академии наук и предназначенная для интерактивного представления, анализа и моделирования векторно-растровой географической информации [2].

Из всех исследованных параметров для выделения зон возможных очагов землетрясений были выбраны данные гравитационной съемки, Satellite Geodesy [7]; данные магнитной съемки, EMAG2: Earth Magnetic Anomaly Grid (2-arc-minute resolution)[8]; граница залегания поверхности Мохоровичича: The Moho Depth of the European Plate (2012)[9]; карта современных вертикальных движений земной коры под ред. Л.А. Кашина (1989)[3]. Для оценки расположения крупнейших тектонических нарушений, границ Восточно-Европейскую платформы, Предуральского краевого прогиба и структур Урала была использована тектоническая карта под ред. Е.Е. Милановского (2006)[4].

Анализ расположения эпицентров сейсмических событий показывает явную связь сейсмичности и тектоники. Наиболее отчетливо такая связь прослеживается в центральной и северо-восточной части региона, где эпицентры сейсмических событий связаны с Башкирским антиклинорием и Главным Уральским разломом. Также землетрясения связаны с зоной сопряжения Восточно-Европейской платформы и структур Урала в районе Предуральского краевого прогиба. В то же время землетрясения восточной окраины западной части исследуемого региона не связаны с крупнейшими тектоническими нарушениями, что требует дополнительного исследования их природы.

Одним из способов оценки сейсмического потенциала региона является метод сопоставления сейсмической активности и расположения аномального магнитного и гравитационного поля. Так для участков восточной окраины Восточно-Европейской платформы можно выявить связь расположения эпицентров сейсмических событий с линиями смены знака аномального магнитного поля. Наиболее отчетливо эта связь выявляется в северо-западной и в восточной частях исследуемого региона. Землетрясения связаны с границами крупных блоков земной коры, смещенных относительно друг друга. Такие границы представлены уступами и надвигами, и для интерпретации аномалий в данном случае лучше всего подходит модель уступа или контакта двух тел с разным намагничением, над линией контакта которых аномальное магнитное поле может менять знак.

Геологические структуры также проявляются в гравитационном поле, и совместное исследование аномальных гравитационного и магнитного полей представляется более информативным, чем их исследование по отдельности. Работы по исследованию соотношения геофизических полей Уральского региона проводились в горном институте и Пермском государственном национальном исследовательском университете [1,6]. Наиболее наглядным стал горизонтальный градиент такого отношения, связанный не только с аномалиями, но раскрывающий переходы между ними, уточняющий и детализирующий их распределение.

Использование такого параметра в исследуемом регионе показывает хорошее совпадение линий его максимального значения с расположением эпицентров сейсмических событий. Из 27 сейсмических событий 16 находятся на расстоянии 10 км или ближе от линий максимального значения этого параметра.

Рассматривая связь сейсмической активности и современных вертикальных движений земной коры можно соотнести расположение 26 эпицентров сейсмических событий со скоростями современных вертикальных движений, превышающими 2 мм/год. При этом большая часть эпицентров землетрясений расположена на участках со скоростями движения составляющими от 3 до 6 мм/год, а не с участками максимальных скоростей движения земной коры.

Расположение границы Мохоровичича подчеркивает сложное строение региона. В западной части глубина залегания границы составляет от 40 до 43 километров, а в восточной она увеличивается от 44 до 50 километров и более. 26 из 27 эпицентров землетрясений связаны с глубиной залегания границы Мохоровичича от 41 до 46 километров.

Сопоставление расположения эпицентров сейсмических событий с распределением аномального гравитационного поля не выявляет однозначной связи этих параметров.

Анализ связи сейсмичности и осредненного градиента гравитационного поля показывает связь эпицентров сейсмических событий не с максимальными значениями такого параметра, а со значениями от 0.4 до 1.6 мГал/км.

Таким образом, были проанализирована геолого-геофизическая информация о строении региона. Выявлена связь расположения эпицентров сейсмических событий и соотношения гравитационного и магнитного полей, с глубиной залегания поверхности Мохоровичича, современных движений земной коры. Исследована связь сейсмичности с расположением крупнейших тектонических нарушений.

Для выделения зон возможных очагов землетрясений с помощью программы «Геопроцессор 2.0» регион разделяется на ячейки, каждая из которых обладает набором физических характеристик, каждая из которых связана с возможностью возникновения землетрясения. Затем исследователь, используя каталог землетрясений и основываясь на априорных геологических данных, выбирает ячейки, в которых, по его мнению, возможно возникновение землетрясения, программа по определенному алгоритму выбирает ячейки с подходящими физическими параметрами и оконтуривает их, выделяя зоны возможных очагов землетрясений. Сложное строение региона требует использование нескольких выборок. Конечная карта зон возможных очагов землетрясений будет результатом совмещения полученных карт.

Общая площадь выделенных зон возможных очагов землетрясений составила 81200 км², что составляет 25% от площади региона. В пределах зон ВОЗ находятся 26 из 27 сейсмических событий, при этом 6 событий находятся вблизи краев выделенных зон. Сопоставление выделенных зон ВОЗ с тектонической картой показывает их взаимосвязь с крупнейшими тектоническими нарушениями в северо-восточной части региона, в районе Башкирского антиклинория и линию северо-западного простираения в западной части региона, возможно связанную со структурами, сопряженными с Камско-Бельским авлакогеном, рис. 1.

Таким образом, на основании изучения информации о тектонике региона, геофизических полях и анализе современных вертикальных движений земной коры были выделены зоны возможных очагов землетрясений Челябинской области и прилегающих территорий.

Наиболее сейсмически активной частью региона может считаться район Башкирского антиклинория, для изучения сейсмического потенциала которого необходимо создание постоянно действующей сейсмической станции и проведение дополнительных сейсмических исследований. В этом районе сосредоточены добывающие и перерабатывающие предприятия Челябинской области, пролегают газопроводы и пути сообщения, находятся населенные пункты, на чью деятельность и безопасность может повлиять региональная сейсмичность. Развитие сети сейсмического мониторинга также позволит получить новую научную информацию о современном развитии и сейсмическом потенциале Южного Урала.

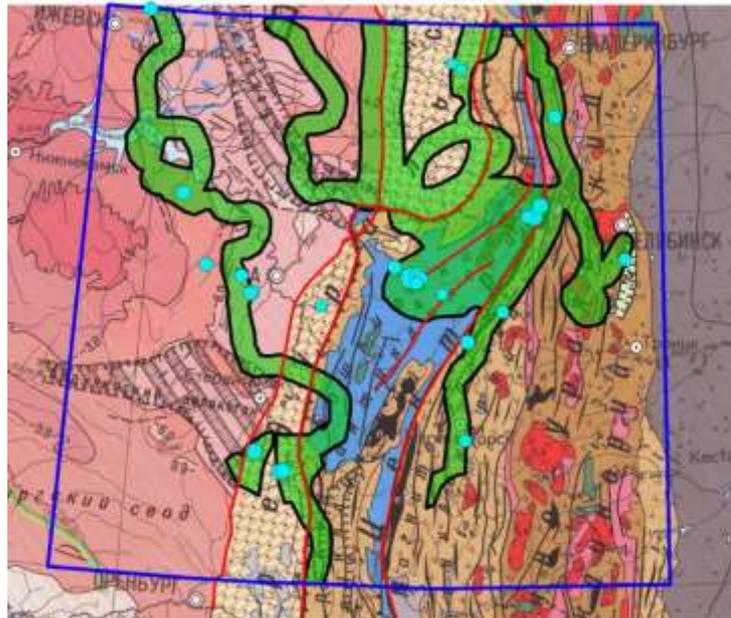


Рис.1. Выделенные зоны возможных очагов землетрясений и тектоника исследуемого региона

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баранов Ю.В. Анализ геофизических полей для выделения зон возможных очагов землетрясений восточной окраины Восточно-Европейской платформы // Вестн. Перм. ун-та. Сер. Геология. – 2016. – Вып. 4 (33). – С. 36-40.
2. Гитис В.Г., Ермаков Б.В. Основы пространственно-временного прогнозирования в геоинформатике. – М.: Физматлит, 2004. – 256 с.
3. Кашин Л.А. Карта современных вертикальных движений земной коры по геодезическим данным на территории СССР [Карты]. – 1:5000000. – Баку: Азербайджанэрогеодезия, 1989. – 1 к.
4. Тектоническая карта России, сопредельных территорий и акваторий [Карты] / Е.Е. Милановский, О.А. Мазарович, С.Л. Костюченко, Д.И. Жив. – 1:4000000. – М.: ПКО «Картография», 2007..
5. Федеральный исследовательский центр Единая геофизическая служба Российской академии наук [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ceme.gsras.ru/new/ssd_news.htm. – (10.04.2019).
6. Чадаев М.С., Костицын В.И., Ибламинин Р.Г., Гершанок В.А, Простолупов Г.В., Тарантин М.В. Параметрические связи геофизических и геохимических полей в области прикладной геологии / под общ. ред. М.С. Чадаева и Р.Г. Ибламина; ПГНИУ. – Пермь, 2016. – 100 с.: ил..
7. EMAG2: Earth Magnetic Anomaly Grid (2-arc-minute resolution) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://geomag.org/models/emag2.html>. – (10.04.2019).
8. Satellite Geodesy [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi. – (10.04.2019).
9. The Moho Depth of the European Plate [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.seismo.helsinki.fi/mohomap/>. – (10.04.2019).

УДК 550.31+ 550.34+ 550.843

DOI: 10.7242/echo.2019.2.16

ОБОБЩЕНИЕ ПРИЗНАКОВ ПРОГНОЗА ГЕОДИНАМИЧЕСКИ НЕУСТОЙЧИВЫХ ЗОН СЛАБОСЕЙСМИЧНЫХ РЕГИОНОВ

Т.С. БЛИНОВА

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В статье рассмотрены особенности методики сейсмического районирования слабоактивных регионов, для которых характерно небольшое количество землетрясений, и максимальные магнитуды достигают $M=5-6$. Методика основана на выделении геодинамически неустойчивых зон по комплексу геологических и геофизических данных и расчете сейсмического потенциала региона. Эти зоны отличаются свойствами среды и динамикой процессов, которые стремятся к их дестабилизации под действием региональных и глобальных сил, и находят свое проявление в сейсмичности. Методика разработана в ГИ УрО РАН на примере Западно-Уральского региона, который расположен в пределах восточной окраины Восточно-Европейской платформы, Предуральском краевом прогибе и Западно-Уральской складчатой зоне. Она применена для востока Русской, Печорской, Западно-Сибирской плит и территории Соединённого Королевства Великобритании и Северной Ирландии. Одним из важнейших этапов развития методики выделения геодинамически неустойчивых зон является обобщение признаков прогноза, которое позволило оптимизировать базу данных и создать необходимый и достаточный список параметров для их выделения в любом слабосейсмичном регионе.

Ключевые слова: геодинамически неустойчивые зоны, геофизические поля, геоинформационные системы, слабосейсмичные регионы.

Введение

Сейсмическое районирование слабоактивных регионов проводится по разработанной в ГИ УрО РАН методике, основанной на прогнозировании геодинамически неустойчивых зон с использованием геолого-геофизических данных и определении сейсмического потенциала региона. Эти зоны отличаются состоянием, свойствами и динамикой процессов, которые делают их более восприимчивыми, чем весь регион, к дестабилизации под влиянием региональных и глобальных сил, которая может проявляться в сейсмичности. Нами разработана методика и принципы идентификации геодинамически неустойчивых зон на примере Западно-Уральского региона, который располагается в пределах восточной окраины Восточно-Европейской платформы, Предуральском краевом прогибе и Западно-Уральской складчатой зоне [1].