

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ НЕДР

УДК 550.31; 550.34

DOI:10.7242/echo.2020.2.8

РАЗВИТИЕ ПРОГНОЗА ГЕОДИНАМИЧЕСКИ НЕУСТОЙЧИВЫХ ЗОН СЛАБОСЕЙСМИЧНЫХ РЕГИОНОВ

Т.С. Блинова

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Обсуждаются результаты прогноза геодинамически неустойчивых зон слабосейсмичных территорий Западной и Восточной Европы, Урала и Западной Сибири. В этих зонах состояние, свойства и динамика протекающих процессов таковы, что они стремятся к дестабилизации под действием региональных и глобальных тектонических сил, которая проявляется в сейсмичности. Методика выделения геодинамически неустойчивых зон по комплексу геолого-геофизических данных и расчета сейсмического потенциала разработана в Горном институте УрО РАН. Она применена для востока Русской, Печорской, Западно-Сибирской плит, Южного Предуралья и территории Соединенного Королевства Великобритании и Северной Ирландии. Исследования проводились в геоинформационной системе «ГЕО». Накопленный опыт позволил усовершенствовать методику выделения геодинамически неустойчивых зон, в результате чего были получены новые признаки прогноза, такие как градиенты геофизических полей. Большой объем данных сделал возможным получение списка необходимых и достаточных параметров для выделения зон в любом слабосейсмичном регионе. Определены связи геодинамически неустойчивых зон с геологическими структурами и тектоникой, ведущую роль в их выделении играют авлакогены, рифты, блоки и разломы различных порядков. Существование таких зон в любом слабосейсмичном регионе удалось обосновать по тектонике, геофизическим данным и глубинному строению. Совершенствование методики выделения геодинамически неустойчивых зон позволило уточнить их модели для исследуемых регионов, которые являются основой расчета сейсмического потенциала.

Ключевые слова: геодинамически неустойчивые зоны, прогноз, геологические и геофизические данные, геоинформационные системы, слабосейсмичные регионы.

Введение

Оценка сейсмической опасности слабоактивных территорий является важной проблемой. Это связано с эксплуатацией и строительством объектов различного назначения и созданием полноценных карт сейсмического районирования с учетом огромных слабоактивных территорий. Основная трудность решения этой задачи состоит в невозможности использования для слабоактивных территорий стандартных методов и технологий распознавания сейсмически активных зон и оценки их сейсмической опасности. Для этого в ГИ УрО РАН разработана методика сейсмического районирования, основанная на прогнозировании геодинамически неустойчивых зон с использованием геолого-геофизических данных и определении сейсмического потенциала. Это зоны, в которых состояние, свойства и динамика происходящих процессов таковы, что делают их восприимчивыми к дестабилизации под действием различных тектонических сил, которая проявляется в сейсмичности. Они могут быть сейсмически активными, а также свидетельствовать о потенциальной сейсмичности некоторых участков исследуемых территорий. Методика применена для Западно-Уральского и Тимано-Североуральского регионов, Западно-Сибирской плиты, Южного Предуралья и территории Соединенного Королевства Великобритании и Северной Ирландии. В процессе исследований разработаны новые приемы выделения геодинамически неустойчивых зон, предложен профильный метод их распознавания. Накопленный опыт позволил получить новые признаки прогноза, уточнить модели зон и создать необходимую и достаточную базу данных для их выделения.

Методика и подходы

Определены основные методические аспекты сейсмического районирования слабо-активных регионов [1, 2]. Первым и важным этапом является создание базы данных, которая включает геолого-геофизические параметры и каталог тектонических землетрясений с исторического периода по настоящее время.

В основу сейсмического районирования положено несколько принципов. Первый принцип свидетельствует о том, что нужно добиваться масштабной однородности исходных геолого-геофизических данных для всего изучаемого региона. Необходимо также следить за соответствием масштаба выделяемых геодинамически неустойчивых зон и исходных данных. Второй принцип свидетельствует о том, что региональное сейсмическое районирование слабоактивных территорий должно основываться на представлениях об иерархичности и ранговости структур сейсмичности и геофизической среды. На этом принципе и комплексе геолого-геофизических данных основано создание и изучение карт блокового строения кристаллического фундамента различных порядков, построение карт плотности разломов с учетом и без учета их ранговости и, что самое главное, определение геодинамически неустойчивых зон различных иерархических уровней в зависимости от масштаба используемых карт и решаемых задач. Третий принцип строится на том, что представления о единстве тектонических процессов, приводящих к образованию характерных геологических структур, возникновению землетрясений и к появлению аномалий в геофизических полях, составляют основу предположения о том, что сходные по геолого-геофизическому строению зоны имеют близкие значения M_{\max} .

Определены связи сейсмичности с геолого-геофизическими параметрами для изучаемых регионов. Исследования проведены с помощью геоинформационной системы «ГЕО» в различных ее подсистемах, одни из них дают возможность определить значения поля в любой точке и строить разрезы по любому из направлений с учетом сейсмичности, другие позволяют определять графики функций, вошедших в прогноз [1, 3].

Получены признаки распознавания геодинамически неустойчивых зон Западно-Уральского и Тимано-Североуральского регионов, Западно-Сибирской плиты, Южного Предуралья и территории Соединенного Королевства [2]. Для каждой из территорий создана региональная модель геодинамически неустойчивых зон, которая оцифрована в геоинформационной системе «ГЕО». Полученные модели являются основой для построения прогнозных карт максимальных магнитуд возможных землетрясений регионов.

Результаты и обсуждения

Обсуждаются результаты развития прогноза геодинамически неустойчивых зон в слабосейсмичных регионах (рис. 1). Методика выделения таких зон по комплексу геолого-геофизических данных и расчета сейсмического потенциала разработана на примере Западно-Уральского региона, который расположен в пределах восточной окраины Восточно-Европейской платформы, Предуральском краевом прогибе и Западно-Уральской складчатой зоне [1]. Зоны выделялись по явным признакам, которые хорошо видны на геофизических и геологических картах, без дополнительных методов детального исследования. К ним относится уменьшение глубины залегания границы Мохоровичича и увеличение глубины залегания фундамента. Таковыми являются температурные характеристики. Важными параметрами являются зоны сочленения отдельных разломов и систем разломов. К явным признакам можно отнести современные вертикальные движения земной коры, ко-

торые отличаются аномальными значениями поднятия и опускания внутри зон, и их градиенты, которые на краях зон значительно повышаются. На втором этапе геодинамически неустойчивые зоны выделялись не только по явным признакам, применялись приемы изучения геолого-геофизических параметров по профилям, которые имели редкую сеть, что позволило изучать горизонтальные градиенты геофизических полей. Впервые это было сделано для Западно-Сибирской плиты [2]. На третьем этапе применялись приемы изучения геологических и геофизических параметров по профилям, которые пересекают регионы через один или половину градуса с севера на юг в геоинформационной системе «ГЕО» в позиции «Разрез» [2, 3]. Эти исследования были проведены для Тимано-Североуральского региона, Южного Предуралья и Соединенного Королевства, затем для всех регионов с целью пополнения базы данных градиентами геофизических полей и уточнения модели геодинамически неустойчивых зон. Профильная методика открыла новые возможности прогнозирования таких зон в любом слабосейсмичном регионе.

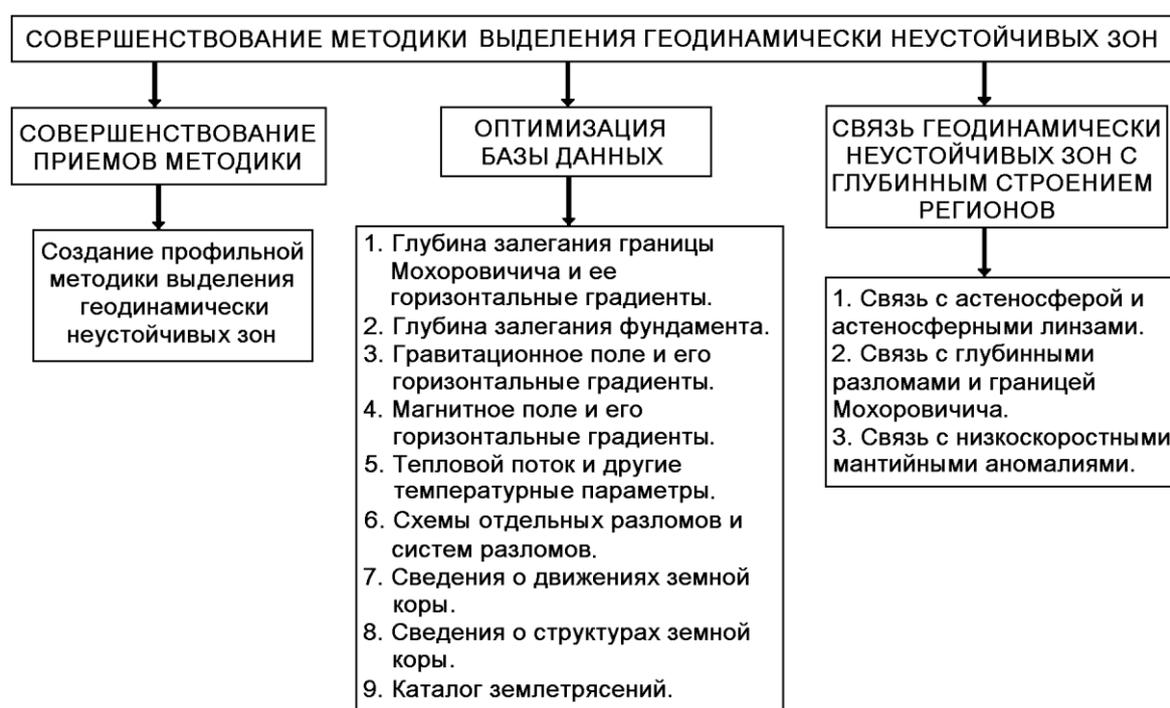


Рис. 1. Схема развития методики выделения геодинамически неустойчивых зон слабосейсмичных регионов

Благодаря этой методике определены новые признаки выделения зон. К таким относятся горизонтальные градиенты гравитационного поля, аномального магнитного поля и глубины залегания границы Мохоровичича. Внутри зон значения горизонтальных градиентов гравитационного поля изменяются в интервале $(1-90) \cdot 10^{-2}$ мГал/км, на краях зон возрастают до $(100-210) \cdot 10^{-2}$ мГал/км. Горизонтальные градиенты аномального магнитного поля внутри зон составляют 1–8 нТл/км, на краях повышаются до 8–25 нТл/км. Градиенты глубины залегания границы Мохоровичича внутри зон имеют значения меньше, чем на краях. В результате базы данных были дополнены новыми признаками, что позволило уточнить или подтвердить модели геодинамически неустойчивых зон, а затем и прогнозные карты максимальных магнитуд возможных землетрясений. Для оптимизации базы данных Западно-Уральского региона в нее были добавлены горизонтальные градиенты гравитационного и магнитного полей и границы Мохоровичича, для Западно-Сибирской плиты – горизонтальные градиенты гравитационного по-

ля и границы Мохоровичича. Базы данных Тимано-Североуральского региона, Южного Предуралья и территории Соединенного Королевства сразу были изучены по профильной методике, которая дает возможность использовать градиенты геофизических полей для выделения геодинамически неустойчивых зон.

Уточнение модели зон при использовании новых параметров особенно хорошо проявилось для Соединенного Королевства [2, 8].

Для этой территории был проведен анализ дополнительных геолого-геофизических и сейсмологических данных, предоставленных Британской Геологической Службой, и усовершенствована их региональная модель с применением ГИС-технологий. Ранее используемая карта глубины залегания поверхности Мохоровичича [10] была заменена картой поверхности Мохоровичича (Marek Grad (1), Timo Tiira (2) & ESC Working Group, (1) Institute of Geophysics, University of Warsaw, Pasteura 7, 02-093 Warsaw, Poland (2) Institute of Seismology, University of Helsinki, Helsinki, P.O. Box 68, FIN-00014, Finland, (<http://www.igf.fuw.edu.pl/mohomap2007/>), которая покрывает весь регион, в отличие от предыдущей. Геодинамически неустойчивые зоны проявляются в уменьшении глубины залегания границы Мохоровичича. Ее значения для выделяемых зон составляют 27–34 км, при изменении параметра для всей территории от 27 до 37 км. Для выделения геодинамически неустойчивых зон была добавлена карта современных вертикальных движений земной коры [11], значения для всего региона составляют (0,6) – (-1,9) мм/год. Зоны располагаются в тех частях региона, где наблюдается переход от положительных движений к отрицательным движениям земной коры, т.е. в большинстве своем пересекают нулевую изолинию. Анализ значений горизонтальных градиентов современных вертикальных движений земной коры показал, что данный параметр в пределах намеченных геодинамически неустойчивых зон изменяется в интервале $(13-90) \cdot 10^{-4}$ мм/год/км, на краях зон повышается до $(72-130) \cdot 10^{-4}$ мм/год/км. Важнейшим результатом явилось уточнение модели геодинамически неустойчивых зон Соединенного Королевства и ее оцифровка с использованием обновленного каталога землетрясений при помощи геоинформационной системы «ГЕО».

Прогноз геодинамически неустойчивых зон в любом новом регионе позволяет совершенствовать методику и расширять список параметров их выделения. Исследования геофизических полей Южного Предуралья (Оренбургский регион) показали, что для него есть своя особенность. В Предуральском прогибе значения полей намного превышают их значения в пределах западной части региона, в результате чего пришлось ограничить регион исследований 56-м меридианом восточной долготы. В противном случае большая часть исследуемого региона не поддается изучению. Это подтверждает один из пунктов концепции метода, что исследования надо вести в пределах регионов с более или менее однородным тектоническим положением, историей развития и изменением геофизических полей. Впервые для выделения геодинамически неустойчивых зон были использованы градиенты высоты рельефа земной поверхности. Исследования показали, что данный параметр оказался информативным, в пределах зон он имеет небольшие значения, на краях – значительно повышается.

Был проведен анализ тектоники регионов и установлено разнообразие тектонических проявлений геодинамически неустойчивых зон, однако ведущую роль в их выделении играют такие структуры, как авлакогены, рифты, блоки и разломы различных порядков. В результате исследований определена связь геодинамически неустойчивых зон с авлакогенами, которые являются межблоковыми структурами на территории Западно-Уральского региона, шовными зонами Тимано-Североуральского региона и риф-

товой системой Западно-Сибирской плиты, для которой они ассоциируются с зонами тройного сочленения разнонаправленных рифтов. Для территории Соединенного Королевства характерна связь зон с активными в настоящее время отдельными крупными разломами и пересекающимися системами разломов различного направления.

В результате развития методики прогноза геодинамически неустойчивых зон была создана необходимая и достаточная база данных для их выделения в любом слабосейсмичном регионе [9]. Она должна включать следующие параметры: глубину залегания границы Мохоровичича и ее горизонтальные градиенты, глубину залегания фундамента, гравитационное поле и его горизонтальные градиенты, магнитное поле и его горизонтальные градиенты, тепловой поток и другие температурные параметры, схемы отдельных разломов и систем разломов, данные о движениях земной коры, сведения о структурах земной коры, каталог землетрясений.

Установлены связи геодинамически неустойчивых зон с глубинными процессами в земной коре и верхней мантии. Исследования проведены по данным профилей глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) и различных его модификаций (ГСЗ–МОВЗ, ГСЗ–МТЗ), которые пересекают геодинамически неустойчивые зоны [4–7]. Установлено, что они могут быть связаны с астеносферным слоем или астеносферными линзами. Правда такая гипотеза, как и любая другая, требует дополнительных исследований, чтобы определить, либо это лишь реологически ослабленный слой без признаков плавления, либо астеносфера, в которой есть условия для плавления мантийного вещества. Установлена прочная связь геодинамически неустойчивых зон с глубинными разломами, пересекающими границу Мохоровичича. В пределах блоков, ограниченных этими разломами, наблюдается ее поднятие. По немногочисленным данным определена связь геодинамически неустойчивых зон с низкоскоростными мантийными аномалиями. Вероятно, все это связано с преобразованием земной коры, причиной которого являются процессы, происходящие в верхней мантии, что может свидетельствовать об их влиянии на образование таких зон.

На данном этапе развития методики выделения геодинамически неустойчивых зон список необходимых параметров для их прогноза пополнен глубинными признаками и градиентами высоты рельефа земной поверхности.

Выводы

Показано развитие методики выделения геодинамически неустойчивых зон. Профильный метод изучения геолого-геофизических параметров позволил прогнозировать эти зоны в любом слабосейсмичном регионе. Особенно это касается градиентов геофизических полей. Одним из важнейших этапов совершенствования методики выделения геодинамически неустойчивых зон является поиск новых признаков прогноза и их обобщение. Это позволило оптимизировать базу данных и создать единый список параметров для выделения зон в любом слабосейсмичном регионе. Базы данных для отдельных регионов впоследствии были пополнены признаками, которые ранее не использовались для выделения геодинамически неустойчивых зон. Карты максимальных магнитуд возможных землетрясений регионов были уточнены, если это требовалось после использования новых параметров для создания региональных моделей зон. Землетрясения, произошедшие в регионах после построения схем геодинамически неустойчивых зон и карт максимальных магнитуд возможных землетрясений, не противоречат значениям внутри зон и значениям магнитуд на картах M_{\max} .

В результате развития метода определена возможность существования таких зон в любом слабосейсмичном регионе, так как удалось их обосновать по тектонике, по геофизическим данным и глубинным признакам.

Работа выполнена при поддержке Программы ФНИ, проект № 0422-2019-0146-С-02.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Блинова Т.С. Прогноз геодинамически неустойчивых зон. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – 163 с.
2. Блинова Т.С., Удоротин В.В., Дягилев Р.А., Баранов Ю.В., Носкова Н.Н., Конанова Н.В. Сейсмичность и сейсмическое районирование слабоактивных территорий / ГИ УрО РАН [и др.]. – Пермь, 2015. – 178 с.
3. Гитис В.Г., Ермаков Б.В. Основы пространственно-временного прогнозирования в геоинформатике [электронный ресурс]. – М.: Физматлит, 2004. – 256 с.
4. Запорожцева И.В., Пыстин А.М. Строение дофанерозойской литосферы Европейского Северо-Востока России. – СПб.: Наука, 1994. – 112 с.
5. Золотов Е.Е., Ракитов В.А., Солодилов Л.Н. Модель литосферы под профилем Уральский по наблюдениям объемных продольных и обменных волн // Разведка и охрана недр. – 1994. – № 10. – С.15-18.
6. Крылов С.В. Сейсмические исследования литосферы Сибири. Избранные труды. – Новосибирск: Гео, 2006. – 345 с.
7. Сурина О.В., Дьяконова А.Г. Разработка электрогравитационной модели верхней части литосферы по Серовскому профилю (Северный Урал) // Литосфера. – 2015. – № 6. – С.101-115.
8. Blinova T., Evans R., Booth D., Semerikova I., Baranov Y. Seismic potential of the United Kingdom // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM: Proceedings of 15th International Multidisciplinary Scientific Geoconference and EXPO, SGEM 2015. – Albena, Bulgaria, 2015. – V. III. – P. 971-982. DOI: 10.5593/sgem2015B13.
9. Blinova T. Generalization of the features of the geodynamically unstable zones and their connection with the deep structure low seismic activity regions // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM: 19th SGEM 2019, Bulgaria, 30 June-6 July. – Albena, 2019. – V. 19, № 1.1. – P. 813-820. DOI: 10.5593/sgem2019/1.1
10. Chadwick R.A., Pharaoh, T.C. The seismic reflection Moho beneath the United Kingdom and adjacent areas // Tectonophysics. – 1998. – V. 299. – № 4. – P. 255-279.
11. Teferle F.N., Bingley R.M., Orliac E.J., Williams S.D.P., Woodworth P.L., McLaughlin D., Baker T.F., Shennan I., Milne G.A., Bradley S.L. Crustal motion in Great Britain: Evidence from continuous GPS, absolute gravity and Holocene sea-level data // Geophysical journal international. – 2009. – № 178 (1). – P. 23-46.

УДК 622.235.53; 624.042.7

DOI:10.7242/echo.2020.2.9

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕКТРОГРАММ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОБСТВЕННЫХ (РЕЗОНАНСНЫХ) ХАРАКТЕРИСТИК ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

А.В. Верхованцев

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Работа посвящена вопросам оценки собственных (резонансных) частот охраняемых инженерных сооружений. Экспериментально определить резонансные характеристики существующего сооружения можно несколькими способами. Допускается оценка собственной частоты одним датчиком (расположенным в верхней части). Также возможен вариант одновременной регистрации в верхней части сооружения и непосредственно на фундаменте (или на грунте вблизи основания). В качестве источника можно использовать как микросейсмический шум, так и сигналы от дополнительных источников. В работе представлено сравнение резонансных характеристик, полученных разными подходами.

Ключевые слова: сейсмическое воздействие, резонансы, собственная частота, резонансная частота.

Введение

В области охраны инженерных зданий и сооружений важным является вопрос корректной оценки и учета собственных (резонансных) характеристик для обеспечения безопасности при возможных сейсмических воздействиях. Необходимость совместного изучения динамических характеристик сооружений с оценкой сейсмического опасности отмечается многими исследователями [1, 7] и связана тем, что повреждения происходили и продолжают происходить при относительно небольших скоростях колебаний