

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].

Она применена для Тимано-Североуральского региона, Западно-Сибирской плиты, территории Соединённого Королевства Великобритании и Северной Ирландии, Южного Предуралья [2] и восточной окраины Восточно-Европейской платформы [3]. Накопленный опыт позволил обобщить признаки прогноза геодинамически неустойчивых зон и определить список необходимых и достаточных данных для их выделения в любом слабосейсмичном регионе.

Методика и подходы

Основой исследований является создание базы данных, которая включает геолого-геофизические параметры для региона и каталог тектонических землетрясений, произошедших с исторического периода по настоящее время. В основу сейсмического районирования слабоактивных регионов положены принципы, основывающиеся на представлении об иерархичности структур сейсмичности и геофизической среды, на масштабной однородности исходных геолого-геофизических данных и соответствии масштабов и иерархических порядков выделяемых зон, а также на связи геолого-геофизических параметров с сейсмичностью (рис. 1).

Определены признаки распознавания геодинамически неустойчивых зон Западно-Уральского региона, список которых расширился при использовании данной методики для Западно-Сибирской плиты, Тимано-Североуральского региона, восточной окраины Восточно-Европейской платформы и территории Соединённого Королевства. Установлены связи сейсмичности с геологическими, геофизическими и геодезическими характеристиками среды этих регионов. Для каждой из территорий создана региональная модель геодинамически неустойчивых зон, которая оцифрована в геоинформационной системе «ГЕО». Полученная модель является основой для следующего этапа исследований, который представляет собой построение прогнозных карт максимальных магнитуд возможных землетрясений.

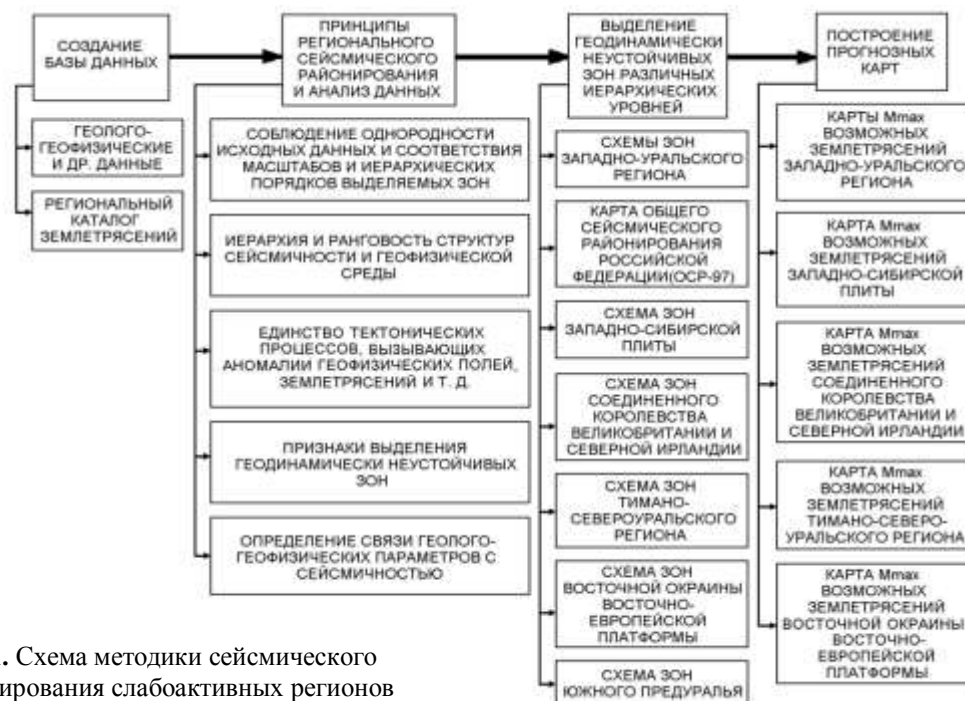


Рис. 1. Схема методики сейсмического районирования слабоактивных регионов

При построении прогнозных карт использовалась геоинформационная система «ГЕО» [4]. Автор системы В.Г. Гитис использовал для выделения зон сейсмичности скопления землетрясений, что трудно сделать в слабоактивных регионах. По этой причине нами предложено использовать геолого-геофизические данные для выделения зон, отличающихся свойствами и геодинамическими характеристиками, и проводить их

оценку по максимальной магнитуде землетрясения, попавшего в ту или иную зону. Очевидно, что при анализе многочисленных геолого-геофизических данных исследователь не в состоянии полноценно учесть большой набор фактов, а существующие в настоящее время представления о связи максимальных магнитуд (M_{\max}) тектонических землетрясений с геолого-геофизическими признаками носят слишком общий характер, чтобы сформулировать проблему построения прогнозной карты максимальных магнитуд возможных землетрясений, как строго математическую задачу. Информационные модели позволяют объединять всю доступную информацию об изучаемом явлении. Это описательное знание, экспертные гипотезы, методология обработки и анализ разнотипных данных и знаний. Они позволяют получать прогнозные карты M_{\max} . Достоверность информационных моделей возрастает вместе с появлением новых данных и новых экспертных знаний. При построении прогнозных карт максимальных магнитуд основные вычисления связаны с нахождением функции прогноза M_{\max} от геолого-геофизических признаков. Для этого создается выборка пунктов, где наряду со значениями геолого-геофизических признаков указаны значения M_{\max} . Таковыми являются геодинамически неустойчивые зоны [1-3]. Параметры прогнозирующей функции находятся из условия наилучшей аппроксимации экспертных оценок в пунктах выборки. Прогнозом M_{\max} для всех остальных точек региона являются вычисленные по геолого-геофизическим признакам значения прогнозирующей функции.

Целью исследований является обобщение признаков прогноза геодинамически неустойчивых зон Западно-Уральского, Тимано-Североуральского регионов и Западно-Сибирской плиты. Выбор регионов обусловлен возможностью определения связей геодинамически неустойчивых зон с глубинным строением. Сравнение баз данных этих регионов проводилось с помощью геоинформационной системы «ГЕО». Обобщение признаков прогноза геодинамически неустойчивых зон позволило создать базу данных необходимую и достаточную для их выделения в любых слабоактивных регионах.

Результаты и обсуждения

В результате сопоставления баз данных Западно-Уральского и Тимано-Североуральского регионов и Западно-Сибирской плиты были определены закономерности в изменении параметров в пределах геодинамически неустойчивых зон.

Установлено, что геодинамически неустойчивые зоны проявляются в уменьшении глубины залегания границы Мохоровичича. Для Западно-Уральского региона параметр изменяется от 38 км до 42 км, для Тимано-Североуральского региона – от 37 км до 48 км, для Западно-Сибирской плиты – в интервале 36–49 км. В пределах зон глубина изменяется от (36–38) км до 40 км. Градиенты глубины залегания границы Мохоровичича в пределах зон имеют небольшие значения, на краях зон они повышаются. Наиболее тесно с глубиной залегания границы Мохоровичича связана мощность нижнего слоя земной коры, которая уменьшается в пределах геодинамически неустойчивых зон. Для Западно-Уральского региона параметр изменяется от 10 км до 29 км, внутри зон составляет 14–16 км, для Тимано-Североуральского региона мощность изменяется от 7 км до 23 км, внутри зон имеет значения 7–18 км, для Западно-Сибирской плиты параметр составляет 13–24 км, внутри зон – 13–20 км. Глубина залегания поверхности кристаллического фундамента увеличивается в пределах геодинамически неустойчивых зон. Градиенты гравитационного и магнитного поля в пределах геодинамически неустойчивых зон имеют небольшие значения, на краях зон значительно повышаются. Еще одним признаком выделения геодинамически неустойчивых зон является тепловой поток. Для Тимано-Североуральского региона он увеличивается в пределах зон от 48 до 63 мВт/м², для всего региона изменяется от 26 до 63 мВт/м². Высокие тепловые потоки наблюдаются в зонах растяжения и фильтрации глубинных флюидов. К таким регионам

можно отнести Западную Сибирь. Тепловой поток в регионе изменяется в диапазоне 31–68 мВт/м², в пределах геодинамически неустойчивых зон составляет 50–68 мВт/м². Для Западно-Уральского региона проведен анализ температур на поверхностях осадочного чехла. Установлено, что в геодинамически неустойчивых зонах повышенным значениям температур по кровле девона соответствуют минимальные значения геотермических градиентов в толще терригенного девона ($T > 40^{\circ}\text{C}$, $\Gamma < 1,5^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$). Аналогичная закономерность обнаружена при сопоставлении карт геоизотерм по поверхности терригенной толщи нижнекаменноугольных отложений со значениями геотермического градиента в этих отложениях ($T > 30^{\circ}\text{C}$, $\Gamma < 1,55^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$). Это свидетельствует о том, что в пределах зон наблюдаются аномальные условия теплопередачи, что говорит о внутрипластовой разгрузке и подтоке термальных вод по нарушениям фундамента и осадочного чехла. Для выделения геодинамически неустойчивых зон существенную роль играет разломная тектоника. Установлено, что они соответствуют зонам сочленения разнонаправленных систем разломов или зонам сочленения генеральных разломов консолидированной коры, активность которых связана со сдвиговым полем напряжений и перпендикулярным пересечением. Это характерно для всех исследуемых регионов. Рассчитана и изучена плотность разломов для выделения геодинамически неустойчивых зон. Они характеризуются средними значениями плотности разломов. В пределах таких участков создаются условия для накопления и разрядки упругих тектонических напряжений. При определении признаков выделения геодинамически неустойчивых зон большое внимание уделялось неотектоническому районированию, полученному в результате дешифрирования космо- и аэрофотоснимков. На схемах выделялись блоки осадочного чехла, испытывающие относительное воздымание и находящиеся в непосредственной близости от неотектонических глубинных разломов. Такие зоны являются сейсмоактивными. Установлено, что для геодинамически неустойчивых зон Тимано-Североуральского и Западно-Уральского регионов, характерна именно такая связь с неотектоническими движениями. Одним из наглядных проявлений активизации современных геодинамических процессов является наличие двух зон опускания и одной зоны поднятия на карте современных вертикальных движений земной коры Западно-Уральского региона. Зоны опускания соответствуют Камскому и Воткинскому водохранилищам. Скорость опускания в районе Камского водохранилища достигает 6.9 мм/год, в районе Воткинского водохранилища – 7.4 мм/год. Скорость поднятия до 1.5 мм/год соответствует центральной части Кировско-Кажимского авлакогена. Еще более четко геодинамически неустойчивые зоны проявляются в значениях градиентов современных вертикальных движений земной коры, которые увеличиваются на их границах. По всем вышеперечисленным признакам получены региональные модели геодинамически неустойчивых зон Западно-Уральского региона, Тимано-Североуральского региона и Западно-Сибирской плиты [1-3]. Установлена разнообразность тектонических проявлений геодинамически неустойчивых зон, однако ведущую роль в их выделении играют такие структуры как авлакогены, рифты, шовные зоны, блоки различных порядков. В результате исследований определена связь геодинамически неустойчивых зон с авлакогенами, которые являются межблоковыми структурами на территории Западно-Уральского региона, с шовными зонами Тимано-Североуральского региона и с рифтовой системой Западно-Сибирской плиты, для которой геодинамически неустойчивые зоны можно ассоциировать с зонами тройного сочленения разнонаправленных рифтов. 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–КМПВ, ГСЗ–МОВЗ), которые пересекают геодинамически неустойчивые зоны [5–9]. Установлено, что они могут быть связаны с астеносферным слоем или астеносферными линза-

ми. 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. Это связано с преобразованием земной коры, причиной которого являются процессы, происходящие в верхней мантии. По немногочисленным данным определена связь геодинамически неустойчивых зон с низкостепенными мантийными аномалиями. Это позволяет предположить о влиянии глубинных процессов, происходящих в верхней мантии, на образование таких зон.

В результате развития методики прогноза геодинамически неустойчивых зон и обобщения их признаков по исследуемым регионам, была оптимизирована база данных. Она содержит необходимые и достаточные параметры для их выделения в любом слабосейсмичном регионе. Это глубина залегания границы Мохоровичича и ее горизонтальные градиенты, глубина 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, данные о глубинном строении регионов, каталог землетрясений.

Выводы

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. В результате исследований определена связь геодинамически неустойчивых зон, которые выделяются в исследуемых регионах по одним и тем же геолого-геофизическим параметрам, с тектоническими структурами и глубинными процессами в земной коре и верхней мантии. Это доказывает возможность существования таких зон в любых слабосейсмичных регионах мира, так как удалось их обосновать по тектонике, по геофизическим данным и глубинным признаками.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Блинова Т.С. Прогноз геодинамически неустойчивых зон. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – 163 с.
2. Блинова Т.С., Удуратин 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. Блинова Т.С. Сейсмический потенциал Восточной окраины Восточно-европейской платформы в пределах трапеции $56^{\circ}N - 67^{\circ}N - 48^{\circ}E - 60^{\circ}E$ // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 6-5 (48). – С. 122-126. DOI:10.18454/IRJ.2016.48.075.
4. Гитис В.Г., Ермаков Б.В. Основы пространственно-временного прогнозирования в геоинформатике. – М.: Физматлит, 2004. – 256 с.
5. Дьяконова А.Г., Коноплин А.Д., Вишнев В.С. и др. Результаты электромагнитных исследований на профиле Яйва-Кытлым-Серов-Гари // Уральский геофизический вестник. – 2001. – № 2. – С. 30-37.
6. Дружинин В.С., Каретин Ю.С., Начапкин Н.И., Бахвалов А.Н. Использование результатов геофизических исследований на региональных профилях для глубинного геокартирования // Разведка и охрана недр. – 2000. – №2. – С. 2-6.
7. Запорожцева И.В., Пыстин А.М. Строение дофанерозойской литосферы Европейского Северо-Востока России / отв. ред. В.В. Гречухин. – СПб.: Наука, 1994. – 112 с.: ил.
8. 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.
9. Крылов С.В. Сейсмические исследования литосферы Сибири: Избранные труды. – Новосибирск: Гео, 2006. – 345 с.: ил.