

СИСТЕМА ПРОГНОЗА ГЕДИНАМИЧЕСКИ НЕУСТОЙЧИВЫХ ЗОН ЗАПАДНО-УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА И ОЦЕНКА ЕГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА

Показаны основные методические аспекты прогнозирования геодинамически неустойчивых зон по комплексу геолого-геофизических и сейсмологических данных для Западно-Уральского региона. Определены основные принципы подхода к выделению геодинамически неустойчивых зон. Создана электронная база данных, на основе которой установлены связи геолого-геофизических параметров с сейсмичностью региона, и определены наиболее информативные параметры. Построены прогнозные карты максимальных магнитуд ожидаемых землетрясений для различных частей Западно-Уральского региона.

Составление карт сейсмического районирования имеет очевидное научное и практическое значение. В последнее время особую актуальность эта проблема приобрела для регионов, где количество землетрясений недостаточно для использования стандартных методов сейсмического районирования [12]. Горный институт Уральского отделения РАН проводит такие исследования в Западно-Уральском регионе, расположенном в пределах трех геоструктур земной коры: восточной окраине Восточно-Европейской платформы, Предуральском краевом прогибе и Западно-Уральской складчатой зоне.

За последние несколько лет определены основные методические аспекты прогноза геодинамически неустойчивых зон Западно-Уральского региона. Эту систему прогноза отображает «Схема развития сейсмического районирования Западно-Уральского региона» (рис. 1).

Началом исследований явилось создание базы данных и разработка методики выделения геодинамически неустойчивых зон различных иерархических уровней.

Они отличаются свойствами среды и динамикой процессов, которые стремятся к их дестабилизации под действием региональных и глобальных сил, и находят свое проявление в сейсмичности. С реализацией решения вопросов регионального сейсмического районирования Западно-Уральского региона разработан широкий круг методических и практических задач. На основании разработанных методов распознавания геодинамически неустойчивых зон были построены «Схемы распространения сейсмоактивных зон в Западно-Уральском регионе» масштабов 1:2500000 и 1000000 [2, 3]. Эти исследования были использованы для построения серии карт «Общего сейсмического районирования территории Российской Федерации (ОСР-97)».

Определены принципы подхода к региональному сейсмическому районированию платформенных областей и выделению на них геодинамически неустойчивых зон на примере Западно-Уральского

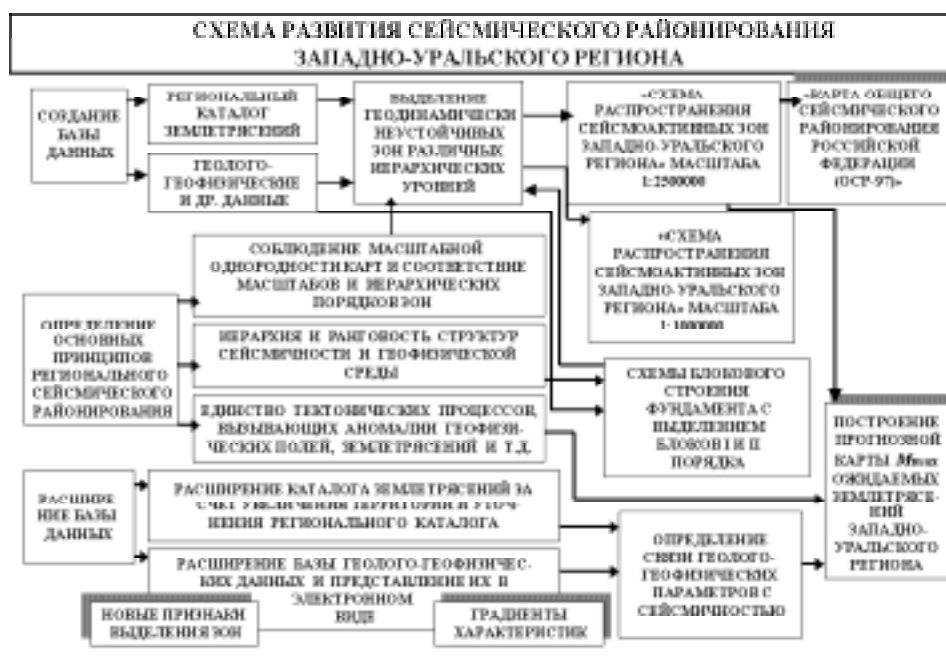


Рисунок 1. Схема сейсмического районирования Западно-Уральского региона.

региона [4]. Во-первых, необходимо добиваться однородности исходных геолого-геофизических данных для всего региона. Это, прежде всего, относится к каталогу землетрясений, активным разломам, гравитационным и магнитным аномалиям, новейшим и современным тектоническим движениям и т. д. Во-вторых, региональное сейсмическое районирование платформенных областей должно основываться на представлениях об иерархичности и ранговости структур сейсмичности и геофизической среды. На этом принципе и комплексе геолого-геофизических данных основано создание «Схематической карты блокового строения кристаллического фундамента Западно-Уральского региона» с выделением блоков второго порядка и создано представление о блоках первого порядка для региона [4]. В-третьих, 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} . При реализации идеи о существовании связи между M_{\max} и геолого-геофизическим признаками требуется выявить сходные по геолого-геофизическому строению и тенденциям развития зоны и дифференцировать их по значениям M_{\max} [7, 8].

Далее было предпринято расширение базы данных и представление всех карт в электронном виде, а также расчет и построение различных карт с помощью системы «ГЕО» [9]. Был определен ряд новых признаков выделения геодинамически неустойчивых зон для Западно-Уральского региона [5]. Установлена связь систем разломов и глубинных разломов консолидированной коры с геодинамически неустойчивыми зонами различных иерархических уровней, определены активные зоны сочленения разломов. Впервые построены карты плотности разломов консолидированной коры различных модификаций и установлена их связь с геотермическими характеристиками осадочного чехла и фундамента, с блоковым строением региона, с геодинамически неустойчивыми зонами различных иерархических уровней и с сейсмичностью. Показано отражение разломной тектоники в полях современных вертикальных движений земной коры. Установлено, что повышенные значения градиентов этого поля отражают их современную активность. Определено, что практически все геодинамически неустойчивые зоны первого порядка располагаются в авлакогенах, которые являются межблоковыми системами и на новейшем этапе тек-

тонического развития, по всей видимости, находятся в стадии растяжения. Это еще раз подтверждает и объясняет их тектоническую и в большинстве случаев сейсмическую активность.

Расширенная база данных в электронном виде, а также представление о единстве тектонических процессов, вызывающих аномалии в геофизических полях, образования геологических структур и землетрясений позволили определить связи геолого-геофизических параметров с сейсмичностью практически для всех имеющихся геофизических параметров Западно-Уральского региона [6]. Для этих исследований была создана электронная база данных в масштабах 1:5000000, 1:2500000, которая насчитывает 70 карт, и каталог землетрясений с описанием 188 землетрясений. Исследования проводились с помощью геоинформационной системы «ГЕО» в различных ее подсистемах, одни из них дают возможность определять значения поля в любой точке и строить разрезы по любому из направлений с учетом сейсмичности, другие позволяют рассчитывать графики функций, вошедших в прогноз.

Исходя из третьего принципа, основываясь на модели геодинамически неустойчивых зон, представление о которых дает «Схема распространения сейсмоактивных зон Западно-Уральского региона» масштаба 1:2500000, и установленный характер связи геолого-геофизических параметров с сейсмичностью позволили построить «Прогнозную карту максимальных магнитуд ожидаемых землетрясений Западно-Уральского региона». Построение карты было осуществлено с помощью геоинформационной системы «ГЕО».

Основные вычисления связаны с нахождением функции прогноза M_{\max} от геолого-геофизических признаков. Для этого создается выборка пунктов, для которых наряду со значениями геолого-геофизических признаков указаны значения M_{\max} . Параметры прогнозирующей функции находятся из условия наилучшей аппроксимации экспертных оценок в пунктах выборки. Найденная по выборке эмпирическая закономерность, связывающая оценки M_{\max} с некоторым набором геолого-геофизических признаков, экстраполируется на всю территорию региона [7, 8, 9].

Построение прогнозных карт максимальных магнитуд ожидаемых землетрясений для Западно-Уральского региона проводилось в три этапа: I – подготовка, ввод в компьютер и анализ исходных данных, II – нахождение прогнозирующей функции и построение варианта карты, III – анализ результатов и принятие решения о способе получения следующего приближения карты.

Результаты построения прогнозной карты M_{\max} землетрясений Западно-Уральского региона в трапеции $\varphi N = 55^{\circ} - 60^{\circ} - \lambda E = 54^{\circ} - 60^{\circ}$

Для построения прогнозной карты M_{\max} землетрясений этой части Западно-Уральского региона были проведены расчеты нескольких вариантов, различающихся количеством используемых геолого-геофизических признаков, различной совокупностью этих признаков, различными моделями зон, в которых определялись значения магнитуд. Для построения прогнозных карт максимальных магнитуд ожидаемых землетрясений Западно-Уральского региона использовались карты масштаба 1:2500000. Предварительные исследования геолого-геофизических характеристик и геодинамики Западно-Уральского региона, связи этих характеристик с сейсмичностью и уровень ошибок аппроксимации экспертных оценок M_{\max} позволили выбрать из большого количества полученных прогнозных карт несколько вариантов. Для их расчета и построения была использована модель зон, в которой определены значения магнитуд, для Западно-Уральского региона, разработанная предыдущими исследованиями [2, 3].

Рассмотрим один из вариантов прогнозных карт M_{\max} землетрясений (рис. 2).

Прогнозирующая функция при использовании теплового потока региона, рельефа границы Моховичича, гравитационного поля, модуля градиента современных вертикальных движений земной коры, модуля градиента теплового потока, модуля градиента высот рельефа дневной поверхности и модуля градиента отношения аномалий силы тяжести к аномальному магнитному полю оказалась равной

$$F(x) = 5,90 + \sum_{i=1}^7 \varphi_i(x_i).$$

Ошибка аппроксимации для учебной выборки составляет $-0,37$, для контрольной выборки $-0,42$. Отношение ошибок на учебной и контрольной выборках близко к единице, что позволило сделать вывод об удовлетворительной экстраполируемости результатов обучения.

Было проведено сопоставление прогнозных значений M_{\max} землетрясений с распределением очагов, где уже происходили землетрясения со значениями магнитуд, близких к максимальным. Для описанного варианта прогнозной карты в районе Билимбаевского землетрясения (район Билимбаевского завода, в 56 км к северо-западу от г. Екатеринбург) значение максимальной магнитуды составило 5,5, что совпадает с инструментальными

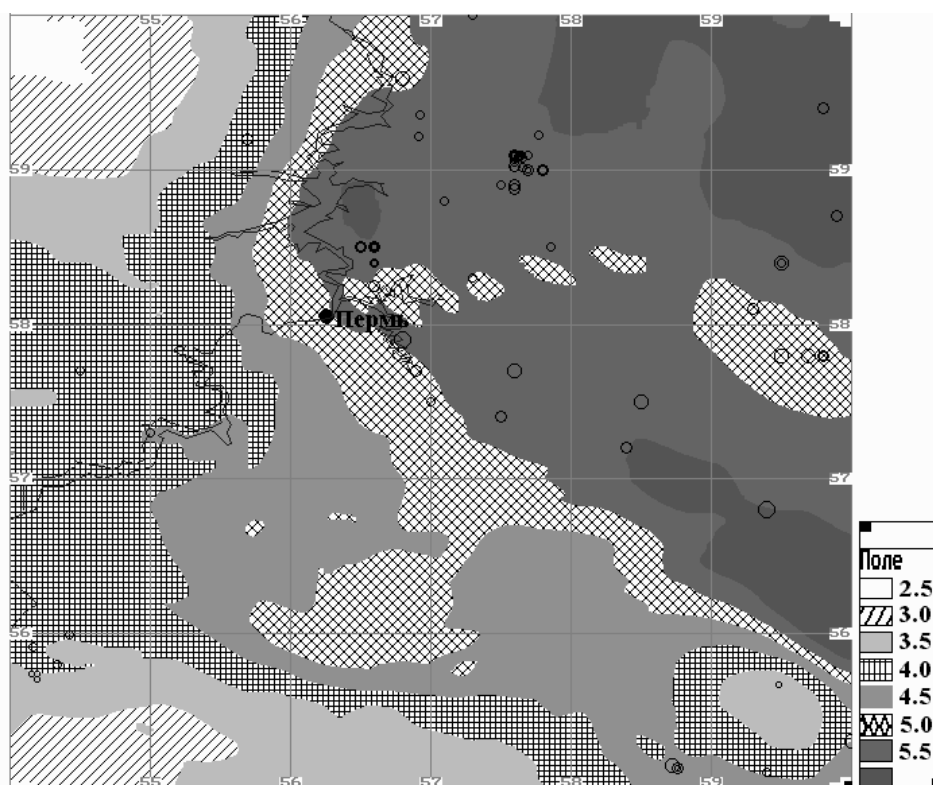


Рисунок 2. Прогнозная карта максимальных магнитуд ожидаемых землетрясений Западно-Уральского региона в трапеции $\varphi N = 55^{\circ} - 60^{\circ} - \lambda E = 54^{\circ} - 60^{\circ}$ с нанесенными на нее эпицентрами землетрясений.

ми данными. Для других полученных прогнозных карт эти значения занижены по сравнению с данными каталога. Исходя из этого, можно отметить, что прогнозная карта максимальных магнитуд ожидаемых землетрясений, приведенная на рис. 2, наилучшим образом отвечает распределению сейсмичности и геодинамическим представлениям о развитии региона.

*Результаты построения
прогнозной карты M_{\max} землетрясений
Западно-Уральского региона в трапеции
 $\varphi N = 54^{\circ}-61^{\circ} - \lambda E = 48^{\circ}-60^{\circ}$*

Построено несколько вариантов прогнозных карт M_{\max} землетрясений всего Западно-Уральского региона. Остановимся на одном из них (рисунок 3).

Прогнозирующая функция при использовании аномального магнитного поля, осредненного с радиусом $R=125$ км, и модуля его градиента, теплового потока региона и модуля его градиента, глубины залегания границы Мохоровичича, современных вертикальных движений земной коры, ампли-

туды неотектонических вертикальных движений, модуля градиента аномального магнитного поля оказалась равной

$$F(x) = 5,31 + \sum_{i=1}^8 \varphi_i(x_i).$$

Ошибка аппроксимации для учебной выборки варианта – 0,93, а для контрольной выборки соответственно – 1,12. Отношение ошибок на учебной и контрольной выборках близко к единице, что позволило сделать вывод об удовлетворительной экстраполируемости результатов обучения.

Было проведено сопоставление прогнозных значений M_{\max} землетрясений с распределением очагов, где уже происходили землетрясения со значениями магнитуд, близких к максимальным. На рис. 3 для территории Пермской области контурам изосейсты 5,5 соответствует пять землетрясений, близких к максимальным. Для Кировской области также выделяется участок, с $M_{\max}=5,5$, что вполне сопоставимо с данными об исторических землетрясениях, хотя по поводу данных о максимальных магнитудах в этом рай-

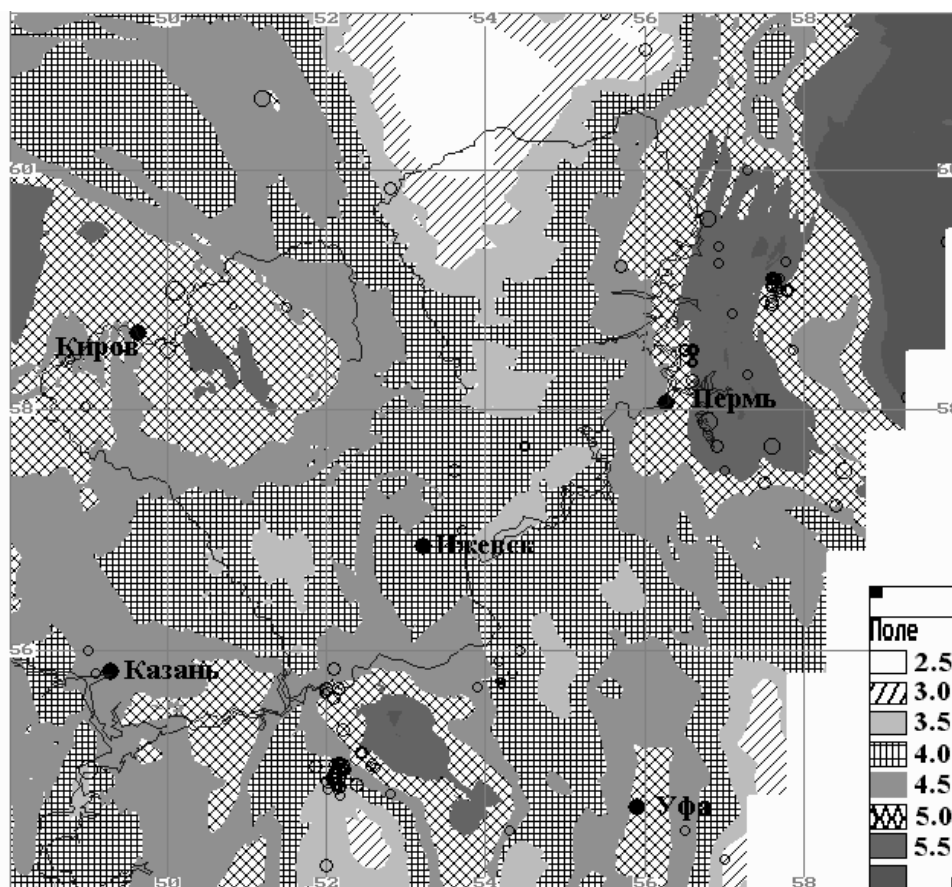


Рисунок 3. Прогнозная карта максимальных магнитуд ожидаемых землетрясений Западно-Уральского региона в трапеции $\varphi N = 54^{\circ}-61^{\circ} - \lambda E = 48^{\circ}-60^{\circ}$ с нанесенными на нее эпицентрами землетрясений

оне нет единого мнения [1, 11]. Аналогичная зона получена и для северной части Татарстана, и, хотя здесь порог магнитуд не превышает 4,0, по данным исследователей Татарстана, в регионе могут происходить тектонические землетрясения с $M_{\max} = 5,5-6$ [10].

При построении каждого из вариантов карт было использовано 25 параметров, 7-8 основных и около 17 дополнительных, которые влияли на создание выборки и выбор основных параметров. Обобщив результаты по геолого-геофизическим признакам, вошедшим в различные варианты прогноза, установлено, что существенный вклад в прогноз вносит тепловой поток и его градиент, глубина залегания границы Мохоровичича, современные вертикальные движения и их градиент, градиент рельефа дневной поверхности, амплитуда новейших

вертикальных движений, а также гравитационное и магнитное поле и градиент их отношения.

Совершенно неожиданным оказалось, что наиболее информативным для различных вариантов, в которых использовались разные модели зон и прогнозные карты строились для различных по площади регионов, оказался тепловой поток. Вероятно, либо до конца не изучен температурный режим платформы, либо данные о тепловом потоке содержат погрешности.

Таким образом, разработана система прогноза геодинамически неустойчивых зон на основе комплексного анализа геолого-геофизических и сейсмологических данных и построено несколько вариантов прогнозных карт максимальных магнитуд ожидаемых землетрясений для Западно-Уральского региона.

Список использованной литературы:

1. Анашкин И.В. Европейская часть СССР, Урал, Западная Сибирь // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. М.: Наука, 1977. С. 465-470.
2. Блинова Т.С. Выделение сейсмоактивных зон в Западно-Уральском регионе по комплексу геологических данных // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. М.: ОИФЗ РАН, 1995. Вып. 2-3. С. 331-342.
3. Блинова Т.С., Маловичко А.А. Прогноз региональных геодинамически неустойчивых зон по комплексу геолого-геофизических и сейсмологических данных для территории Западно-Уральского региона // Материалы «X Межотраслевого координационного совещания по проблемам геодинамической безопасности». Екатеринбург, 1997. С. 75-79.
4. Блинова Т.С., Маловичко А.А. Сейсмичность и принципы подхода к региональному сейсмическому районированию платформенных областей на примере Западно-Уральского региона // Материалы Международной конференции «Проблемы геодинамики, сейсмичности и минерагении подвижных поясов и платформенных областей литосферы». Екатеринбург: Институт геофизики УрО РАН, 1998. С. 29-30.
5. Блинова Т.С., Маловичко А.А. Связь нарушенности земной коры с региональными геодинамически неустойчивыми зонами в Западно-Уральском регионе // Материалы Международной конференции «Геодинамика и геоэкология». Архангельск: Институт экологических проблем Севера УрО РАН, 1999. С. 36-38.
6. Блинова Т.С. Характер связи сейсмичности с геолого-геофизическими полями для территории Западно-Уральского региона // Материалы научной сессии Горного института УрО РАН по результатам НИР в 1999 г., 10-14 апреля 2000. Пермь, 2000. С. 89-94.
7. Гитис В.Г., Миронов М.А., Бунз В.И. и др. Прогноз M_{\max} землетрясений на основе метода аппроксимации интервальных экспертных оценок // Изв. АН СССР, Физика Земли, №4, 1986. С. 25-31.
8. Гитис В.Г., Деарт Д.А. и др. ГЕО – Экспертная система для геолого-геофизического прогноза // Экспертная система: состояние и перспективы. М.: Наука, 1989. С. 119-130.
9. Гитис В.Г., Вайншток А.П., Деарт Д.А. и др. Геоинформационная система «ГЕО», версия 2.5 (ГИС «ГЕО 2.5»). М.: ИППИ РАН, 1995. 123 С.
10. Мирзоев К.М., Рахматуллин М.Х., Гагятуллин Р.Н. Татарстан (с древнейших времен по 1994 год) // Землетрясения Северной Евразии в 1994 году. М.: Геофиз. служба РАН, 2000. С. 44-56.
11. Никонов А.А., Мокрушина Н.Г., Лубягина Л.И. Исторические землетрясения Вятского края // Вестник Вятского государственного педагогического университета. №2, 2000. С. 76-80.
12. Решение научно-координационного совещания Роскомнедра и РАН «Глубинное строение, геодинамика, сейсмичность Восточно-Европейской платформы» // Недра Поволжья и Прикаспия. Саратов: Нижне-Волжский НИИГГ, 1996. Вып. 13 (спец.). С. 92-95.