

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. – DOI: 10.17072/psu.geol.33.36.
2. Завьялов А.Д. Среднесрочный прогноз землетрясений: основы, методика, реализация. – М.: Наука, 2006. – 253 с.: ил.
3. Кашин Л.А. Карта современных вертикальных движений земной коры по геодезическим данным на территории СССР [Карты]. – 1:5000000. – Баку: Азербайджанаэрогеодезия, 1989. – 1 к.
4. EMAG2: Earth Magnetic Anomaly Grid (2-arc-minute resolution). – Текст электронный. – URL: <http://geomag.org/models/emag2.html>, свободный (дата обращения 10.04.2019).
5. Satellite Geodesy: [Официальный сайт]. – Текст электронный. – URL: http://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi, свободный (дата обращения 10.04.2019).

УДК 550.31; 550.34; 550.834

DOI:10.7242/echo.2022.1.11

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РОЛИ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ
В ФОРМИРОВАНИИ И ПРОГНОЗЕ
ГЕОДИНАМИЧЕСКИ НЕУСТОЙЧИВЫХ ЗОН ЮЖНОГО ПРЕДУРАЛЬЯ**

Т.С. Блинова

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В статье рассмотрены результаты прогноза геодинамически неустойчивых зон и их связь с глубинным строением Южного Предуралья на примере Оренбургского региона. В этих зонах состояние, свойства и динамика происходящих процессов таковы, что делают зоны восприимчивыми 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 слабоактивных территорий разработана в Горном институте УрО РАН. Исследования проводились в геоинформационной системе «ГЕО». Сформирована единая база данных для выделения таких зон. Она была использована для прогноза геодинамически неустойчивых зон в пределах Оренбургского региона. Определены связи этих зон с глубинным строением, что дает возможность уточнить их расположение и подтвердить возможность существования таких зон в любых слабосейсмичных регионах. Исследования проведены по профилям глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ). Они подтвердили ранее полученные результаты о связи геодинамически неустойчивых зон с глубинным строением востока Русской, Печорской и Западно-Сибирской плит. Границы зон Оренбургского региона связаны с глубинными разломами на сейсмических разрезах ГСЗ и с глубинными низкоскоростными аномалиями. Это свидетельствует о влиянии процессов, происходящих в земной коре и верхней мантии на их формирование.

Ключевые слова: геодинамически неустойчивые зоны, прогноз, глубинное строение, геоинформационные системы, слабосейсмичные регионы.

Введение

Методика прогноза геодинамически неустойчивых зон по комплексу геолого-геофизических данных и расчета сейсмического потенциала слабоактивных территорий разработана в Горном институте УрО РАН. В этих зонах состояние, свойства и динамика происходящих процессов таковы, что делают их восприимчивыми к дестабилизации под действием различных тектонических сил. Они могут быть сейсмически активными, а также свидетельствовать о потенциальной сейсмичности некоторых участков изучаемых территорий. В результате исследований, проведенных для востока Русской, Печорской и Западно-Сибирской плит, была сформирована единая база данных для прогноза геодинамически неустойчивых зон.

Определены признаки их выделения. Все это было применено для Оренбургского региона, который располагается в пределах Южного Предуралья. Выделено четыре геодинамически неустойчивые зоны. На данном этапе исследований установлена связь выделенных зон с глубинным строением и вероятными процессами, происходящими в их пределах. Это подтверждает выводы о проявлении геодинамически неустойчивых зон в глубинном строении ранее изученных регионов. Используются данные глубинных сейсмических разрезов по профилю ГСЗ п. Манаш – п. Карачаганак (проект «Батолит-2»), профилю ГСЗ р. Эмба – г. Оренбург (проект «Батолит-2») и геотраверсу «Татсейс».

Методика и подходы

В результате развития методики выделения геодинамически неустойчивых зон была сформирована база данных, необходимая для их прогноза в любом слабосейсмичном регионе. Она включает следующие параметры: глубину залегания границы Мохоровичича и ее горизонтальные градиенты, глубину залегания фундамента, гравитационное поле и его горизонтальные градиенты, аномальное 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 [3].

Такая база данных была использована для выделения геодинамически неустойчивых зон в Оренбургском регионе [9]. Был применен профильный метод изучения геолого-геофизических параметров, который позволяет исследовать карты электронной базы данных по профилям, пересекающим регион через половину градуса с севера на юг. Особенно это необходимо для изучения градиентов геофизических полей [2]. Исследования выполнены в геоинформационной системе «ГЕО» в позиции «Разрез» [4].

Опыт исследований слабоактивных территорий показал, что такие зоны проявляются в уменьшении глубины залегания границы Мохоровичича. В Оренбургском регионе глубина залегания границы Мохоровичича в пределах зон составляет 38-44 км, при изменении параметра для всего региона от 38 до 51 км. Была изучена глубина залегания кристаллического фундамента. При изменении данного параметра для всего региона от 3000 до 8000 м в пределах геодинамически неустойчивых зон наблюдается его погружение. Градиенты глубины залегания границы Мохоровичича и современных вертикальных движений земной коры в пределах геодинамически неустойчивых зон имеют небольшие значения, на краях зон они повышаются. В пределах зон горизонтальные градиенты гравитационного поля имеют значения $(3-100) \cdot 10^{-2}$ мГал/км, при этом на краях зон они повышаются и составляют $(125-140) \cdot 10^{-2}$ мГал/км. Горизонтальные градиенты аномального магнитного поля ведут себя аналогично. В пределах зон они имеют небольшие значения 1-6 нТл/км, на краях зон составляют 13-20 нТл/км. Впервые для выделения геодинамически неустойчивых зон были использованы градиенты высоты рельефа земной поверхности, в пределах зон они имеют небольшие значения, на краях зон значительно повышаются [9]. Карты градиентов параметров рассчитаны и построены в геоинформационной системе «ГЕО» [4]. В Оренбургском регионе выделено четыре геодинамически неустойчивые зоны (рис. 1).

Самая значительная по площади и количеству сейсмических событий Сакмарско-Оренбургская зона располагается в пределах Урало-Сакмарского прогиба и прилегающего к нему Оренбургского блока, значение наибольшей магнитуды землетрясения, попавшего в эту зону, составляет $M = 2.4$. На севере области выделя-

ется Серноводско-Абдулинская зона, она располагается в одноименном авлакогене. Землетрясение, которое попало в эту зону одно, имеет магнитуду $M = 2.1$. На юго-западе региона выделена Чаганско-Рубежинская зона, которая имеет наибольшую магнитуду $M = 4.0$. Зона располагается в пределах Чаганского выступа и Рубежинского прогиба. Наименьшей по площади и величине магнитуды является Ольховская зона, сопряженная с Ольховским грабеном, магнитуда составляет $M = 1.3$. Проведено сопоставление модели геодинамически неустойчивых зон с данными профилей ГСЗ (рис. 1).

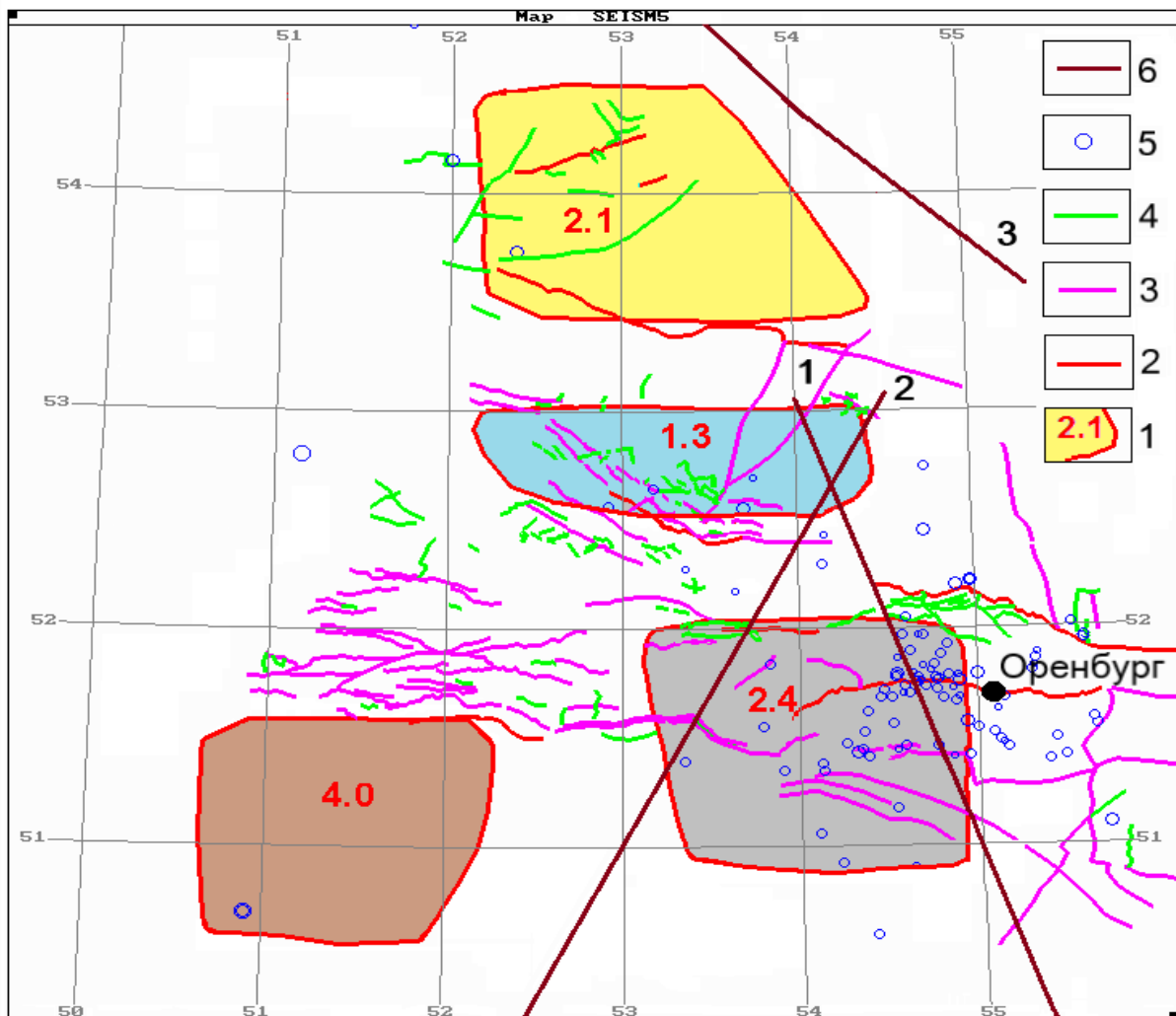


Рис. 1. Региональная модель геодинамически неустойчивых зон Оренбургского региона.

1 – геодинамически неустойчивые зоны: Серноводско-Абдулинская зона – желтый цвет, Ольховская зона – голубой цвет, Сакмарско-Оренбургская зона – серый цвет, Чаганско-Рубежинская зона – коричневый цвет; цифры внутри зон – максимальные значения магнитуд землетрясений, эпицентры которых располагаются внутри зон; 2-4 – разломы: 2 – первого порядка; 3 – второго порядка; 4 – третьего порядка [7]; 5 – эпицентры землетрясений; 6 – профили ГСЗ: 1 – р. Эмба – г. Оренбург, 2 – п. Манаш – п. Карачаганак, 3 – геотраверс «Татсейс»

Результаты и обсуждения

Целью исследований является определение связей геодинамически неустойчивых зон с глубинным строением Оренбургского региона. Используются данные глубинных сейсмических разрезов по профилю ГСЗ п. Манаш – п. Карачаганак, профилю ГСЗ р. Эмба – г. Оренбург и геотраверсу «Татсейс» [1].

По проекту «Батолит-2» в 1987 г. НПО «Нефтегеофизика» были отработаны профили ГСЗ: п. Манаш – п. Карачаганак длиной 750 км и р. Эмба – г. Оренбург длиной 725 км. Они в основном располагаются в пределах Прикаспийской впадины, пересекая ее в направлении, близком к субмеридиональному, и выходят на северное обрамление, представленное Волго-Уральской антеклизой [1, 6] (рис. 1, 2). В северо-восточной части исследуемого региона геотраверс «Татсейс» пересекает Серноводско-Абдулинский авлакоген. Геотраверс, общей протяженностью более 1000 км, проходит по территории Нижегородской и Кировской областей, республик Марий-Эл, Татарстан и Башкортостан. Значительная часть профиля проходит по Южно-Татарскому и Северо-Татарскому сводам. На основе данных глубинного сейсмического зондирования составлены схемы рельефа поверхности консолидированного дорифейского фундамента и поверхности Мохоровичича. В построенной модели показаны, в основном, вертикальные и крутопадающие разломы, разделяющие блоки земной коры и верхней мантии [5].

Полученная модель геодинамически неустойчивых зон Оренбургского региона была сопоставлена с данными профилей глубинного сейсмического зондирования, которые пересекают эти зоны (рис. 1). Установлена связь зон с глубинным строением и вероятными процессами, происходящими в их пределах (рис. 2).

Северо-восточная часть Серноводско-Абдулинской геодинамически неустойчивой зоны находится в непосредственной близости от геотраверса «Татсейс» и проявляется серией сближенных глубинных разломов, пересекающих границу Мохоровичича [5] (рис. 1).

Хорошо видна связь южной границы Ольховской геодинамически неустойчивой зоны с разломом на сейсмическом разрезе по профилю ГСЗ р. Эмба – г. Оренбург. Она проявляется глубинным разломом до границы Мохоровичича. На профиле п. Манаш – п. Карачаганак эта граница прослеживается нестабильно. Северная граница этой зоны не подтверждается глубинными разломами на сейсмических разрезах по профилям ГСЗ (рис. 1, 2).

Сакмарско-Оренбургская геодинамически неустойчивая зона подтверждается данными ГСЗ. На сейсмическом разрезе по профилю р. Эмба – г. Оренбург северная граница зоны совпадает с глубинным разломом до границы Мохоровичича. По профилю п. Манаш – п. Карачаганак эта граница зоны прослеживается нестабильно. Западная и восточная границы Сакмарско-Оренбургской геодинамически неустойчивой зоны на обоих профилях ГСЗ подтверждаются глубинными разломами до границы Мохоровичича (рис. 1, 2). Для получения результатов было проведено сопоставление длин отрезков профилей ГСЗ, которые пересекают границы зон (рис. 1), и местоположения разломов на глубинных сейсмических разрезах ГСЗ (рис. 2).

Чаганско-Рубежинская зона располагается на границе Прикаспийской впадины и Волго-Уральской антеклизы. Принципиально важные особенности глубинной структуры литосферы и астеносферы исследуемого региона были получены при построении трехмерной Р-скоростной модели мантии Восточно-Европейской платформы вдоль меридиана 51° в.д. [8]. На вертикальном сечении сейсмотомографической модели мантии с глубины 410-440 км прослеживается зона пониженных скоростей, образующая широкое куполообразное поднятие, находящееся прямо под Прикаспийской впадиной. Еще ниже в строении этого мантийного купола, на глубине от 500-600 до 850 км, прослеживаются аномальные наклонные и субвертикальные скоростные структуры, продолжающие общую структуру купола на глубину уже в средней мантии. С зоной пониженных скоростей в верхней мантии территориально связана Чаганско-Рубежинская геодинамически неустойчивая зона. Это позволяет предположить влияние глубинных процессов, происходящих в мантии, на образование таких зон.

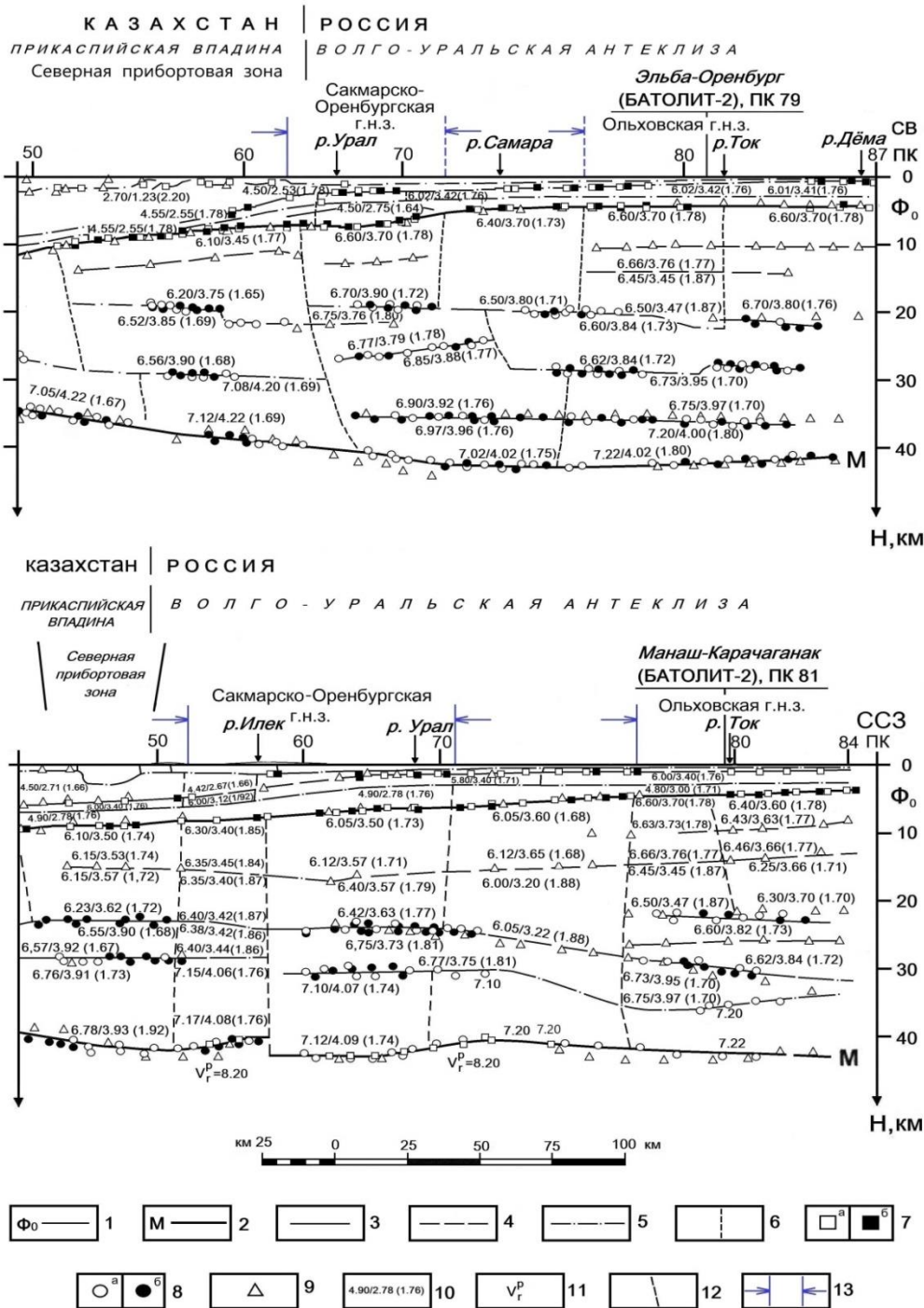


Рис. 2. Глубинные сейсмические разрезы по профилям ГСЗ п. Манаш – п. Карачаганак (вверху) и р. Эмба – г. Оренбург (внизу) [1]

1 – поверхность кристаллического фундамента (Φ₀); 2 – граница Мохоровичича (M); сейсмические границы, построенные по монотипным волнам; 3 – которым соответствуют теоретические годографы, 4 – по обменным волнам, 5 – введенные в разрез для наилучшего совпадения теоретических годографов с наблюдаемыми; 6 – границы блоков с разными скоростными характеристиками; 7 – отметки глубин преломляющих границ по продольным волнам (а), по поперечным волнам (б); 8 – отметки глубин отражающих границ по продольным волнам (а), по поперечным волнам (б); 9 – отметки глубин границ обмена по взрывам; 10 – значения пластовых скоростей распространения продольных (V_p) и поперечных (V_s) сейсмических волн (км/с) и их отношение (V_p/V_s); 11 – граничные скорости для продольных волн (км/с); 12 – коровые тектонические нарушения; 13 – геодинамически неустойчивые зоны, пунктиром – границы зон, которые прослеживаются нестабильно

Совместный анализ модели геодинамически неустойчивых зон и данных сейсмических разрезов по профилям ГСЗ для Оренбургской области позволил подтвердить связи таких зон, выделенных по комплексу геолого-геофизических данных, с глубинным строением исследуемых ранее регионов. Геодинамически неустойчивые зоны, несомненно, имеют глубокое заложение. Об этом свидетельствует их связь с глубинными разломами, пересекающими земную кору. На сейсмических разрезах ГСЗ Оренбургского региона не видно поднятия границы Мохоровичича в пределах блоков, ограниченных глубинными разломами, как это было для Русской, Печорской и Западно-Сибирской плит [3]. Причиной является пересечение профилями небольших участков геодинамически неустойчивых зон под углом в северо-восточном и северо-западном направлениях. Связь этих зон с глубинными низкоскоростными аномалиями Оренбургского региона также свидетельствует о влиянии глубинных процессов на их формирование, как это было показано для Западно-Уральского региона [3].

Выводы

Установлены связи геодинамически неустойчивых зон с глубинным строением Оренбургского региона. Исследования подтвердили полученные ранее результаты по Западно-Уральскому и Тимано-Североуральскому регионам и Западно-Сибирской плите. Это является еще одним доказательством выделения таких зон не только по одним и тем же геолого-геофизическим параметрам, но и по ряду глубинных признаков. Подтверждена связь геодинамически неустойчивых зон с глубинными разломами и процессами, происходящими в земной коре и верхней мантии. Все это указывает на возможность существования таких зон в любых слабо-сейсмичных регионах мира.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ в рамках соглашения по государственному заданию № 075-03-2021-374 от 29 декабря 2020 г. (рег. номер 122012000401-7).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Атлас «Опорные геолого-геофизические профили России». Глубинные сейсмические разрезы по профилям ГСЗ, отработанным в период с 1972 по 1995 год. – СПб. ВНИГИ, 2013. – Текст электронный. – URL: <https://vsegei.ru/ru/info/seismic/>.
2. Блинова Т.С., Удоратин 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. Формирование единой базы данных для прогноза геодинамически неустойчивых зон слабосейсмичных регионов // Геофизические исследования. – 2021. – Т. 22, № 2. – С. 5-30. – DOI: 10.21455/gr2021.2-1.
4. Гитис В.Г., Ермаков Б.В. Основы пространственно-временного прогнозирования в геоинформатике. – М.: Физматлит, 2004. – 256 с.
5. Дружинин В.С., Начапкин Н.И., Осипов В.Ю. Строение и нефтегазоносность додевонского мегакомплекса юго-восточной окраины Восточно-Европейской платформы (Часть 1. Анализ геолого-геофизической информации о строении кристаллической коры) // Уральский геофизический вестник. – 2020. – № 2 (40). – С. 23-36. – DOI: 10.25698/UGV.2020.2.3.23.
6. Кузин А.М. Модель глубинного строения Прикаспийской впадины по данным региональных сейсмических наблюдений МОГТ – ГСЗ и месторождений углеводородов. Часть 1 // Актуальные проблемы нефти и газа. – 2018. – № 3 (22). – DOI: 10.29222/ipng.2078-5712.2018-22.art11.
7. Нестеренко М.Ю., Нестеренко Ю.М., Соколов А.Г. Геодинамические процессы в разрабатываемых месторождениях углеводородов (на примере Южного Предуралья) – Екатеринбург: УрО РАН, 2015. – 185 с.

8. Рихтер Я.А. Аномальная литосфера и перспективы нефтегазоносности недр Прикаспийской впадины // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. – 2017. – Т. 17, № 4. – С. 266-275. – DOI: 10.18500/1819-7663-2017-17-4-266-275.
9. Blinova T. Application of geological and geophysical data for identification of geodynamically unstable zones to the orenburg region // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM: 20th SGEM 2020, Bulgaria, Albena, 18-24 August 2020. – V. 2020, № 1.2. – P. 443-450. – DOI: 10.5593/sgem2020/1.2/s05.057.

УДК 550.834

DOI:10.7242/echo.2022.1.12

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНОВЫХ ПОЛЕЙ В РАМКАХ НЕПРОДОЛЬНЫХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЙ

В.Ю. Бобров

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Оценка применимости непродольных систем наблюдений для реализации мониторинга в условиях урбанизированных территорий возможна путем анализа интерпретационных возможностей регистрируемых с их помощью волновых полей на основе теоретического моделирования.

Ключевые слова: непродольные системы наблюдений, сейсморазведка, полномасштабное моделирование.

Города Соликамск и Березники расположены над горными выработками Верхнекамского месторождения. Промышленная разработка и добыча полезных ископаемых здесь ведется с тридцатых годов прошлого столетия. Для обеспечения безопасности как самих рудников, так и городских территорий со зданиями и инфраструктурой над отработанными территориями, необходим контроль состояния породного массива и перекрывающей толщи. Среди всех геофизических методов, направленных на изучение подобного рода объектов, наиболее информативным является сейсморазведка [1-5].

При работах на урбанизированных территориях технические возможности проведения классических сейсморазведочных работ существенно ограничены. В подобных условиях целесообразно применение непродольных систем наблюдений [6]. Данные системы организуются путем разноса линий пунктов возбуждения (ПВ) и линий пунктов приема (ПП), что позволяет проводить исследования на территориях, недоступных для прямого профилирования.

Для оценки применимости непродольных систем наблюдений применен программный пакет «Tesseral Engineering» [7]. Сформирована геологическая модель, представляющая собой четырехслойную среду с разными величинами пластовых скоростей в каждой толще (Рис. 1). Задана система наблюдений, параметры которой (Таб. 1) адаптированы для сейсмогеологических условий Верхнекамского месторождения [3, 4] и успешно применяются на практике.

На данной модели в районе 590-1050 метров и в интервале глубин 0-130 метров присутствует зона нарушения породного массива, характеризующаяся пониженными скоростями продольных и поперечных волн.

На практике при проведении сейсморазведочных работ в пределах урбанизированных территорий в связи с плотной застройкой или другими непредвиденными факторами зачастую сложно добиться оптимального постоянного разноса линии пунктов возбуждения и (или) линии пунктов приема. В связи с этим для