

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Байбакова Т.В. Выделение флексурных деформаций на фоне интенсивной складчатости по результатам интерпретации малоглубинных сейсморазведочных исследований // Горное эхо. – 2021. – № 2 (83). – С. 32-36. – DOI: 10.7242/echo.2021.2.8.
2. Байбакова Т.В. Картирование зон интенсивной складчатости по сейсмическим параметрам в пределах рифогенных поднятий // Горное эхо. – 2022. – № 2 (87). – С. 68-72. – DOI: 10.7242/echo.2022.2.11.
3. Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2001. – 429 с.: ил.
4. Санфиоров И.А., Погребинский М.С. Интерпретация спектральных характеристик отраженных волн в зонах выклинивания // Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа: межвуз. сб. науч. тр. / ПГУ. – Пермь, 1986. – С. 86-92.

УДК 550.31+550.34+55(084.3)+502.58.001.18

DOI:10.7242/echo.2024.3.6

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ  
ГЛУБИННОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ  
ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКИ НЕУСТОЙЧИВЫХ ЗОН  
С НЕПОЛНЫМ НАБОРОМ ПРИЗНАКОВ**

Т.С. Блинова

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация:** Обсуждаются результаты прогноза геодинамически неустойчивых зон и их связь с глубинным строением Печорской и Западно-Сибирской плит. 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 геолого-геофизических данных для выделения таких зон в любом слабосейсмичном регионе. Получены признаки их прогноза. Исследования связей геодинамически неустойчивых зон с результатами глубинного сейсмического зондирования Западно-Уральского и Тимано-Североуральского регионов, Западно-Сибирской плиты и Южного Предуралья позволили определить глубинные признаки их выделения. На данном этапе исследований для Тимано-Североуральского региона и Западно-Сибирской плиты использована новая информация по профилям глубинного сейсмического зондирования. Она подтвердила геодинамически неустойчивые зоны, выделенные по неполному набору признаков.

**Ключевые слова:** геодинамически неустойчивые зоны, геолого-геофизические параметры, глубинное строение, геоинформационные системы, глубинное сейсмическое зондирование, слабосейсмичные регионы.

**Введение**

Оценка сейсмического потенциала слабоактивных территорий Западной и Восточной Европы, Урала и Западной Сибири является важной проблемой. 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 слабоактивных регионов, основанная на прогнозировании геодинамически неустойчивых зон с использованием геолого-геофизических данных и определении сейсмического потенциала [2, 3]. Это зоны, в которых 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 проведенных исследований была сформирована единая геолого-геофизическая база

данных для выделения геодинамически неустойчивых зон. Определены признаки их прогноза. Для совершенствования прогноза геодинамически неустойчивых зон необходимо увеличивать количество признаков их выделения, которые могут способствовать уточнению расположения зон и пониманию их природы. На данном этапе исследований для Тимано-Североуральского региона и Западно-Сибирской плиты использована новая информация по профилям глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ). Результаты этих исследований дополнили выводы о связи границ геодинамически неустойчивых зон с глубинными разломами. Новая информация подтвердила геодинамически неустойчивые зоны, выделенные по неполному набору признаков. Важно, что на профилях, отработанных в разное время, границы геодинамически неустойчивых зон отображаются одинаково.

### Основы метода

Большое количество статей и несколько монографий посвящены методике выделения геодинамически неустойчивых зон [2, 3, 4, 11]. В результате ее развития была сформирована единая база геологических и геофизических 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.

Определены признаки прогноза геодинамически неустойчивых зон. Для них характерно уменьшение глубины залегания границы Мохоровичича и мощности нижнего слоя земной коры и увеличение глубины залегания кристаллического фундамента. Горизонтальные градиенты глубины залегания границы Мохоровичича, гравитационного и магнитного полей, современных вертикальных движений земной коры уменьшаются в пределах геодинамически неустойчивых зон, при этом на краях зон увеличиваются. Тепловой поток и температуры поверхности фундамента повышаются в пределах зон. Имеются отдельные данные о том, что в зонах повышенным значениям температур по кровле девона соответствуют минимальные значения геотермических градиентов в толще терригенного девона, аналогичная закономерность обнаружена при сопоставлении карт геоизотерм по поверхности терригенной толщи нижнекаменноугольных отложений со значениями геотермического градиента в этих отложениях. В результате исследований выделяются зоны с аномальными условиями теплопередачи, что свидетельствует о внутрипластовой разгрузке и подтоке термальных вод по нарушениям фундамента и осадочного чехла. Для геодинамически неустойчивых зон характерна связь с неотектоническими движениями, зонами сочленения глубинных разломов и систем разломов, их плотностью.

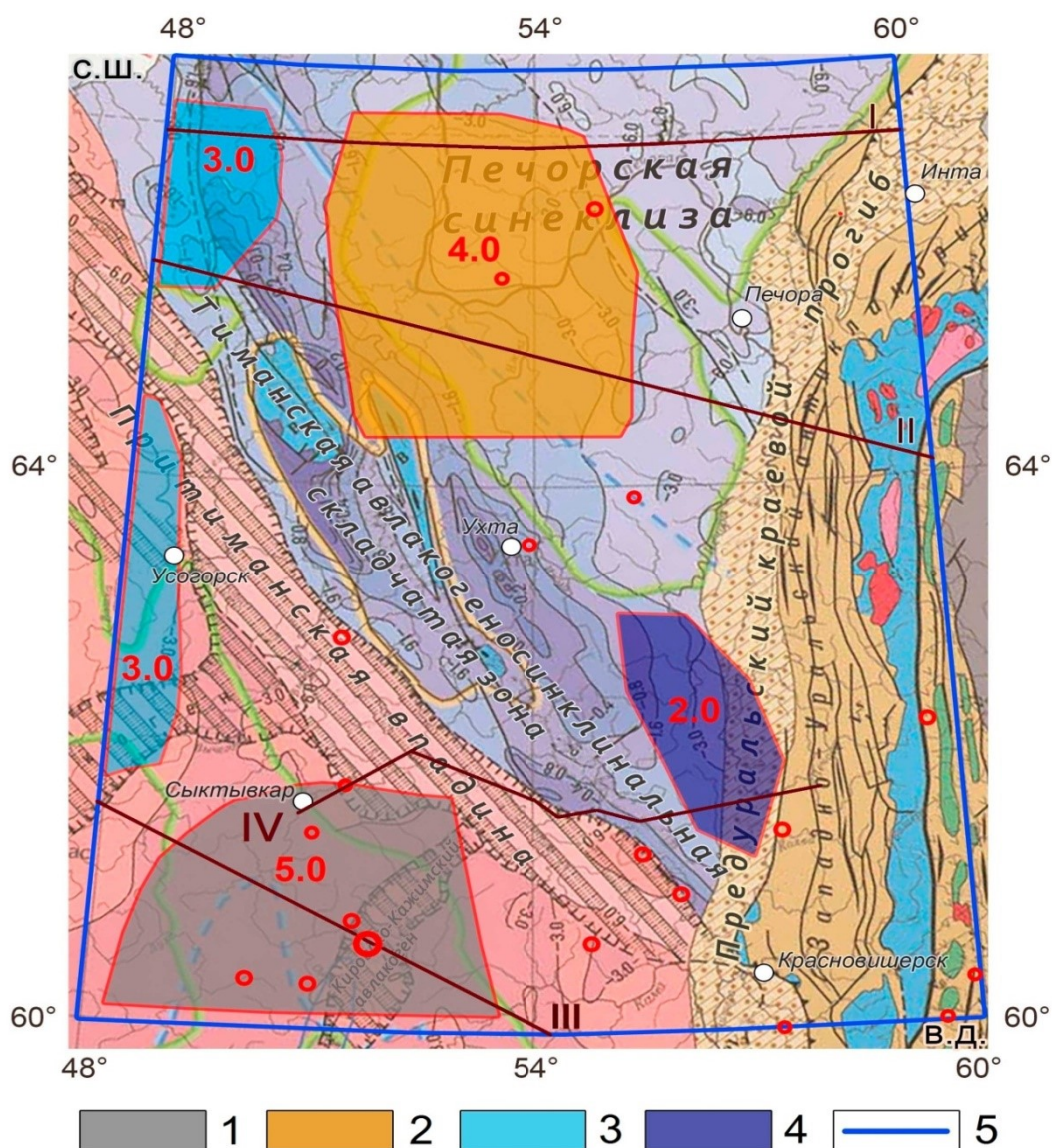
По вышеперечисленным признакам получена региональная модель геодинамически неустойчивых зон Тимано-Североуральского региона, выделено пять зон (рис. 1) [2]. Четыре из них получены по полному набору признаков, только Верхнепечорская – по залеганию границы Мохоровичича, горизонтальным градиентам аномального магнитного поля и тепловому потоку. Для этой зоны не обнаружено связи с разломной тектоникой, которая отображается на картах.

Региональная модель геодинамически неустойчивых зон Западно-Сибирской плиты получена по вышеперечисленным признакам, выделено три зоны (рис. 2). Для этого также использована схема ее континентальной рифтовой системы раннего-среднего триаса [6]. Все зоны выделены по полному набору признаков, только Западная геодинамически неустойчивая зона не связана с тройным сочленением разнонаправленных рифтов и разломами, отображенными на карте (рис. 2).

Для изучения связей геодинамически неустойчивых зон с глубинным строением была использована новая информация по глубинному сейсмическому зондированию для Тимано-Североуральского региона и Западно-Сибирской плиты. Особый интерес представляют Верхнепечорская зона Тимано-Североуральского региона и Западная зона Западно-Сибирской плиты. Первая выделяется по ограниченному количеству признаков, вторая – без учета разломной тектоники.

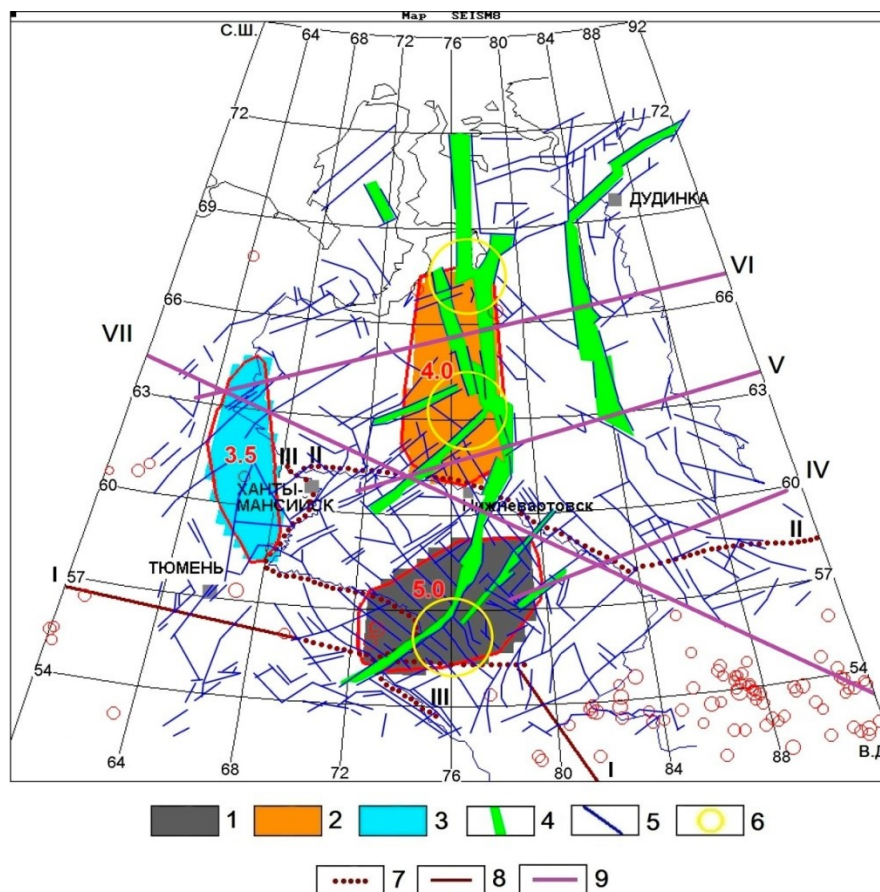
### Результаты и обсуждения

Определение связей геодинамически неустойчивых зон с глубинным строением регионов позволило доказать существование таких зон не только по геолого-геофизическим параметрам, но и найти новые глубинные признаки их выделения. Новая информация данных ГСЗ по Тимано-Североуральскому региону и Западно-Сибирской плите [1,7,10] позволила подтвердить зоны с неполным набором признаков.



**Рис. 1.** Региональная модель геодинамически неустойчивых зон Тимано-Североуральского региона на тектонической карте России, сопредельных территорий и акваторий [9].

1-4 – геодинамически неустойчивые зоны: 1 – Сысольская зона; 2 – Ижемская зона; 3 – Северо-Тиманская и Мезенская зоны; 4 – Верхнепечорская зона; 5 – границы исследуемого региона; цифры внутри зон – максимальные значения магнитуд землетрясений, эпицентры которых располагаются внутри зон; профили ГСЗ: I – «Агат-II», II – «Кварц», III – «Рубин-I» [1]; IV – Сыктывкарский [7]

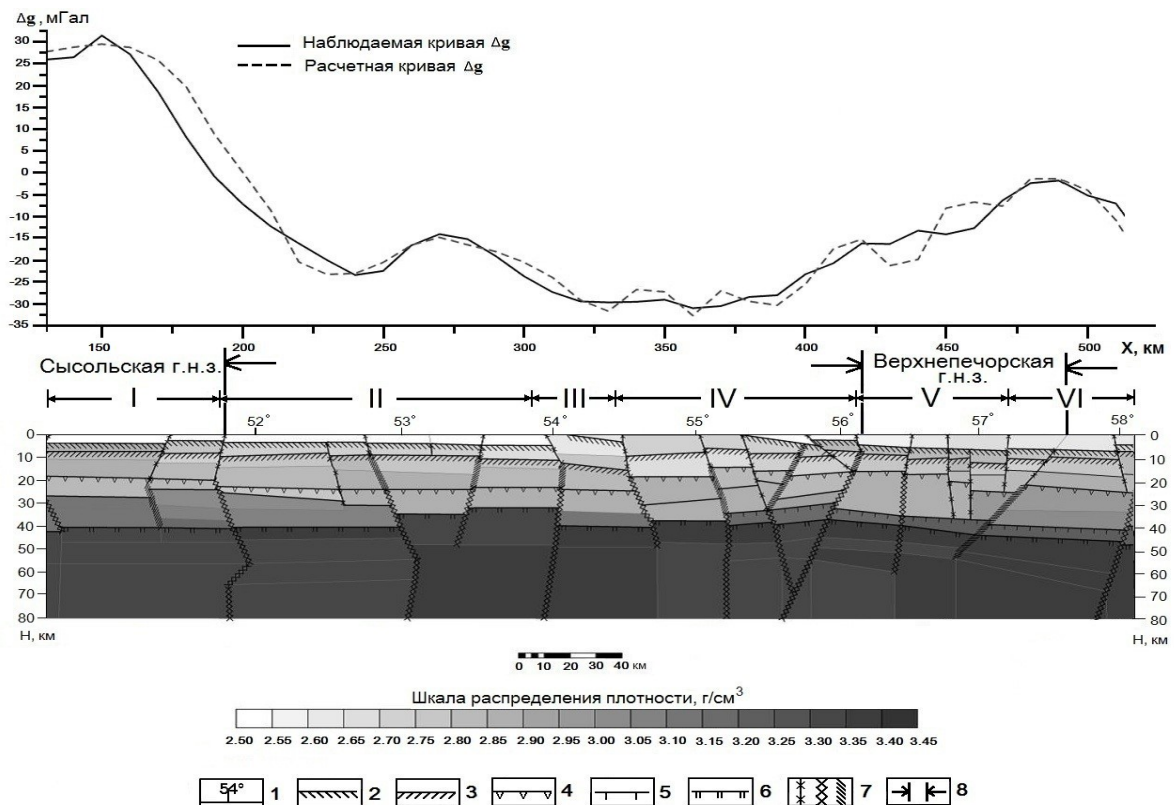


**Рис. 2.** Региональная модель геодинамически неустойчивых зон Западно-Сибирской плиты. 1-5 – геодинамически неустойчивые зоны: 1 – Южно-Центральная зона; 2 – Северо-Центральная зона; 3 – Западная зона; 4 – схемы грабен-рифтов раннего-среднего триаса [6]; 5 – основные разломы [3, 6]; 6 – зоны тройного сочленения рифтов; 7 – точечные зондирования; 8 – непрерывное профилирование; профили ГСЗ: I-I – через средний Урал, южную часть Западно-Сибирской плиты, Салаирский кряж и Кузнецкий прогиб; II-II – через центральные и восточные районы Западно-Сибирской плиты, Енисейский кряж и запад Сибирской платформы; III-III – по реке Иртыш [8]; 9 – профили ГСЗ – МОВЗ: IV «Батолит», V – «Кимберлит», VI – «Кратон», VII – «Кварц» [1]; красные кружки – эпицентры землетрясений; цифры внутри зон – максимальные значения магнитуд землетрясений, эпицентры которых располагаются внутри зон

На данном этапе проведены исследования по профилю ГСЗ-МОВЗ «Сыктывкарский» Тимано-Североуральского региона (рис. 1, 3). Он пересекает Верхнепечорскую геодинамически неустойчивую зону, выделение которой по геолого-геофизическим параметрам вызывало некоторые трудности. На этом профиле глубинные разломы совпадают с её границами, а глубина до границы Мохоровичича уменьшается в пределах зоны. Также видна связь границы Сысольской геодинамически неустойчивой зоны с глубинным разломом, пересекающим границу Мохоровичича (рис. 3).

Для Западно-Сибирской плиты проведен совместный анализ схемы геодинамически неустойчивых зон и профилей ГСЗ, пересекающих эти зоны (рис. 2), подтверждается их связь с глубинным строением (рис. 4). Западная геодинамически неустойчивая зона выделяется по данным ГСЗ-МОВЗ. На глубинном сейсмическом разрезе по профилю «Кратон» западная и восточная границы этой зоны подтверждаются глубинными разломами до поверхности Мохоровичича [4] (рис. 4). Были использованы новые данные по профилю «Кварц», который пересекает Западную геодинамически неустойчивую зону. Мы имеем ту же самую картину. Границы зоны сопряжены с глубинными разломами до поверхности Мохоровичича, которая поднимается в её пределах.



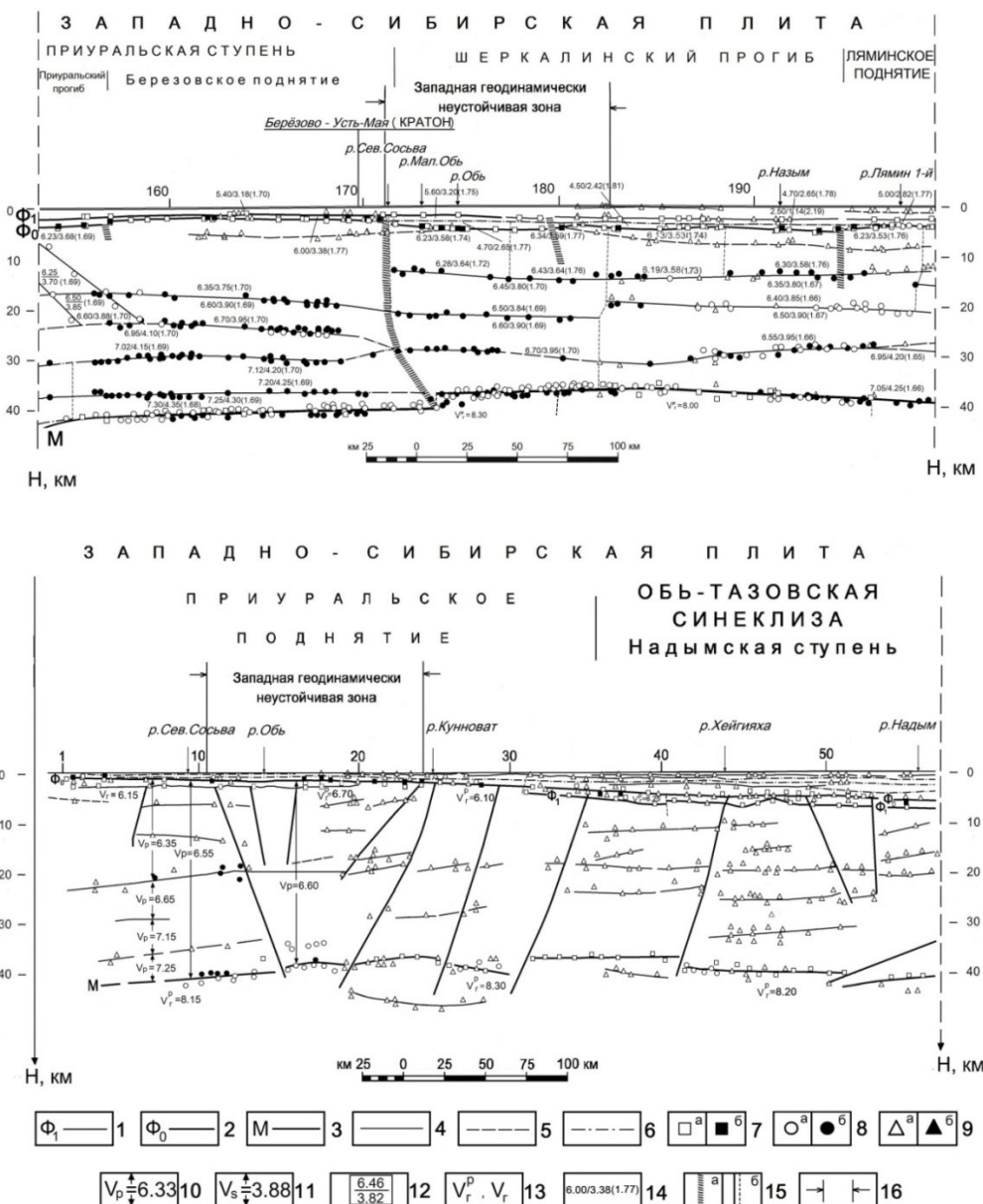


**Рис. 3.** Глубинный сейсмический разрез по профилю ГСЗ-МОВЗ Сыктывкарский [7,10].  
 1 – линия профиля с градусной привязкой; 2 – поверхность докембрийского мегакомплекса;  
 3 – поверхность нижнеархейского кристаллического фундамента; 4 – поверхность нижней коры;  
 5 – поверхность переходного мегакомплекса в низах коры; 6 – основной сейсмогеологический раздел между породами земной коры и относительно слабоизмененными породами верхней мантии;  
 7 – глубинные разломы; 8 – геодинамически неустойчивые зоны; геологические структуры:  
 I – Кажимский прогиб; II – Вычегодский прогиб; III – Предтиманский прогиб; IV – Тиманское поднятие;  
 V – Омра-Лузская седловина; VI – Предуральский прогиб

Весьма актуально сопоставление данных ГСЗ разных лет, которые подтверждают одну и ту же границу геодинамически неустойчивых зон [4]. На данном этапе исследований Западно-Сибирской плиты появилась возможность сопоставить результаты ГСЗ-МОВЗ разных лет по профилю «Кратон» 1978 г. и по профилю «Кварц» 1984 г. (рис. 2, 4). Теперь западная граница Западной геодинамически неустойчивой зоны подтверждается еще и тем, что она выделяется на профилях разных лет одним и тем же глубинным разломом.

### Выводы

Накопленный опыт изучения связей геодинамически неустойчивых зон с глубинным строением по результатам ГСЗ позволяет добавить их в единую базу данных и в список признаков прогноза. Последние исследования Тимано-Североуральского региона и Западно-Сибирской плиты показали, что результаты глубинного сейсмического зондирования подтверждают границы зон, выделенных по ограниченному количеству признаков. Еще одним важным результатом последних исследований является возможность сравнить результаты ГСЗ разных лет. Установлено, что на профилях, отработанных в разное время, границы геодинамически неустойчивых зон отображаются одинаково. Новая информация позволила подтвердить, что геодинамически неустойчивые зоны, которые выделяются в исследуемых регионах по одним и тем же геолого-геофизическим параметрам, проявляются в их глубинном строении, что дает возможность обосновать их существование и уточнить расположение.



**Рис. 4.** Глубинный сейсмический разрез по профилю ГСЗ-МОВЗ «Кварц», 1984 г. – верхний рисунок и по профилю ГСЗ-МОВЗ «Кратон», 1978 г. – нижний рисунок [1].  
 1 – поверхность складчатого фундамента ( $\Phi_1$ ); 2 – поверхность кристаллического фундамента ( $\Phi_0$ );  
 3 – граница Мохоровичича (М); сейсмические границы, построенные по монотипным волнам:  
 4 – которым соответствуют теоретические годографы, 5 – по обменным волнам, 6 – введенные в разрез для наилучшего совпадения теоретических годографов с наблюдаемыми; 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 (а), по землетрясениям (б); 10,11 – значения средних пластовых скоростей в слоях консолидированной коры для продольных ( $V_p$ ) и поперечных ( $V_s$ ) волн (км/с); 12 – средние скорости в консолидированной коре для продольных (числитель) и поперечных (знаменатель) волн (км/с);  
 13 – граничные скорости для продольных волн (км/с); 14 – значения пластовых скоростей распространения продольных ( $V_p$ ) и поперечных ( $V_s$ ) сейсмических волн (км/с) и их отношение ( $V_p/V_s$ );  
 15 – тектонические нарушения: сквозькоровые (а), коровые (б) – достоверные и предполагаемые;  
 16 – геодинамически неустойчивые зоны

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания (рег. номер НИОКТР: 124020500029-1).*

## 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/>. (Дата обращения 15.11.2023).
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: <https://doi.org/10.21455/gr2021.2-13>.
4. Блинова Т.С. Анализ связи геодинамически неустойчивых зон с глубинным строением Западно-Сибирской плиты // Горное эхо. – 2023. – № 3 (92). – С. 73-81. – DOI: 10.7242/echo.2023.3.10.
5. Гитис В.Г., Ермаков Б.В. Основы пространственно-временного прогнозирования в геоинформатике. – М.: Физматлит, 2004. – 256 с.
6. Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г., Кирдяшкин А.А. Глубинная геодинамика. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2001. – 409 с.: ил.
7. Дружинин В.С., Мартышко П.С., Начапкин Н.И., Осипов В.Ю. Строение верхней части литосферы и нефтегазоносность недр Уральского региона / Ин-т геофизики УрО РАН. – Екатеринбург: УрО РАН, 2014. – 225 с.: ил.
8. Крылов С.В. Сейсмические исследования литосферы Сибири. Избранные труды. – Новосибирск: Гео, 2006. – 345 с.
9. 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.
10. Удоратин В.В., Конанова Н.В. Глубинное строение литосферы по профилю MEZTIMPECH // Отечественная геология. – 2000. – № 1. – С. 44-50.
11. 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: 19<sup>th</sup> SGEM 2019, Bulgaria, 30 June-6 July. – Albena, 2019. – V. 19, № 1.1. – P. 813-820. – DOI: 10.5593/sgem2019/1.1.

УДК 550.834, 519.688

DOI:10.7242/echo.2024.3.7

### ПРОСТРАНСТВЕННАЯ МИГРАЦИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ПОРОДНОГО МАССИВА

М.В. Тарантин

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация.** На моделях геологических сред и реальных волновых данных рассмотрены результаты миграционных преобразований. Результаты позволяют получить изображение геологической среды в практически любой ее точке. По этой причине подобные работы представляются целесообразными для разведки сейсмическими методами при проходке выработок в процессе ведения горных работ. Представлены примеры обнаружения некоторых геологических неоднородностей, способных влиять на безопасность работ на руднике. По результатам исследований метод представляется информативным.

**Ключевые слова:** сейсмические исследования, миграция, неоднородность, горные породы, Верхнекамское месторождение калийных солей.

Миграция, или дифракционное преобразование, или Д-преобразование направлено на построение сейсмического изображения геологической (или другой изучаемой) среды по имеющимся сигналам от набора источников и набора приемников. Частный случай миграции – обработка сейсмотрасс по методике общей глубинной точки (сейсмограмм ОГТ), широко используемый на практике, предполагает существование фраг-