

## АНАЛИЗ СВЯЗИ ГЕОДИНАМИЧЕСКИ НЕУСТОЙЧИВЫХ ЗОН С ГЛУБИННЫМ СТРОЕНИЕМ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ПЛИТЫ

Т.С. Блинова

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация:** Обсуждаются результаты прогноза геодинамически неустойчивых зон и их связь с глубинным строением Западно-Сибирской плиты. 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. Они могут быть сейсмически активными, а также свидетельствовать о потенциальной сейсмичности некоторых участков изучаемых территорий. Методика выделения геодинамически неустойчивых зон по комплексу геолого-геофизических данных и расчета сейсмического потенциала слабоактивных территорий разработана в Горном институте УрО РАН. Она применена для востока Русской, Печорской и Западно-Сибирской плит. Исследования проводились в геоинформационной системе «ГЕО». Определены связи этих зон с глубинным строением регионов, что дает возможность обосновать их существование и уточнить расположение. На данном этапе исследований для Западно-Сибирской плиты использована новая информация по профилям глубинного сейсмического зондирования методом обменных волн землетрясений (ГСЗ-МОВЗ). Границы геодинамически неустойчивых зон Западно-Сибирской плиты связаны с глубинными разломами на сейсмических разрезах ГСЗ и с уменьшением глубины залегания границы Мохорвичича, что может свидетельствовать о влиянии глубинных процессов на их формирование. 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.

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

### Введение

Оценка сейсмического потенциала слабоактивных территорий Восточно-Европейской платформы, 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 Горном институте УрО РАН разработана методика сейсмического районирования слабоактивных регионов, основанная на прогнозировании геодинамически неустойчивых зон с использованием геолого-геофизических данных и определении сейсмического потенциала. В результате проведенных исследований была сформирована единая база данных для выделения геодинамически неустойчивых зон. Определены признаки их прогноза. Все это позволило выделить такие зоны в пределах Западно-Сибирской плиты [2, 3]. Для совершенствования прогноза геодинамически неустойчивых зон необходимо увеличивать количество признаков выделения, которые могут способствовать уточнению расположения зон и пониманию их природы. На данном этапе исследований установлена связь геодинамически неустойчивых зон Западно-Сибирской плиты с глубинным строением и вероятными процессами, происходящими в их пределах. Используются данные профилей глубинного сейсмического зондирования методом обменных волн землетрясений (ГСЗ–МОВЗ): г. Колпашево – г. Олёмкинский («Батолит»), г. Ханты-Мансийск – р. Лена («Кимберлит»), п. Березово – п. Усть-Мая (проект «Кратон») [1]. Эти исследования подтверждают выводы о проявлении геодинамически неустойчивых зон в глубинном строении ранее изученных регионов [3, 9].

### Методика и подходы

В результате развития методики выделения геодинамически неустойчивых зон была сформирована единая 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 Западно-Сибирской плиты.

В континентальной коре Западно-Сибирской плиты развита палеорифтовая система триасового возраста с характерными для нее геофизическими, глубинными, термальными, структурными и геологическими признаками, причем часть рифтов, вероятно, унаследована от более древних. Развитие рифтов в пределах региона доказывается повышением температуры на глубине 1 км на 3-4°C относительно окружающих пород в южной части региона и на 5-10°C – в его центральной части. Формирование рифтовых структур в условиях растяжения континентальной коры сопровождалось утонением, прогревом, повышением проницаемости на фоне контрастных блоковых движений по глубинным разломам. Для многих древних рифтов установлена неоднократная (вплоть до новейшего времени) регенерация или реактивизация глубинных разломов, а для некоторых и современная сейсмичность [5, 6, 7, 8].

Зоны тройного сочленения разнонаправленных рифтов, располагающихся с севера на юг в субмеридиональном направлении, и глубинные разломы были использованы для прогноза геодинамически неустойчивых зон (рис. 1). Одним из признаков выделения является глубина залегания границы Мохоровичича. Для Западно-Сибирской плиты она уменьшается в пределах зон и составляет 36-40 км при изменении параметра для всего региона от 36 до 49 км. Эти зоны проявляются в уменьшении глубины залегания нижнего слоя консолидированной коры и увеличении глубины до поверхности кристаллического фундамента. Значения теплового потока увеличиваются в пределах зон от 50 до 68 мВт/м<sup>2</sup> при его изменении для региона в интервале 31-68 мВт/м<sup>2</sup>. Горизонтальные градиенты гравитационного поля в пределах зон имеют значения 0-1.0 мГал/км, при этом на краях зон они повышаются и составляют 1.0-2.0 мГал/км. Горизонтальные градиенты аномального магнитного поля ведут себя аналогично. В пределах зон они имеют небольшие значения 1-2 нТл/км, на краях зон составляют 2-11 нТл/км.

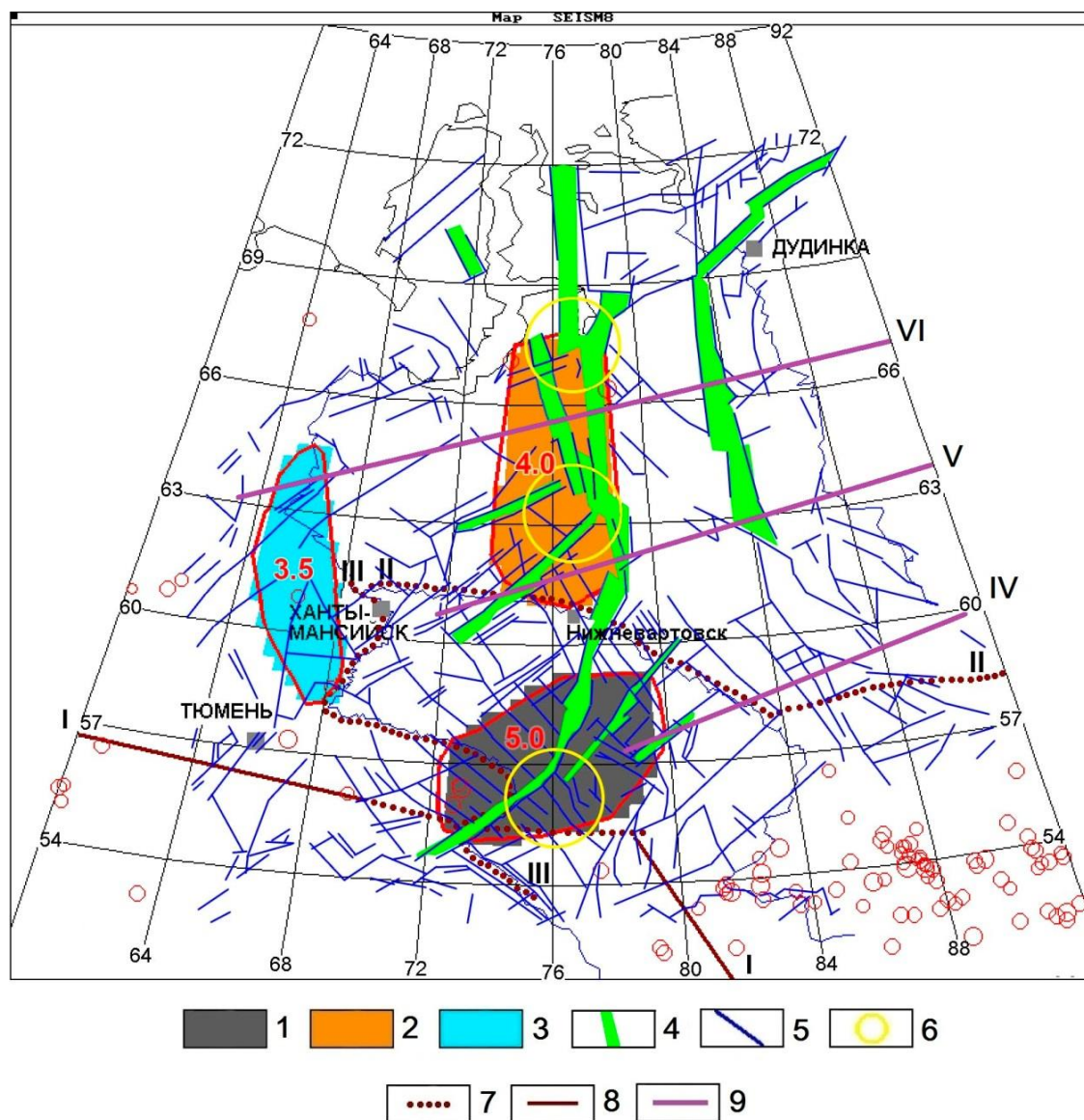
Построена региональная модель геодинамически неустойчивых зон Западно-Сибирской плиты и оцифрована по значениям максимальных магнитуд землетрясений, попавших в эти зоны, с применением геоинформационной системы «ГЕО» [4]. На её территории выделено три геодинамически неустойчивые зоны: Северо-Центральная, Южно-Центральная и Западная [2, 3] (рис. 1).

### Результаты и обсуждения

Целью исследований является определение связей геодинамически неустойчивых зон с глубинным строением Западно-Сибирской плиты по данным профилей ГСЗ–МОВЗ. Используются глубинные сейсмические разрезы по профилям г. Колпашево – г. Олёкминск (проект «Батолит»), г. Ханты-Мансийск – р. Лена (проект «Кимберлит»), п. Березово – п. Усть-Мая (проект «Кратон») [1].

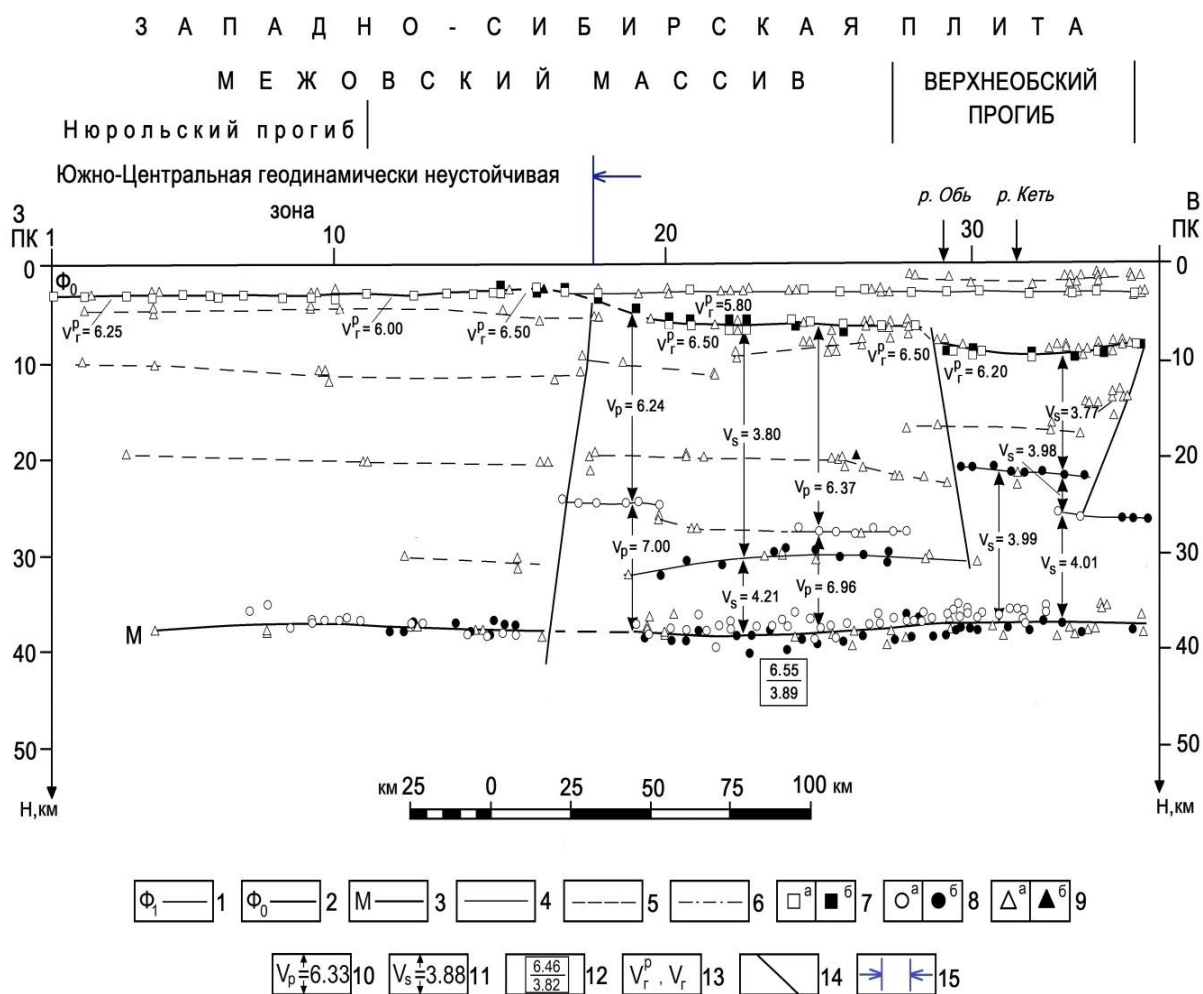
По проекту «Батолит» в 1980 г. НПО «Нефтегеофизика» был отработан профиль ГСЗ–МОВЗ г. Колпашево – г. Олёкминск длиной 2497 км. Он пересекает с запада на

восток крупные тектонические области: Западно-Сибирскую плиту, Енисейскую складчатую систему, Приенисейскую моноклизу, Тунгусскую синеклизу, Ангаро-Ленскую и Средне-Ленскую моноклизы Сибирской платформы. В исследуемом регионе профиль проложен по территории Тюменской области (Ханты-Мансийский автономный округ) (рис. 2). На профиле были зарегистрированы 47 взрывов разной природы. Регистрировались землетрясения. Шаг пунктов взрыва (ПВ) – 50-90 км. Регистрация сейсмических волн осуществлялась аналоговыми станциями «Тайга» и «Черепаша» с трехкомпонентными сейсмоприемниками. Шаг пунктов приема (ПП) – 10 км. Длина годографа 200-1350 км. Оцифровано 1954 сейсмограммы.



**Рис. 1.** Региональная модель геодинамически неустойчивых зон Западно-Сибирской плиты. 1 – Южно-Центральная зона, 2 – Северо-Центральная зона, 3 – Западная зона, 4 – схемы грабен-рифтов раннего-среднего триаса [5, 8], 5 – основные разломы [5, 8], 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 [6, 7]; 9 – профили ГСЗ – МОБЗ: IV «Батолит», V – «Кимберлит», VI – «Кратон» [1]; красные кружки – эпицентры землетрясений; цифры внутри зон – максимальные значения магнитуд землетрясений, эпицентры которых располагаются внутри зон

По проекту «Кимберлит» в 1979 г. НПО «Нефтегеофизика» был отработан профиль ГСЗ–МОВЗ г. Ханты-Мансийск – р. Лена длиной 2871 км. Он пересекает с запада на восток Западно-Сибирскую плиту, Сибирскую платформу и заканчивается на Средне-Ленской моноклизе. В исследуемом регионе профиль проложен по территории Тюменской области (Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа) (рис. 3). На профиле зарегистрировано 47 взрывов разной природы. Проводилась регистрация землетрясений. Шаг ПВ: большие взрывы – 1200-1500 км, малые взрывы – 40-160 км. Регистрация сейсмических волн осуществлялась аналоговыми станциями «Тайга-2» и «Тайга-1» с трехкомпонентными сейсмоприемниками и станцией «Черепаша». Шаг ПП – 5-10 км. Длина годографа: большие взрывы – 1500-3000 км, малые взрывы на западном участке – 70-200 км, на восточном участке – 400-600 км. Оцифровано 1827 сейсмограмм.



**Рис. 2.** Глубинный сейсмический разрез по профилю ГСЗ-МОВЗ «Батолит», 1982 г. [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 скоростей в слоях консолидированной коры для продольных ( $V_p$ ) и поперечных ( $V_s$ ) сейсмических волн (км/с);
- 12 – средние скорости в консолидированной коры для продольных (числитель) и поперечных (знаменатель) волн (км/с), средние коровые скорости на данном разрезе размещены под границей М;
- 13 – граничные скорости для продольных волн (км/с); 14 – коровые тектонические нарушения;
- 15 – геодинамически неустойчивые зоны

По проекту «Кратон» в 1978 г. НПО «Союзгеофизика» был отработан профиль ГСЗ–МОВЗ п. Березово – п. Усть-Мая длиной 3900 км. Он пересекает с запада на восток Западно-Сибирскую плиту, Сибирскую платформу, Верхояно-Колымскую складчатую область, Охотский массив и заканчивается в пределах Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. В исследуемом регионе профиль проложен по территории Тюменской области (Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа) (рис. 4). На профиле зарегистрировано 30 взрывов разной природы. Проводилась регистрация землетрясений. Шаг ПВ – 60-700 км. Регистрация сейсмических волн осуществлялась аналоговыми станциями «Тайга» и «Черепаша» с трехкомпонентными сейсмоприемниками. Шаг ПП – 10 км. Длина годографа 200-1050 км. Оцифровано 1488 сейсмограмм.

В пределах Западно-Сибирской плиты на большей части профилей надежно прослежена поверхность складчатого палеозойского фундамента ( $\Phi_1$ ), поверхность кристаллического фундамента ( $\Phi_0$ ), соответствующая кровле докембрийских образований, и граница Мохоровичича (М). В тектоническом отношении Западно-Сибирская плита в пределах профиля «Кратон» разделена на Обь-Тазовскую синеклизу и Предуральское поднятие, в пределах профиля «Кимберлит» соответствует Обь-Тазовской синеклизе.

По профилю «Кратон» в пределах Колтогорско-Уренгойского палеорифта, который является наиболее погруженной частью плиты, выявилось существенное утонение земной коры, подъем границы Мохоровичича и погружение поверхности кристаллического фундамента, а в скоростном отношении отмечено повышение граничной скорости по сравнению с соседними блоками.

Особый интерес представляют данные по профилю «Кимберлит», где выделен Уренгой-Колтогорский прогиб, обладающий специфическим глубинным строением. В частности, отмечено понижение скоростей продольных волн ниже поверхности Мохоровичича (до 7.9-8.0 км/с) по сравнению с соседними блоками.

Полученная модель геодинамически неустойчивых зон Западно-Сибирской плиты была сопоставлена с данными профилей глубинного сейсмического зондирования, которые пересекают эти зоны (рис. 1).

Хорошо видна связь восточной границы Южно-Центральной геодинамически неустойчивой зоны с разломом на глубинном сейсмическом разрезе по профилю ГСЗ–МОВЗ «Батолит» (рис. 2). Она проявляется субвертикальным глубинным разломом вплоть до границы Мохоровичича.

Северо-Центральная геодинамически неустойчивая зона подтверждается данными ГСЗ–МОВЗ. На глубинном сейсмическом разрезе по профилю «Кимберлит» южная граница зоны совпадает с глубинным субвертикальным разломом до поверхности Мохоровичича (рис. 3). Восточная граница Северо-Центральной геодинамически неустойчивой зоны прослеживается на профилях «Кимберлит» и «Кратон». На глубинном сейсмическом разрезе по профилю «Кимберлит» границе зоны соответствует серия разломов до глубины 20 км (рис. 3). По профилю «Кратон» она отчетливо выделяется глубинным субвертикальным разломом до поверхности Мохоровичича (рис. 4). Западная граница этой зоны прослеживается на глубинном сейсмическом разрезе по профилю «Кратон» серией разломов до глубины 25 км и на нее оказывают влияние глубинные наклонные разломы, вероятно, связанные с Худоттейским палеорифтом (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 (рис. 4).

Практически на всех глубинных сейсмических разрезах в пределах геодинамически неустойчивых зон, ограниченных глубинными разломами, граница Мохоровичича поднимается. Это может быть связано с преобразованием земной коры, причиной которого являются процессы, происходящие в верхней мантии.

З А П А Д Н О - С И Б И Р С К А Я П Л И Т А

О Б Ъ - Т А З О В С К А Я С И Н Е К Л И З А

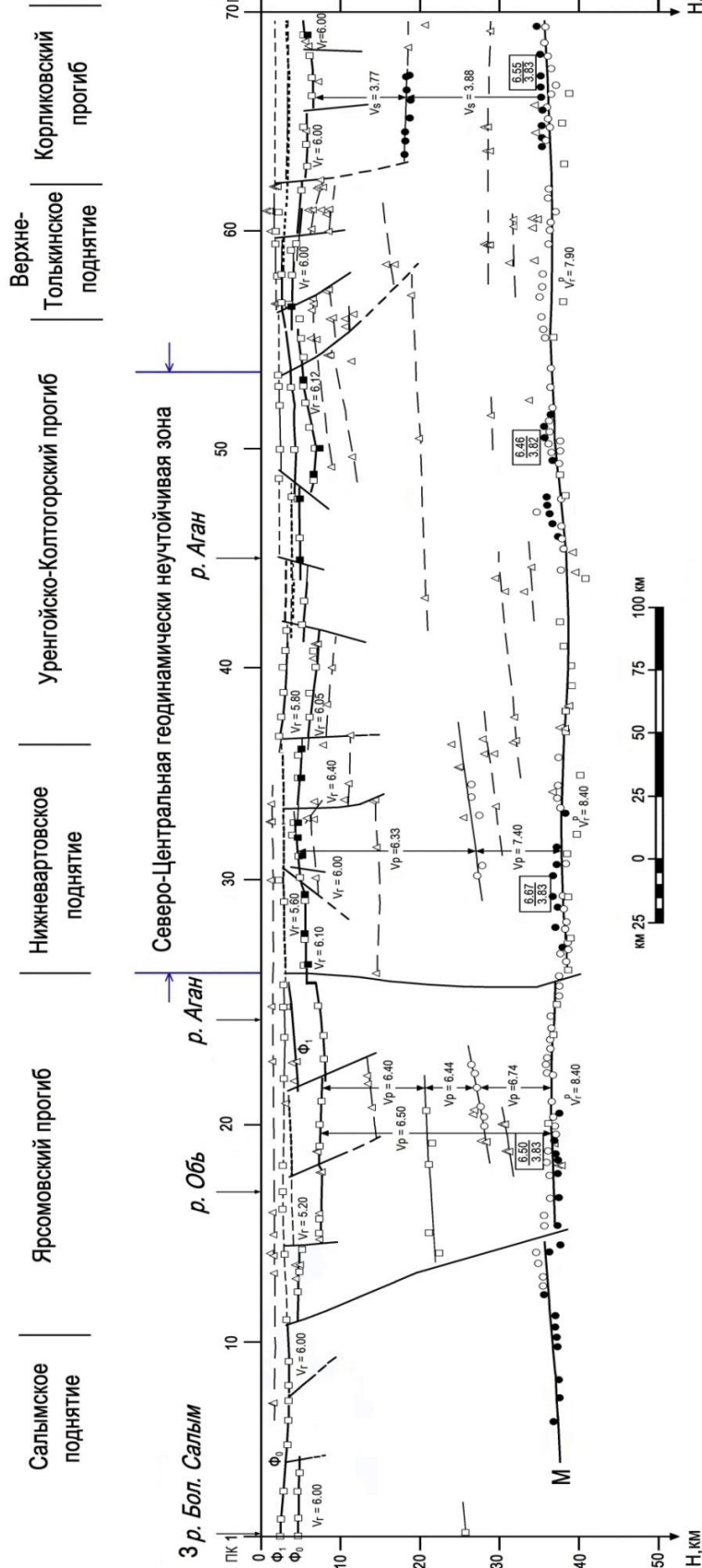


Рис. 3. Глубинный сейсмический разрез по профилю ГСЗ–МОВЗ «Кимберлит», 1981 г. [1].  
Условные обозначения на рис. 2



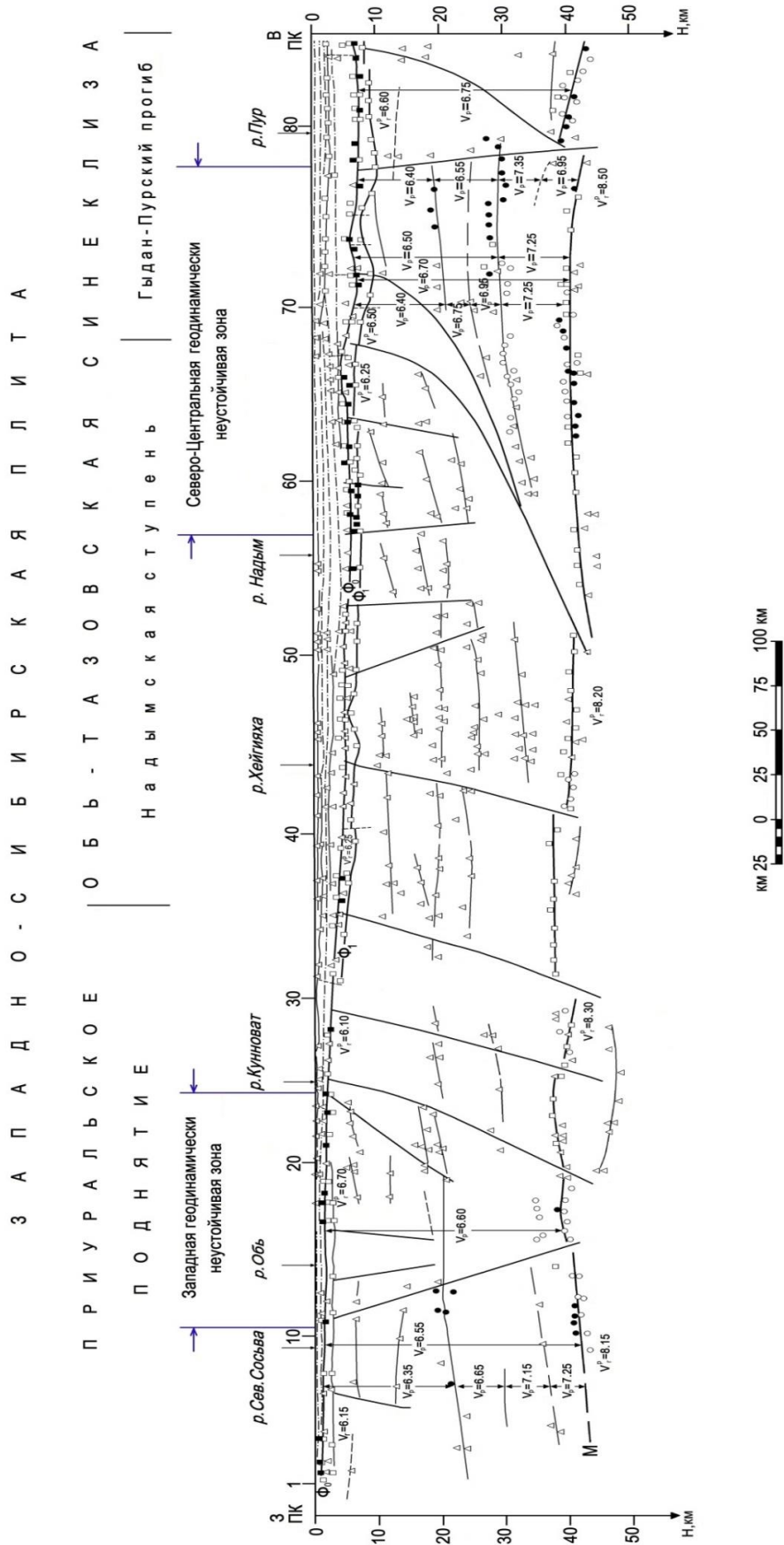


Рис. 4. Глубинный сейсмический разрез по профилю ГСЗ–МОВЗ «Кратон», 1980 г. [1].  
Условные обозначения на рис. 2

Проведено сопоставление данных ГСЗ 1974 г. и ГСЗ–МОВЗ 1980–1982 гг. по Западно-Сибирской плите. Результаты свидетельствуют о значительном дополнении сведений о связи геодинамически неустойчивых зон с глубинным строением. Теперь все границы зон получили подтверждение данными ГСЗ. Также появилась реальная возможность сопоставить связь южной границы Северо-Центральной зоны с глубинным разломом, который выделяется на пересечении профиля ГСЗ–МОВЗ «Кимберлит», 1981 г. [1] и профиля ГСЗ, проложенного через центральные и восточные районы Западно-Сибирской плиты, Енисейский кряж и запад Сибирской платформы, 1974 г. [3, 6, 8]. На обоих профилях выделяется один и тот же глубинный субвертикальный разлом до границы Мохорвичича.

Совместный анализ модели геодинамически неустойчивых зон и сейсмических разрезов по профилям ГСЗ–МОВЗ для Западно-Сибирской плиты позволил подтвердить связи этих зон, выделенных по комплексу геолого-геофизических данных, с глубинным строением исследуемых ранее регионов.

Геодинамически неустойчивые зоны, несомненно, имеют глубокое заложение [3]. Это подтвердили результаты данных исследований.

1. Установлена прочная связь геодинамически неустойчивых зон с глубинными разломами, пересекающими границу Мохорвичича. В пределах зон, ограниченных этими разломами, наблюдается ее поднятие. Это может быть связано с преобразованием земной коры, причиной которого являются процессы, происходящие в верхней мантии.

2. Исследования дополнили связь границ геодинамически неустойчивых зон с глубинными разломами. Новая информация позволила сопоставить данные сейсмических разрезов по профилям ГСЗ (1974 г.) и МОВЗ–ГСЗ (1981 г.). Они пересекаются в пределах южной границы Северо-Центральной зоны, которая выделяется на обоих профилях одним и тем же глубинным разломом.

3. Накопленный опыт изучения связей геодинамически неустойчивых зон с глубинным строением по результатам ГСЗ позволяет добавить глубинные признаки зон в созданный список единой базы данных, необходимой для их выделения.

### **Выводы**

Установлены связи геодинамически неустойчивых зон с глубинным строением Западно-Сибирской плиты. Исследования подтвердили полученные ранее результаты по Западно-Уральскому, Тимано-Североуральскому и Оренбургскому регионам, а также Западно-Сибирской плите при использовании результатов ГСЗ 1974 г. Они являются еще одним доказательством выделения таких зон не только по одним и тем же геолого-геофизическим параметрам, но и по ряду глубинных признаков. Учитывая опыт изучения связей геодинамически неустойчивых зон с глубинным строением по результатам ГСЗ для всех исследованных слабосейсмичных регионов, можно добавить эти глубинные признаки в список созданной единой базы данных, необходимой для их выделения. 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 слабосейсмичных регионах.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ (рег. номер НИОКТР 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/>. (дата обращения: 30.07.23).



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. Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г., Кирдяшкин А.А. Глубинная геодинамика. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2001. – 409 с.: ил.
6. Крылов С.В. Сейсмические исследования литосферы Сибири. Избранные труды. – Новосибирск: Гео, 2006. – 345 с.
7. Крылов С.В., Мишенькин Б.П., Рудницкий А.Л., Суворов В.Д. Характеристика Западно-Сибирского региона и данных глубинного сейсмического зондирования // Строение земной коры в Западной Сибири (По результатам глубинного сейсмического зондирования): сб. науч. тр. / ИГИГ. – Новосибирск, 1974. – С. 7-16.
8. Сурков В.С., Жеро О.Г. Фундамент и развитие платформенного чехла Западно-Сибирской плиты. – М.: Недра, 1981. – 143 с.: ил.
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: 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 550.8.052

DOI:10.7242/echo.2023.3.11

## ВОЗМОЖНОСТИ МАЛОГЛУБИННЫХ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ

Глебов Д.С.

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация:** Проведены малоглубинные сейсморазведочные исследования на перспективных площадях. Выполнен этап интерпретации для выявления аномальных зон с дальнейшим выделением коэффициента ослабления. Построены структурные и скоростные схемы для сравнения с этапом прошлых лет.

**Ключевые слова:** малоглубинная сейсморазведка, интерпретация сейсморазведочных данных, сейсморазведочные аномалии.

### Введение

Одной из основных особенностей разработки Верхнекамского месторождения калийных солей являются его сложные гидрогеологические условия. В связи с этим при ведении горных работ большое внимание уделяется сохранности водозащитной толщи, и для обеспечения безопасного ведения горных работ на площадях месторождения целесообразно выполнение малоглубинных сейсморазведочных исследований – для выявления участков аномального строения ВЗТ и выделения коэффициента ослабления, используемого при геомеханических расчетах [1].

### Малоглубинные сейсморазведочные исследования на перспективных площадях

Стандартные геомеханические расчетные модели базируются на геологических данных. В условиях узкой сетки бурения на месторождениях легкорастворимых полезных ископаемых площадной геомеханический прогноз основывается на данных