



УДК 550.834.32:551.14(292.515)

## ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ АЛТАЕ-САЯНСКОГО РЕГИОНА ПО ДАННЫМ ГСЗ В СВЯЗИ С РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

В. Л. Кузнецов\*, А. С. Сальников\*, В. В. Титаренко\*

В Алтае-Саянской области методом ГСЗ отработано более 5000 км региональных сейсмических профилей. В результате обработки и интерпретации полученных данных построены сейсмические разрезы, освещающие строение земной коры на всю ее мощность, включая поверхность верхней мантии. Полученные разрезы обеспечили построение структурных схем по поверхностям консолидированной коры, гранулитов, базитов и Мохоровичича (М). Установлено существенное погружение поверхности М в южном направлении (от 40 до 54 км) и наличие в ее рельефе трех поднятий, которым в плане соответствуют глубокие прогибы поверхности консолидированной коры. Показано, что эпицентры землетрясений высокого энергетического класса приурочены к глубинным разломам, в пределах которых в глубинных слоях земной коры предполагается наличие зон высокого энергетического напряжения, стремящихся к разрядке. Наиболее значительные месторождения угля, железных руд и полиметаллов также связаны с глубинными сейсмическими разломами. В выявленных на поверхности консолидированной коры Барнаульском, Кузнецком и Абаканском прогибах по глубинным критериям прогнозируются газовые месторождения.

**Ключевые слова:** *глубинные сейсмические зондирования, земная кора, верхняя мантия, землетрясения, рудные узлы.*

## DEEP STRUCTURE OF THE EARTH'S CRUST OF ALTAI-SAYANY REGION FROM DSS DATA IN VIEW OF MINERAL DEPOSITS AND EARTHQUAKE SOURCES DISTRIBUTION

V. L. Kuznetsov, A. S. Salnikov, V. V. Titarenko

On the territory of Altai-Sayany region more than 5000 km of regional seismic profiles have been fulfilled by deep seismic sounding method. As a result of processing and interpretation of the received data seismic sections showing a structure of the Earth's crust on all its capacity, including a surface of the upper mantle, have been constructed. The received sections have provided a construction of block diagrammes of the consolidated crust, granulites, basits and Mohorovichich surfaces. Essential immersing of the surface of Mohorovichich in the southern direction from 40 to 54 km and the presence in the relief of this surface of three uplifts to which deep correspondent deflections of the consolidated crust surface are established in the plan. It is shown that epicenters of earthquakes of a high power class are related to deep breaks. In their limits the presence of zones of high power pressure aspiring to a discharge is supposed to exist in the earth crust deep layers. The most considerable deposits of coal, iron-ore and polymetals also are connected with deep seismic breaks. On the surface of revealed Barnaul, Kuznetsk and Abakan deflections of the consolidated crust presence of gas deposits is predicted by deep criteria.

**Key words:** *deep seismic sounding, Earth's crust, upper mantle, earthquakes, ore centers.*

Изучение земной коры Алтае-Саянского региона глубинными сейсмическими зондированиями проводится уже более полувека. Начало исследованиям было положено в 1958 г. совместными усилиями Новосибирского геофизического треста и СНИИГГиМСа по профилю «Барабинск–Овечкино» протяженностью 300 км. Проводились непрерывные наблюдения по редкой системе встречных и нагоняющих годографов, которые обеспечили прослеживание поверхности Мохоровичича (М), как общепринятой подошвы земной коры. Однако планомерные исследования стали возможными, когда в СО АН СССР под руководством акад. Н. Н. Пузырева и чл.-корр. С. В. Крылова была разработана методика дифференциальных сейсмических зондирований (ДСЗ) для изучения земной коры на труднодо-

ступных территориях [2], а под руководством д-ра техн. наук И. С. Чичинаина – телеуправляемая сейсмическая станция переносного типа «Тайга» [3]. В работах принимали участие ИГиГ СО АН СССР (Новосибирск), СНИИГГиМС (Новосибирск), Специальная региональная геофизическая экспедиция (в настоящее время Центр «ГЕОН», Москва), а затем и Геофизическая служба СО РАН (Новосибирск), использовавшая стационарный и передвижной вибраторы в качестве источника упругих колебаний.

В результате в Алтае-Саянском регионе отработано более 5000 км региональных сейсмических профилей (рис. 1), в том числе СНИИГГиМСом и СО РАН по методике ДСЗ – 1400 км, Центром «ГЕОН» – 2600 км, Геофизической службой СО РАН – около 1350 км.

Всеми организациями исследования выполнялись по сходным системам наблюдений: длина

\* ФГУП «СНИИГГиМС» (Новосибирск)

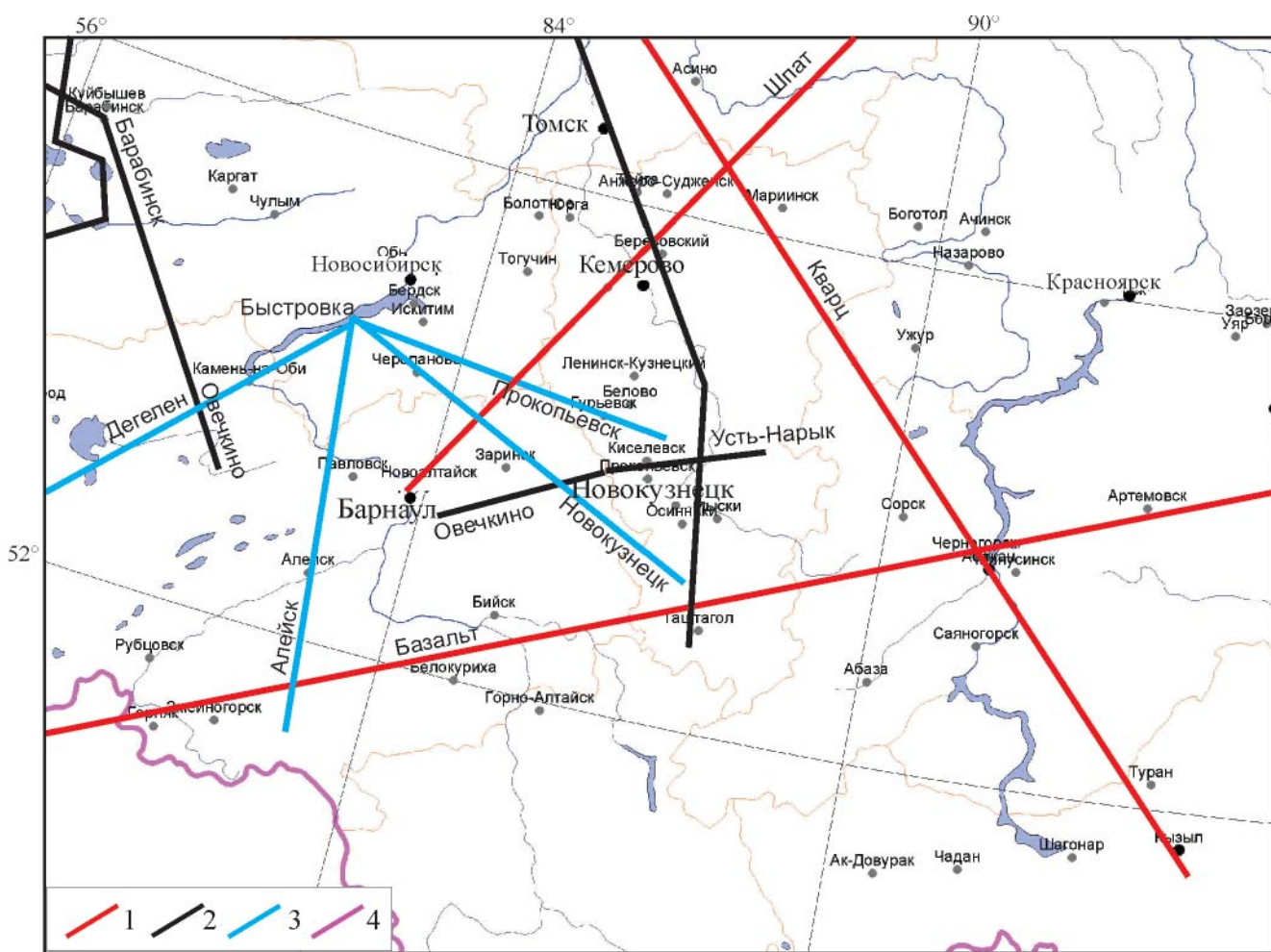


Рис. 1. Схема изученности Алтае-Саянского региона сейсмическими методами

1 – геотраверсы; профили: 2 – ГСЗ, обработанные по методике точечных (дифференциальных) сейсмических зондирований, 3 – обработанные с виброисточниками по методике многоволновой сейсморазведки; 4 – граница Российской Федерации

годографа до 300 км, расстояния между пунктами приема от 5–10 до 20 км, взрывной интервал от 20 до 40 км. Центр «ГЕОН» и Геофизическая служба СО РАН проводили трехкомпонентные наблюдения, что обеспечивало возможность регистрации не только продольных, но и поперечных и обменных волн.

Возбуждение упругих колебаний, кроме вибрационного метода, осуществлялось либо взрывами больших зарядов взрывчатого вещества в скважинах, либо в водоемах, не имеющих хозяйственного значения.

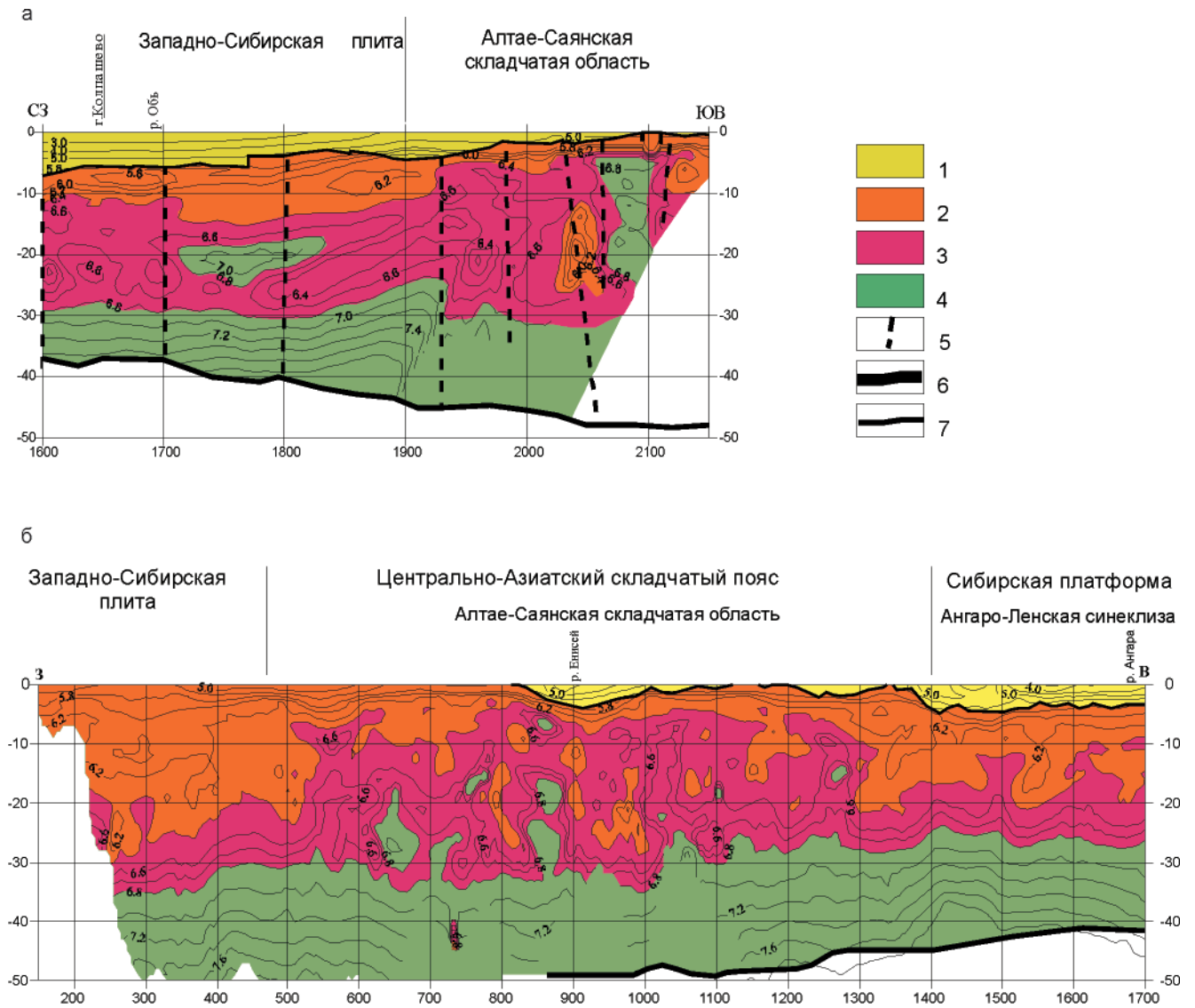
Полученные сейсмические данные интерпретировались по традиционной схеме: строились годографы и поля времен преломленных и отраженных волн [2], по ним определялись кажущиеся, граничные и средние скорости, по временам прихода наблюдаемых волн обеспечивалось определение глубин до преломляющих и отражающих границ.

### Интерпретация сейсмических материалов

Внутренняя структура земной коры оставалась практически не изученной. Для ее исследования использовался способ сейсмической томо-

графии. Томографическое преобразование поля времен осуществлялось по способу двумерной сейсмотомографии на временных задержках волн в первых вступлениях на основе только наиболее устойчивых и надежно прослеживаемых продольных волн, регистрируемых в первых вступлениях в диапазоне расстояний от 0 до 300 км. Это обеспечило построение сейсмотомографических разрезов в виде полей скоростей.

В результате совместного использования данных традиционной и сейсмотомографической интерпретации построены геолого-геофизические разрезы. Глубинная часть консолидированной коры интерпретировалась исходя из представлений о трехслойной ее модели. Верхний слой (гранитогнейсовый) характеризуется скоростями распространения сейсмических волн 6,0–6,4 км/с, средний (гранулитовый) – 6,4–7,0 км/с, нижний (базитовый) – 7,0–7,6 км/с. Пример такой комплексной интерпретации (фрагмент геолого-геофизического разреза по геотраверсу «Кварц», пересекающему Алтае-Саянскую область в северо-западном направлении) приведен на рис. 2а. Здесь на границе сочленения Алтае-Саянской складчатой области с Западно-Сибирской плитой выявлено резкое



**Рис. 2.** Геолого-геофизические разрезы земной коры по фрагментам профилей «Кварц» (а) и «Базальт» (б)  
 1 – вулканогенно-осадочный комплекс; слои: 2 – гранитогнейсовый (гранитометаморфический), 3 – гранулитовый, 4 – базитовый; 5 – разрывные нарушения; поверхности: 6 – М, 7 – консолидированной коры

воздымание пород базитового и гранулитового комплексов почти до поверхности; места для гранитогнейсовых образований практически не остается. Во внутренней структуре земной коры наблюдаются локальные волноводы с пониженными скоростями распространения сейсмических волн и столбообразное внедрение высокоскоростных пород базитового комплекса. Земная кора разбита на блоки множеством глубинных разломов. В целом отмечается существенное утолщение консолидированной коры от 30 км в районе пересечения профиля с р. Обь до 49 км в конечной его части.

Особый интерес представляет геолого-геофизический разрез по фрагменту геотраверса «Базальт», пересекающего в широтном направлении центральную часть Алтай-Саянской области (см. рис. 2б). Гранулитовый слой построен наиболее сложно: за счет столбообразных внедрений пород этого слоя в гранитогнейсовый его мощность в ряде случаев резко увеличивается (до

15–20 км на фоне 8–10 км), максимально – в центральной части разреза, соответствующей Алтай-Саянской складчатой области, где она достигает 30 км за счет существенного утонения гранитогнейсового слоя.

В целом, по характеру строения мощности вулканогенно-осадочного, гранитогнейсового и гранулитового слоев консолидированная кора вдоль профиля четко делится на три части: Алтай-Саянскую (центральную) и смежные ей Западно-Сибирскую и Ангаро-Ленскую. Примечательной особенностью этого разреза является четкое соотношение границ распространения Алтай-Саянской складчатой области по приповерхностным образованиям с высокодинамичной зоной развития гранулитовых образований. Это наводит на мысль о том, что приповерхностные геологические образования в значительной мере определялись и формировались под воздействием глубинных процессов, происходящих в земной коре и в мантии.



## Результаты региональных сейсмических исследований

Построенные геолого-геофизические разрезы положены в основу структурных схем, отображающих рельеф поверхности кристаллических образований, гранулитового и базитового слоев и поверхности М.

На рис. 3 представлена схема сильно дифференцированного рельефа поверхности консолидированной коры Алтае-Саянского региона. На фоне средних значений глубин 1–3 км наблюдаются глубокие впадины субмеридионального простирания с максимальными глубинами 5–10 км (Кузнецкая, Барнаульская и Абаканская). Они, как правило, разделены между собой значительными по площади поднятиями глубиной 0–2 км и ограничены глубинными разломами. В целом густая сеть глубинных разломов является особенностью структурной поверхности рассматриваемой территории.

На рис. 4 отображено строение рельефа поверхности М. В региональном плане наблюдается ее погружение с севера на юг от 36 до 54 км, и на этом фоне четко выделяются три крупных поднятия поверхности М субмеридионального простирания, в плане совпадающих с Барнаульской,

Кузнецкой и Абаканской впадинами, выявленными по поверхности консолидированной коры.

На фоне глубин залегания поверхности гранулитового слоя 15–17 км в центральной части изучаемой территории наблюдается обширная приподнятая зона, в пределах которой глубины составляют от 3 до 5 км (рис. 5). Вся поверхность разбита многочисленными разломами. В центральной и восточной частях данная зона осложнена глубокими желобами субмеридионального простирания глубиной 8 км и более. С юго-запада и с севера-востока зона ограничивается прогибами глубиной 23 км и более.

Рельеф базитового слоя весьма генерализован (рис. 6). В центральной части площади исследований выделяется крупная монолитная погруженная зона с глубинами в основном 30–35 км, обрамленная зоной повышенных глубин – 20–25 км. Поверхность слоя разбита глубинными разломами, которые чаще всего разделяют достаточно широкие линейные приподнятые зоны в основном субмеридионального простирания. Наиболее выражена здесь зона, воздымающаяся в центральной части обширной погруженной зоны с 25 до 5 км. Она составлена из отдельных блоков субмеридионального простирания, обрамленных глу-

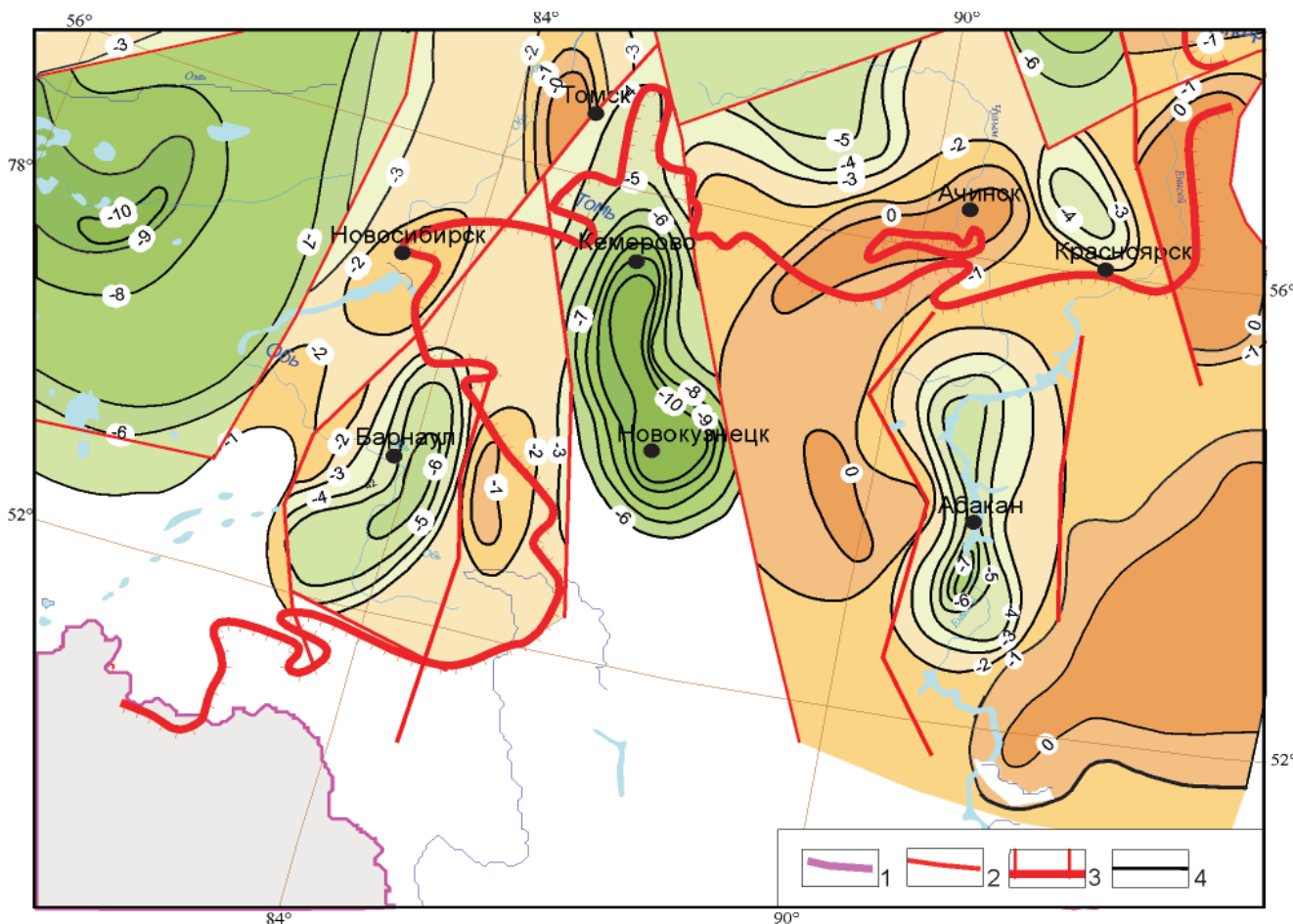


Рис. 3. Карта рельефа поверхности кристаллического фундамента Алтае-Саянского региона по данным преломленных волн

1 – граница Российской Федерации; 2 – разрывные нарушения; 3 – граница распространения мезозойско-кайнозойских отложений Западно-Сибирской плиты; 4 – изолинии глубин до кровли кристаллического фундамента

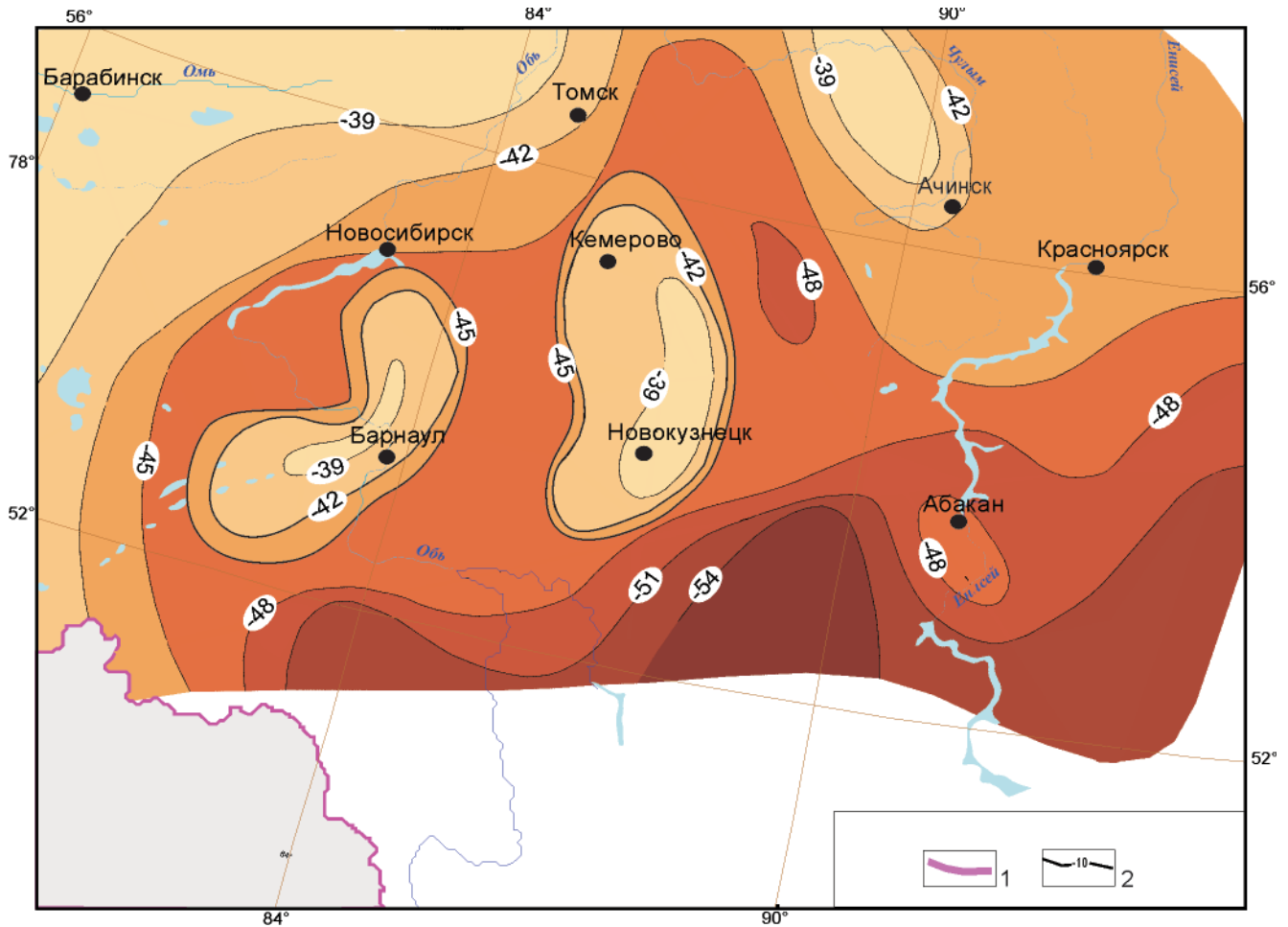


Рис. 4. Карта рельефа поверхности М Алтае-Саянского региона по данным преломленных волн 1 – граница Российской Федерации, 2 – изолинии глубин (км/с)

бинными разломами, каждый из которых, в свою очередь, характеризуется подъемом поверхности в субмеридиональном направлении, причем в весьма широком диапазоне глубин – от 25 до 5–15 км. В краевых частях западного и восточного крыльев региональной погруженной зоны выделяются локальные прогибы поверхности базитов.

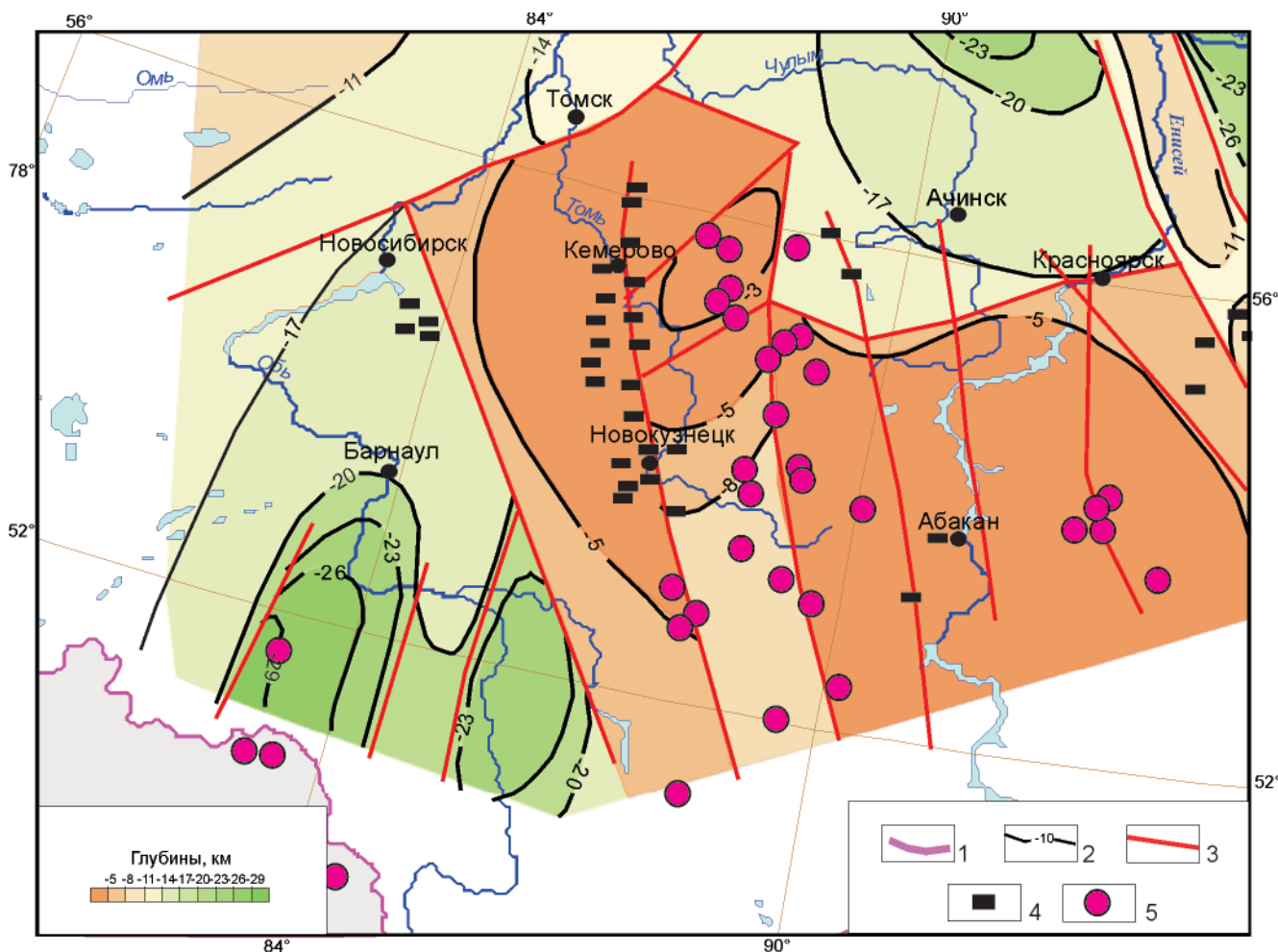
#### Сравнительный анализ структурных построений и их связь с распределением полезных ископаемых и очагов землетрясений

Как уже отмечалось, наблюдается довольно тесная обратная связь структурных элементов, выявленных на поверхности консолидированной коры и М. Наиболее выражена эта связь в районах Барнаула, Кемерово и Абакана. Положительным структурам, выявленным в рельефе поверхности М, соответствуют значительные по амплитудам впадины на поверхности консолидированной коры. Наиболее контрастный обратный характер соотношений отмечен в Барнаульской впадине и Кузнецком прогибе, причем амплитуды впадин в консолидированной коре в некоторых случаях значительно более резкие. Так, амплитуда поднятия по поверхности М в районе Кузнецкого прогиба составляет около 5 км, а в плане амплитуда

совпадающего прогиба по поверхности консолидированной коры достигает 10 км.

По характеру соотношения структурных планов базитового и гранулитового слоев с поверхностью М, выявляется следующая закономерность: земную кору Алтае-Саянской области можно разделить на две крупные зоны – западную и восточную. В восточной зоне валообразные Абаканское и Кузнецкое поднятия по поверхности М отображаются в поверхностях базитового и гранулитового слоев зонами воздымания до 5–15 км. В западной зоне картина противоположная: валообразному Барнаульскому поднятию по поверхности М в плане соответствуют прогибы по базитовой и гранулитовой поверхностям. Можно предположить, что выявленное различие в характере соотношения структурных элементов в этих двух зонах вызвано разными термодинамическими условиями, определяющими их тектоническое развитие.

Анализ показал, что эпицентры землетрясений наиболее высокого энергетического класса в восточной зоне приурочены к глубинным разломам, связанным с приподнятыми зонами базитов и гранулитов. Также установлено, что ряд землетрясений связан с изгибами русла р. Томь, через которые проходят глубинные разломы, выявленные по сейсмическим данным (см. рис. 5).



**Рис. 5.** Схема поверхности гранулитового слоя Алтае-Саянского региона по сейсмотомографическим данным  
 1 – граница Российской Федерации, 2 – изолинии глубин до условной поверхности гранулитового слоя со скоростью 6,4 км/с; 3 – разрывные нарушения; месторождения: 4 – угля, 5 – полиметаллов

В западной зоне очаги землетрясений практически не связаны со структурными особенностями коры и тяготеют в основном к изгибам р. Обь. Из этого следует, что русла рек, во-первых, определялись глубинными разломами, а в зонах их изгибов существовали и, возможно, существуют до сих пор условия высокого энергетического напряжения горных пород, которые стремятся к разрядке (см. рис. 5).

При сопоставлении сейсмических структурных построений с распределением твердых полезных ископаемых, главным образом месторождений угля и полиметаллов, в объемном отношении доминирующей на рассматриваемой территории [1], выявляются следующие особенности: основное количество угольных месторождений сосредоточено в Кузнецком прогибе, существенно меньше – в северной части Барнаульской и Абаканской впадинами. В пределах Кузнецкой впадины месторождения угля в плане увязываются с глубинным разломом на поверхности гранулитов (см. рис. 5). Это свидетельствует о влиянии глубинных энергетических факторов на формирование и развитие структуры земной коры и угольных месторождений.

Сопоставление характера распределения железорудных и полиметаллических месторожде-

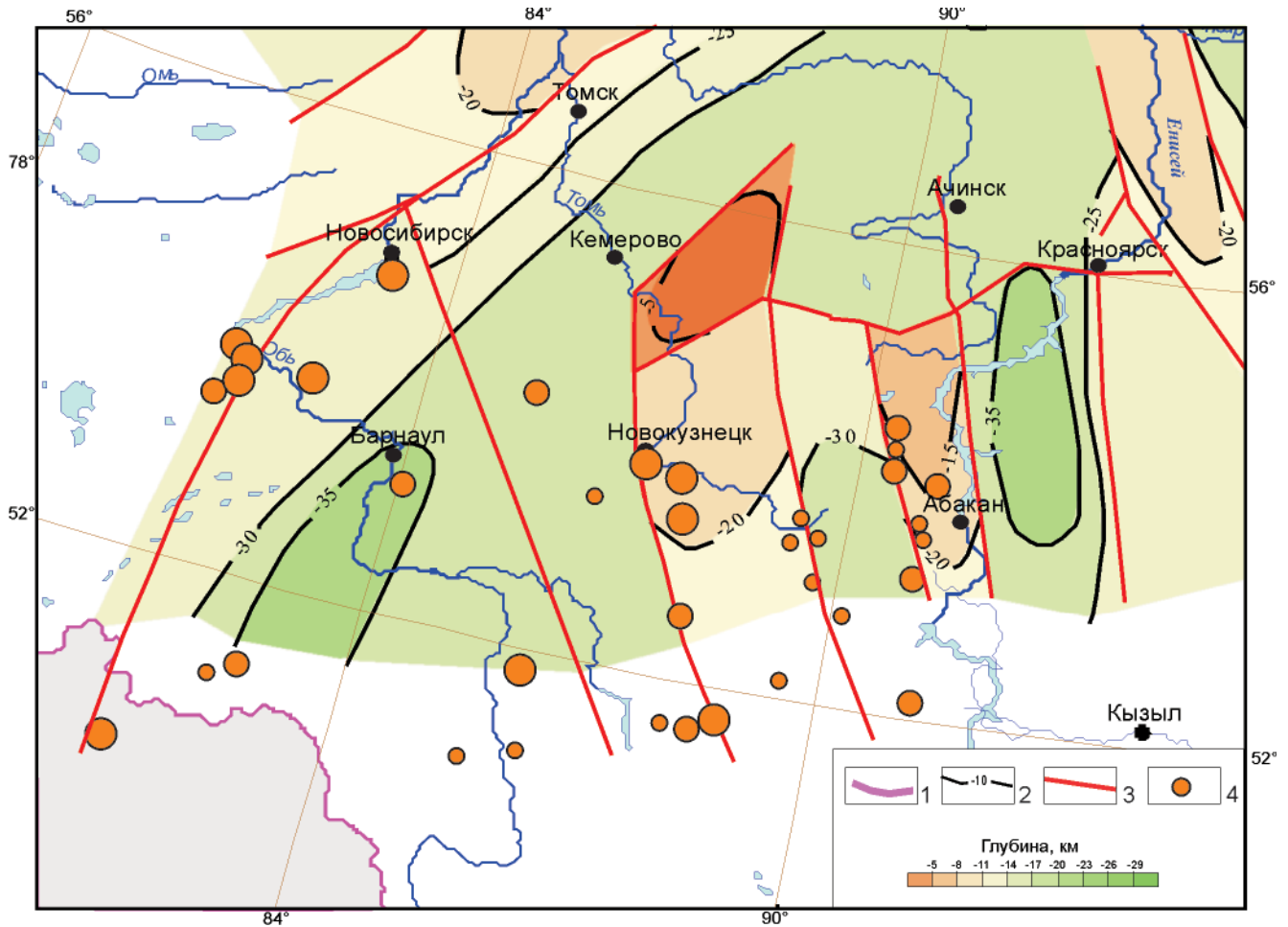
ний с особенностями внутренней структуры земной коры (см. рис. 5, 6) показывает, что они также тяготеют к глубинным разломам.

Для прогнозирования месторождений нефти и газа могут быть рассмотрены только выявленные глубокие прогибы поверхности консолидированной коры, заполненные рифей-палеозойскими образованиями (Барнаульский, Кузнецкий и Абаканский). Используя глубинные критерии прогноза нефтегазоносности платформенных областей Сибири [4] в этих прогибах можно прогнозировать наличие газовых месторождений.

### Выводы

Показано, что Алтае-Саянская складчатая область четко отображена в сейсмотомографических разрезах по характеру утолщения земной коры и экстремальному поведению отложений базитового и гранулитового состава.

Полученные результаты показывают существенное (до 54 км) погружение поверхности М в южном направлении и увеличение в целом мощности земной коры. Наличие в рельефе поверхности М трех поднятий, которым в плане соответствуют глубокие прогибы поверхности консолидированной коры, свидетельствует о влиянии глубинных процес-



**Рис. 6.** Схема поверхности базитового слоя Алтае-Саянского региона по сейсмотомографическим данным  
1 – граница Российской Федерации; 2 – изолинии глубин до условной поверхности базитового слоя со скоростью 6,8 км/с; 3 – разрывные нарушения; 4 – очаги землетрясений

сов, происходивших в верхней мантии, на формирование выявленных структурных особенностей коры.

Сопоставление структурных построений, полученных по данным ГСЗ, с характером распределения эпицентров землетрясений высокого энергетического класса позволяет сделать вывод о том, что последние приурочены к глубинным разломам, связанным с наиболее резкими формами рельефа поверхностей М и консолидированной коры и с крутыми изгибами русел рек, в пределах которых можно предполагать наличие зон высокого энергетического напряжения, стремящихся к разрядке, в глубинных слоях земной коры.

Установлено, что наиболее значительные по запасам железорудные, полиметаллические и угольные месторождения связаны с глубинными сейсмическими разломами, что особенно ярко выражено на схеме рельефа поверхности гранулитов и базитов. Следовательно, глубинные разломы – важный фактор формирования месторождений твердых полезных ископаемых.

В выявленных по поверхности консолидированной коры Барнаульском, Кузнецком и Аба-

канском прогибах по глубинным критериям прогнозируется наличие газовых месторождений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Карта** месторождений полезных ископаемых Российской Федерации, М-б 1: 5 000 000 [Карта]. – М.: ВСЕГЕИ, 2007.
2. **Методика** и аппаратура для региональных сейсмических исследований в труднодоступной местности и их применение в Сибири [Текст] / Н. Н. Пузырев, С. В. Крылов, Г. Д. Бабаян [и др.]. – Новосибирск: Наука, 1978.
3. **Переносная** телеуправляемая сейсмическая аппаратура «Тайга» [Текст] / И. С. Чичинин, Г. В. Егоров, А. В. Емельянов [и др.] // Методика сейсмических исследований. – М.: Наука, 1969. – С. 125–154.
4. **Прогноз** нефтегазоносности и зон нефтегазонакопления платформенных областей Сибири на основе традиционной обработки и интерпретации данных ГСЗ [Текст] / В. Л. Кузнецов, А. С. Сальников, В. М. Марков, В. В. Титаренко // Геофизика. – 2007. – № 3. – С. 71–78.