

УДК 551.14: 550. 834 (470.66)

## ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ ТЕРСКО-КАСПИЙСКОГО ПРОГИБА ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ

© <sup>1,2</sup>Гайсумов М.Я., <sup>1,2</sup>Бадаев С.В.

<sup>1</sup>Академия наук ЧР, Грозный

<sup>2</sup>КНИИ им. Х.И. Ибрагимова РАН, г. Грозный

*Представлены результаты анализа исследований глубинного строения Терско-Каспийского прогиба методами ГСЗ и МОВЗ. По отношению к антиклинорию Большого Кавказа в пределах ТКП имеет место относительное уменьшение мощности земной коры до 37-40 км и соответственно подъем поверхности Мохоровичича, утонение «гранитного» слоя в центральной (осевой) части прогиба при мощности осадочного чехла достигающей 10-13 км. По данным анализа установлен бескорневой характер складок Терско-Сунженской тектонической зоны.*

**Ключевые слова:** геофизические поля, глубинные исследования, ГСЗ, МОВЗ, земная кора, разлом, Терско-Каспийский прогиб

Глубинная структура Терско-Каспийского прогиба изучена на двух профилях ГСЗ: Степное-Бакуриани и Волгоград-Нахичевань [3-6] и на профилях МОВЗ [1, 10]. Результаты наблюдений на профилях ГСЗ неоднократно переинтерпретировались разными авторами с различным толкованием глубинного строения.

*Изученность ГСЗ. Профиль ГСЗ Степное-Бакуриани.* В интерпретации Краснопевцевой Г.И., в Терско-Каспийском прогибе установлена: « ... слоистая структура земной коры с выделением двух границ, в верхней мантии ( $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ ), двух преломляющих горизонтов в «базальтовом» слое ( $\alpha_1^*$  и – поверхности слоя и  $\alpha_2^*$  -внутри базальтового слоя), двух преломляющих горизонтов в «гранитном» слое ( $d_1^0$  и  $d_2^0$  – по поверхности и внутри гранитного слоя), преломляющего горизонта по поверхности палеозойского фундамента ( $d_{p_z}$ ) ... » [3].

Профиль «Волгоград-Нахичевань» (отработан в 1964 году), длиной более 1000 км – один из самых протяженных профилей ГСЗ в Кавказском регионе. Он начинается в юго-западной части Прикаспийской впадины, пересекает Предкавказье, Большой Кавказ, значительную территорию Закавказской межгорной впадины и заканчивается на Малом Кавказе.

По материалам профиля «Волгоград-Нахичевань» разными авторами составлено несколько вариантов разрезов. Наиболее известный, из последних, вариант разреза представлен в работе Г.А. Павленковой [8].

Принципиально новым результатом, полученным на этом профиле по сравнению с прежними вариантами, является построение разреза отклонений времен прихода первых волн ( $\Delta t$ ). Суть этого способа обработки преломленно-рефрагированных волн ГСЗ заключается в построении отклонений времен прихода ( $t_{набл}$ ) Р-волн от значений времен по отношению к среднестатистическому годографу ( $t_{ср}$ ), например Джеффриса-Буллена ( $\Delta t = t_{набл} - t_{ср}$ ). Другим отличием от предыдущих вариантов интерпретации является построение глубинных границ от коротких осей синфазности

(докритических отражений) и точек дифракции, что сближает по внешнему облику глубинные разрезы ГСЗ и МОГТ и дает представление о распределении мелкомасштабных (по отношению к длине волны) неоднородностей. Кроме того, из значений  $\Delta t$ , определенных на различных удалениях от источника и отнесенных к половине расстояния между пунктом взрыва и приема, формировался временной разрез  $\Delta t$  и суммарная кривая всех значений  $\Delta t$  на пикете профиля, при этом значения  $\Delta t$  на разрезе представляются не в удалениях, а в глубинах, что позволяет проводить не только качественную, но и количественную интерпретацию с другими сейсмическими характеристиками (рис. 2).

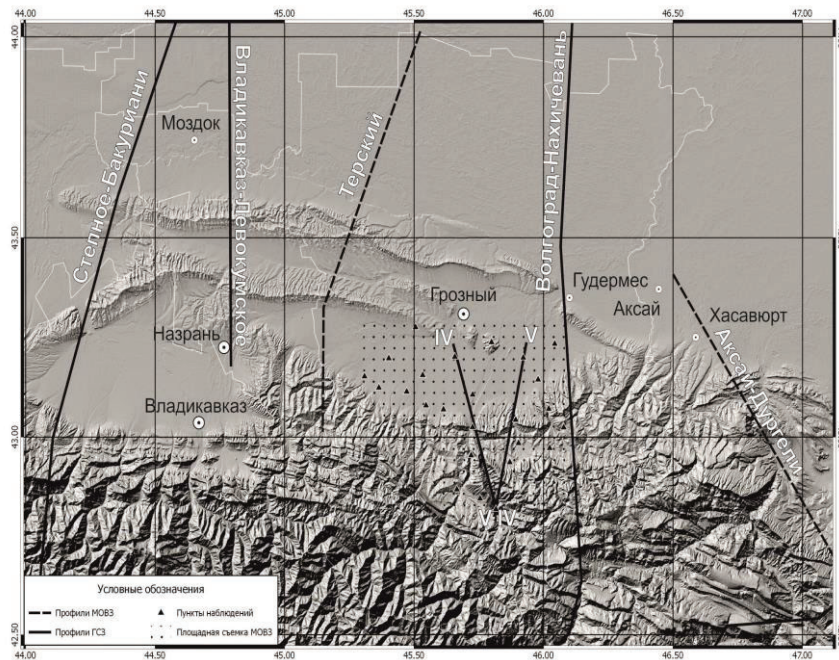


Рис. 1. Схема расположения геофизических профилей



Рис. 2. Фрагмент профиля ГСЗ «Волгоград – Нахичевань» [8]

Условные обозначения:

1 – отрицательные значения параметра ( $\Delta t$ ); 2 – положительные значения параметра ( $\Delta t$ ); 3 – значения скорости продольных волн; 4 – сейсмические границы; 5 – точки дифракции; 6 – фрагментарные отражающие границы; 7 – точки обмена; 8 – гипоцентры очагов землетрясений: 1 –  $M < 4$ , 2 –  $4 < M < 5$ , 3 –  $5 < M < 6$ , 4 –  $6 < M$ ; 9 – положение на профиле мантийных очагов землетрясений, в скобках глубина очага в км: 1 – (887), 2 – (1930), 3 – (1320), 4 – (800), 5 – (410), 6 – (1980), 7 – (100), 8 – (150), 9 – (74), 10 – (100), 11 – (100), 12 – (100), 13 – (100), 14 – (115), 15 – (123), 16 – (97); 10 – геологические границы, включая разрывные нарушения (по материалам В.И. Шевченко); 11 – проекция на профиль нефтегазоносных районов; 12 – граница Мохоровичича; 13 – предполагаемые границы.

Переинтерпретация сейсмического поля по профилю «Волгоград-Нахичевань» позволила получить новые данные о глубинном строении региона. В центральной части разреза по положительным значениям  $\Delta t$  прослеживается наклонная область с падением на север, разделяющая две области с отрицательными значениями  $\Delta t$ . В верхней части земной коры область положительных  $\Delta t$  сочленяется с крутопадающей зоной сгущения коротких отражающих площадок (докритические отражения), уходящей в верхнюю мантию, причем в нижней части коры в этой зоне лежит гипоцентр одного из самых крупных очагов землетрясений (6<M).

Южнее проходит вторая аналогичная зона отражающих площадок. Интересно отметить, что наклонная область положительных  $\Delta t$  и зоны отражающих площадок имеют в самой верхней части коры (приблизительно 1000 ПК) гипотетическую точку пересечения. Кроме того, примерно на том же пикете к поверхности Мохоровичича подходит наклонная граница. Все это свидетельствует о мантийной природе контакта тектонических блоков земной коры, разделяющих горные сооружения Кавказа и Восточно-Европейской платформы (Скифской плиты) [8]. Приведенные данные позволяют идентифицировать широко используемый в региональной геологии термин «глубинный разлом». Можно однозначно говорить, что его структура не характеризует разрыв среды, а является самостоятельным элементом земной коры.

По данным исследований ГСЗ главной особенностью глубинной структуры Терско-Каспийского прогиба является подъем верхней мантии, утонение "базальтового" и «гранитного» слоев, значительное утолщение палеозойского комплекса. Благодаря этому под Терско-Каспийским прогибом определяется прогиб поверхности "гранитного" слоя и подъем палеозойского фундамента. Такие характерные особенности глубинной структуры типичны для рифтовых зон земного шара, что может указывать на процессы растяжения, которые имели место на ранних стадиях формирования прогиба. Подъем верхней мантии по мнению многих исследователей [2, 9, 12 и др.], является показателем так называемой «возбужденной» мантии с интенсивной миграционной способностью флюидов, в том числе и углеводородных, что априори выражается в высокой геодинамической активности региона и также проявляется в новейших и современных движениях. Исследования ГСЗ также впервые показали сеть разломов с различной глубиной заложения, среди которых разломами мантийного заложения являются ограничивающие Терско-Каспийский прогиб с юга, и севера, а также и в его осевой зоне.

В последующем, комплексная интерпретация материалов ГСЗ и гравиразведки позволила изучить глубинное строение ТКП и сопредельных районов в площадном варианте. Такие исследования были выполнены И.А. Резановым, А.И. Шевченко, 1970; Р.Ф. Володарским и др. 1974. Более поздние построения выполнены М.Н. Смирновой и В.М. Бражником в 1985, И.А. Керимовым и др. в 2012 и др.].

По поверхности "Мохо" главным разделом являются Северо-Кавказский офиолитовый пояс, Черногорский и Армави́ро-Нагутский разломы. К северу от офиолитового шва наблюдается резко дифференцированный рельеф поверхности «Мохо», с минимальными глубинными (41-45 км) в пределах Кабардинской, Чеченской и Осетинской впадин и максимальными в Горном Дагестане (50-52 км). Далее, к северу - располагается зона плавного моноклинального воздымания от 47 км до 37 км в Прикумском районе. Черногорский и Армави́ро-Нагутский разломы, по-видимому, обусловили резкие перепады глубин поверхности «Мохо», определив особенности строения Терско-Каспийского прогиба, Скифской плиты и Большого Кавказа в целом.

Поверхность Конрада также дифференцирована. В складчатом крыле, глубины изменяются в пределах 16-36 км, на платформенном 20-30 км. Наиболее высокое положение поверхности Конрада (16-18 км) наблюдается на западе в Минераловодской поперечной перемычке и в Казбекском блоке мегантиклинория Большого Кавказа, что мнению Кузина И.М. по-видимому связано с метасоматическим изменением вещества флюидизированных структур [7].



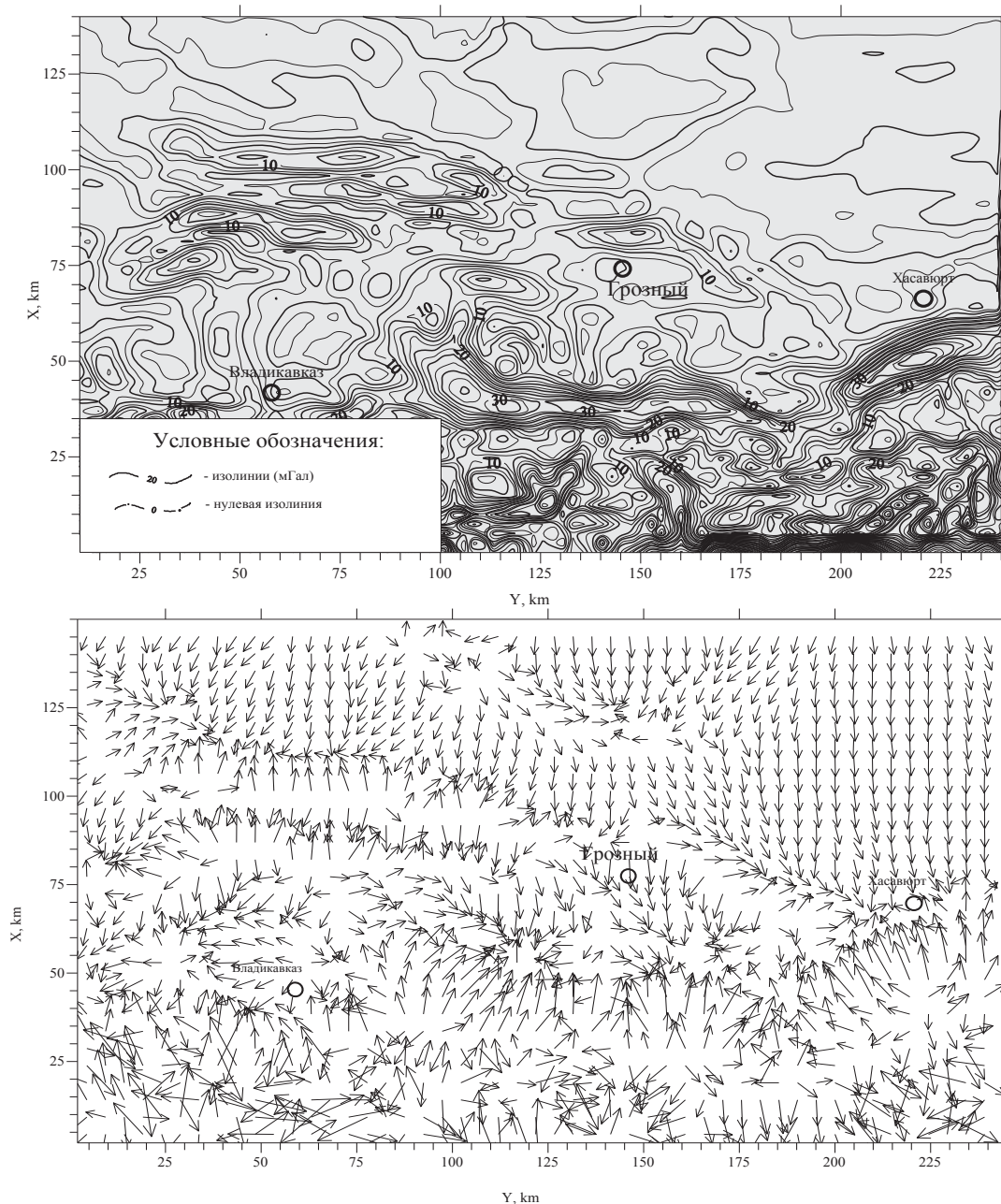


Рис. 3. Карты модуля и векторного распределения горизонтального градиента силы тяжести  $W_{sz}$

Формирование гранитного слоя внесло существенные изменения в глубинный структурный план Терско-Каспийского прогиба. Максимальные глубины чехла осадочного 12-18 км приурочены к предгорным впадинам: Кабардинской, Осетинской, Чеченской и Дагестанской. В Терско-Сунженской блоке и на Скифской плите глубины залегания гранитного слоя – минимальные (8-10 км). Таким образом, по мере формирования глубинных слоев, структура Терско-Каспийского прогиба усложнялась, и благодаря заложению глубинных разломов разных направлений – приобрела сложное блоковое строение.

*Исследования МОВЗ.* Новые данные о глубинной структуре Терско-

Сунженского прогиба получены исследованиями МОВЗ на Терском профиле [1]. Терский профиль субмеридионального направления и протяженностью 120 км, проходит через центральную часть прогиба от параметрических скважин Бурунная и Дружба до Даттыхского поднятия.

На глубинном сейсмогеологическом профиле освещено строение земной коры до глубины 46-47 км. Зафиксированы границы Конрада и Мохоровичича, а также глубинные разломы, разбивающие Терско-Каспийский передовой прогиб на ряд блоков.

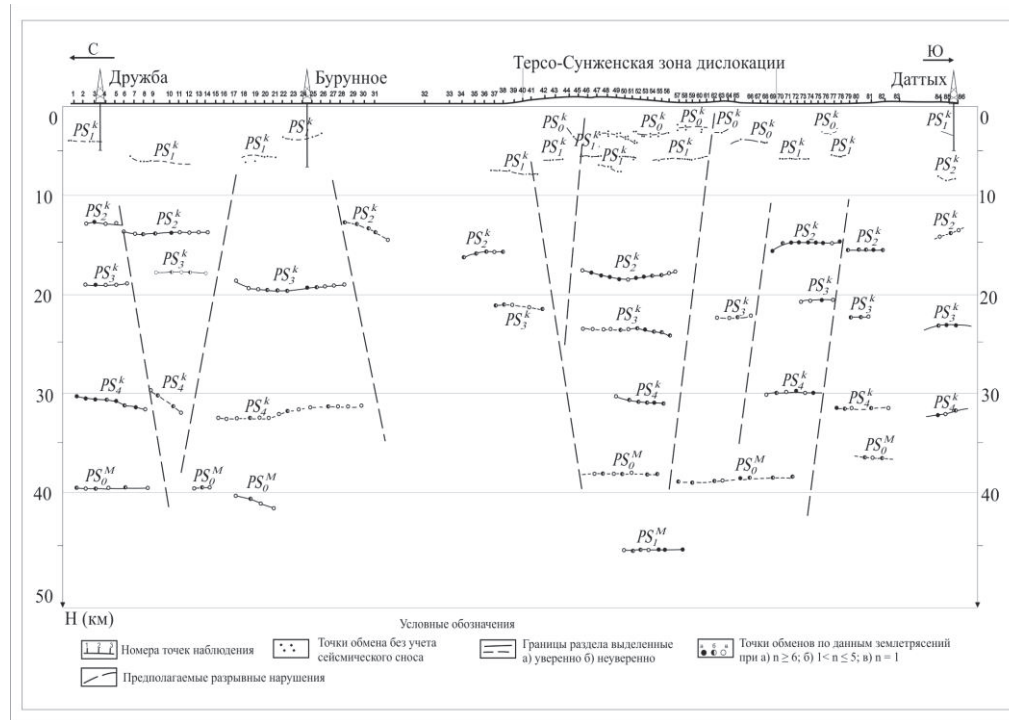


Рис. 4. Сейсмический разрез МОВЗ по Терскому профилю [1, 9, 10]

Практически все границы прослежены фрагментарно, что позволило установить блоковое строение коры, а в ряде случаев и кровли мантии. Разделы фиксируют изменение количества и качества границ обмена, в том числе изменения формы записи продольной волны и волновой картины в целом и представляют собой глубинные разломы мантийного заложения. Были прослежены границы, отождествляемые с поверхностью верхней мантии ( $PS_0^M$  и фрагмент  $PS_1^M$ ), с поверхностью «базальтового» слоя ( $PS_4^K$ ), с поверхностью «гранитного» слоя ( $PS_3^K$ ), с кровлей кристаллического фундамента ( $PS_2^K$ ) и две фрагментарных границы в осадочном чехле.

Среди глубинных разломов мантийного заложения выявлены широкие шовные зоны под Терской и Сунженской антиклинальными структурами и в Чеченской впадине. Поскольку в пределах шовных зон не зарегистрированы коррелируемые обменные волны – можно предположить наличие в них деструкций. Вероятно эндогенные процессы (механические, тепловые, диффузионные и т.д.) в зонах деструкций могли быть движущей силой зарождения и формирования складчатости Передовых Хребтов и их аномально высокой современной активности.

В результате интерпретации МОВЗ построены границы раздела толщ с разными значениями плотностей: элементы глобальных поверхностей раздела в земной коре; внутрикоровых границ, а также мелких границ в осадочном чехле.

В пределах Терской и Сунженской антиклинальных зон (Серноводская и

Эльдаровская антиклинали) выделены две обменных границы в осадочном чехле и четыре горизонта в подстилающей его части земной коры (последние также четко фиксируются в Затеречной зоне).

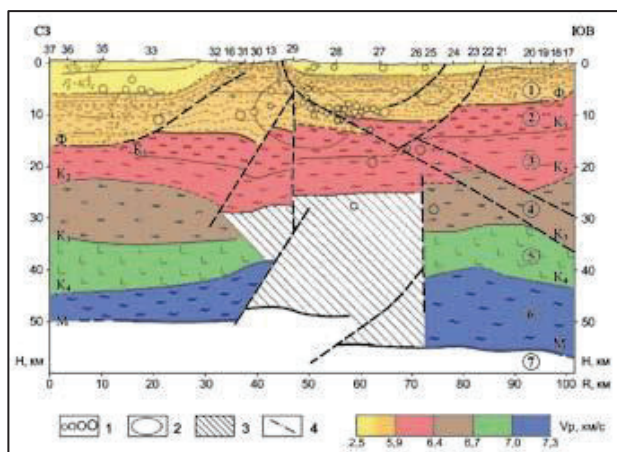
Наибольший интерес представляет указанные четыре горизонта. Первый горизонт прослежен на протяжении всего профиля (за исключением района Черных гор). В связи с наличием разрывных нарушений, на ряде участков выделение горизонтов затруднено; горизонт также не выделен в связи с наличием мощной толщи эффузивов, вскрытых скважиной Бурунная 1. Горизонт  $PS_3^K$  прослежен на глубине 18-21 км. Предполагается, что горизонт приурочен к кровле гранитного слоя. Данный горизонт представляет субгоризонтальную границу, которая отслеживается на восьми участках, протяженностью от 3 до 11 км. Перерывы в корреляции контролируются зонами глубинных разломов.

Горизонт  $PS_4^K$  выделен на глубинах 29-33 км и отождествлен с поверхностью базального слоя. Горизонт  $PS_0^M$ , зафиксированный на глубинах около 48-49 км залегает практически горизонтально и отождествлен с поверхностью Мохоровичича.

На профиле также было зафиксировано 8 зон потери корреляции, отождествленных с зонами глубинных разломов. Глубинные разломы выявлены под антиклинальными зонами, а также в районе распространения эффузивов (скважина Бурунная 1), где, возможно они являлись каналами выхода магмы на дневную поверхность.

В последующем значительные по объему исследования МОВЗ на Северном Кавказе были выполнены в 1991-1993 гг. в для Минераловодской, Дагестанской, Грозненской очаговых зон. Для изучения Грозненской очаговой зоны были выполнены площадные исследования и результатом исследований стали построения объемных моделей среды [11].

Для изучения очаговой зоны Дагестанского землетрясения 1970 г., были проведены работы МОВЗ по профилю проходящему вдоль большой полуоси изосейст землетрясения. Получен сейсмогеологический разрез по профилю Аксай-Дургели с данными распределения афтершоков приуроченных к структуре Дагестанского клина (структурного поднятия) [9]. Границы обмена в очаговой области «...характеризуются невыдержанностью, разрывами, наклонными, создающими представление о нарушении среды». Авторами, установлена «...тесная связь очагов землетрясений с наклонными плоскостями смещения глубинных сдвиговых зон, когда в контакте с ними или под ними выделяются локальные изометрические блоки или куполовидные структуры с аномальными физическими свойствами».



Условные обозначения:  
 1 – гипоцентры землетрясений разной магнитуды, 2 – очаговая зона землетрясения 1970 г. по изосейсте 8 баллов, 3 – сейсмически прозрачный блок, 4 – разрывные нарушения.  
 Цифры в кружках: 1 – осадочный чехол, 2 – метаморфический фундамент, 3 – гранито-гнейсовый слой, 4 – амфиболит-гранулит-диоритовый слой, 5 – гранулит-базитовый слой, 6 – эклогит-серпентинитовый слой («корово-мантийная смесь»), 7 – перидотитовый слой.

Рис. 5. Глубинный сейсмогеологический разрез МОВЗ Аксай-Дургели пересекающий очаговую зону Дагестанского землетрясения 1970 г. с магнитудой  $M = 6,6$  [9]

*Профиль МОВЗ Владикавказ-Левокумское* характеризует внутреннее строение ТКП, включая его краевые части сочленение со Скифской плитой на севере и со структурами Большого Кавказа на юге. Южный конец профиля пересекает большую часть Осетинской впадины и частично осложняющую ее Казбекско-Галюгаевскую зону дислокаций. Центральная часть характеризует глубинное строение Сунженской и Терской антиклинальных и Северный конец профиля освещает глубинное строение осевой и северном частей Терско-Каспийского прогиба. При интерпретации разреза увязка и отождествление границ проводилась с сейсмическим разрезом профиля Степное-Бакуриани. В верхней части разреза, в пределах осадочного слоя уверенно прослеживаются две границы с кровлей мезозойских образований и поверхностью фундамента, при этом максимальное погружение поверхности фундамента до 13км отмечается в осевой части прогиба.

Ниже поверхности фундамента, в разрезе консолидированной коры прослеживается три границы обмена расчленяющие земную кору на 4-е слоя. Картируемый между четвертой и пятой границами обмена слой имеет мощность в среднем 14 км и является наиболее крупным элементом в строении земной коры и рассматривается в качестве самостоятельного «диоритового» слоя. Нижняя часть земной коры имеет двучленное строение, увязке с профилем. Верхний слой интерпретируется в качестве гранулитно-базитового ( $V=6,6-6,7$ км/с, мощность 4-8км), в нижний слой - как коромантийная смесь ( $V=6,9-7.0$  км/с до  $7.2$ км/с, мощность 10-12км). Граница «Мохо» под Терско-Каспийским прогибом прослеживается на глубинах 45-47км, под Осетинской впадиной она погружается на юг до 48 км (вблизи Казбекско-Цхинвальского разлома). По зоне этого разлома эта граница смещается на 4-5 км и в пределах Казбекско-Галюгаевской полосы поперечных дислокаций отмечается на глубине 52-53 км. Казбекско-Цхинвальский глубинный разлом является наиболее четко проявленной в разрезе структурой, уверенно прослеживаемой через всю земную кору и проникающей в мантию.

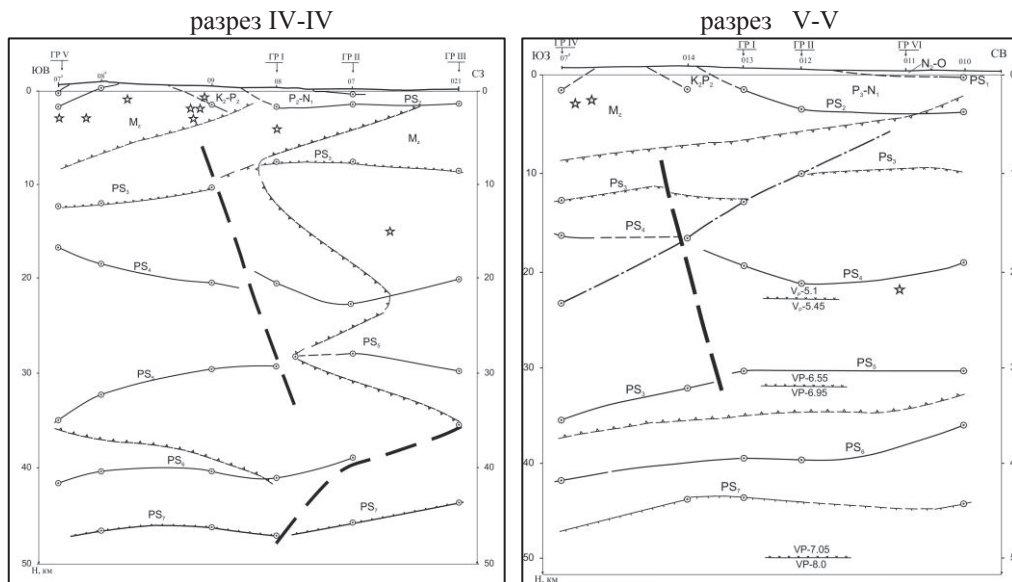


Рис. 6. Сейсмогеологические разрезы МОВЗ на Грозненской площадной расстановке (по данным ОП «Сей-Эко-Геон») [11]

*Исследования МОВЗ в пределах Грозненской сейсмоопасной зоны.* Для изучения глубинного и скоростного строения были проведены площадные наблюдения МОВЗ с



расстановкой 50x70км. При интерпретации глубинного строения использовались данные регионального профиля ГСЗ Волгоград-Нахичевань, трасса которого проходит вблизи профиля V-V Грозненской зоны. В разрезе земной коры также выделяются 7 границ обмена. Нижняя часть земной коры также, как и на разрезе по профилю Владикавказ-Моздок, состоит из двух слоев – гранулито-базитового и коромантийной смеси. По средней мощности оба слоя уступают всем залегающим выше слоям и составляют соответственно 9 км и 7 км.

В целом по данным глубинных исследований граница «Мохо» имеет наклон в направлении на юг. Средняя мощность земной коры на составляет 45-46 км.

Представляет интерес распределение скоростных параметров в верхней мантии, так как участок исследований расположен в области развития мантийных землетрясений. Так, локальное повышение скорости до 8,0 км/с на глубине 50 км соответствует области перехода от Терско-Каспийского прогиба к структурам Большого Кавказа и вероятно, представляет «...собой ядерную часть мантийной структуры которая накапливает большую потенциальную энергию и является источником повышенной сейсмичности» [11].

### Выводы

В геологическом отношении рассматриваемая территория включает юго-восточную часть палеозойской Скифской плиты и северную часть альпийской складчатой зоны Центрального и Восточного Кавказа. Между ними расположен Терско-Каспийский прогиб, сложенный в основном мезозойскими, неогеновыми и антропогеновыми отложениями.

Мощность земной коры в пределах Скифской плиты составляет около 40 км, при мощности осадочного чехла 4-6 км. В пределах мегаантиклинория Большого Кавказа подошва земной коры прогибается и достигает 45-58 км. В пределах ТКП имеет место относительное уменьшение мощности земной коры до 37-40 км и соответственно резкий подъем поверхности Мохо, при этом мощность осадочного чехла достигает 12-13 км.

В неоген-четвертичное время, в связи с тангенциальным сжатием в альпийском поясе. Терско-Каспийский рифт испытал инверсию, приведшую к формированию *бескорневых складок Терско-Сунженского антиклинория*. Восточной ветвью пояса надвигов является Дагестанский клин, характеризующийся развитием надвигов и ретронадвигов на разных стратиграфических уровнях. Область Дагестанского клина на геофизических полях выражена зоной отрицательных аномалий гравитационного поля умеренной им высокой интенсивности.

### Литература

1. *Кадури И.Н., Кадурина Л.С.* Опыт-производственные работы МОВЗ в Терско-Сунженской нефтегазоносной области на Терском профиле / Отчет по работам геофизической партии 21/83 за 1983-85 гг. Фонды Северо-Кавказского ТФГИ: Эссентуки, 1985. 82 с.
2. *Керимов И.А., Гайсумов М.Я., Абубакарова Э.А.* Геофизические поля и разломная тектоника Терско-Каспийского прогиба // Геодинамика. Глубинное строение. Тепловое поле Земли. Интерпретация геофизических полей. Пятое научные чтения памяти Ю.П. Булашевича, 06-10 июля 2009 г. Материалы конференции. Екатеринбург, 2009. С. 226-230.
3. *Краснопецева Г.В.* Глубинное строение Кавказского сейсмоактивного региона. М.: Наука, 1984, 109 с.
4. *Краснопецева Г.В., Кузин А.М.* Комплексная сейсмическая интерпретация данных ГСЗ (продольные волны) на примере профиля «Волгоград – Нахичевань» // Разломообразование и сейсмичность в литосфере: тектонофизические концепции и следствия: Материалы Всероссийского совещания. Т. 1. Иркутск: Институт земной коры СО РАН. 2009. С. 61–65.
5. *Краснопецева Г.В., Кузин А.М.* Отображение особенностей глубинного строения по результатам переинтерпретации профиля ГСЗ «Волгоград - Нахичевань» // Труды ИГ ДНЦ РАН. № 52, 2008. С. 81-84.



6. *Краснопевцева Г. В., Матушкин Б. А., Шевченко В. И.* Новая интерпретация данных ГСЗ по профилю Степное-Бакуриани на Кавказе // Советская геология, 1970. № 8. С. 113–120.
7. *Кузин А.М.* Некоторые особенности интерпретации волновых полей в зонах разрывных нарушений // Геофизика, 1999. № 5. С. 3-15.
8. *Павленкова Г.А.* Строение земной коры Кавказа по профилям ГСЗ Степное-Бакуриани и Волгоград-Нахичевань (результаты переинтерпретации первичных данных) // Физика Земли. 2012. № 5. С. 16–25.
9. Развитие идей М.К. Полшкова по изучению строения земной коры сейсмоопасных регионов России методами разведочной геофизики / *И.Н. Кадури, Ю.Ф. Коновалов, А.В. Маухин и др.* // Геофизика, 2013. № 6. С. 59-64.
10. Строение земной коры Терско-Каспийского прогиба вдоль Терского профиля по сейсмическим данным / *Л.С. Кадурина, Н.В. Григорьева, Б.Х. Ишханова, Р.Я. Мосиенко и др.* // Геология и минерально-сырьевая база Северного Кавказа. Материалы IX межд. научно-практ. геол. конф. Ессентуки, 2000. С. 262-263.
11. Структура земной коры на Грозненской площадной расстановке / *Б.Х. Ишханова, О.Н. Трубникова, З.Ш. Орцухаева, Н.В. Григорьева и др.* // Геология и минерально-сырьевая база Северного Кавказа. Материалы IX межд. научно-практ. геол. конф. Ессентуки, 2000. С. 258-259.