

УДК 550.34/551.242.51(470.415)

## ГЛУБИННЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОВ-ОГТ НА ГЕОТРАВЕРСЕ ТАТСЕЙС-2003, ПЕРЕСЕКАЮЩЕМ ВОЛГО-УРАЛЬСКУЮ НЕФТЕГАЗОНОСНУЮ ПРОВИНЦИЮ

© 2006 г. В. А. Трофимов

*Институт геологии и разработки горючих ископаемых, Москва, 117312, ул. Вавилова, 25, корп. 1*

Поступила в редакцию 26.12.2005 г.

В работе изложены задачи, методика, основные результаты глубинных сейсмических исследований МОВ-ОГТ по геотраверсу, пересекающему с северо-запада на юго-восток Волго-Уральскую нефтегазосную провинцию и названному “Татсейс-2003”. Он имеет протяженность более 1000 км и путем отработки дополнительного профиля увязан с известным геотраверсом “Уралсейс-95”. Главной задачей этих работ являлось изучение особенностей строения осадочного чехла и земной коры Северо-Татарского свода, Казанско-Кажимского прогиба, Котельнического свода и юго-восточной части Московской синеклизы в сравнении с нефтеносным Южно-Татарским сводом.

Примененные технико-методические средства (телеметрические станции, мощные вибраторы, 12-километровая расстановка, кратность – 60, длина записи – 20 с), проектирование, основанное на анализе геолого-геофизических материалов, специальная обработка данных обеспечили получение высокоинформативных сейсмических временных разрезов, обеспечивающих решение поставленных геологических задач.

Главным научным и практическим результатом проведенных исследований является установление связей нефтеносности осадочного чехла со строением земной коры и верхней мантии, что имеет фундаментальное значение, может свидетельствовать о значительной роли глубинных факторов в формировании месторождений углеводородов и после подтверждения выявленных признаков в других районах использоваться в практике нефтепоисковых работ.

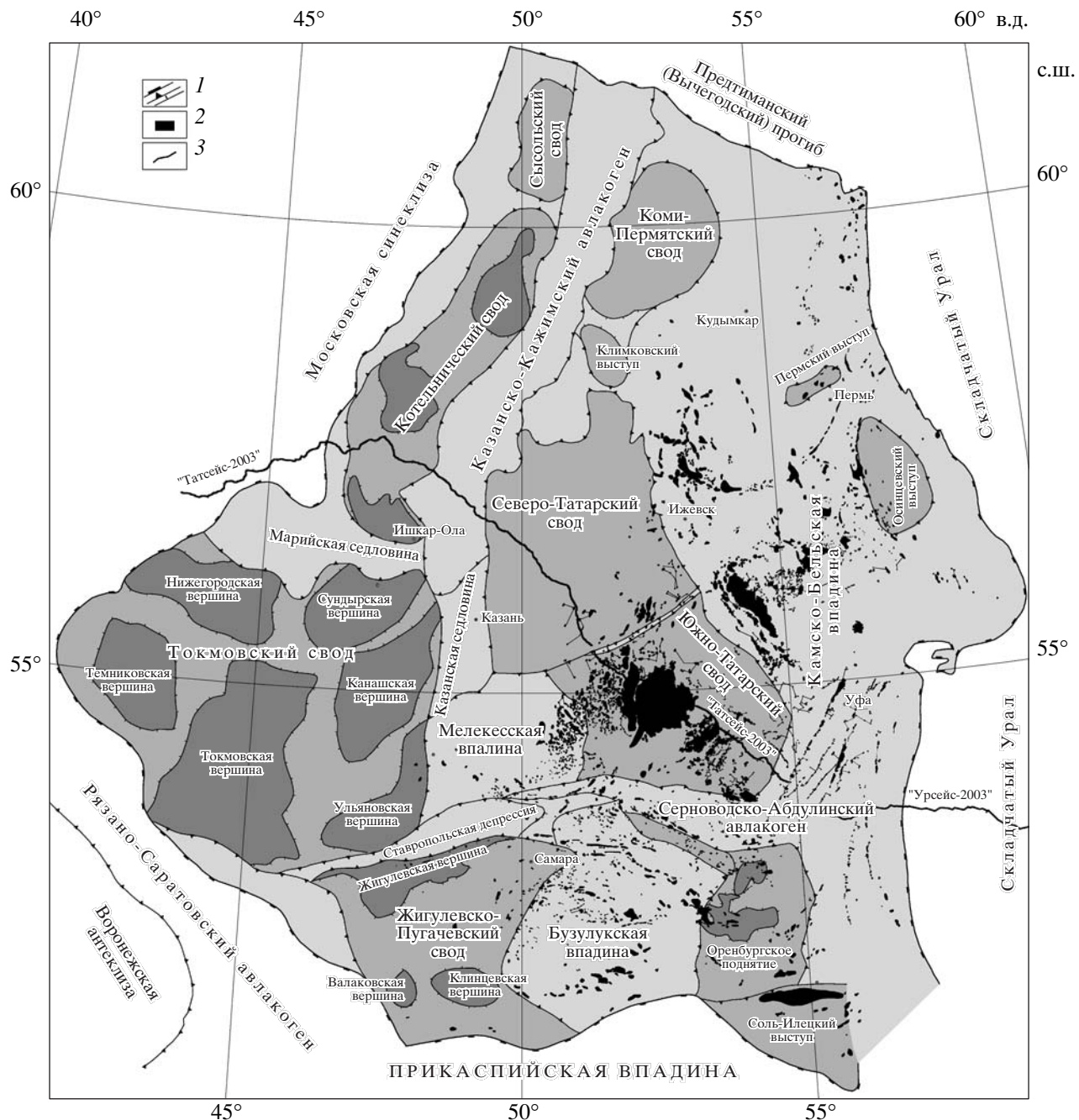
Обоснован тектонический характер наклонных отражателей в земной коре и верхней мантии. Показано, что субвертикальные динамические аномалии обусловлены реальными геологическими образованиями. Предложен комплекс исследований для объяснения их природы.

Запланированные на геотраверсе глубинные сейсмические исследования свою задачу выполнили полностью. Вместе с тем, полученные результаты позволяют обосновать ряд рекомендаций по направлениям и методике дальнейших исследований. Целесообразно проведение обобщающих научно-исследовательских работ, направленных на взаимоувязку геотраверсов “Уралсейс-95” и “Татсейс-2003”, получение единого профиля от Урала до Московской синеклизы с последующей комплексной интерпретацией данных, а также обобщение результатов ранее проведенных глубинных сейсмических исследований МОВ-ОГТ.

### ВВЕДЕНИЕ

Глубинными сейсмическими исследованиями МОВ-ОГТ, целенаправленно проводящимися с 1993 г. в нефтяных районах Республики Татарстан, а затем и в других регионах Волго-Уральской нефтегазосной провинции, было показано, что под крупными нефтяными месторождениями на временных разрезах наблюдаются интенсивные динамические аномалии [14 и др.]. Хотя природа этих аномалий достоверно не была определена, сам факт их наличия показал принципиальную возможность создания методики прогнозирования крупных месторождений углеводородов на основе глубинной сейсморазведки МОГТ и послужил обоснованием проведения по-

добных исследований на территории Кировской, Самарской, Оренбургской, Тюменской областей, Республик Башкортостан, Удмуртии, а также их расширения в Татарстане. Однако в связи со спецификой планирования геологоразведочных работ отработанные региональные профили располагались в пределах одного отдельно взятого административного образования (или лицензионного участка) не всегда оптимально и в ряде случаев не увязывались с профилями на соседних территориях. Это затрудняло или делало невозможным проведение сравнительных характеристик крупных тектонических элементов, нефтеносных и слабоизученных земель.



**Рис. 1.** Положение геотраверса “Татсейс-2003” на схеме тектонического районирования фундамента Волго-Камской антеклизы

1 – границы тектонических элементов разных порядков; 2 – нефтяные месторождения; 3 – геотраверсы “Татсейс-2003” и “Уралсейс-95”

С целью получения качественно новой информации и наращивания полученных ранее результатов нами была обоснована отработка геотраверса, пересекающего Волго-Уральскую нефтегазоносную провинцию с северо-запада на юго-восток и проходящего через Ромашкинское нефтяное месторождение – гигант (рис. 1). Главной

задачей при этом ставилось изучение особенностей строения осадочного чехла и земной коры Северо-Татарского свода, Казанско-Кажимского прогиба, Котельнического свода и юго-восточной части Московской синеклизы в сравнении с нефтеносным Южно-Татарским сводом. То есть важнейшей целью работ являлось выявление связей

размещения нефтяных месторождений с особенностями строения земной коры. В результате должны были быть оценены перспективы нефтеносности этих крупных тектонических элементов и выявлены территории, перспективные для нефтепоисковых работ.

### ПОЛОЖЕНИЕ ГЕОТРАВЕРСА

Геотраверс, общей протяженностью более 1000 км, прошел по территории Нижегородской и Кировской областей, республик Марий-Эл, Татарстан и Башкортостан<sup>1</sup>. В связи с тем, что значительная часть профиля проходит по Южно-Татарскому и Северо-Татарскому сводам, а также для удобства последующего изложения и возможных ссылок нами было предложено отработанному геотраверсу дать наименование “Татсейс-2003”.

В юго-восточной части, в районе Стерлитамака, путем корректировки профиля VIII (ОАО “Башнефтегеофизика”) он увязан с геотраверсом “Уралсейс”, что в дальнейшем позволит иметь цельную информацию по профилю общей протяженностью порядка 1600 км, от Урала до Московской синеклизы. Для более уверенной интерпретации данных предусматривалась увязка геотраверса “Татсейс-2003” дополнительными профилями: “рассейсками” со сверхглубокими скважинами: Воротилковской, Миннибаевской, Туймазинской, а также комплексирование сейсморазведочных наблюдений с электроразведочными, гравиметрическими и атмогеохимическими.

### МЕТОДИКА СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Методика сейсморазведочных наблюдений на геотраверсе определялась, в первую очередь, характером поставленных задач. Так, для изучения глубинного строения земной коры более приемлемы расстановки с большими удалениями возбуждение–прием. В то же время для детального изучения палеозойского осадочного чехла, для выявления возможных связей его строения и нефтеносности с особенностями строения консолидированной земной коры требуется применение плотных систем с небольшими расстояниями между пунктами приема. Таким образом, система наблюдений должна быть достаточно универсальной и обеспечивать равномерное изучение разреза в необходимом диапазоне глубин. При этом учитывалась относительно невысокая степень дифференциации докембрийских образова-

ний по акустическим свойствам и высокий уровень помех на больших временах, в том числе кратных волн, связанных с горизонтами осадочного чехла.

Отсюда следовало, что расстояние между пунктами приема не должно превышать максимального, применяемого в регионе при изучении горизонтов палеозоя, а кратность профилирования не должна быть меньше, чем при стандартных наблюдениях. С учетом изложенного и опыта сейсморазведочных работ в Татарстане и на сопредельных территориях была выбрана следующая методика: система наблюдений – асимметричная; длина расстановки – 12000 м; количество активных каналов – 240; максимальное удаление возбуждение–прием – 10000 м; расстояние между пунктами приема – 50 м; расстояние между пунктами возбуждения – 100 м; кратность – 60. В качестве регистрирующей аппаратуры использовалась телеметрическая система INPUT/OUTPUT SYSTEM TWO. Длина полезной записи составила 20 с, шаг квантования – 4 мс.

Вследствие проложения профиля через разрабатываемые нефтяные месторождения, где развита густая сеть коммуникаций, применение взрывных источников было невозможным. Было решено использовать мощные сейсмические вибраторы Nemi-50 с максимальным толкающим усилием 23 т. Они применялись в группе из 5–6 штук на базе 50–55 м; на каждом пункте возбуждения обрабатывалось 5–8 воздействий. Параметры свип-сигнала, уточненные в ходе опытных работ, были следующими: начальная частота – 14 Гц, конечная – 70 Гц, длительность свип-сигнала – 20 с. В целом можно отметить, что примененные технико-методические средства обеспечили получение кондиционных материалов, что явилось основой решения поставленных геологических задач.

Для достижения максимальной информативности результатов региональных сейсморазведочных работ большое значение имеет оптимизация проложения профиля. Предложенное при обосновании постановки работ положение геотраверса отображало лишь его принципиальный характер. С целью повышения информативности были собраны и проанализированы материалы магнитных и гравиметрических съемок, данные дешифрирования аэрокосмических снимков, особенности структуры фундамента, размещения нефтяных месторождений. В качестве основного принципа корректировки проложения геотраверса принято следующее: профиль должен пересечь наиболее контрастные положительные и отрицательные аномалии потенциальных геофизических полей, крупные нефтяные месторождения, а также аномалии, выявленные в результате дешифрирования аэро- и космоснимков.

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках Госконтракта с МПР РФ. Полевые наблюдения производились ОАО “Татнефтегеофизика”. Научно-методическое сопровождение работ и обработка данных осуществлялись ФГУП ИГиРГИ.

Из-за условий местности и других причин фактическое проложение профиля от рекомендованного отличается, в некоторых случаях, существенно. Так, из-за запретов землепользователей не удалось пройти через интенсивный магнитный максимум, расположенный в пределах Ромашкинского месторождения. В дальнейшем необходимо изучить возможность отработки специальной расщетки для изучения этой аномалии. В целом же руководство полевой партии и исполнители работ сделали все возможное для оптимального проложения геотраверса.

Значительная потеря информации при региональных работах может быть связана с крупными естественными преградами. Так, отработанный геотраверс пересек р. Кама у пос. Камские поляны, где расстояние между крайними пикетами на противоположных берегах составляло 6 км (с учетом большого количества стариц на левом берегу и заболоченности подступов к реке). Применение здесь используемой на профиле методики отстрела привело бы к полной потере информации на этом участке. Поэтому при форсировании Камы было [17] предложено трансформировать систему наблюдений во фланговую с минимальным выносом ПВ, равным 6 км, чтобы расположить приемную расстановку и пункты возбуждения на разных берегах. Максимальное удаление взрыв-прибор здесь составило 22 км (с учетом кривизны профиля). На обоих берегах отработано по 60 дополнительных ПВ с шагом 100 м. Предложенная трансформация системы наблюдений позволила получить информацию о глубоких (5 с и более) отражающих границах в земной коре.

Таким образом, целенаправленный подход к выбору методики полевых работ и применяемых технических средств, а также комплексный анализ геолого-геофизических материалов для оптимизации проложения геотраверса позволяют получить кондиционные полевые материалы и тем самым создают основу для решения поставленных геологических задач.

## ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Обработка сейсморазведочных материалов производилась на вычислительной технике Sun Microsystem с использованием обрабатывающего комплекса FOCUS.

Процесс обработки подразделялся на два этапа:

1) получение временных разрезов с длиной записи 4 с для обеспечения максимальной геологической информативности в интервале регистрации отражений от границ в осадочном чехле и в верхней части кристаллического фундамента;

2) получение временных разрезов с длиной записи 20 с для изучения глубинного строения земной коры.

Первый этап включал в себя процедуры, обычно применяемые в нефтяной сейсморазведке. Однако, исходя из регионального характера поставленных задач, упор делался на повышение соотношения сигнал/помеха. В связи с этим параметры процедур выбирались более мягкие, чем обычно применяемые для достижения высокой разрешенности записи.

Получение кондиционных разрезов на временах до 20 с, когда уровень полезного сигнала чрезвычайно низок, обуславливало применение жесточайшего редактирования исходных записей, исключение из графа обработки деконволюции по полевому материалу и понижение частот полосовых фильтров.

В целом примененные граф и приемы обработки обеспечили получение кондиционных временных разрезов и, на этой основе, решение главной задачи – выявление связей глубинного строения земной коры со строением и нефтеносностью осадочного чехла.

## КРАТКАЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И НЕФТЕНОСНОСТЬ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

Геотраверс пересекает в северо-западном направлении Волго-Камскую (Волжско-Камскую) антеклизу и составляющие ее структуры I порядка: Южно-Татарский и Северо-Татарский своды, разделенные Сарайлинской седловиной, Казанско-Кажимский прогиб, Котельнический свод и входит в Московскую синеклизу (см. рис. 1). По имеющимся данным абсолютные отметки поверхности фундамента изменяются в основном от –1.5–1.6 км на сводах до –2–2.5 км в прогибах; максимальное его погружение (до 5–6 км и более) предполагается на юго-восточном окончании профиля. Наиболее высокое положение фундамента отмечено на Воротиловском выступе, где одноименной сверхглубокой скважиной фундамент вскрыт на отметке –415 м.

Состав и свойства пород, слагающих фундамент, наиболее полно изучены в Татарстане, где более двадцати скважин вскрыли архейско-нижнепротерозойский комплекс на глубину от нескольких сотен метров до 4 км, а также на сопредельной территории Башкортостана, где Туймазинская скважина № 2000 была пробурена до глубины 4042 м. По данным Б.С. Ситдикова [11], выделены следующие типы кристаллических пород:

– регионально метаморфические, представленные в основном высокоглиноземистыми гней-

Скорость продольных волн ( $V_p$ ) в породах кристаллического фундамента по данным ВСП в сверхглубоких и параметрических скважинах Татарстана [13]

Тектоническая приуроченность	Номер скважины	Интервал глубин от поверхности фундамента, м	$V_p$ , м/с
Восточный борт Мелекесской впадины	2223	0–557	6480
	2216	0–700	6670
Баганинский прогиб	663	0–480	6070
Западный склон Южно-Татарского свода	2217	0–596	6240
	20015	0–543	6180
	2092	0–271	6300
Восточный и юго-восточный склоны Южно-Татарского свода	2880	0–191	6200
	20013	0–220	6200
	20011	0–760 760–1640	6250 6590
Зона Сулинского разлома	20006	0–673	6010
Северный и северо-восточный склоны Южно-Татарского свода	20005	0–257	6270
	183	0–156	5800
	966	56–310	5800
	678	0–672	5890
Зона Прикамского разлома	578	0–102	5400
Сводовая часть Южно-Татарского свода	20000	0–508 508–2467	5710 6120
	20002	0–310	6200
	20009	0–180	5600
		180–3172	6200
Северо-Татарский свод	206	0–235	6500
Казанско-Кажимский прогиб	205	0–254	6040

сами и кристаллическими сланцами, калийсодержащими амфибол-плагиоклазовыми гнейсами, а также амфиболитами;

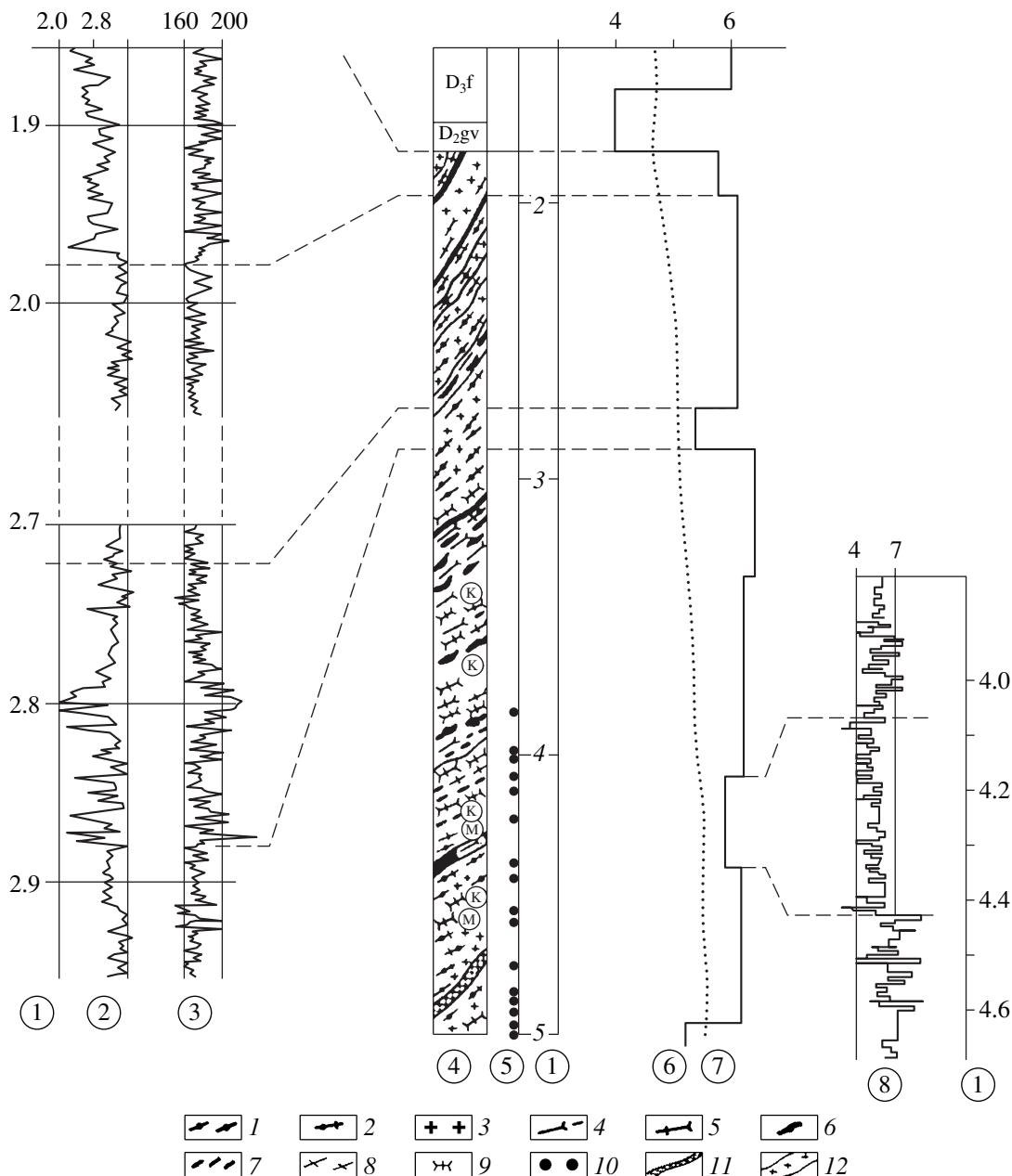
– ультраметаморфические, представленные в основном мигматитами по различным гнейсам, гранитоидным жилам и гранито-гнейсам;

– локально метаморфические, включая катаклазиты, милониты, низкотемпературные метасоматиты;

– магматические, не подвергавшиеся региональному метаморфизму.

В Нижегородской области Воротиловской сверхглубокой скважиной, пробуренной в своде одноименного выступа до глубины 5374 м, по фундаменту пройдено 4824 м. Он представлен [2] архейскими и нижнепротерозойскими образованиями. По составу пород и характеру метамор-

физма авторы той же работы условно выделяют две толщи. Верхняя сложена однообразными амфиболовыми, биотитовыми и биотит-амфиболовыми гнейсами с линзами амфиболитов, среди которых встречаются перидотиты и горнбледиты. Гнейсы, амфиболиты и другие породы местами мигматизированы и гранитизированы. В составе нижней толщи среди кристаллических пород преобладают биотит-амфиболовые гнейсы с линзами амфиболитов и основных кристаллических сланцев. Присутствуют линзы кварцитов и кварцито-гнейсов, биотит-дистен-силлиманит-гранатовых гнейсов, кальцифиров и диопсид-скаполитовых пород. Значительный объем нижней части разреза занимают микроклиновые двуслюдяные граниты и гранито-гнейсы. Кристаллические породы прорваны дайками долеритов и габбродолеритов.



**Рис. 2.** Скорости распространения продольных волн в разрезе кристаллического фундамента (Новоелховская сверх-глубокая скв. 20009, Республика Татарстан) [13]

Цифры в кружках: 1 – шкала глубин, км; 2 – диаграмма плотности по ГГК-П,  $г/см^3$ ; 3 – диаграмма интервального времени по АК, мкс/м; 4 – литологическая колонка (данные Н.Е. Галдина: 1 – гранат-биотит-плагноклазовые, гранат-биотит-силлиманит-кордиерит-плагноклазовые гнейсы и кристаллические сланцы; 2 – те же породы, мигматизированные; 3 – граниты, гранитизация; 4 – биотит-гиперстен-плагноклазовые, двупироксен-плагноклазовые гнейсы и кристаллические сланцы; 5 – те же породы, мигматизированные; 6 – магнетит-биотит-пироксен-амфибол-плагноклазовые гнейсы и кристаллические сланцы; 7 – биотит-плагноклазовые гнейсы лейкократовые; 8 – те же породы, мигматизированные; 9 – диафториты, катаклазиты, милониты; 10 – катаклиз, милонитизация, буква к в кружке; 11 – дайка перидотита; 12 – дайка габбро-диабазы, буква м в кружке); 5 – битумопроявления; 6 – график пластовой скорости, по данным ВСП, км/с; 7 – график средней скорости, км/с; 8 – график детального распределения скорости по АК, км/с

Скорости распространения продольных волн в верхней части фундамента, по данным ВСП, изменяются от 5400 м/с в зоне Прикамского разлома до 6670 м/с в Мелекеской впадине и, как было

отмечено нами ранее [13], практически не зависят от состава пород. Гораздо большее влияние на упругие свойства оказывает их тектоническая нарушенность.

На территории Татарстана определенная зависимость в распределении скоростей намечается, если сгруппировать по тектоническим элементам скважины, вскрывшие фундамент на значительную глубину. Так, в пределах Мелекеской впадины скорости оказались максимальными (6480–6670 м/с), в центральной части Южно-Татарского свода – минимальными (5710 м/с). На западном, восточном и юго-восточном склонах Южно-Татарского свода они имеют промежуточные значения (6180–6270 м/с) с относительным их понижением в зонах разломов (обычно до 6010–6070 м/с, а в скважине № 548 – до 5400 м/с). Интересно отметить, что вершина Северо-Татарского свода характеризуется более высокой скоростью (6500 м/с в скв. 206-Ципья) по сравнению с Южно-Татарским (таблица).

По данным акустического каротажа основные закономерности изменения скорости по разрезу кристаллического фундамента в Новоелховской сверхглубокой скважине № 20009, выявленные вертикальным сейсмопрофилеированием, сохраняются, но ее дифференцированность более значительна (рис. 2). Так, понижение скоростей в интервалах развития трещиноватых, катаклазированных, милонитизированных пород, по данным акустического каротажа, выделяется более уверенно и согласуется с результатами плотностного каротажа. Как показали материалы ВСП и сейсморазведки МОГТ, именно с такими интервалами связано образование интенсивных отраженных волн [13].

Акустические свойства фундамента в Воротиловской СГС охарактеризованы по данным АКШ [2].

В интервале 1752–2400 м скорость продольных волн ( $V_p$ ) варьирует в пределах 4–6 км/с; преобладающее значение – 4.7–5.3 км/с.

В интервале 3270–4220 м, представленном нарушенными внедрением даек породами, скорость варьирует в пределах 5.0–6.2 км/с. Преобладающее значение – 5.5 км/с.

В интервале 4220–5250 м  $V_p$  наиболее высокая – 5.8 км/с.

Как видно из приведенных данных, разрез фундамента Воротиловского выступа, как и в Татарстане, дифференцирован по акустическим свойствам. Однако, в отличие от геологов Татарстана, авторами работы [2] эта дифференциация объясняется наличием в разрезе нескольких литологических разностей с различными скоростными характеристиками.

Осадочный чехол представлен в основном палеозойскими и рифейско-вендскими отложениями. Последние, называемые некоторыми исследователями промежуточным комплексом, развиты на

северо-западном и юго-восточном окончаниях геотраверса, а также в Казанско-Кажимском авлакогене, но в районе его пересечения профилем ранее не фиксировались.

Мощность рифейско-вендских отложений изменяется от нуля до, ориентировочно, 4–5 км в районе Стерлитамака. Они представлены красноватными преимущественно грубозернистыми кварцевыми и полевошпатово-кварцевыми песчаниками и гравелитами с прослоями конгломератов, алевролитов и глин. На юго-восточном склоне Южно-Татарского свода и восточном окончании Жигулевско-Оренбургского свода (Оренбургская область) эта толща по значениям скорости распространения продольных волн подразделяется на две пачки: нижнюю, характеризующуюся скоростью 4700–5100 м/с, и верхнюю, со скоростью 4400–4800 м/с. На северо-восточном склоне Южно-Татарского свода распределение скоростей более сложное. От поверхности этой толщи и от границ внутри нее регистрируются отражения, в ряде случаев достаточно хорошо прослеживающиеся по площади.

Палеозойский комплекс представлен отложениями девонской, каменноугольной и пермской систем. Разрез в основном карбонатный, высокоскоростной. С имеющими подчиненное (по мощности) значение терригенными отложениями девона, нижнего (яснополянский надгоризонт) и среднего (верейский горизонт) карбона связано образование регионально выдержанных отражающих горизонтов, соответственно, Д, У, В (см. рис. 7). К поверхности нижнепермских отложений приурочена отражающая граница К.

Геотраверс “Татсейс-2003” пересекает как крупные, так и небольшие зоны нефтегазонакопления, а также слабоизученные территории Волго-Камской антеклизы и Московской синеклизы, где нефтегазоносность не установлена.

В пределах района исследований продуктивным в нефтеносном отношении является палеозойский комплекс отложений. В девонско-пермском разрезе известно шесть литолого-стратиграфических нефтегазоносных комплексов: девонский терригенный, девонско-гурнейский карбонатный, нижнекаменноугольный терригенный, визейско-верхнекаменноугольный терригенно-карбонатный, нижнепермский карбонатный, верхнепермский карбонатно-терригенный. Здесь выделяются зоны с доказанной промышленной нефтегазоносностью, а также прогнозно-перспективные. Основные разведанные запасы нефти сосредоточены в юго-восточной части геотраверса, где он пересекает крупнейшую зону нефтегазонакопления, связанную с Южно-Татарским сводом.

В пределах Южно-Татарского свода наиболее крупными нефтяными месторождениями являются Ромашкинское и Новоелховское, приуроченные к наиболее приподнятой его части.

Основные горизонты разработки связаны с терригенным девонем. Над ними выявлено множество самостоятельных залежей в каменноугольных отложениях, приуроченных к локальным поднятиям. Всего в пределах Ромашкинского месторождения выявлено более 400 залежей нефти в 16 стратиграфических горизонтах [8, 18].

На юго-восточном склоне Южно-Татарского свода геотраверс пересекает крупные Сабанчинское, Туймазинское, Серафимовское месторождения. Они являются многопластовыми, но основным горизонтом разработки является преимущественно терригенный девон.

На западном склоне Южно-Татарского свода более широко развиты залежи нефти в каменноугольных отложениях, приуроченные к локальным поднятиям вдоль валообразных структур. Залежи нефти в терригенном девоне связаны здесь с малоамплитудными локальными поднятиями.

Далее к северо-западу геотраверс "Татсейс-2003" проходит по месторождениям юго-восточного склона Северо-Татарского свода, где запасы углеводородов значительно меньше, чем на Южно-Татарском своде. Регионально нефтеносны здесь девонские терригенные отложения. В каменноугольных отложениях залежи нефти приурочены к тектоно-седиментационным поднятиям. К Кукморской вершине Северо-Татарского свода приурочены небольшие месторождения в девонских отложениях.

В пределах Казанско-Кажимского авлакогена небольшие притоки нефти были получены на Сырьянской структуре в северной части Кировской области и в скважине № 1-Илеть на территории Республики Марий-Эл [3]. Последнее нефтепроявление для проведенных глубинных сейсмических исследований особенно важно, так как Илетская площадь расположена недалеко от геотраверса.

На территории Котельнического свода и восточного борта Московской синеклизы залежи нефти не обнаружены; нефтепроявления не отмечались.

#### О ПРИРОДЕ ОТРАЖАЮЩИХ ГРАНИЦ В КОНСОЛИДИРОВАННОЙ КОРЕ

При выполнении интерпретации данных глубинной сейсморазведки МОВ-ОГТ вопрос о природе сейсмических границ в земной коре является одним из центральных, от решения которого зависят основные результаты проведенных иссле-

дований. Решению этой фундаментальной проблемы посвящены труды Е.В. Каруса, Е.А. Козловского, О.Л. Кузнецова, Ю.И. Кузнецова, В.С. Ланева, Ю.Г. Леонова, В.Д. Нартикоева, В.Н. Николаевского, Н.И. Павленковой, В.М. Рыбалки, В.А. Трофимова, В.И. Шарова и многих других ученых. Изучение природы сейсмических границ в земной коре является одной из основных задач проводящегося в ряде районов мира сверхглубокого бурения. Так, в работе [7] М.В. Минц с соавторами на основе анализа данных ГСЗ и МОВ в районе Кольской сверхглубокой скважины и петрофизических параметров вскрытых скважиной горных пород отмечают:

1) скорости  $V_p$  для пород гнейсо-амфиболит-магматитового фундамента Печенгской депрессии практически не зависят от степени насыщенности разреза амфиболитами: значения 6.1–6.2 км/с зафиксированы на участках разреза, где их содержание не превышает первых процентов, и там, где ими образовано до 50% разреза;

2) упругие свойства пород различного состава с глубиной выравниваются;

3) начиная с некоторой глубины, фактором, определяющим изменение упругих свойств пород с глубиной, становится напряженное состояние горных пород;

4) приуроченность зарегистрированных по МОВ отражающих площадок к интервалам дополнительных тектонических напряжений, определенных на основании анализа некоторых технологических аспектов бурения; и, на этой основе, связь пологих сейсмических границ с особенностями современного напряженного состояния горных пород в земной коре; в соответствии с этим сейсмические границы могут быть связаны с неотектоническими и современными тектоническими процессами;

5) возможность существования "фантомных" (т.е. проявляющихся в определенный период и затем исчезающих) сейсмических границ, не имеющих вещественного выражения в геологической среде.

На основе этих и других изложенных в работе фактов авторы делают важнейшие выводы о том, что размещение субгоризонтальных отражающих границ в северо-восточной части Балтийского щита контролируется не вещественными характеристиками коры, т.е. не границами тех или иных пород, а скачкообразными возрастаниями уровня напряженного состояния горных пород. Отсюда вытекают два следствия:

- во-первых, о широких возможностях изучения земной коры геофизическими методами, в первую очередь, сейсморазведкой с тектонофизическими позициями;



• во-вторых, о неоправданности глубинных сейсмических построений, в которых “слои” рассматриваются как вещественно индивидуализированные геологические объекты.

В обобщающих работах академика Ю.Г. Леонова [4–6 и др.] обосновывается тектоническая природа отражений. Из других механизмов формирования отражений в сейсмически расслоенной нижней коре, как отмечает Ю.Г. Леонов, всерьез могут рассматриваться два из них: во-первых, насыщение нижней коры пластовыми магматическими телами мантийного происхождения... и, во-вторых, эффект повышенного содержания воды и флюидов. Однако в ходе последующих рассуждений Ю.Г. Леонов их не противопоставляет, а рассматривает как дополняющие один другой и делает вывод о том, что в образовании нижнекоревых глубинных надвигов ведущую роль играет триада теснейшим образом взаимосвязанных процессов: повышенный флюидопоток, метаморфизм и тектоническое течение вещества.

Многочисленными данными глубинной сейсморазведки убедительно показано, что в тектоническом строении платформ заметное место принадлежит разрывам листрической формы. Листрические разломы уже в течение многих десятилетий известны в каменноугольных бассейнах. Как отмечает Ю.Г. Леонов, листрические, выполаживающиеся вниз разрывы могут быть разного масштаба и присутствовать на любых уровнях. Если разрыв выходит из области хрупких деформаций и попадает в область пластических течений, он приобретает характер вязкого разрыва и, выполаживаясь, может сливаться с горизонтами пластического течения.

В работе [1] также говорится о разномасштабном листрическом раскалывании всей литосферы платформ и ее отдельных частей вплоть до самых приповерхностных слоев. Иерархия листрических разломов определяется, прежде всего, глубиной проникновения их субгоризонтальных частей в тектоносферу.

Большое внимание изучению природы сейсмических границ в фундаменте было уделено в Татарстане, который благоприятен для решения этой проблемы благодаря изученности. Здесь пробурено более 25 скважин, вскрывших архейско-нижнепротерозойские образования на глубину от нескольких сот метров до 4 км; во всех этих скважинах проведен расширенный комплекс геолого-геофизических исследований, в том числе АК, ГГК-П, ВСП; через все эти скважины проложены сейсмические профили МОГТ. Проведенное сопоставление данных сейсморазведки и результатов анализа керн и шлама, данных ГИС и

ВСП по сверхглубоким и специальным скважинам Татарстана [13] показало, что с разделами толщ разного петрографического состава, например, с прослоями очень плотных магнетитсодержащих пород, может быть связано образование отраженных волн. Но их интенсивность невысока, прослеживаемость на временных разрезах фрагментарна.

Основную же роль в формировании волновой картины играют границы, связанные с интенсивной динамической переработкой пород, с зонами дробления, катаклаза, милонитизации, что позволяет сделать вывод о тектонической природе этих границ. На временных разрезах они проявляются обычно в виде осей синфазности с выполаживающейся вниз (листрической) формой, что в соответствии с расчетами и экспериментальными данными В.Н. Николаевского [9, 10] может свидетельствовать о развитии нарушений в обстановке тангенциального сжатия.

Наклонные участки отражателей обычно выделяются менее уверенно; с увеличением крутизны они фиксируются уже не в виде осей синфазности, а по традиционным признакам прогнозирования разломов: смещениями и флексуобразными изгибами отражающих горизонтов, субвертикальными зонами резкого изменения интенсивности записи.

Сравнительно более интенсивные субгоризонтальные участки отражателей имеют различную протяженность, располагаются на разных глубинных уровнях и образуют видимую на сейсмических разрезах картину расслоенности земной коры. По результатам инклинометрии Новоелховской скважины № 20009 интервалы резкого изменения наклона ствола скважины соответствуют выявленным в фундаменте субгоризонтальным и наклонным отражателям, на что впервые обратил внимание И.Х. Кавеев (1991 г.). Эти отражатели являются, видимо, границами раздела разнонапряженных толщ [13]. Вероятно, вывод о тектонической природе границ в верхней части фундамента, основанный на сопоставлении фактических данных бурения и геофизических исследований, имеет в ряду других аргументов определенный вес в пользу аналогичной природы и нижних горизонтов земной коры.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКА ВОЛНОВОГО ПОЛЯ; ПРИНЦИПЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ

Волновое поле на полученных по геотраверсу “Татсейс-2003” временных разрезах по сравнению с ранее отработанными в этом регионе профилями глубинного МОГТ носит качественно новый по геологической информативности харак-

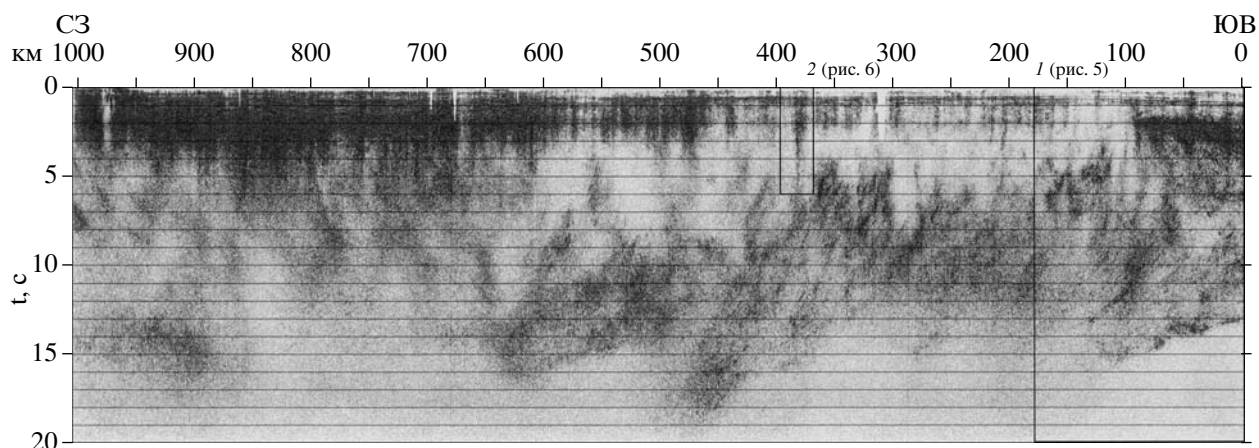


Рис. 3. Геотраверс "Татсейс-2003". Общий вид временного разреза. Черными линиями показаны границы фрагментов, иллюстрируемых на рисунках 5 и 6

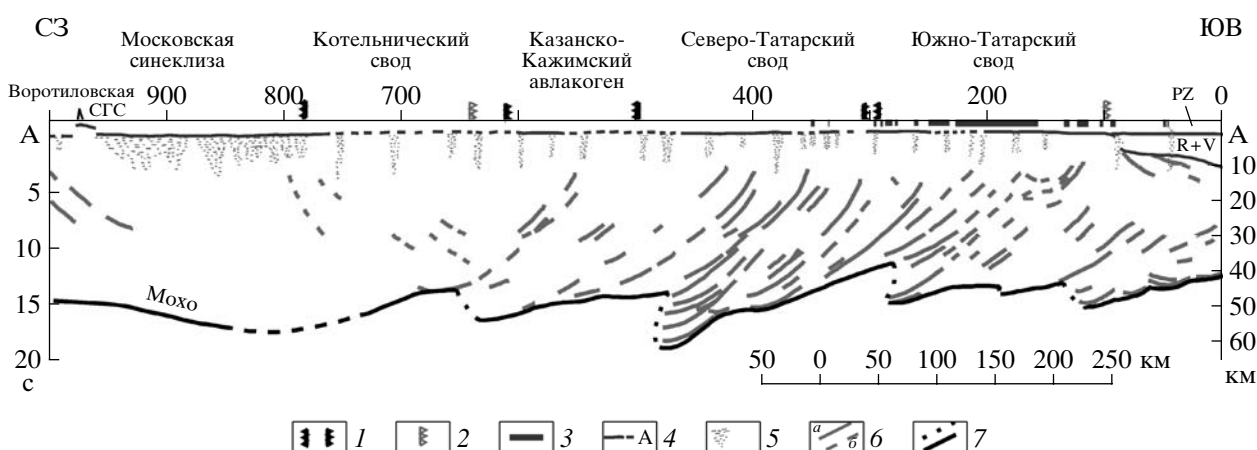


Рис. 4. Сейсмогеологический разрез земной коры по геотраверсу "Татсейс-2003"

1 – границы тектонических элементов первого порядка; 2 – уточненные границы тектонических элементов; 3 – нефтяные месторождения; 4 – поверхность кристаллического фундамента; 5 – предполагаемые субвертикальные зоны деформации; 6 – отражатели в консолидированной коре: а – уверенные, б – неуверенные; 7 – подошва расслоенной зоны – возможная граница М

тер. Это стало возможным благодаря более высокому технико-методическому уровню выполненных работ и оптимальной ориентировке профиля на большей его части, когда тектонические элементы и разломы пересекались преимущественно вкрест простирания. Рассмотрим основные особенности поля, видимые на временных разрезах.

### Наклонные отражатели

Главной, доминирующей особенностью волнового поля на больших временах является наличие наклонных восстающих в юго-восточном направлении осей синфазности. Причем наблюдается четко выраженная зональность: эти оси есть

в основном в юго-восточной части геотраверса (интервал 100–430 км), где расположены нефтяные месторождения (рис. 3, 4).

На увеличенных фрагментах этого же временного разреза структуру волновых пакетов, изменение наклонов отражателей с глубиной, их связь со строением осадочного чехла и размещением нефтяных месторождений можно изучать более детально.

В соответствии с изложенными в предыдущем разделе результатами предшествующих исследований и комплексного анализа геолого-геофизических данных по сверхглубоким скважинам Татарстана наиболее интенсивные отраженные волны в фундаменте имеют тектоническую природу. Основываясь на этом можно сделать вывод

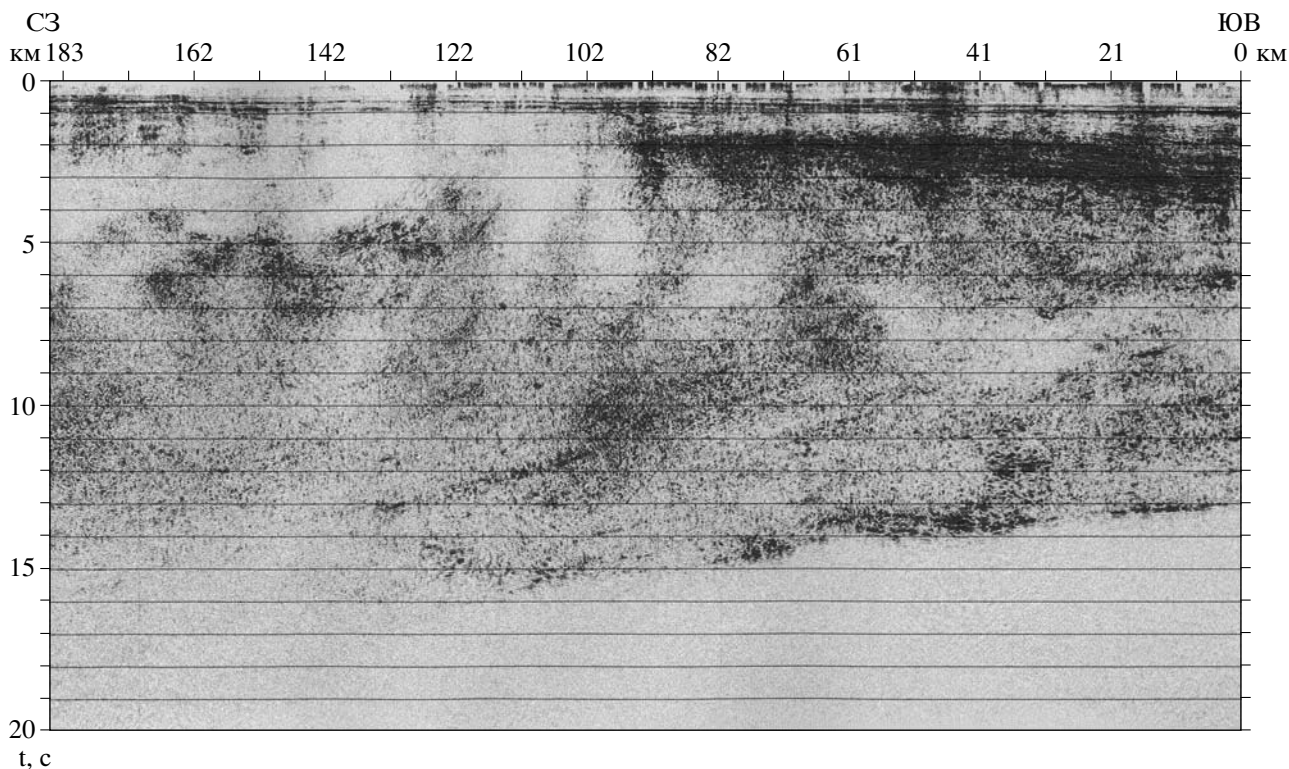


Рис. 5. Строение земной коры в юго-восточной части профиля (фрагмент 1 на рис. 3)

о том, что наклонные отражатели являются разломами и отображают зоны нарушенных, трещиноватых пород. Судя по форме отражателей, их выполаживанию с глубиной и примыканию к субгоризонтально расслоенным зонам, можно предположить, что образовались они в обстановке горизонтального сжатия и представляют собой взбросо-надвиговые структуры, выделявшиеся нами и ранее [12, 15, 16]. Современная тектоническая активность, наблюдающаяся в нефтяных районах Татарстана, говорит о том, что эти структуры “живут” и в настоящее время.

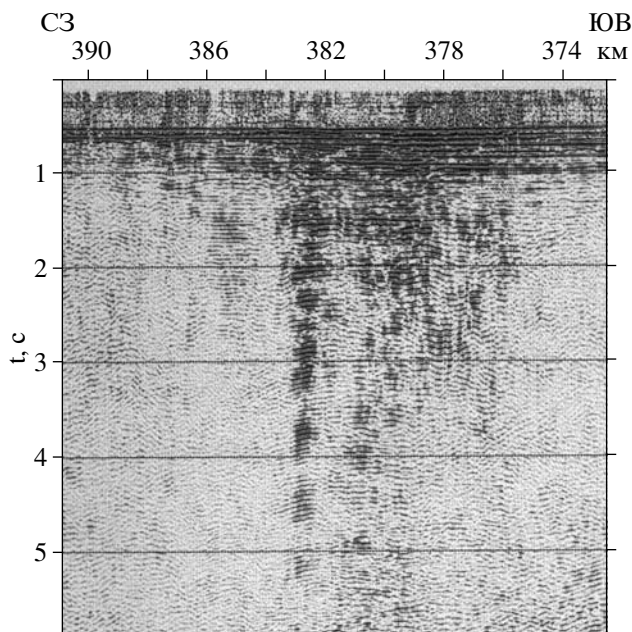
Видимые на временных разрезах верхние наиболее крутые участки отражателей имеют углы падения порядка  $35^\circ$ ; нижние более интенсивные их части – от  $15\text{--}20^\circ$  до нуля (рис. 5, см. рис. 3). Однако следует иметь в виду, что неискаженная информация по наклонам может быть получена, если профиль прошел вкrest простирания изучаемых границ и правильно выполнена процедура миграции. В условиях сложной и существенно трехмерной среды на это рассчитывать трудно. Тем не менее, закономерное восстание отражающих границ в земной коре в юго-восточном направлении, наличие явно выраженного преобладающего наклона позволяют предположить, что положение геотраверса было выбрано очень

удачно – вкrest простирания основных разломов, а углы их падения определены достаточно точно.

В некоторых пространственно-временных интервалах отражатели имеют разные наклоны и пересекаются. Это может быть связано с их выполаживанием на разных глубинных уровнях (разные горизонты срыва и течения вещества), а также с регистрацией боковых волн. В этой связи следует отметить целесообразность разработки методики глубинной 3D сейсморазведки и ее постановки на наиболее интересных участках.

Своими нижними частями наклонные отражатели примыкают к нижней субгоризонтально расслоенной коре, в ряде случаев пересекая ее и выполаживаясь на границе Мохоровичича. Однако в некоторых случаях эти отражатели пересекают уровень Мохо и проникают в верхнюю мантию, что наиболее четко видно в интервале профиля 430–480 км ( $t_0 = 15\text{--}19$  с). Конечно, можно предположить ступенеобразное изменение глубины Мохо, но столь большое, порядка 15–20 км, маловероятно. Наблюдаемые эффекты требуют объяснения, обосновывают необходимость дальнейшего увеличения глубинности исследований.

Интересным и требующим объяснения фактом является наличие существенных различий отражателей в нижней коре по частотному составу. При преобладающих в этой части разреза часто-



**Рис. 6.** Отображение субвертикальной динамической аномалии (фрагмент 2 на рис. 3)

тах ~16–18 Гц имеются волновые пакеты с гораздо более высокими частотами.

Таким образом, исходя из приведенных особенностей волнового поля и результатов ранее выполненных исследований, можно заключить, что каких-либо оснований для выделения границ вещественных комплексов по полученным временным разрезам не имеется. Регистрируемые наклонные отражатели и выполаживающиеся их части должны интерпретироваться как разломы и соответствующим образом наноситься на сейсмогеологические разрезы.

### Раздел Мохо

Раздел Мохо, определенный еще в начале прошлого века как резкая скоростная граница и принятый за подошву земной коры, был выявлен на основе изучения волн землетрясений и затем многократно подтвержден глубинными сейсмическими исследованиями, базирующимися, в основном, на изучении преломленных волн. На принципе выделения раздела М по данным глубинных исследований на близвертикальных лучах, в том числе МОВ-ОГТ, единства взглядов у разных ученых нет. По нашему мнению и вслед за рядом исследователей, логично определять границу Мохо как подошву сейсмически расслоенной нижней коры. Хотя строгого доказательства этому нет,

при интерпретации данных за основу нами был принят именно этот принцип.

На полученном по геотраверсу временном разрезе эта граница прослеживается в целом довольно уверенно (см. рис. 3). На большей части профиля заметно ее восстание в юго-восточном направлении, особенно четко в интервале 0–140 км, где время ее регистрации уменьшается от 16 до 13 с или, в масштабе глубин, – от 52–53 км до 42–43 км. Восстание границы М не монотонно. Так, например, на 480-м, 280-м и 120-м километрах профиля происходит резкое, ступенчатое изменение глубины расслоенной зоны. Интересно отметить, что юго-восточнее этих точек происходит аномальное увеличение ее мощности и, как правило, именно здесь отходят от нее иногда веерообразно наиболее интенсивные наклонные отражатели. Судя по глубине подошвы расслоенных интервалов в аномальных зонах (до 60–65 км или, в масштабе времени, до 18–19 с), они находятся уже в верхней мантии.

В северо-западной части профиля, примерно в интервале 650–850 км, качество прослеживаемости границы М ухудшается. Тем не менее, здесь довольно уверенно прогнозируется ее прогибание. Реальность этого прогибания косвенно подтверждается сменой направления падения отражающих границ в вышележающей толще (во временном интервале 5–12 с). Однако природа этой синклинальной формы неясна. Не исключено, что определенное влияние на характер волновой картины и на рельеф границы М оказало довольно резкое (на 60–70°) изменение направления профиля (примерно на 700-м километре).

Интересно отметить, что при более детальном рассмотрении подошва расслоенной зоны, отождествляемая на значительном протяжении профиля с границей М, на некоторых участках крайне неоднородна. Например, в начале профиля (интервал 0–110 км) здесь наблюдается чередование очень интенсивных и слабых осей синфазности разной формы и крутизны (см. рис. 5). Возможно, эти эффекты связаны с образованием отражений границ не в плоскости профиля, возможно, с другими причинами.

Подводя итог описанию волновой картины, характеризующей глубинное строение земной коры, отметим, что сам облик временного разреза, рисунок осей синфазности свидетельствуют о широком развитии в юго-восточной части исследуемой территории взбросо-надвиговых дислокаций. Судя по современной тектонической активности в районе нефтяных месторождений Южно-Татарского свода, в Прикамской зоне, в районе р. Вятки, эти дислокации “живут” и в настоящее время. Преобладающее горизонтальное переме-

щение – в юго-восточном направлении. Вместе с тем, в начале профиля (в интервале 0–60 км) на временах 2–4 с наблюдаются наклонные оси противоположного направления (см. рис. 3–5), что, вероятно, объясняется влиянием Урала.

### Субвертикальные динамические аномалии

Наличие субвертикальных динамических аномалий отмечается во многих районах и многими исследователями. Однако вопрос об их природе остается открытым. Одни склонны их относить к технологическим помехам, возникшим (или подавленным?) при обработке данных. Другие считают, что подобные аномалии отображают строение геологической среды, вероятные зоны разломов, трещиноватости, деструкции.

По результатам глубинных исследований МОВ-ОГТ в Волго-Уральской провинции такие аномалии впервые были выявлены в 1993 г. в Татарстане на региональном профиле 7 в районе Карлинских дислокаций, а затем на региональных профилях 039411 и 039511 [14 и др.]. Они представляли собой небольшие по латерали (1–2 км) сужающиеся вниз субвертикальные зоны высокой интенсивности записи. Как правило, они начинались вблизи кровли фундамента и прослеживались в глубь земной коры, достигая в ряде случаев наклонных или субгоризонтальных отражателей на больших глубинах, иногда до 15–20 км.

Субвертикальные аномалии, в некоторых случаях очень интенсивные, выделяются и на геотраверсе, например, в интервале профиля 382–383 км (рис. 6, см. рис. 3) и др. Для правильной интерпретации данных глубинной сейсморазведки принципиальное значение имеет выяснение природы этих аномалий. Поэтому данному вопросу мы уделили большое внимание. Прежде всего, отметим, что их характеристики по сравнению с описанными ранее практически не изменились. Обычно они выделяются в интервале 1–3 с, 1–4 с, но в некоторых случаях прослеживаются до 6–7 с. При большой временной мощности лучше видно смыкание субвертикальных динамических аномалий с наклонными отражателями.

Сравнение амплитудно-частотных спектров, полученных непосредственно по аномалиям и по вмещающей толще, показывает, что в одних случаях частотный состав записи почти не отличается; в других – на аномалии запись более низкочастотная, почти монохроматическая.

На некоторых наиболее ярко выраженных субвертикальных динамических аномалиях нами дополнительно был проведен анализ сейсмограмм и разрезов неполнократного суммирова-

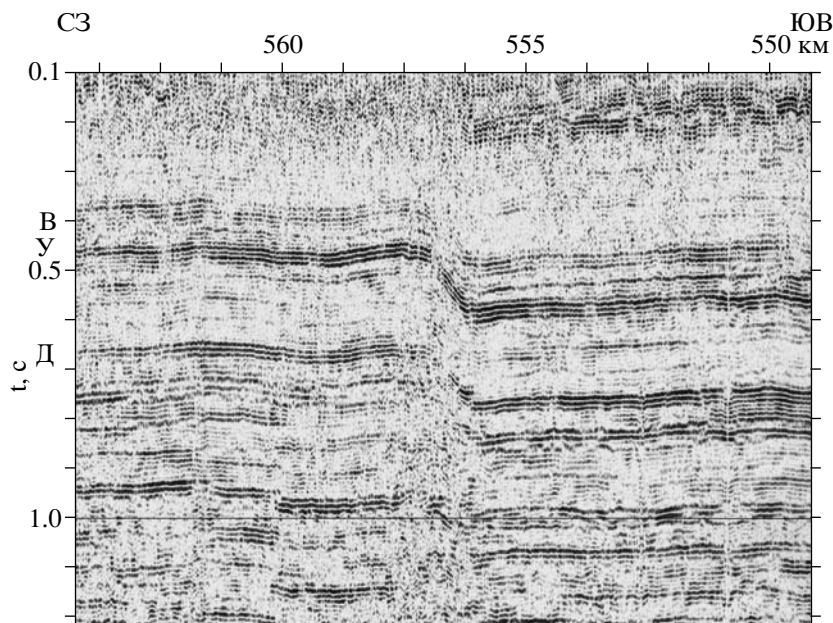
ния. В результате с достаточно высокой степенью уверенности был сделан вывод о том, что на сейсмических временных разрезах субвертикальные динамические аномалии отображают реальные геологические тела. Об этом же свидетельствуют полученные нами ранее результаты анализа неустойчивости гравитационного поля (метод НПП) и содержания микроэлементов в почвах.

Таким образом, в результате проведенных исследований получены доказательства существования субвертикальных геологических тел. Но что они собой представляют, пока не ясно. Высказанное ранее [14] предположение о том, что они являются субвертикальными зонами трещиноватых, нарушенных пород, наиболее вероятно, но пока не доказано. Необходимы дополнительные исследования. В будущем было бы целесообразно пробурить две специальные скважины (или углубить имеющиеся): одну в пределах субвертикальной динамической аномалии, вторую – рядом с ней, провести в них расширенный комплекс геолого-геофизических и геохимических исследований и сравнительный мониторинг.

И вторая сторона проблемы: если мы определились с тем, что субвертикальные динамические аномалии отражают реально существующие геологические образования, то необходима разработка приемов, улучшающих их выделение на временном разрезе. Вообще же вопрос о технологии выделения субвертикальных аномалий в будущем требует специального рассмотрения.

### ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ИХ СВЯЗЬ СО СТРОЕНИЕМ И НЕФТЕНОСНОСТЬЮ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА

Как уже говорилось выше, выявленные в средней части земной коры в районе нефтяных месторождений западного склона Южно-Татарского свода динамические аномалии послужили обоснованием для расширения глубинных сейсмических исследований в нефтяных регионах, но должного объяснения они не получили. К пониманию проблемы приблизили исследования МОВ-ОГТ в Самарской области [15, 16], которые показали приуроченность месторождений Жигулевского вала к глубинному взбросо-надвику. Настоящими же исследованиями на геотраверсе “Татсейс-2003” взбросо-надвиговая природа тектонических границ показана со всей очевидностью. Возникновение же наблюдавшихся ранее объемных аномалий может быть объяснено возможной регистрацией волн от плоскостей (или, правильнее, поверхностей) разломов, когда профиль прохо-



**Рис. 7.** Флексура по горизонтам палеозоя. Ключ-Тулбеньский участок. По взброшенному крылу виден разрыв сплошности слоев  
В, У, Д – отражающие горизонты, связанные с терригенными отложениями среднего и нижнего карбона и верхнего девона

дил вдоль их простирания или близко к этому положению.

На представленных результативных временных разрезах четко видно, и это отображено на сейсмогеологическом разрезе (см. рис. 3, 4), что строение земной коры и верхней мантии под нефтяными месторождениями Южно-Татарского свода и юго-востока Северо-Татарского свода (интервал профиля 50–360 км) кардинальным образом отличается от других территорий:

- во-первых, здесь наблюдаются глубинные взбросо-надвиги, характеризующиеся высокой отражательной способностью; в северо-западной части профиля в интервале от 610 км и до его окончания (Котельнический свод, Московская синеклиза) наклонные отражатели выделяются, но противоположного наклона и с намного меньшей отражательной способностью;

- во-вторых, в “нефтяной” части профиля наклонные отражатели доходят до уровня Мохо и в ряде случаев входят в верхнюю мантию (интервалы 480–430 км, 290–240 км и др.); на северо-западе таких эффектов не наблюдается; из указанных интервалов наиболее интересен первый, где на временах 15–19 с (ориентировочные глубины 50–65 км) выделяется локальная зона с интенсивной и контрастной по сравнению с окружающей толщей сейсмической записью; именно отсюда ве-

рообразно отходят несколько наклонных отражателей;

- в-третьих, характер самой границы М также меняется: на северо-западе территории эта граница ведет себя достаточно плавно, погружаясь в восточном направлении от 48 до 54 км (интервал профиля 1000–890 км), а в юго-восточной части профиля на фоне моноклинального подъема наблюдаются резкие изменения ее глубины, сопряженные с отмеченными выше аномальными зонами в верхней мантии.

Если опираться на выявленные отличия, то изученные геотраверсом территории Котельнического свода и Московской синеклизы (интервал профиля 610–1000 км) малоперспективны. Хотя здесь нужно сделать оговорку в связи с резким изломом профиля (примерно на 700-м километре) и неоптимальным в связи с этим прохождением этих тектонических элементов, особенно Московской синеклизы.

Особое место в сравнительной оценке строения земной коры и перспектив нефтеносности занимает Казанско-Кажимский авлакоген (по существующей тектонической схеме – интервал профиля 500–610 км). Здесь, как и в нефтяных районах, наблюдается довольно интенсивный наклонный отражатель, что существенно повышает перспективы этого участка, названного нами Ключ-Тулбеньским. Вообще же, судя по количе-

ству (или плотности) наклонных отражателей в земной коре, в интервале профиля 400–570 км могут быть открыты небольшие нефтяные месторождения.

В районе предполагаемого выхода наклонного отражателя в верхнюю часть фундамента, по горизонтам осадочного чехла выделяются разрывные нарушения, наиболее крупное из них – на 557 км профиля. Привлечение результатов региональных работ, ранее проведенных в этом районе, показало, что это нарушение трассируется по площади в субмеридиональном направлении, соответствует Вятской системе дислокаций и коррелируется с изменениями магнитного и гравитационного поля. Воспроизведение временного разреза по этому участку геотраверса в более крупном масштабе показывает, что тектоническое нарушение представляет собой флексуру, осложненную разрывами (рис. 7). Плоскость нарушения имеет наклонный характер, но в осадочном чехле она более крута, чем в глубинных частях земной коры.

Понимая, что вопрос о связи строения осадочного чехла с глубинной тектоникой является большим, важным и заслуживающим отдельного рассмотрения, отметим еще один интересный факт. В юго-восточной части геотраверса, где, вероятно, вследствие влияния Урала наблюдается смена направлений наклонов отражателей на противоположный, отмечаются резкие изменения и в строении нефтяных месторождений. Так, на Туймазинском месторождении крутым является юго-восточный склон, а на Серафимовском, расположенном юго-восточнее границы смены наклонов, – северо-западный.

Возвращаясь к характеристике строения консолидированной земной коры и верхней мантии, констатируем, что столь разительные их отличия под нефтяными месторождениями Южно-Татарского и Северо-Татарского сводов от северо-западных территорий, наличие под этими месторождениями глубинных литрических разломов, уходящих своими корнями в земную кору и верхнюю мантию, позволяют, во-первых, сделать вывод о значительной роли глубинных факторов в формировании нефтяных месторождений. Во-вторых, ставить вопрос о целесообразности использования выявленных особенностей в качестве критериев оценки перспективности слабоизученных территорий и поисков крупных скопленных углеводородов.

Так, пользуясь этими критериями, можно вполне обоснованно провести западную границу Волго-Уральской нефтегазоносной провинции (по

геотраверсу это примерно 570-й километр) и оптимизировать планирование нефтепоисковых работ.

Рассмотрим теперь субвертикальные динамические аномалии и обусловившие их геологические образования. Как уже говорилось, наиболее вероятно, что они представляют собой субвертикальные зоны нарушенных, трещиноватых пород. Эти зоны обычно имеют ширину по профилю 1–3 км. В юго-восточной части профиля они проникают на глубину 7–10 км, а в некоторых случаях – до 15 км (интервалы профиля 91–93 км, 382–383 км и др.). В северо-западной части профиля (Московская синеклиза, Котельнический свод) картина иная: субвертикальные аномалии здесь развиты гораздо шире и глубина их проникновения в земную кору сравнительно больше и может достигать 20 и более километров. Степень их контрастности по отношению к вмещающей среде различна и, вероятно, связана с относительным разуплотнением пород в субвертикальных зонах. Интересным фактом является приуроченность наиболее контрастных аномалий к северному (382–383 км) и южному (296–298 км) бортам Нижнекамского прогиба Камско-Кинельской системы.

Анализ пространственного размещения субвертикальных динамических аномалий показал их наличие под большинством пересеченных геотраверсом месторождений. Так, они выделены под Усень-Ивановским, Серафимовским, Ромашкинским, Новоелховским, Сарапалинским, Шереметьевским, Шийским (Среднекирменский и Малокирменский участки) месторождениями. Менее уверенно или с некоторым смещением – под Туймазинским, Нижнеуратьминским и Субханкуловским месторождениями. Не выделяются эти аномалии под Сабачинским и Уратьминским месторождениями, что может быть связано не только с их отсутствием, но и с тем, что аномалии имеют небольшие размеры по латерали и профиль через них просто не прошел.

То есть определенная связь размещения нефтяных месторождений с субвертикальными динамическими аномалиями намечается: такие аномалии наблюдаются в пределах месторождений или в непосредственной близости от них. Но означает ли это, что если есть аномалии, то есть и месторождение? Конечно, нет. Иллюстрацией этому является северо-западная часть профиля, где аномалии очень сильны, но нефти нет. Возможно, наличие аномалий является необходимым, но недостаточным условием. Для формирования же месторождения должен иметь место весь вышеуказанный комплекс факторов, в том числе наличие этих аномалий. Поэтому при оценке перспектив территорий и при поисковых работах наличие суб-

вертикальных динамических аномалий, видимо, следует учитывать как дополнительный признак.

Таким образом, в результате выполненного анализа установлена связь размещения нефтяных месторождений с глубинным строением земной коры и верхней мантии. Вероятно, после подтверждения выявленных закономерностей в других районах их будет возможно использовать в практике нефтепоисковых работ, в оценке перспектив крупных территорий. Вместе с тем, уже сейчас по результатам выполненных на геотраверсе работ можно наметить участки, перспективные для постановки дальнейших исследований.

Прежде всего, это отмеченный выше Ключ-Тулбеньский участок. Интересным также представляется участок, названный нами Кукморским, расположенный на территории Республики Татарстан, несколько южнее Кукмора. Здесь наблюдаются интенсивные наклонные отражатели, к которым в интервале 382–383 км на времени 6–7 с примыкает субвертикальная динамическая аномалия.

Восточная часть Башкортостана к слабоизученным не относится, но здесь развита мощная толща рифейско-вендских отложений, о перспективах изучения которой также позволяют сказать полученные по геотраверсу результаты.

Обращают на себя внимание следующие факты:

1) наличие в интервале 0–92 км ( $t_0 = 1.7–3.5$  с) очень интенсивных отражений, связанных с рифейскими отложениями (см. рис. 3, 5);

2) подход к подошве рифейского комплекса глубинных наклонных отражателей юго-восточного восстания, а также противоположного;

3) гораздо меньшая нефтеносность палеозойского осадочного чехла в районе развития рифейско-вендских отложений, где открыто только небольшое Усень-Ивановское месторождение. Для сравнения: рядом, но за пределами развития додевонского комплекса расположены Серафимовское, Туймазинское, Субханкуловское месторождения.

В соответствии с разрабатываемой нами концепцией формирования нефтяных месторождений путем восходящей миграции по нефтеподводящим каналам, которые, как свидетельствуют результаты глубинной сейсморазведки МОВ-ОГТ, представляют собой наклонные отражатели с возможным сочетанием в некоторых районах с субвертикальными нарушенными зонами, пересекаемая геотраверсом мощная рифейско-вендская толща может играть роль экрана. Т.е., возможно, нефть следует искать под этим экраном. Упомянутое же выше Усень-Ивановское месторождение располо-

жено в районе субвертикальной аномалии, где изолирующие свойства покрывки были нарушены.

В настоящее время пока невозможно сказать, какие именно отложения являются покрывкой. Но использовать высказанное предположение в качестве рабочей гипотезы поисков нефти в рифейских отложениях и в подстилающей толще фундамента имеет смысл. Поэтому в этом районе (и других подобных) следует провести детальные тематические исследования, основанные на переработке и переинтерпретации данных сейсморазведки и скважинных исследований.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итоги выполненной работы, констатируем:

1. Отработан уникальный профиль, пересекающий Волго-Уральскую нефтегазоносную провинцию и имеющий протяженность более 1000 км. В результате получены высокоинформативные материалы, свидетельствующие о правильности постановки задач и проектировании работ, об оптимальности примененных технических средств и методических приемов.

2. Главным научным и практическим результатом проведенных исследований является установление связей нефтеносности осадочного чехла со строением земной коры и верхней мантии, что имеет фундаментальное значение, может свидетельствовать о значительной роли глубинных факторов в формировании месторождений углеводородов и после подтверждения выявленных признаков в других районах использоваться в практике нефтепоисковых работ.

3. Обоснован тектонический характер наклонных отражателей в земной коре и верхней мантии. Показано, что субвертикальные динамические аномалии обусловлены реальными геологическими образованиями. Предложен комплекс исследований для объяснения их природы.

4. Запланированные на геотраверсе глубинные сейсмические исследования свою задачу выполнили полностью. Вместе с тем, полученные результаты позволяют обосновать ряд рекомендаций по направлениям и методике дальнейших исследований. Основными из них являются:

1) Отработка по методике глубинной сейсморазведки МОВ-ОГТ региональных профилей:

- через Московскую синеклизу;
- через Казанско-Кажимский прогиб;



а также профиля-“рассечки” для увязки геотраверса “Татсейс-2003” со сверхглубокими скважинами на Южно-Татарском своде.

2) Проведение опытно-методических работ, направленных на совершенствование изучения глубинного строения земной коры и выявление природы регистрируемых аномалий, а именно:

– разработка и внедрение методики трехмерных глубинных сейсмических исследований;

– опробование трехкомпонентных сейсмических исследований с увеличенной до 60 с (для продольных волн) длиной записи;

– бурение специальных параметрических скважин на субвертикальные динамические аномалии и на наклонные отражатели с последующим мониторингом геофизических и геохимических параметров.

3) Проведение обобщающих научно-исследовательских работ, направленных на:

– взаимоувязку геотраверсов “Уралсейс-95” и “Татсейс-2003”, получение единого профиля от Урала до Московской синеклизы и последующую комплексную интерпретацию данных;

– обобщение результатов ранее проведенных глубинных сейсмических исследований МОВ-ОГТ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айзенберг Р.Е., Гарецкий Р.Г. Листрическая тектоника платформ // Докл. РАН. 1996. Т. 346. № 4. С. 501–504.
2. Глубокое бурение в Пучеж-Катунской импактной структуре / Научные редакторы В.Л. Масайтис, Л.А. Певзнер. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1999. 392 с.
3. “Дикая кошка” в Марий-Эл дала нефть // Нефть и капитал. 2002. № 11. С. 45–46.
4. Леонов Ю.Г. Платформенная тектоника в свете представлений о тектонической расслоенности земной коры // Геотектоника. 1991. № 6. С. 3–20.
5. Леонов Ю.Г. Строение литосферы в отраженных волнах // Геотектоника. 1994. № 4. С. 85–88.
6. Леонов Ю.Г. Тектоническая подвижность коры платформ на разных глубинных уровнях // Геотектоника. 1997. № 4. С. 24–41.
7. Минц М.В., Колпаков Н.И., Ланев В.С., Русанов М.С. О природе субгоризонтальных сейсмических границ в верхней части земной коры (по данным Кольской скважины) // Геотектоника. 1987. № 5. С. 62–71.
8. Муслимов Р.Х. Потенциал фундамента нефтегазоносных бассейнов в пополнении резервов УВ-сырья в XXI веке // Международная научно-практическая конференция “Прогноз нефтегазоносности фундамента молодых и древних платформ”. Казань: Изд-во Каз. ун-та, 2001. С. 61–63.
9. Николаевский В.Н. Волноводы земной коры // Природа. 1987. № 11. С. 54–60.
10. Николаевский В.Н. Геомеханика и флюидодинамика. М.: Недра, 1996. 447 с.
11. Ситдииков Б.С. Петрографический состав и геологическое строение докембрийских образований в разрезе параметрической Миннибаевской скважины 20000 // Глубинные исследования докембрия востока Русской платформы. Казань: Татарское кн. изд-во, 1980. С. 21–37.
12. Трофимов В.А. Структуры горизонтального сжатия на территории Татарстана и северной части Оренбургской области // Докл. РАН. 1993. Т. 329. № 4. С. 476–479.
13. Трофимов В.А. Сейсморазведка МОГТ при изучении строения докембрийского фундамента востока Русской плиты. М.: Недра, 1994. 90 с.
14. Трофимов В.А. Глубинные сейсмические исследования – шаг к пониманию процесса формирования крупных месторождений углеводородов // Состояние и перспективы использования геофизических методов для решения актуальных задач поисков, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых: Материалы научно-практической конференции. Октябрьский, 1999. С. 28–30.
15. Трофимов В.А. Региональные сейсморазведочные работы в Волго-Уральской нефтегазоносной провинции // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. М.: ВНИИОЭНГ, 2004. № 12. С. 42–47.
16. Трофимов В.А., Романов Ю.А., Хромов В.Т. Результаты глубинных сейсмических исследований МОВ-ОГТ в Самарской области // Нефтегазовая геология, освоение ресурсов и запасов углеводородов: Сборник научных трудов к 70-летию ИГиРГИ. М.: ИГиРГИ, 2004. С. 197–216.
17. Трофимов В.А., Хуснимарданов Н.М., Трофимов А.В. Глубинные сейсмические исследования МОВ-ОГТ на геотраверсе Воротиловская СГС–Пижма–Яранск–Мари-Турек–Кукмор–Альметьевск–Стерлитамак // Георесурсы. Казань, 2004. № 1(15). С. 35–36.
18. Юсупов Б.М., Веселов Г.С. Размещение нефтяных месторождений Татарии. М.: Наука, 1973. 128 с.

Рецензенты: Ю.А. Волож, Ю.Г. Леонов

## Deep CMP Seismic Surveying along the Tatseis-2003 Geotraverse across the Volga–Ural Petroliferous Province

V. A. Trofimov

*Institute of Geology and Exploitation of Combustible Fuels, ul. Vavilova 25, korp. 1, Moscow, 117312 Russia  
e-mail: vatgeo@yandex.ru*

**Abstract**—The objective, methods, and main results of deep CMP seismic surveying along the Tatseis-2003 geotraverse are discussed. This geotraverse crosses the Volga–Ural petroliferous province from the northwest to the southeast for more than 1000 km and is linked with the well-known Uralseis-95 geotraverse by an additional profile. The main objective of this surveying was to study the structure of sedimentary cover and the Earth's crust as a whole in the North Tatar Arch, Kazan–Kazhim Trough, Kotel' nich Arch, and the southeastern Moscow Syncline in comparison with the petroliferous South Tatar Arch. The applied technology (telemetric stations, powerful vibrators, a 12-km spread, a common midpoint fold of 60, and a recording time of 20 s), the planning of seismic exploration with consideration of the available geological and geophysical information, and special processing of the data—all this provided the high-quality time sections that allowed solution of the geologic problems. The main scientific and applied results of the investigations are establishment of the links between petroleum resource potential of the sedimentary cover and the structure of the Earth's crust and upper mantle. These data are of basic importance and testify to the considerable role of deep factors in the formation of hydrocarbon fields. After these factors are tested in other regions, the revealed indications may be used in petroleum exploration. The tectonic nature of inclined reflectors in the Earth's crust and upper mantle is substantiated. It is shown that the near-vertical dynamic anomalies are caused by real geologic bodies. A complex of investigations is proposed for their further interpretation. The deep seismic surveying along the geotraverse fulfilled its task completely. At the same time, the results obtained allow recommending lines of further research and their methods. It would be expedient to perform generalizing scientific research aimed at coordinating the Uralseis-95 and Tatseis-2003 geotraverses in order to develop a common profile from the Urals to the Moscow Syncline, provide complex interpretation of these data, and integrate the results of the previously performed deep CMP seismic surveying.