

ВЫДЕЛЕНИЕ И КАРТИРОВАНИЕ ГЛУБИННЫХ РАЗЛОМОВ ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ И ИХ ПРОЯВЛЕНИЕ В ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

Владимир Степанович Дружинин,
druvs@mail.ru
Николай Иванович Начапкин,
nachapkin@mail.ru
Вячеслав Юрьевич Осипов
usc_slava@mail.ru

Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН
Россия, Екатеринбург

Цель исследования. Выделение и картирование глубинных разломов верхней части литосферы по сейсмическим данным и их проявлению в геофизических полях.

Актуальность работы. Информация о глубинных разломах содержится в результатах бурения сверхглубоких скважин до глубины 12 км и сейсмических исследований. Однако авторские варианты разрезов ГСЗ часто обходятся простыми моделями без разломов. Поэтому рассмотрение данного вопроса является актуальным.

Методы исследований. Тематические работы по анализу обобщенной сейсмической информации по профилям ГСЗ. Составление разрезов и схем консолидированной коры юго-восточной окраины Уральского региона.

Результаты и их применение.

– Глубинные разломы и субширотные дислокации, дополненные диагональными разломами, создают пространственно сложную картину строения земной коры. Игнорирование подобной ситуации приводит к ошибочным структурно-тектоническим построениям. В частности, это касается регионального картирования консолидированного фундамента и низов осадочного слоя.

– Нелинейный характер расположения основных подразделений Уральского региона наиболее рельефно проявлен в пограничной структуре по восточной окраине собственно урала, выделенных в диапазоне широт 56°–70° с.ш. На юго-востоке Уральской складчатой системы она представлена переходной зоной, включая гранитные массивы Зауралья и западную часть Тюменско-Костанайского прогиба. Состоит из нескольких глубинных разломов, которые имеют общее северо-восточное направление с отклонениями по зонам субширотных дислокаций до 50–70 км.

– Переходная зона имеет иную природу, чем пограничные структуры континентальной коры рифтовой природы. Она создана перемещением с запада вулканогенно-осадочных отложений D–C и расположена на древнем Северо-Казахстанском поднятии, что подчеркивается западным падением глубинных разломов. Подобный вывод имеет прогностическое значение при поисках месторождений УВ в нижерасположенных отложениях Приуральской области Западно-Сибирской нефтегазовой провинции.

Выводы. Информация о глубинных разломах имеется в регистрируемых геофизических полях. Актуальной задачей является разработка новых методов их анализа и обработки, исходя из разломно-блоковой модели, адекватной реальной геосреде.

Ключевые слова: глубинные разломы, профили ГСЗ, Урал, Северо-Казахстанский мегаблок, переходная зона, геодинамические преобразования.

Введение
Для решения принципиальных вопросов регионального картирования, геодинамики, сейсмотектоники и минерагенического прогнозирования необходим такой важный элемент геологической среды, как глубинный разлом (ГР). Достоверность 3D разломно-блоковых геолого-геофизических моделей верхней части литосферы (ВЧЛ) как наиболее адекватных геологической среде возрастает при наличии надежной информации о глубинных разломах, выделенных по профилям ГСЗ. Однако вопрос о выделении разломов по сейсмическим данным остается открытым. На многих авторских вариантах сейсмических разрезов земной коры они отсутствуют [1]. Безразломные сейсмические модели земной коры широко распространены за рубежом и в России. Это, например, относится к информации последних лет по широкомасштабным работам в Арктике [2–5]. В результате происходит подмена реальных разломно-блоковых моделей ВЧЛ их упрощенным вариантом – градиентно-слоистой моделью [6, 7].

Вопрос о разломах приобретает большое значение при изучении строения более глубоко залегающих отложений нефтегазовых провинций, включая основания осадочных бассейнов [8], решении проблемы глубинной нефти. Выделение глубинных разломов по комплексу геолого-геофизических данных применяется при исследовании эволюции развития структур земной коры [9, 10].

Возникла странная ситуация: в природе глубинные разломы должны быть, а на сейсмических разрезах их нет. Поэтому проблема глубинных разломов является актуальной и требует своего решения. Для этого как нельзя лучше подходит Уральский регион, где проблеме уделялось большое внимание еще на ранней стадии работ по методу ГСЗ (Свердловское пересечение) и впоследствии при анализе и обобщении всей сейсмической информации [11, 12].

Состояние проблемы

Общепринятые параметры ГР: глубинность (заложение в земной коре и верхах верхней мантии); протяженность в пространстве не менее 500–1000 км (с учетом отклонения от основного направления); аномальность структурно-тектонических форм, геофизических и геохимических параметров; предполагаемая повышенная проницаемость.

Широко практикуется выделение глубинных разломов по геофизическим, геоморфологическим, аэрокосмическим съемкам. Но из-за интерференционного характера полей и, соответственно, неоднозначности построений эта информация имеет в основном вспомогательный характер.

Сейсмическая информация по ГР ограничена следующими обстоятельствами. Технология ГСЗ ориентирована в основном на изучение просто устроенных сред. Это касается как системы наблюдений для изучения земной коры [13], так и обработки информации по технологии математического лучевого моделирования волнового поля, не адекватного реальной разломно-блоковой модели земной коры и верхней мантии [2–5]. Но реальная среда на примере Уральского

региона представлена разломно-блоковыми моделями со сложным характером распределения разномасштабных неоднородностей как по глубине, так и в пространстве. В первую очередь, это было установлено на Свердловском широтном пересечении, отработанном по плотным системам непрерывного профилирования, которые позволили выделить в сейсмическом поле аномальные дифрагированные волны, соответствующие контрастным неоднородностям земной коры [11]. Одновременно была установлена тектоническая роль глубинных разломов как пограничных структур между блоками, отличающихся по строению и физическим параметрам. В это же время была предпринята попытка их картирования с использованием редкой системы профилей и районирования потенциальных полей по их относительным максимумам [11].

Следующей особенностью глубинных разломов является их тектоническая позиция как «разделителя» между блоками, отличными по специфике строения земной коры и верхов верхней мантии и по скоростным параметрам. Этот признак был основным при переходе к системе профилейно-площадного дифференциального зондирования, по которой проводены начиная с Красноуральского профиля последующие наблюдения методом ГСЗ Баженовской геофизической экспедицией. При переходе в конце XX столетия на технологию стандартного ОГТ с увеличением времени регистрации сейсмических волн выделение глубинных разломов стало проблематичным. На содержание сейсмогеологических разрезов оказала влияние господствующая гипотеза плиттектоники: на разрезах присутствовали глубинные литрические разломы, не подкрепленные, по крайней мере, для Уральского региона, временными сейсмическими разрезами. Показательным в этом отношении является геотраверс Урсейс, выполненный по плотной системе ОГТ. Неучет особенностей сейсмической модели консолидированной коры (сложная разломно-блоковая, гетерогенная среда) привел к многовариантности сейсмических разрезов при использовании разных технологий обработки сейсмической информации [13]. В этом отношении заслуживает внимания подход Н.А. Караева, который применил разработанный им метод построения разрезов исходя из преобладания в сейсмическом поле рассеянных волн. На рис. 1 представлен фрагмент такой модели по восточной оконечности Урсейса в сравнении с сейсмическим разрезом ОГТ. Основные тектонические элементы разреза, выделенные по близрасположенному Троицкому профилю на схеме изоамплитуд поля рассеянных волн, сопоставимы. Новые возможности сейсморазведки 3D-ОГТ проиллюстрированы результатами обработки на основе формирования поля энергии рассеянных волн (ФП-технологии), представленными срезами 3D-поля синергетических сингулярностей продуктивного девонского интервала и додевонской части разреза коры [8]. Из представленных в этой статье рисунков видно, что тектоническая нарушенность весьма значительна и в верхней части консолидированного фундамента. Присутствие в регистрируемом сейсмическом поле рассеянных волн и их неучет может приводить к значительным структурным искажениям, особенно при 2D наблюдениях.

Содержание исследований

В качестве примера для решения поставленных вопросов рассмотрен юго-восточный район Урала. Данная территория пока не охвачена обобщающими исследованиями методом ГСЗ, аналогичными выполненным в более северных широтах [12, 14, 15]. Приведены четыре сейсмических разреза верхней части литосферы (ВЧЛ) (рис. 2), два из которых – Тараташский и Троицкий – приходятся на Тараташский выступ, выдвинутый далеко на восток, и Уфимское поднятие Западного Урала. Два других профиля: Свердловское пересечение на севере, и Темиртау-Куйбышев на юге рассматриваемой площади протяженностью ~ 800 км; разрез по восточной части геотраверса Урсейс (рис. 1) приведен в качестве сравнения различных методик обработки сейсмической информации.

Для выяснения возможностей выделения и картирования глубинных разломов приведены аномальные магнитное и гравитационное поля (рис. 3), на которых приведены основные параметры зоны пограничного разлома по сейсмическим данным.

В результате выполненного анализа на рис. 4 приведена схема тектонического районирования консолидированной коры, основным элементом которой является Троицко-Костанайская переходная зона (ТКПЗ) на восточной окраине Уральской складчатой системы (УСС).

Основные результаты исследований

1. Выделение и картирование глубинных разломов по сейсмическим данным ГСЗ и глубинного МОГТ реально. Отсутствие их на глубинных сейсмических разрезах – результат неадекватности применения технологий, в том числе и обработки сейсмической информации при исследованиях квазислойистой гетерогенной среды, характерной для верхней части литосферы Уральского региона.

2. Неучет рассеянных волн, присутствующих в регистрируемом поле наравне с отражениями от слоистых сред, вероятно, вносит структурно-тектонические искажения в разрезы. Это обстоятельство значимо при поисково-разведочных работах в отложениях промежуточного комплекса нефтегазовых областей Уральского региона.

3. Основным тектоническим элементом является переходная зона между восточным контуром УСС и древним Восточно-Казахстанским мегаблоком. Она имеет следующие особенности глубинной модели: аномальные черты глубинного строения, проявленные в существенных изменениях основных структурных параметров в земной коре и поверхности М; наличие в земной коре значительных по размерам относительно пологопадающих на запад отражающих границ, особенно значительных восточнее крупных гранитных массивов Зауралья (Буткинский и Джабыгский) в западной части переходной зоны. Впервые подобная ситуация была установлена на Свердловском пересечении: глубинная Буткинская зона гранитизации и структура к востоку от нее, включая запад Тюменско-Костанайского прогиба, соответствующая переходной зоне на схеме глубинного тектонического районирования [12].

4. Зоны глубинных разломов Уральского региона, например ТКПЗ, находящиеся между основными подразделениями кристаллической коры, отражают многоэтапность динамических преобразований, что нашло отражение в современной модели (рис. 4). Рассматриваемая нами зона является переходной (пограничной) между Уральской складчатой системой и древним Северо-Казахстанским мегаблоком. Все четыре представленных разреза имеют сходные черты и образуют структуру северо-северо-восточного направления. Самый южный разрез по профилю ТК представлен зоной

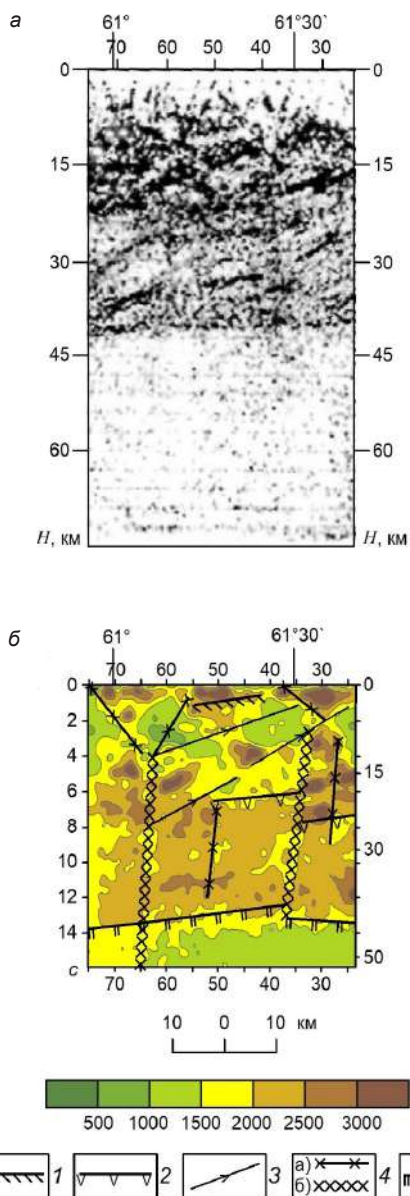


Рисунок 1. Модели земной коры по восточной части геотраверса Уралсейс [13]. а – сейсмический разрез ОГТ с взрывными источниками; б – схема изоамплитуд поля рассеяния фрагмента, составленная Н. А. Караевым; подчеркнуты возможные тектонические элементы (авторское дополнение); 1 – кровля нижнего мегакомплекса первого сейсмогеологического этапа (СГЭ); 2 – кровля третьего СГЭ, возможно, протокры; 3 – глубинные разломы пологого залегания; 4 – предполагаемые разрывные нарушения: а – разделяющие, преимущественно, блоки земной коры и верхней мантии, б – преимущественно в верхней и средней частях коры; 5 – основной сейсмогеологический раздел Мохоровичича.

Figure 1. Models of the earth's crust along the eastern part of Ural-seis geotraverse [13].

меньших размеров. Значительные отклонения от общего направления отмечены на широтах 53°–56° с.ш., что подчеркнуто на разрезах положением основного ГР переходной зоны.

5. В состав переходной зоны, согласно геокартированию приповерхностных структур, входят Зауральское поднятие и западная часть Тюменско-Костанайского прогиба. Горизонтальные размеры зоны изменяются от 70 до 125 км в разных широтных коридорах. По своему глубинному строению ТКПЗ отличается от Центральной мегазоны Урала, соответствующей в основном Тагильско-Магнитогорскому прогибу, относящемуся к пограничной, рифтовой структуре между древними платформами Евразийского континента [12]. Можно предположить, что возникновение подобной

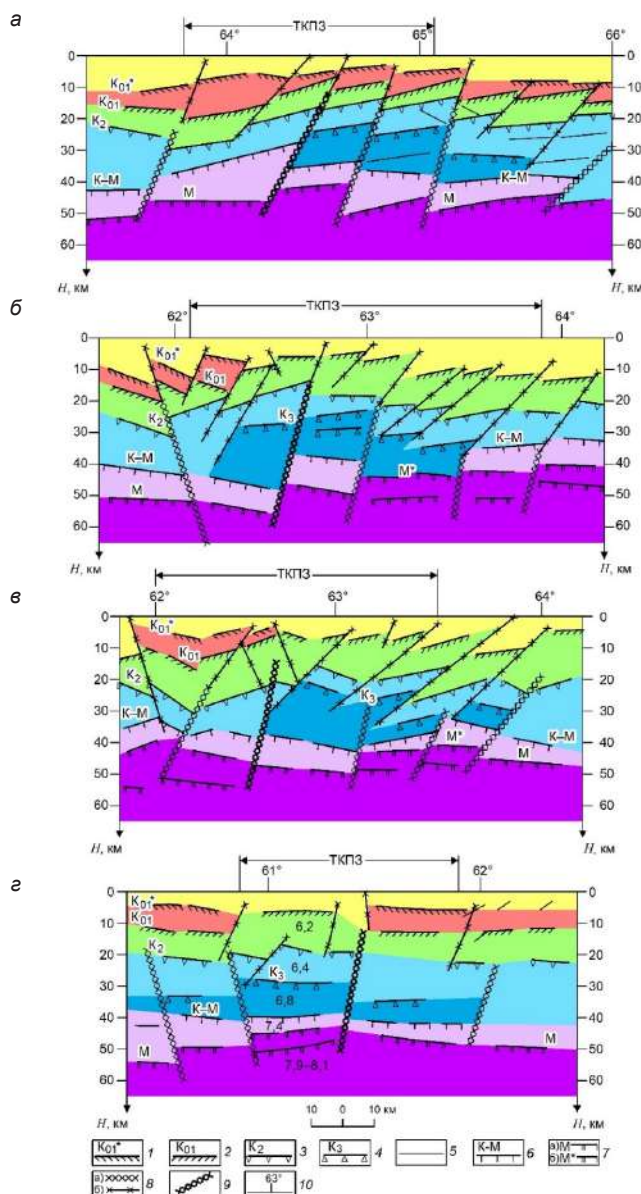


Рисунок 2. Сейсмогеологические разрезы земной коры Троицко-Костанайской переходной зоны по профилям ГСЗ. а – Свердловский, б – Тараташский, в – Троицкий, г – Темиртау-Куйбышев. Основные поверхности раздела (1–7): 1 – кровля нижнего мегакомплекса первого сейсмогеологического этапа (СГЭ); 2 – кровля древнего кристаллического фундамента; 3 – кровля третьего СГЭ, возможно, протокры; 4 – промежуточная граница третьего СГЭ; 5 – отражающие границы кристаллической коры; 6 – переходного мегакомплекса в низах коры; 7 – основной сейсмогеологический раздел Мохоровичича (а), положение верхней границы подошвы земной коры на поднятии поверхности раздела Мохоровичича (б); 8 – предполагаемые разрывные нарушения: а – разделяющие, преимущественно, блоки земной коры и верхней мантии, б – преимущественно в верхней и средней частях коры; 9 – основной глубинный разлом Троицко-Костанайской пограничной зоны; 10 – линия профиля с градусной привязкой.

Figure 2. Seismogeological sections of the earth's crust of the Troitsko-Kostanayskaya transition zone according to the DSS profiles.

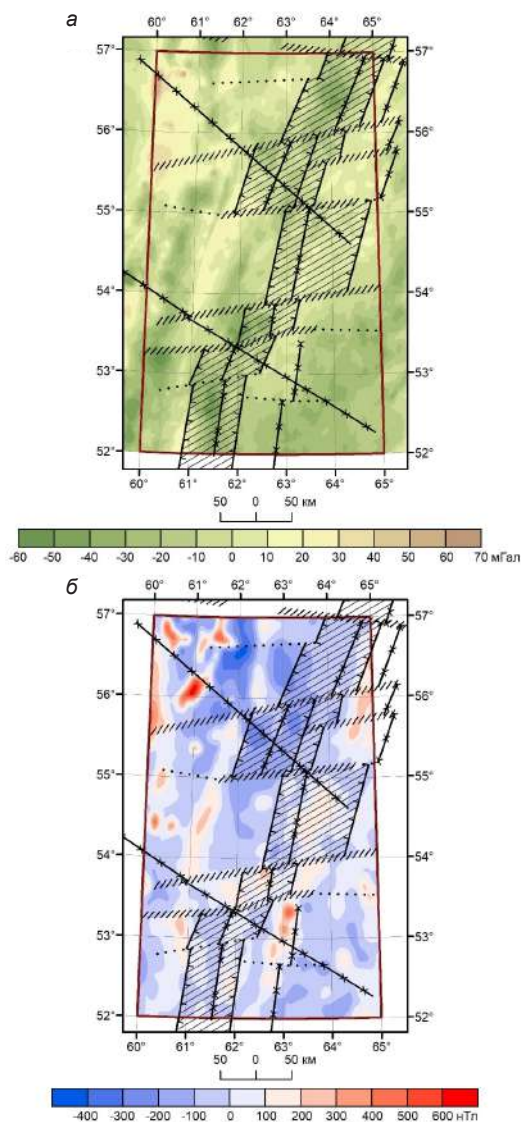


Рисунок 3. Характеристика потенциальных полей. а – гравитационного Δg ; б – магнитного (ΔT). Условные обозначения см. на рис. 4.
Figure 3. Characteristic of potential fields.

ситуации на востоке УСС обусловлено процессами масштабной глубинной гранитизации в Р-Т время на месте Зауральского прогиба, заполненного вулканогенно-осадочными отложениями Д-С возраста. В таком случае образование крупных гранитных массивов и, соответственно, поднятий указывает на их инверсионный характер.

Таким образом, одной из причин образования зоны, состоящей из нескольких глубинных разломов, может быть влияние древнего Тараташского массива на процесс динамических преобразований кристаллической коры, включая масштабную пермскую гранитизацию практически на всю кору. К примеру, Тюменско-Костанайский прогиб на востоке ТКПЗ, заполненный вулканогенно-осадочными отложениями Д-С, вероятно, надвинут на древний Северо-Казахстанский мегаблок, что подчеркнуто расположением отражающих площадок в консолидированной коре.

6. Проявление глубинных разломов переходной зоны ТКПЗ в потенциальных полях и геоморфологии. Переходная зона представлена 3–4 глубинными разломами, которые по-разному проявляются в перечисленных материалах.

Потенциальные поля ΔT , Δg (рис. 3). В северных широтах полоса аномалий магнитного поля приурочена к краевому восточному разлому ТКПЗ, в средних – к главному разлому, южнее 54° – двумя полосами относительно повышенных аномалий ΔT , одна из них приурочена к основному разлому, вторая – к восточному краевому. В гравитационном поле Δg контуры ТКПЗ не прослеживаются, намечается только тенденция к смене характера поля. Сложный рисунок изолиний Δg , возможно, обусловлен присутствием разрозненных глубинных зон гранитизации. Для решения вопроса о соответствии данных ГСЗ о глубинной тектонике с потенциальными полями, по-видимому, нужна трансформация этих полей для конкретизации положения переходной ТКПЗ в межпрофильном пространстве, что особенно важно для территорий с редкой системой профилей.

Геоморфология (рис. 4). Особенности речной и озерной сети вписываются в составленную схему тектонического районирования земной коры, отражая ее современное состояние. Различия наблюдаются между положением границы складчатого Урала (Неоурала по В.Н. Пучкову) и ТКПЗ: общее северо-северо-восточное простирание переходной зоны и меридиональная граница обнаженного Урала; южнее 54° с.ш. они сближены; сложная форма неоконтакта соответствует значительные нарушениям ТКПЗ (рис. 4). Можно предположить, что неотектонический этап от глубинной

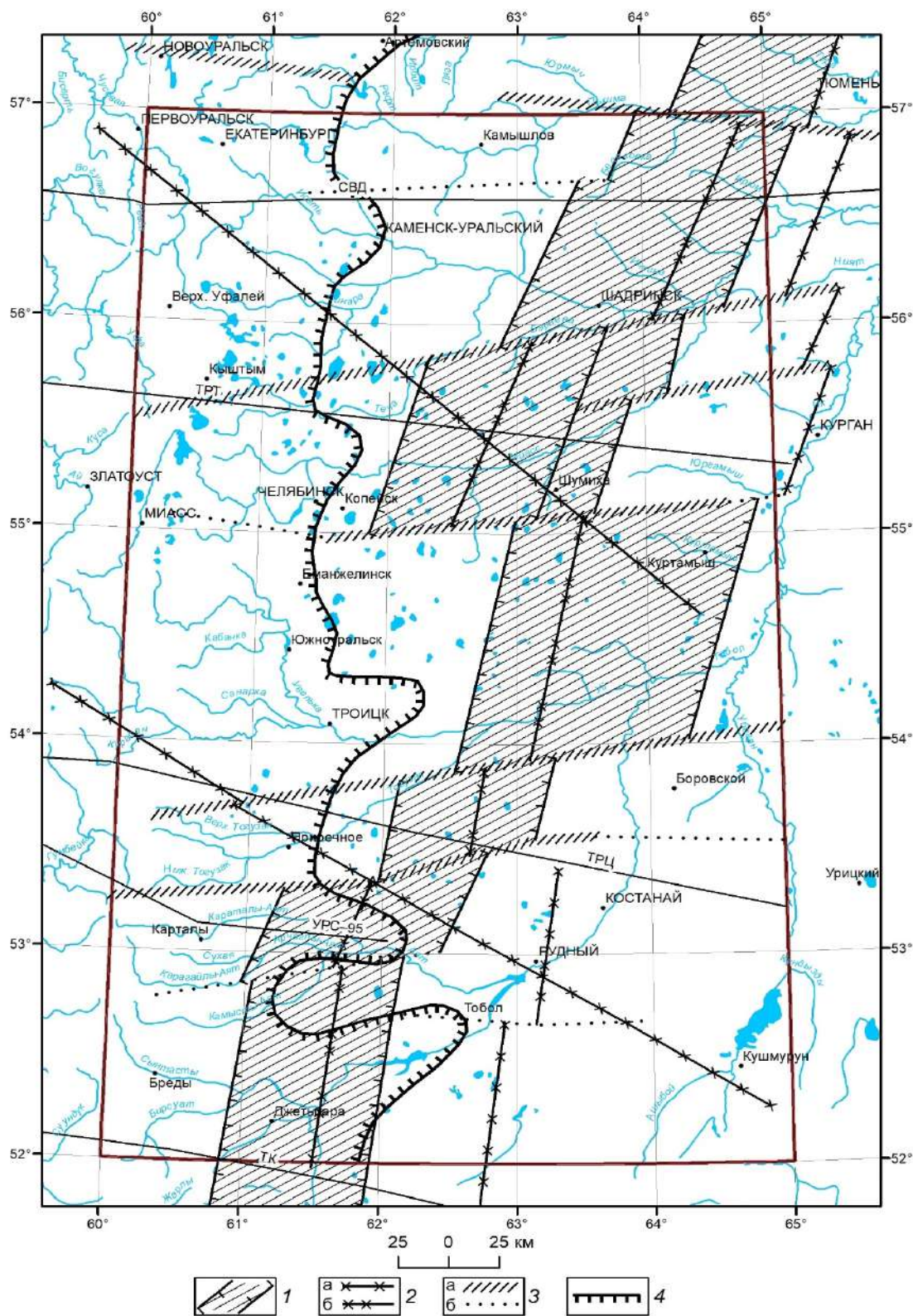


Рисунок 4. Схема тектонического районирования Троицко-Костанайской переходной зоны глубинных разломов. 1 – контуры переходной зоны; 2 – глубинные разломы за пределами зоны и пересекающие ее (а), основной (осевой) глубинный разлом (б); 3 – субширотные глубинные дислокации (а), субширотные дислокации по характеру потенциальных полей (б); 4 – восточная граница обнаженного Урала.
Figure 4. Tectonic classification plan of the Troitsko-Kostanayskaya transition zone of deep faults.

P–T активизации геологической среды отличается масштабностью, происходя уже в иной геологической обстановке по сравнению с более ранней.

Заключение

Глубинные разломы и субширотные дислокации, дополненные диагональными разломами, являются одним из основных элементов тектоники 3D модели; положение ГР в пространстве и на глубине свидетельствует о геодинамиче-

ских преобразованиях на разных этапах развития Уральской складчатой системы и соотношении с окружающими ее древними платформенными структурами.

Следует подчеркнуть некоторые моменты, существенные для тектонического районирования и решения вопросов геодинамики. Во-первых, выполненный анализ подтверждает ранее сделанный вывод, обоснованный по более северным широтам, о наличии пограничного шва, вернее, переходной зоны, по восточной границе Уральской складчатой системы.

Во-вторых, Тюменско-Костанайский прогиб (в северных широтах Шеркалинский прогиб) по масштабам и специфике глубинного строения в основном не тождествен Тагило-Магнитогорскому прогибу. Выделение и картирование ГР по характеру наблюдаемых потенциальных полей Δg и ΔT возможно. Однако наличие нескольких сближенных разломов, входящих в состав переходной зоны, и наличие субширотных глубинных дислокаций делает эту процедуру некорректной, отводя ей вспомогательную роль.

В-третьих, геодинамику Южного Урала, используя глубинную информацию по одному трансекту Урсейс [13], определить затруднительно. Поэтому представленная схема тектонического районирования юго-восточной окраины УСС подчеркивает необходимость глубинных исследований для всей территории южной части Уральского региона с целью создания объемной геолого-геофизической модели ВЧЛ, что позволит на качественно новой основе подойти к решению многих региональных геологических и металлогенических проблем Урала и соседних с ним структур восточной окраины Восточно-Европейской платформы и Западно-Сибирской платформы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Егоркин А. В. Глубинное строение территории СССР. М.: Недра, 1991. С. 44–64.
2. Кашубин С. Н., Петров О. В., Морозов А. Ф. и др. Глубинное строение земной коры и верхней мантии поднятия Менделеева по профилю ГСЗ «Арктика-2012» // Региональная геология и металлогения. 2016. № 65. С. 52–65.
3. Никитин Д. С., Горских П. П., Хуторской М. Д., Иванов Д. А. Структурно-тектонические особенности северо-восточной части Баренцево-морской плиты по данным численного моделирования потенциальных полей // Геотектоника. 2018. № 2. С. 58–75.
4. Сакулина Г. С., Кашубин С. Н., Петров О. В. и др. Глубинное строение земной коры и верхней мантии Северо-Чукотского прогиба по профилю ГСЗ «АЧЕТ-line» // Региональная геология и металлогения. 2016. № 68. С. 16–36.
5. Сакулина Т. С., Павленкова Г. А., Кашубин С. Н. Структура земной коры северной части Баренцево-Карского региона по профилю ГСЗ 4-AP // Геология и геофизика. 2015. Т. 56, № 11. С. 2053–2066.
6. Морозова Е. А., Павленкова Н. И., Хербст К. Сейсмическая модель земной коры юго-восточной части Баренцева моря и проблемы неоднозначности ее построения // Физика Земли. 1995. № 2. С. 73–83.
7. Ладовский И. В., Мартышко П. С., Бызов Д. Д., Колмогорова В. В. О выборе избыточной плотности при гравитационном моделировании неоднородных сред // Физика Земли. 2017. № 1. С. 138–147.
8. Харакинов В. В., Кулишкин И. М., Шленкин С. И., Олюпин А. В. Новые подходы к изучению нефтегазового потенциала доюрских отложений Западно-Сибирской нефтегазовой провинции // Геология нефти и газа. 2015. № 6. С. 63–77.
9. Starostenko V. I., Rusakov O. M., Pashkevich I. K., Kutas R. I., Makarenko I. B., Legostaeva O. V., Lebed' T. V., Savchenko A. S. Heterogeneous structure of the lithosphere in the Black Sea from a multidisciplinary analysis of geophysical fields // Геофизический журнал. 2015. Т. 37, № 2. С. 3–28.
10. Thomas V. Phillips, Christopher A.-L. Jackson, Rebecca E. Bell, Oliver B. Duffy. Oblique reactivation of lithosphere-scale lineaments controls rift physiography – the upper-crustal expression of the Sorgenfrei-Tornquist Zone, offshore southern Norway // Solid Earth. 2018. Vol. 9. P. 403–429. DOI: 10.5194/se-9-403-2018.
11. Дружинин В. С. Характеристика глубинных разломов Урала по сейсмическим данным // Советская геология. 1978. № 3. С. 146–154.
12. Дружинин В. С., Мартышко П. С., Начапкин Н. И., Осипов В. Ю. Строение верхней части литосферы и нефтегазоносность недр Уральского региона. Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2014. 226 с.
13. Глубинное строение и геодинамика Южного Урала (Проект Уралсейс) / под ред. А. Ф. Морозова. Тверь: Изд-во ГЕРС, 2001. 286 с.
14. Дружинин В. С., Мартышко П. С., Начапкин Н. И., Осипов В. Ю. Тектоническая модель кристаллической коры Урала и сопредельных территорий // ДАН. 2015. Т. 463, № 2. С. 1–4.
15. Дружинин В. С., Мартышко П. С., Осипов В. Ю. Новая региональная карта тектоники консолидированного фундамента осадочного бассейна и приповерхностных складчатых структур Уральского региона // ДАН. 2017. Т. 475, № 1. С. 60–63.

Статья поступила в редакцию 13 апреля 2018 г.

Determination and mapping of deep faults by seismic data and their manifestation in geophysical fields

Vladimir Stepanovich Druzhinin,
druvs@mail.ru
Nikolay Ivanovich Nachapkin,
nachapkin@mail.ru
Vyacheslav Yur'evich Osipov
usc_slava@mail.ru

Bulashevich Institute of Geophysics of the Ural Branch of RAS
Ekaterinburg, Russia

Purpose of the study. Determination and mapping of deep faults of the upper part of the sial zone of earth according to seismic data and their manifestation in geophysical fields.

Relevance of the work. Information about deep faults is contained in drilling results of super-deep wells to a depth of 12 km, as well as in seismic studies. However, authorial variants of deep seismic sounding (DSS) sections are often disposed of simple models without faults. Therefore, consideration of this issue is topical.

Methods of research. Thematic works on the analysis of generalized seismic information on DSS profiles. Drawing up of sections and schemes of the consolidated crust of the southeastern margin of the Ural region.

Results and their application.

– Deep faults and sublatitudinal faults and folds supplemented by diagonal faults create a spatially complex picture of the structure of the earth's crust. Ignoring such a situation leads to erroneous structural-tectonic structures. In particular, this concerns the regional mapping of the consolidated basement and the bottom of the bedding plane.

– The non-linear character of the location of the main units of the Urals region is most strikingly manifested in the boundary structure along the eastern margin of the uralides itself, isolated in the latitude range 56°–70° N in the southeast of the Ural fold system, it is represented by a transition zone including the granite massifs of the Trans-Urals region and the western part of the Tyumensky-Kostanaysky depression. It consists of several deep faults, which have a common northeastern direction with deviations along the zones of sublatitudinal dislocations up to 50–70 km.

– The transition zone has a different nature than the boundary structures of the continental crust of rift nature. It was created by moving from the west of volcanogenic-sedimentary deposits D-C and is located on the ancient North Kazakhstan uplift, which is emphasized by the western fall of deep faults. This conclusion is of predictive value in the search for hydrocarbon deposits in the lower sediments of the Ural region of the West Siberian oil and gas province.

Conclusion. Information about deep faults is available in the registered geophysical fields. An urgent task is the development of new methods for their analysis and processing based on a fault block model suitable for the real geologic environment.

Keywords: deep faults, DSS profiles, Ural, North Kazakhstan megablock, transition zone, geodynamic transformations.

REFERENCES

- Egorkin A. V. 1991, *Glubinnoye stroyeniye territorii SSSR* [The deep structure of the territory of the USSR]. Moscow, pp. 44–64.
- Kashubin S. N., Petrov O. V., Morozov A. F., et al. 2016, *Glubinnoye stroyeniye zemnoy kory i verkhney mantii podnyatiya Mendeleyeva po profilyu GSZ «Arktika-2012»* [The deep structure of the earth's crust and upper mantle of Mendeleev's uplift along the profile of the DSS "Arktika-2012"]. *Regional'naya geologiya i metallogeniya* [Regional geology and metallogeny], no. 65, pp. 52–65.
- Nikitin D. S., Gorskikh P. P., Khutorskiy M. D., Ivanov D. A. 2018, *Strukturno-tektonicheskiye osobennosti severo-vostochnoy chasti Barentsevomorskoy plity po dannym chislennogo modelirovaniya potentsial'nykh poley* [Structural-tectonic features of the north-eastern part of the Barents Sea plate according to the numerical simulation of potential fields]. *Geotektonika* [Geotectonics], no. 2, pp. 58–75.
- Sakulina G. S., Kashubin S. N., Petrov O. V., et al. 2016, *Glubinnoye stroyeniye zemnoy kory i verkhney mantii Severo-Chukotskogo progiba po profilyu GSZ «ACHET-line»* [Deep structure of the earth's crust and upper mantle of the North Chukchi trough along the profile of the DSS "ACHET-line"]. *Regional'naya geologiya i metallogeniya* [Regional geology and metallogeny], no. 68, pp. 16–36.
- Sakulina T. S., Pavlenkova G. A., Kashubin S. N. 2015, *Struktura zemnoy kory severnoy chasti Barentsevo-Karskogo regiona po profilyu GSZ 4-AR* [The structure of the earth's crust of the northern part of the Barents-Kara region along the DSS 4-AP profile]. *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], vol. 56, no. 11, pp. 2053–2066.
- Morozova E. A., Pavlenkova N. I., Herbst K. 1995, *Seismicheskaya model' zemnoy kory yugo-vostochnoy chasti Barentseva morya i problemy neodnoznachnosti yeye postroyeniya* [Seismic model of the earth's crust of the southeastern part of the Barents Sea and the problem of the ambiguity of its construction]. *Fizika Zemli* [Izvestiya. Physics of the Solid Earth], no. 2, pp. 73–83.
- Ladovsky I. V., Martysenko P. S., Byzov D. D., Kolmogorova V. V. 2017, *O vybore izbytochnoy plotnosti pri gravitatsionnom modelirovanii neodnorodnykh sred* [On the choice of excessive density in the case of gravitational modeling of inhomogeneous media]. *Fizika Zemli* [Izvestiya. Physics of the Solid Earth], no. 1, pp. 138–147.
- Kharakinov V. V., Kulishkin I. M., Shilenkin S. I., Olyupin A. V. 2015, *Novyye podkhody k izucheniyu neftegazovogo potentsiala doyrskikh otlozheniy Zapadno-Sibirskoy neftegazovoy provintsii* [New approaches to the study of the oil and gas potential of the pre-Jurassic deposits of the West Siberian oil and gas province]. *Geologiya nefti i gaza* [Oil and gas geology], no. 6, pp. 63–77.
- Starostenko V. I., Rusakov O. M., Pashkevich I. K., Kutas R. I., Makarenko I. B., Legostaeva O. V., Lebed' T. V., Savchenko A. S. 2015, Heterogeneous structure of the lithosphere in the Black Sea from a multidisciplinary analysis of geophysical fields. *Geofizicheskiy zhurnal* [Geophysical journal], vol. 37, no. 2, pp. 3–28.
- Thomas B. Phillips, Christopher A.-L. Jackson, Rebecca E. Bell, Oliver B. Duffy. 2018, Oblique reactivation of lithosphere-scale lineaments controls rift physiography – the upper-crustal expression of the Sorgenfrei–Tornquist Zone, offshore southern Norway. *Solid Earth*, vol. 9, pp. 403–429. DOI 10.5194/se-9-403-2018.
- Druzhinin V. S. 1978, *Kharakteristika glubinnykh razlomov Urala po seismicheskim dannym* [The characteristics of deep faults of the Urals by seismic data]. *Sovetskaya geologiya* [Otechestvennaya Geologiya, Soviet Geology], no. 3, pp. 146–154.
- Druzhinin V. S., Martysenko P. S., Nachapkin N. I., Osipov V. Yu. 2014, *Stroyeniye verkhney chasti litosfery i neftegazonosnost' nedr Ural'skogo regiona* [The structure of the upper part of the lithosphere and the oil and gas potential of the Urals region]. Ekaterinburg, 226 p.
- 2001, *Glubinnoye stroyeniye i geodinamika Yuzhnogo Urala (Proyekt Uralseys)* [Deep structure and geodynamics of the Southern Urals (Ural-seis project)]. Ed. by A. F. Morozova. Tver, 286 p.
- Druzhinin V. S., Martysenko P. S., Nachapkin N. I., Osipov V. Yu. 2015, *Tektonicheskaya model' kristallicheskoj kory Urala i sopredel'nykh territoriy* [Tectonic model of the crystalline crust of the Urals and adjacent territories]. *Doklady akademii nauk* [Doklady Earth Sciences], vol. 463, no. 2, pp. 1–4.
- Druzhinin V. S., Martysenko P. S., Osipov V. Yu. 2015, *Novaya regional'naya karta tektoniki konsolidirovannogo fundamenta osadochnogo basseyna i pripoverkhnostnykh skladchatykh struktur Ural'skogo regiona* [A new regional map of tectonics of the consolidated basement of the sedimentary basin and near-surface fold structures of the Urals region]. *Doklady akademii nauk* [Doklady Earth Sciences], vol. 475, no. 1, pp. 60–63.

The article was received on April 13, 2018