



ПРОЯВЛЕНИЕ СДВИГОВОЙ ТЕКТОНИКИ ЗЕМНОЙ КОРЫ ЗАБАЙКАЛЬЯ НА ПОЛЯХ РЕАПАК-АТТРИБУТОВ (В РАЗРЕЗЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ 1-СБ)

Д. И. Рудницкая, А. С. Сальников, В. С. Старосельцев

Сейсмотектонический анализ материалов регионального профиля 1-СБ, отработанного в Забайкалье, выполнен в рамках РЕАПАК-технологии на основе расчета динамических и геометрических атрибутов глубинного разреза земной коры. В результате выявлена серия глубинных литосферных разломов и установлена их сдвиговая природа. На полях РЕАПАК-атрибутов выделены субвертикальные шовные зоны разломов и оперяющие их кулисообразные ветки дизъюнктивных нарушений, которые формируют типичные «пальмовую» либо «цветочную» структуры, характерные для разломов со смещением по простиранию. Вокруг осевого разлома обнаружены разломные сегменты с признаками зон растяжения и сжатия, а также типичные формы глубинных аналогов пулл-апартовых депрессионных структур. Полученные результаты могут быть использованы при обосновании концепции поиска рудных и углеводородных месторождений в Забайкалье.

Ключевые слова: Забайкалье, сейсмотектонический анализ, технология РЕАПАК, дизъюнктивные нарушения, пулл-апартовые структуры.

SHEAR TECTONICS OF THE EARTH'S CRUST IN TRANSBAIKALIA IDENTIFIED FROM REAPAK ATTRIBUTES (SEISMIC PROFILE 1-SB)

D. I. Rudnitskaya, A. S. Salnikov, V. S. Staroseltsev

Seismotectonic analysis of data acquired at regional profile 1-SB surveyed in Transbaikalia was carried out using the REAPAK technology based on computation of dynamic and geometric attributes of the deep section of the earth's crust. This resulted in identification of a series of deep lithospheric faults with determination of their shear nature. Subvertical suture zones of faulting were identified, together with an echelon disjunctive dislocations, which form typical palm- or flower-like structure characteristic for strike-slip faults. Around the axial fault, there are fractured segments with extension and compression features, as well as typical forms of deep analogues of pull-apart depression structures. The findings can be used to justify prospecting for ore and hydrocarbon fields in Transbaikalia.

Keywords: Transbaikalia, seismotectonic analysis, REAPAK technology, disjunctive dislocations, pull-apart structures.

DOI 10.20403/2078-0575-2016-2-3-9

Глубинные разломы – важные элементы строения земной коры, во многом определяющие геодинамические процессы ее развития. Они могут быть каналами прохождения мантийных растворов и тепловых потоков в верхние ее части, способствуя процессам формирования месторождений полезных ископаемых. Особую роль играют разломы сдвигового типа, в которых основные смещения осуществляются в горизонтальных направлениях. С такими разломами генетически связано формирование пулл-апартовых структур (впадин присдвигового растяжения), развивающихся при локальных растяжениях отдельных разломных сегментов. Изучению механизма формирования и геометрии разломов со сдвигом по горизонтали (strike-slip faults), а также возникновения присдвиговых (pull-apart) бассейнов посвящен ряд работ зарубежных и отечественных ученых. В этих полевых и лабораторных исследованиях обоснованы принципы, концепции и понятия, относящиеся к сдвиговой тектонике, даны представления о геометрических формах и кинематических проявлениях таких разломов и приразломных впадин.

В обзоре [7] обобщены результаты моделирования процессов формирования разломов со смещением по горизонтали. В частности, приведены результаты эксперимента на лабораторной модели, в котором было воспроизведено конвергентное смещение блоков по простиранию (рис. 1, а). Показано, что такие движения блоков сопровождаются компрессионными поднятиями пород над зоной главного смещения. В результате других экспериментов (см. рис. 1, б, в) подтверждено формирование поднятия над шовной зоной и появление ветвящихся оперяющих разломов, направленных к поверхности модели. Этими исследованиями установлена типичная геометрия границ разлома со смещением по простиранию в вертикальном срезе (по отношению к простиранию плоскости сдвига). Признаком таких разломов может быть «пальмовая» либо «цветочная» структура расходящихся оперяющих разломов от осевого шва субвертикальной ориентации, наличие оперяющих сегментов, выпуклые формы геометрии изгиба литологических границ с расширением свода к верхней части разреза. Пальмообразную структуру разлома можно видеть в геометрии регу-

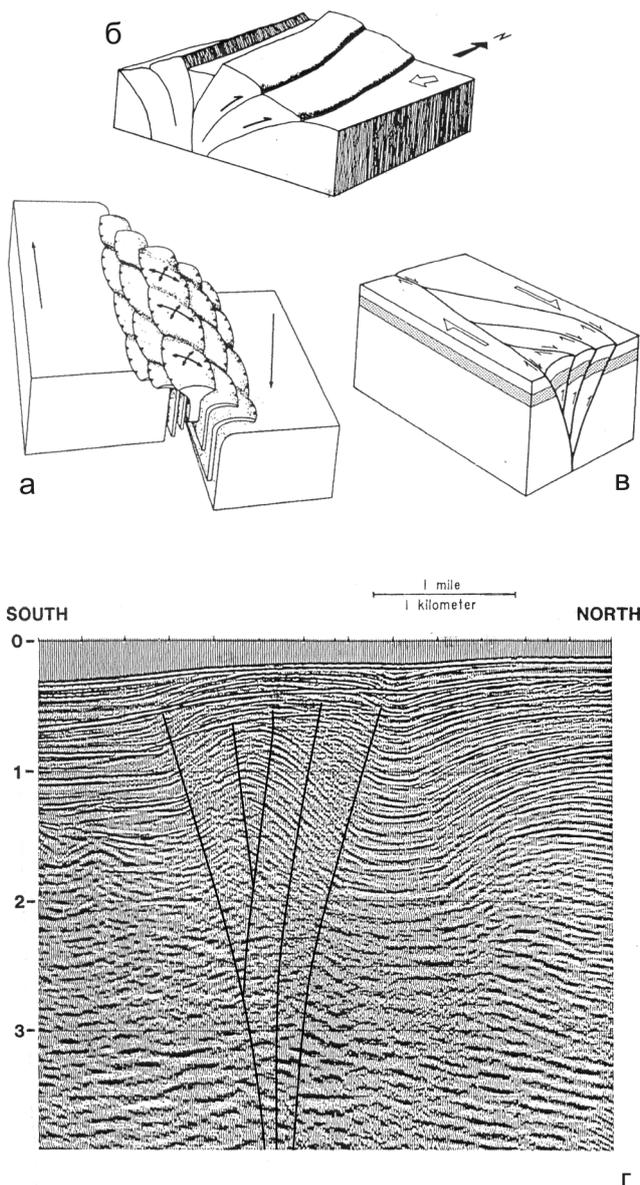


Рис. 1. Примеры проявления пальмовой структуры разломов со смещением по простиранию [7] (а–в – по лабораторным данным, г – по сейсмическим данным)

лярных отражающих границ разреза сейсмического профиля, пересекающего разлом Оук-Ридж на юге Калифорнии (см. рис. 1, г). Такую структуру можно отнести к типичным сейсмическим признакам идентификации разломов горизонтального смещения. Примеры выделения сдвиговых разломов в условиях осадочного чехла приводятся также в работах других авторов [5, 6]. Со сдвиговой тектоникой связан механизм формирования приразломных пулл-апартовых впадин, которые классифицированы как бассейны присдвигового растяжения и присдвиговых магматических камер – глубинных аналогов пулл-апартов [2, 4]. Такие структуры весьма интересны для поиска месторождений как рудных, так и углеводородных полезных ископаемых.

В настоящее время внимание геологов Восточной Сибири сосредоточено на изучении внутреннего

строения земной коры на территории Забайкалья. В геологическом отношении это очень сложный и относительно слабо изученный регион. Он представлен в основном магматическими породами различного (от протерозойского до мезозойского) возраста и состава. На складчатые структуры верхней части разреза наложены узкие впадины, заполненные вулканогенно-осадочными отложениями юры и мела. Ориентировка впадин соответствует расположению крупных разрывных нарушений. С территорией Забайкалья связывают значительные перспективы в отношении минерального сырья. Здесь уже открыты месторождения олова, вольфрама, молибдена, меди, рудного золота, урана и других полезных ископаемых, генетически связанные с интрузивными телами. Однако вопросы глубинного строения земной коры и влияния глубинных факторов на природу и механизмы рудообразования практически не изучены. Значительная часть необходимой информации может быть получена в результате сейсмических сверхглубинных исследований.

На территории Восточного Забайкалья проводятся сейсмические работы методом отраженных волн в ближней зоне в модификации сверхглубинного ОГТ (СГ-ОГТ). Отработан участок профиля 1-СБ (800 км, протяженность сейсмической записи до 24 с), пересекающий Восточное Забайкалье с юга на север (рис. 2). Обработка сейсмического материала по этому профилю с получением временных и глубинных разрезов ОГТ выполнена в ОАО «Спецгеофизика» с использованием программного комплекса ProMAX 5000. На этапе интерпретации данных применены средства РЕАПАК-технологии [3] с дообработкой разрезов ОГТ в системе РеапакРК+ (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008614945). Использование этой технологии позволило выполнить сеймотектонический анализ данных, относящихся к разрезу всей земной коры и нижней части литосферы, выделить глубинные разломы, обосновать их сдвиговую природу и предложить пулл-апартовую структуру приповерхностных депрессионных зон и их глубинных аналогов. Эти результаты в дальнейшем могут повлиять на концептуальный подход к глубинным прогнозно-поисковым критериям вычленения рудных полей (узлов) Восточного Забайкалья.

Важно отметить, что примеры выделения разломов «пальмовой» либо «цветочной» структуры по типичным идентификационным признакам касаются в основном осадочной среды верхней части земной коры, где слоистость сформировалась как результат седиментационных процессов. В сейсмическом отношении такая среда представлена регулярными отражающими границами, генетически связанными с литологией и акустической дифференциацией слоев. Гетерогенная среда глубинных частей земной коры не содержит регулярных отражающих границ аналогичной природы. В ней слоистость связана с особенностями реализации

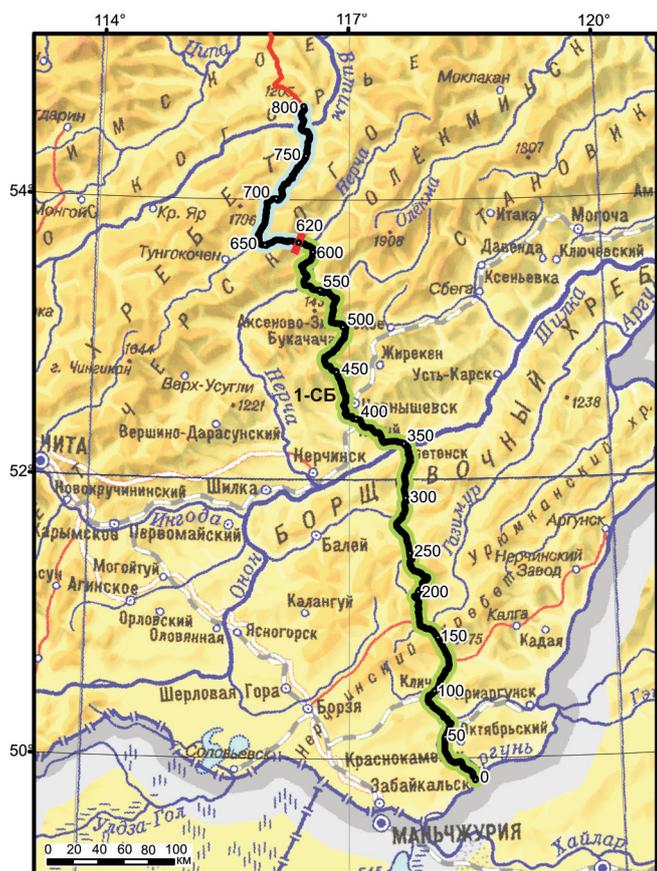


Рис 2. Расположение профиля 1-СБ

различных тектонических напряжений, возникающих в процессе ее развития, а также с реологическим и температурным режимами, метаморфизмом пород и другими процессами переработки исходного вещества. Здесь структура имеет фрагментарный характер. В сейсмическом отношении каждый фрагмент расслоенности представлен группой площадок (отражателей), объединенных по их динамическим и геометрическим характеристикам: отражающим свойствам (значениям отраженной энергии), количеству отражателей, их размерам и наклонам. Анализ регулярной составляющей в структуре данных границ при сеймотектоническом анализе требует количественных оценок этих характеристик, что может быть обеспечено определенной трансформацией волновой сейсмической записи. Все процедуры реализованы в средствах Реапак-технологии.

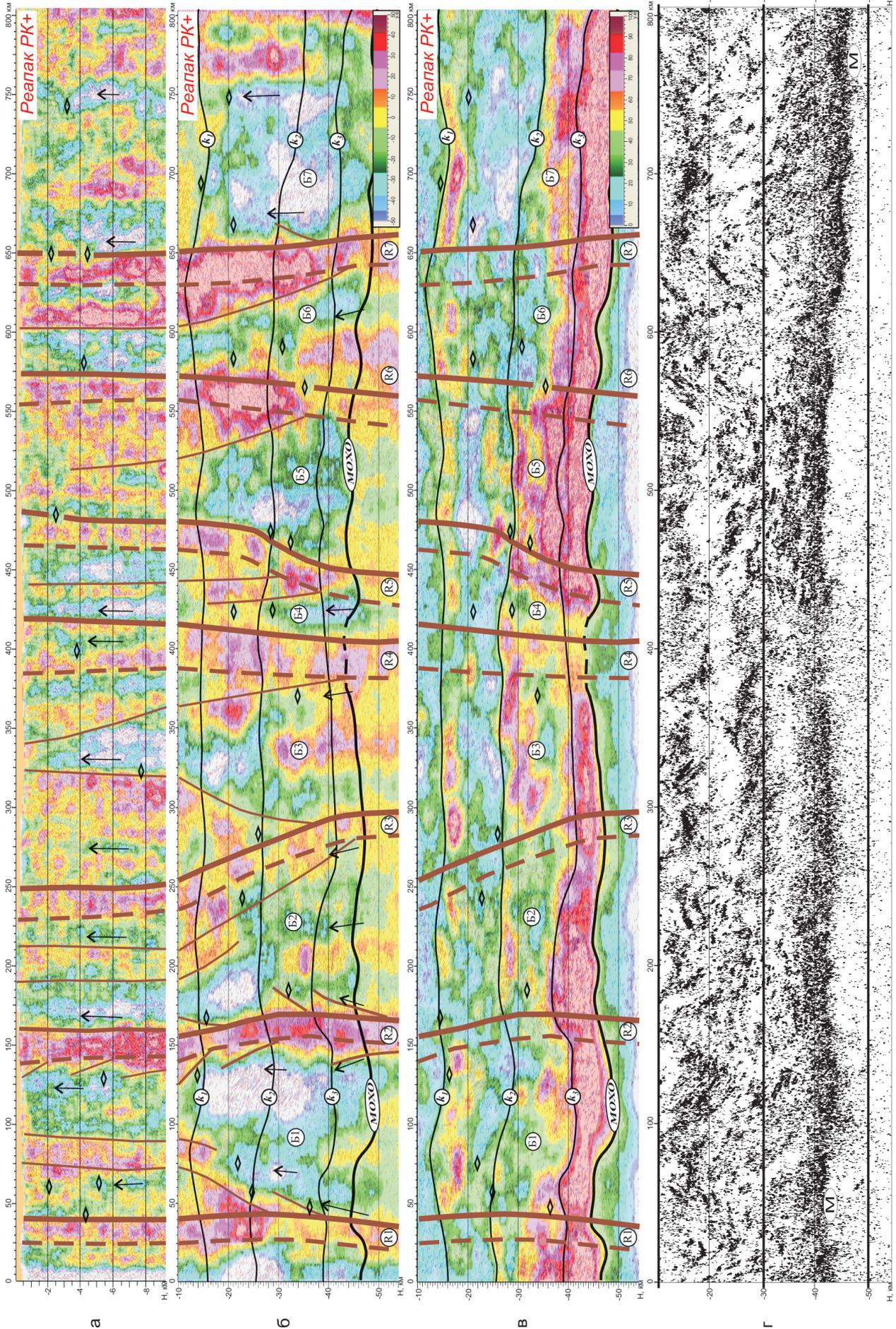
Базовыми процедурами Реапак-технологии являются сейсмическая инверсия волновой сейсмической записи разреза ОГТ, кластеризация полученных импульсных трасс (автоматическая корреляция отражающих элементов разреза), расчет в скользящих окнах геометрических и динамических Реапак-атрибутов. К главным атрибутам относятся отраженная энергия (осредненные значения эффективных коэффициентов отражения), средняя и суммарная длина отражателей, число отражателей и углы их наклонов. Реапак-атрибуты сейсмического разреза визуализируют в виде цветочкодированных полей в абсолютных и условных (нормированных) едини-

цах, обычно с «подложкой» прореженных границ ЭКО. Поля характеризуют разные аспекты строения геологической среды, и при построении конкретных геологических моделей могут быть использованы их различные сочетания.

Для профиля 1-СБ в качестве основной информации использованы поля отраженной энергии и наклонов отражателей. Первое определяет акустическую расслоенность среды, второе – геометрию расположения границ, т. е. ее структурные характеристики. В силу разных требований в отношении разрешенности информации для верхней, средней и нижней частей разреза обработка в системе РеапакРК+ выполнялась в разных режимах для верхней (до 10 км) и остальной части. В частности, для верхней (0–10 км) и нижней (10–60 км) частей разреза поля рассчитывались с разными размерами скользящих окон (5×1 км и 10×2 км соответственно). На рис. 3 эти поля приведены в сопоставлении с исходным разрезом ОГТ.

Поле отраженной энергии (см. рис. 3, в) представлено многочисленными положительными аномалиями (60–80 усл. ед.), разделенными относительно «прозрачными» участками низких значений отраженной энергии (10–40 усл. ед.). По степени акустической расслоенности кора может быть разделена условными границами k1 и k2 на верхнюю, среднюю и нижнюю части. В нижней части выделен пояс (верхняя граница k3) наиболее высоких значений отраженной энергии (80–100 усл. ед.). Толщина пояса 3–5 км. Это зона «рефлективности», нижняя граница которой фиксирует границу Мохо. Не исключено, что высокая степень расслоенности указанного пояса определяет его особые свойства, которые позволяют ему выполнять функцию своеобразного барьера, защищающего кору от проникновения мантийных растворов. В разрезе профиля 1-СБ пояс «рефлективности» не однороден, имеет пережимы между отдельными линзообразными структурами, в которых отмечены более низкие значения отраженной энергии. Так, при общих высоких значениях отраженной энергии в пределах всего поля четыре участка (30–50 км, 150–160 км, 260–270 км, 590–620 км) характеризуются локальным снижением значений этого атрибута до 70–80 усл. ед. и один участок (360–430 км) – до 40–50 усл. ед. Эти пережимы можно связать с каналами, где нарушены его защитные свойства.

Очевидно, основной причиной нарушения изолирующих свойств защитного пояса может быть наличие дизъюнктивных нарушений различных масштабов. Кроме того, возможно плавление корового вещества с разрушением слоистости в результате плюмообразования в литосферном слое верхней мантии. В результате формируются каналы, через которые вероятно проникновение магматических расплавов, флюидонасыщенных термальных растворов и тепловых потоков из мантийного слоя в верхние части земной коры. Эти процессы,



б

а

б

В

Г

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7



Рис. 3. Сейсмотектоническая модель земной коры Забайкалья, профиль 1-СБ: поля наклонов отражателей в интервалах 0–10 км (а), 10–54 км (б); поле отражения энергии в интервале 10–54 км (в); исходный разрез ОГТ в интервале 10–54 км (г)

1 – подошва земной коры; 2 – внутрикоровые границы слоев; 3 – шовная зона разлома с горизонтальным смещением; 4 – ось шовной зоны; 5 – оперяющие разломы; 6 – магматические камеры – глубинные аналоги пулл-апартов; 7 – возможные пути продвижения магматического вещества

с одной стороны, разрушают первоначальную структуру земной коры, с другой стороны, являются фактором, благоприятным для образования месторождений полезных ископаемых. Одним из контролирующих сейсмических признаков существования таких каналов могут быть локальные снижения значений отраженной энергии в пределах пояса «рефлективности».

Основным материалом для исследования структуры, природы и масштабов разрывных нарушений служат поля наклонов отражателей (см. рис. 3, а, б). Они представляют геометрию строения земной коры в условиях ее фрагментарной расслоенности и отсутствия протяженных сейсмических границ. Такие поля структурированы аномалиями, относящимися к группам отражающих площадок с одинаковыми направлениями наклонов. Красные аномалии цветкодированных полей характеризуют воздымание площадок в направлении возрастания пикетов, а серо-голубые – их погружение. По доминирующей ориентации наклонов площадок можно установить границы их несогласия, геометрию изгибов условных границ, их антиклинальные и синклинальные формы.

В рассматриваемом разрезе нижней части земной коры (см. рис. 3, а, б) доминируют вытянутые столбообразные формы аномалий субвертикальной ориентации. Они пересекают всю земную кору и прослеживаются ниже границы Мохо, «заходя» в литосферную часть разреза. В направлении к поверхности можно наблюдать их разветвление и усложнение морфологии. Очевидно, системы таких аномалий характеризуют определенные тектонические структуры, которые можно рассматривать как результат проявления разрывных нарушений. На каждой из таких структур, состоящей из отдельных сегментов, в той или иной степени вырисовывается геометрия «пальмовой» либо «цветочной» формы, что типично для разломов со смещением по горизонтали. Положение каждого сегмента разломов установлено по ориентации площадок на соответствующем участке поля наклонов отражателей.

Основным элементом сдвигового разлома является сегмент шовной зоны, по осевой поверхности которой происходят главные горизонтальные смещения пород. Шовная зона формируется в результате конвергентного смещения блоков по латерали с образованием компрессионного поднятия. Ее положение устанавливается по приподнятому сегменту разлома, в пределах которого наблюдается резкое воздымание отражающих площадок. Прослеживание шовной зоны ниже границы Мохо свидетельствует о том, что выделенные разломы пред-

ставляют собой структуры литосферного уровня заложения. Воздымание площадок с формированием условных антиклинальных структур в шовной зоне сменяется «проседанием» площадок в боковых частях разломной зоны с образованием условных синклинальных структур. Это связано с растяжением расслоенной породы, которое стимулирует проседание ее площадок в сторону погружения. Исходя из представлений о сдвиговом характере разломов сегменты с воздыманием площадок и формированием условных антиклинальных структур можно рассматривать как зоны сжатия, а сегменты с проседанием площадок и формированием синклинальных структур – как зоны растяжения. Можно также допустить, что зоны растяжения более открыты для проникновения магматических расплавов и глубинных растворов, а зоны сжатия более изолированы от них. К поверхности структура сдвига более усложняется и с появлением дополнительных кулисообразных боковых сегментов приобретает вид «пальмового дерева» либо «цветочной структуры».

В разрезе профиля 1-СБ общей протяженностью 800 км выделено семь разломов горизонтального смещения, разделяющих разрез земной коры на блоки: Б1 – Заургунгуйский (105 км), Б2 – Газимурский (100 км), Б3 – Борщевский (170 км), Б4 – Пришилкинский (65 км), Б5 – Нерча-Урюмский (90 км), Б6 – Нерчинский (75 км), Б7 – Витимо-Урюмский (140 км). В литосферной части разреза и в нижнем слое земной коры все выделенные разломы имеют четко выраженные шовные зоны субвертикальной ориентации с антиклинальной формой границ (сегменты компрессионного сжатия) и обрамляющие их участки с синклинальной формой границ (сегменты растяжения). Важно отметить, что морфология границы Мохо, установленная исключительно по полю отраженной энергии (см. рис. 3, в), в общем соответствует положению сегментов подъема и погружения площадок, установленных только по полю наклонов отражателей.

В средней и верхней частях разреза земной коры на профиле 1-СБ структура разломов усложняется. Это связано с тем, что механизм сдвига поддерживает локальные процессы различной кинематики, включая образование надвигов, сбросов, взбросов и других тектонических форм, что определяет сложную структуру оперяющих сегментов. При этом каждый разлом приобретает свои индивидуальные черты. В частности, в разрезе появляются локальные зоны различной напряженности, в том числе локального корового растяжения расслоенных пород с формированием глубинных аналогов пулл-апартовых структур в виде зон растяжения



(магматических камер). По геометрии границ это локализованные замкнутые зоны, где подъемы площадок при возрастании глубин плавно переходят в погружение. Таким образом, фиксируется локальное проседание групп площадок расслоенных толщ. В результате развиваются присдвиговые магматические камеры, которые в кинематическом смысле аналогичны пулл-апартовым структурам. Часть магматических камер – это заливообразные структуры, примыкающие к линиям осей шовных зон. По последовательности их расположения можно оценить возможные пути прохождения магматических расплавов и гидротермальных растворов в верхние части земной коры.

Механизм присдвигового растяжения реализуется на разных уровнях земной коры, в том числе в приповерхностной части. Сейсмотектоническая глубинная модель профиля 1-СБ дает основание предположить, что тектонические впадины Забайкалья также образовались в результате функционирования разрывов сдвиговой кинематики, в которой структуроформирующую роль играли литосферные разломы. Вследствие этого в зонах локального присдвигового растяжения у поверхности могли формироваться присдвиговые пулл-апартовые впадины с проявлением процессов присдвигового магматизма. Таким образом, можно дать обоснование связям депрессионных зон в верхней части коры с глубинной тектоникой (системой выделенных глубинных разломов). Это в полной мере может быть отнесено, в частности, к Стрельцовой впадине.

Элементы глубинного строения земной коры в районе урановорудного поля этой площади, полученные по данным микросейсмического зондирования, приведены в работе [1]. По этим данным на участке земной коры в Стрельцовой кальдере выделены крутопадающие зоны разломов, субвертикальные области разуплотнения и магматические очаги двух уровней, что подтверждает постмагматические притоки урана на месторождениях Стрельцовского рудного поля. Исходя из полученной нами сейсмотектонической модели профиля 1-СБ Стрельцовская впадина может являться типичной приразломной пулл-апартовой структурой, относящейся к разлому R1. К шовной зоне этого разлома примыкает цепочка магматических камер (см. рис. 3), хорошо проявленных на поле наклонов отражателей.

Итак, в условиях сдвиговой тектоники существенную роль при поисках месторождений полезных ископаемых играют поиски зон присдвигового растяжения, которые могли стимулировать деятельность синкинематического магматизма. Это в значительной степени определяет, в частности, концепцию поиска критериев прогнозирования рудных узлов с позиций кинематики сдвиговых зон. Очевидно, по современной геометрии наклонов площадок, которая может быть оценена в результате использования новых технологий сейсмических

методов, вероятно установление направления возможных путей продвижения магматических расплавов, а также областей их аккумуляции, имеющих геометрическую структуру магматических камер. Поэтому глубинные критерии прогноза перспективных зон для поиска полезных ископаемых в значительной степени связаны с концептуальными представлениями о тектоническом строении земной коры. В частности, при доминировании сдвиговой кинематики в перемещении блоков земной коры пулл-апартовые структуры, дающие представление о размещении магмопроводящих каналов и магматических камер, могут иметь ведущее значение при построении физико-геологических моделей рудных узлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Глубинное** строение земной коры в районе Стрельцовского урановорудного поля (Восточное Забайкалье) по данным микросейсмического зондирования [Текст] / А. П. Алешин, В. И. Величкин, А. В. Горбатов [и др.] // Вестн. ОНЗ РАН. – 2010. – № 2. – С. 33–37.
2. **Новикова, М. С.** Пулл-апартовые бассейны. Механизм возникновения и распространения [Текст] / М. С. Новикова, В. А. Привалов // Геолого-минералогічний вісник. – 2008. – № 2 (20). – С. 56–58.
3. **Рудницкая, Д. И.** Теоретические и алгоритмические основы системы РеапакПК+ [Текст] / Д. И. Рудницкая, М. В. Корнилов, И. Н. Стражникова // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2012. – № 2. – С. 76–87.
4. **Тевелев, Арк. В.** Трансферы в структурах сжатия и растяжения [Текст] / Арк. В. Тевелев // Ежегодная научная конференция «Ломоносовские чтения». – М.: МГУ, 1997. – С. 76–77.
5. **Тимурзиев, А. И.** Новейшая сдвиговая тектоника осадочных бассейнов: от нефтегазогеологического районирования недр до технологии поисков и разведки глубокозалегающих месторождений углеводородов [Электронный ресурс] / А. И. Тимурзиев, Г. Н. Гогоненков // Вести газовой науки. – 2012. – № 1 (9). – С. 68–85. – Точка доступа: <http://vesti-gas.ru/sites/default/files/attachments/068-085-geologiya-2012-blok-v26-hq.pdf>.
6. **Lowell, J. D.** Structural Styles in Petroleum Exploration [Text] / J. D. Lowell // OGCI Publications Oil & Gas Consultants International Inc. – Tulsa, 1985. – P. 10–126.
7. **Sylvester, A G.** Strike-slip faults [Text] / A. G. Sylvester // Geol. Soc. Amer. Bull. – 1988. – Vol. 100. – P. 1666–1703.

REFERENCES

1. Aleshin A.P., Velichkin V.I., Gorbatikov A.V., et al. [Deep earth's crust structure at the Streltsovsky uranium ore field (East Transbaikalia) from microseismic sounding]. *Vestnik ONZ RAN – ONZ RAS Bulletin*, 2010, no. 2, pp. 33–37. (In Russ.).



2. Novikova M.S., Privalov V.A. [Pull-apart basins. Origin and extension]. *Geologo-mineralogichniy visnik – Bulletin of Geology and Mineralogy*, 2008, no. 2 (20), pp. 56–58. (In Russ.).

3. Rudnitskaya D.I., Kornilov M.V., Strazhnikova I.N. [Theoretical and algorithmic basis of the ReaparkRK+ system]. *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri – Geology and Mineral Resources of Siberia*, 2012, no. 2, pp. 76–87. (In Russ.).

4. Tevelev Ark.V. [Transfer in compression and extension systems]. *Lomonosov Readings Annual Scientific Conference, Moscow, MSU, 1997*, pp. 76–77. (In Russ.).

5. Timurziev A.I., Gogonenkov G.N. [The latest shear tectonics of sedimentary basins: from geological oil and gas zonation to methods of prospecting for deep-seated hydrocarbon fields]. *Vesti gazovoy nauki – New in Gas Research*, no. 1 (9), 2012. Available at <http://vesti-gas.ru/sites/default/files/attachments/068-085-geologiya-2012-blok-v26-hq.pdf>. (In Russ.).

6. Lowell J.D. Structural Styles in Petroleum Exploration. *OGCI Publications Oil & Gas Consultants International Inc. Tulsa*, 1985, pp. 10–126.

7. Sylvester A.G. Strike-slip faults. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 1988, vol. 100, pp. 1666–1703.

© Д. И. Рудницкая, А. С. Сальников,
В. С. Старосельцев, 2016

РУДНИЦКАЯ Диамара Ивановна, Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, вед. науч. сотр., к. г.-м.н. *E-mail: reapakrd@sniiggims.ru*

САЛЬНИКОВ Александр Сергеевич, Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, завотделом, д. г.-м.н. *E-mail: sas@sniiggims.ru*

СТАРОСЕЛЦЕВ Валерий Степанович, Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, науч. руководитель, д. г.-м.н., проф. *E-mail: valerii.staroselcev@sniiggims.ru*

RUDNITSKAYA Diamara, PhD, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: reapakrd@sniiggims.ru*

SALNIKOV Alexander, DSc, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: sas@sniiggims.ru*

STAROSELTSEV Valery, DSc, Prof., Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: valerii.staroselcev@sniiggims.ru*