



ТЕХНОЛОГИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРИ ВЫДЕЛЕНИИ И ОЦЕНКЕ КИНЕМАТИКИ ГЛУБИННЫХ РАЗЛОМОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ (НА ПРИМЕРЕ ГЕОТРАВЕРСА 1-СБ В ЗАБАЙКАЛЬЕ)

Д. И. Рудницкая, М. В. Корнилов, Е. В. Мосягин

Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия

На базе программного комплекса ReapakRK+ разработана технология сейсмоструктурного анализа для гетерогенной среды в земной коре. Ее применение с использованием результатов сейсмических наблюдений отраженными волнами в модификации сверхглубинного ОГТ по геотраверсу 1-СБ (Забайкалье) дало новые представления о тектоническом строении земной коры этого региона. В частности, на участке, относящемся к Монголо-Забайкальской складчатой области и Пришилкинской зоне смятия, выявлены признаки глубинных разломов с кинематикой горизонтальных сдвигов. По структуре и атрибутивным характеристикам сегментов этих разломов выделены магистральные каналы возможного прохождения магматических расплавов и термальных растворов в верхние части земной коры, а также магматические камеры их возможной аккумуляции. Эти данные представляют интерес при поисках и разведке рудных месторождений в юго-восточном Забайкалье.

Ключевые слова: Reapak-атрибуты, разрез ОГТ, сейсмическая инверсия, разрез ЭКО, отражатели, разломы, сдвиговые дислокации, пулл-апартовые структуры.

TECHNOLOGY AND RESULTS OF SEISMOTECTONIC ANALYSIS WHEN IDENTIFYING AND ESTIMATING TRAVELTIME CHARACTERISTICS OF DEEP FAULTS IN THE EARTH'S CRUST: THE CASE OF GEOTRAVERSE 1-SB IN TRANSBAIKAL

D. I. Rudnitskaya, M. V. Kornilov, E. V. Mosyagin

Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia

The ReapakRK+ software system enabled the development of a seismotectonic analysis technology to be applied to the heterogeneous medium of the Earth's crust. The technology, together with the use of ultra-deep CDP data from Geotransverse 1-SB in Transbaikal, allowed us to gain a new vision of the tectonic structure of the Earth's crust in the region. In particular, signatures of deep faults with traveltime characteristics of horizontal displacement have been identified in the area pertaining to the Mongolian-Transbaikalian folding region and the Prishilkinskaya shear zone. Possible main channels of flowing of magmatic melts and thermal solutions in the upper crust and magmatic chambers of their possible accumulation were identified from the structure and attribute characteristics of the segments of these faults. These data are important in searching and prospecting for ore deposits in the south-eastern Transbaikal.

Keywords: Reapak attributes, CDP section, seismic inversion, ECO section, reflectors, faults, shears, pull-apart structures.

DOI 10.20403/2078-0575-2017-6c-147-155

Забайкалье является одной из наиболее перспективных территорий РФ в плане обнаружения и освоения новых рудных месторождений, приуроченных к тектонически активным зонам, где развивались разрывные деформации в земной коре. Передвижение рудных расплавов и кристаллизация рудоносной магмы в зонах тектономагматической активизации связаны с локальным повышением проницаемости среды. В результате могли формироваться флюидные системы переноса и аккумуляции рудоносных магматических расплавов. Существование таких систем связано с характеристиками напряженного состояния среды и типами реализации этих напряжений при образовании разрывных нарушений. Так, например, особые зоны повышенной проницаемости в земной коре могли быть результатом разрешения тангенциальных напряжений при сдвиговых деформациях. С разломами со смещением по латерали генетически связано, в част-

ности, формирование глубинных и поверхностных пулл-апартовых структур, представляющих значительный интерес при поисках месторождений как рудных, так и углеводородных полезных ископаемых. Обнаружение подобных структур, в свою очередь, связано с изучением тектонического строения всей земной коры с оценкой природы, морфологии и кинематики разрывных нарушений, выделяемых на всех ее структурных этапах.

Эффективным методом изучения строения земной коры являются сейсмические наблюдения отраженными волнами в модификации сверхглубинного ОГТ (СГ-ОГТ). Такие наблюдения с записью волнового поля до 24 с выполнены в 2015 г. по геотраверсу 1-СБ (Забайкалье). Часть маршрута этого геотраверса (рис. 1) проходит через Монголо-Забайкальскую складчатую область, относящуюся к Центрально-Азиатскому складчатому поясу. Он пересекает систему дизъюнктивных наруше-

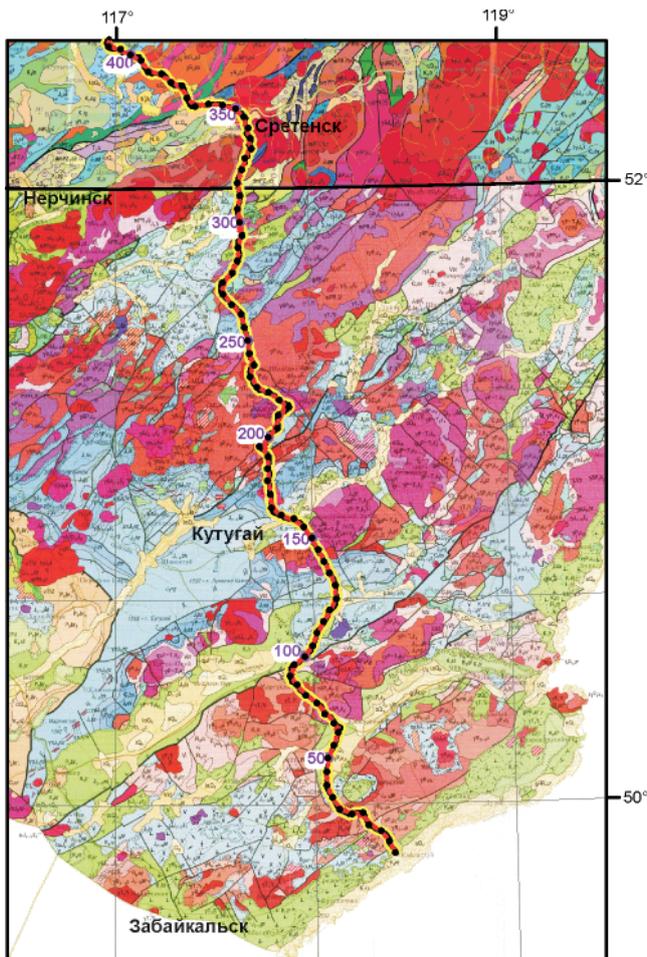


Рис. 1. Расположение профиля 1-СБ на геологической карте РФ, м-б 1:1 000 000 (ВСЕГЕИ, Читагеолсъемка, 2010)

ний, которые нанесены на геологическую карту РФ третьего поколения (лист М-50) [1]. Это разломы: Чиндагинский (пересечение с профилем на 5 км), Аргунский (на 35 км), Кальдерный (на 57 км), Северо-Урулюнгуйский (на 65 км), Пограничный (между 90 и 95 км), Газимурский (на 155 км), Борзя-Газимурский (на 195 км), Верхнегазимурский (на 200 км), Куренгинский (между 240 и 250 км), Южно-Борщовочный (на 310 км), Нерчинско-Заводской (на 320 км), Монголо-Охотский (между 345 и 365 км). На местности все эти нарушения фиксируются по резкой незакономерной смене пород, по направлению зон брекчий, милонитов, гидротермальных жил и метасоматических образований. Часть разломов дешифруется на аэро- и космоснимках. По кинематическим характеристикам они относятся к надвигам, сбросам и сдвигам с различными, часто не установленными амплитудами.

В объяснительной записке к геологической карте РФ [1] и в обзорной статье [4] описаны этапы развития представлений о тектоническом строении Забайкалья. Показано, что, несмотря на длительную историю исследований этого сложнейшего региона, здесь достаточно хорошо изучена лишь приповерхностная часть разреза. Именно к ней можно отнести и выделенные на геологической карте дизъюнктивные нарушения, которые сформировались в началь-

ной стадии орогенеза с подъемами крупных блоков в мезозойский период. В то же время слабо изучено глубинное строение земной коры Забайкалья, в том числе глубинные проявления разломной тектоники, морфология разрывных нарушений, геодинамические обстановки разных структурных этажей земной коры, их тектонические перестройки. Лишь в работе [3] на модели, построенной по результатам ретроспективных гравитационных исследований, структура земной коры представлена несколькими этапами с различными геодинамическими режимами и тектоническими перестройками.

Полученные новые сейсмические данные по геотраверсу 1-СБ дают реальную возможность расширить представления о глубинном строении земной коры, о природе и морфологии разрывных нарушений, а в перспективе – связать это с факторами рудообразования и с прогнозированием зон зарождения рудоносных магматических очагов. В частности, эти данные дают богатый материал для изучения глубинных характеристик указанных разломов в вертикальном срезе земной коры, для оценки их природы и кинематики. Поскольку особенности подхода к обработке и интерпретации сейсмических данных в разрезе земной коры тесно связаны с характером ее гетерогенного строения, все построения выполнялись в рамках Реапак-технологии [5] с расчетом динамических и геометрических атрибутов сейсмической записи.

Сейсмический разрез земной коры, имеющей гетерогенное строение [2], обычно представлен многочисленными непротяженными системами многофазных волновых пакетов. Природу этих пакетов можно связать с первичной микро- и макросланцеватостью метаморфических пород, структура которых в течение геологического времени нарушалась последующими тектоническими процессами, в том числе разрывными дислокациями. Амплитуды волн в этих пакетах, размеры соответствующих им сейсмических границ (площадок), наклоны площадок, плотность заполнения ими геологической среды и другие атрибуты сейсмической записи можно рассматривать в качестве реальных характеристик земной коры, а геометрические характеристики – в качестве проявления форм ее структурного каркаса. Однако для непротяженных границ гетерогенной среды, сейсмическая запись которых часто воспринимается как хаотическая, возможность визуальных оценок их структуры существенно ограничена по сравнению со слоистыми разрезами осадочных толщ [7]. Поэтому для выполнения сейсмотектонического анализа в условиях гетерогенной среды необходимо расширение объемов численной информации о динамических и геометрических атрибутах сейсмической записи. К ее численным оценкам можно отнести размеры отражающих элементов (границ, площадок), значения их коэффициентов отражения, наклоны отражателей и плотность заполнения ими среды, периодичность следования



отражателей на временной оси (видимая частота отражателей) и другие характеристики.

Следует заметить, что для возможности расчета этих характеристик прежде всего необходимо, чтобы все отражающие элементы (границы-отражатели) сейсмического разреза были определены в плоскости координат сейсмического профиля $A(t, x)$. Поскольку структура сейсмического разреза (в любой из существующих систем обработки данных МОВ) всегда представлена в координатах трасс, базовым условием расчетов этих атрибутов является определение координат выделенных границ (площадок), что, в принципе, может быть осуществлено с помощью автоматической корреляции сейсмического разреза. Как известно, автоматическая корреляция волновой сейсмической записи – это достаточно сложная проблема сейсморазведки, и в настоящее время она решена лишь для ограниченного количества протяженных опорных границ. В системе РеапакРК+ [5] автоматическую корреляцию границ удалось осуществить без ограничения размеров отражателей и их количества. Решающим фактором, обеспечившим успех решения вопросов корреляции, стало предварительное инверсионное преобразование волновой сейсмической записи в импульсную характеристику среды. Это существенно упростило последующий процесс идентификации элементов границ. Полный технологический процесс расчета Реапак-атрибутов сейсмического разреза в системе РеапакРК+ реализуется в несколько этапов.

На *первом этапе* рассчитывается импульсная характеристика среды. Для этого волновая запись (полученная любым методом реализации волнового продолжения) разделяется на сверточные компоненты: элементарный сигнал и импульсную реакцию среды. Полученная импульсная реакция состоит из временной (либо глубинной) последовательности единичных импульсов, которые представлены рядом эффективных коэффициентов отражения (ЭКО), записанных в размерности амплитуд зарегистрированных волн (A).

На *втором этапе* выполняется автоматическая корреляция полученных разрезов ЭКО. Основной функцией этого этапа является алгоритм группирования единичных импульсов в системы отражателей $A(t, x)$ с позиционированием их в координатах сейсмического профиля. Этот алгоритм построен на сопоставлении ЭКО-элементов текущей трассы с ЭКО-элементами предыдущих трасс в цикле их перебора начиная с первой и заканчивая последней. После процедуры автоматической корреляции импульсов ЭКО-трасс получаем структурно-динамический разрез ЭКО, представленный в координатах отражателей (дискретизированный по линии наблюдения и по времени). Иными словами, скоррелированный ЭКО-разрез представляет собой динамический массив ЭКО-элементов (A, t), которые можно рассматривать как массив ЭКО-отражателей (рис. 2).

Начало каждого отражателя имеет координату x , и в каждом отражателе зафиксирована его длина (число элементов ЭКО).

Автоматически откоррелированный ЭКО-разрез является основой для расчета динамических и геометрических Реапак-атрибутов, выполняемых на *третьем этапе*. Расчеты ведутся по методу «бегущего окна» с организацией вложенных циклов по двум осям. В каждом выбранном интервале окна рассчитываются следующие характеристики сейсмического разреза: суммы положительных, отрицательных и абсолютных значений ЭКО (отраженная энергия); число отражателей, попадающих в окно, их суммарная и средняя протяженность; наклоны отражателей, их видимая частота (периодичность следования) и др. Каждый атрибут графически изображается цветокодированным полем и совмещается с разрезом ЭКО. В качестве примера небольшие фрагменты трех наиболее информативных полей (отраженной энергии, углов наклонов отражателей и их видимой частоты), полученные по геотраверсу 1-СБ, показаны на рис. 3. Окна расчета для отраженной энергии составили 300 трасс на 300 мс, для наклонов и видимой частоты отражателей – 300 трасс на 500 мс. Там же приведены гистограммы атрибутов и палитры числового кодирования каждого поля в абсолютных и относительных значениях. Разные атрибуты сейсмической записи характеризуют разные аспекты строения среды. Для исследования структуры гетерогенной среды очень важны характеристики углов наклонов отражателей, поскольку именно они формируют каркас структурно-тектонической модели.

Полевые сейсмические материалы, полученные по профилю 1-СБ, были в нескольких вариантах обработаны с применением программных комплексов ProMAX SeisSpace (Halliburton Landmark) и Geocluster (CGG). Для дальнейшей обработки разреза ОГТ в системе РеапакРК+ (расчета разрезов ЭКО и Реапак-атрибутов) в качестве входных данных использован вариант временного разреза ОГТ (рис. 4, а), для которого выбор процедур обработки полевых материалов был ограничен требованиями корректности последующих сейсмоинверсионных преобразований. К обязательным требованиям, в частности, относилось исключение процедур переменной во времени полосовой фильтрации и ограничения в использовании когерентных фильтров.

Сейсмический разрез, который использовался в системе РеапакРК+ можно охарактеризовать следующими особенностями в обработке:

– учет верхней части разреза до глубин 500–700 м с использованием модели ВЧР, построенной по первым вступлениям преломленных волн, что позволило минимизировать влияние рельефа поверхности и приповерхностных скоростных неоднородностей на результат расчета геометрических Реапак-атрибутов;

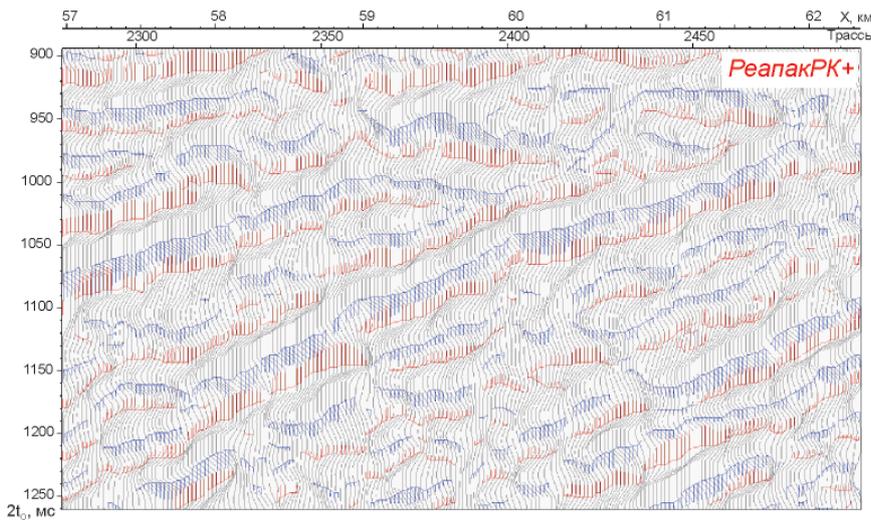


Рис. 2. Фрагмент разреза ЭКО после автоматической коррекции отражателей, «подложка» – исходный разрез ОГТ

- 1 Отражатели со знаком ЭКО: 1 – положительным, 2 – отрицательным; 3 – волновая запись разреза ОГТ

– тщательное подавление высокоамплитудных помех без искажения динамики волнового поля, а также многоитеративное применение процедур поверхностно согласованной нормировки амплитуд, что компенсировало динамические аномалии, связанные с ВЧР;

– выполнение процедуры миграции до суммирования с уточнением скоростей по мигрированным сейсмограммам, что позволило получить более правильное и сфокусированное изображение отдельных элементов среды;

– отказ от использования процедур многооконной регулировки усиления, переменного по времени полосового фильтра и «жестких» когерентных процедур.

Таким образом, при обработке была достигнута временная и пространственная разрешенность,

достаточная для корректного преобразования волновой записи в импульсную характеристику среды и для расчета динамических и геометрических атрибутов сейсмического разреза.

В качестве базовых атрибутивных характеристик разреза, на которых основаны сеймотектонический анализ и построение геологической модели земной коры юго-восточной части Забайкалья, использованы поля трех Реапак-атрибутов: отраженной энергии (см. рис. 4, б), наклонов (рис. 5, в) и видимой частоты (см. рис. 5, г) отражателей.

Поля Реапак-атрибутов, полученные по профилю 1-СБ, имеют разную структуру аномалий и характеризуют разные аспекты строения земной коры. Так, поле отраженной энергии отображает акустическую дифференциацию среды, т. е. степень акустической контрастности расслоенных пачек пород

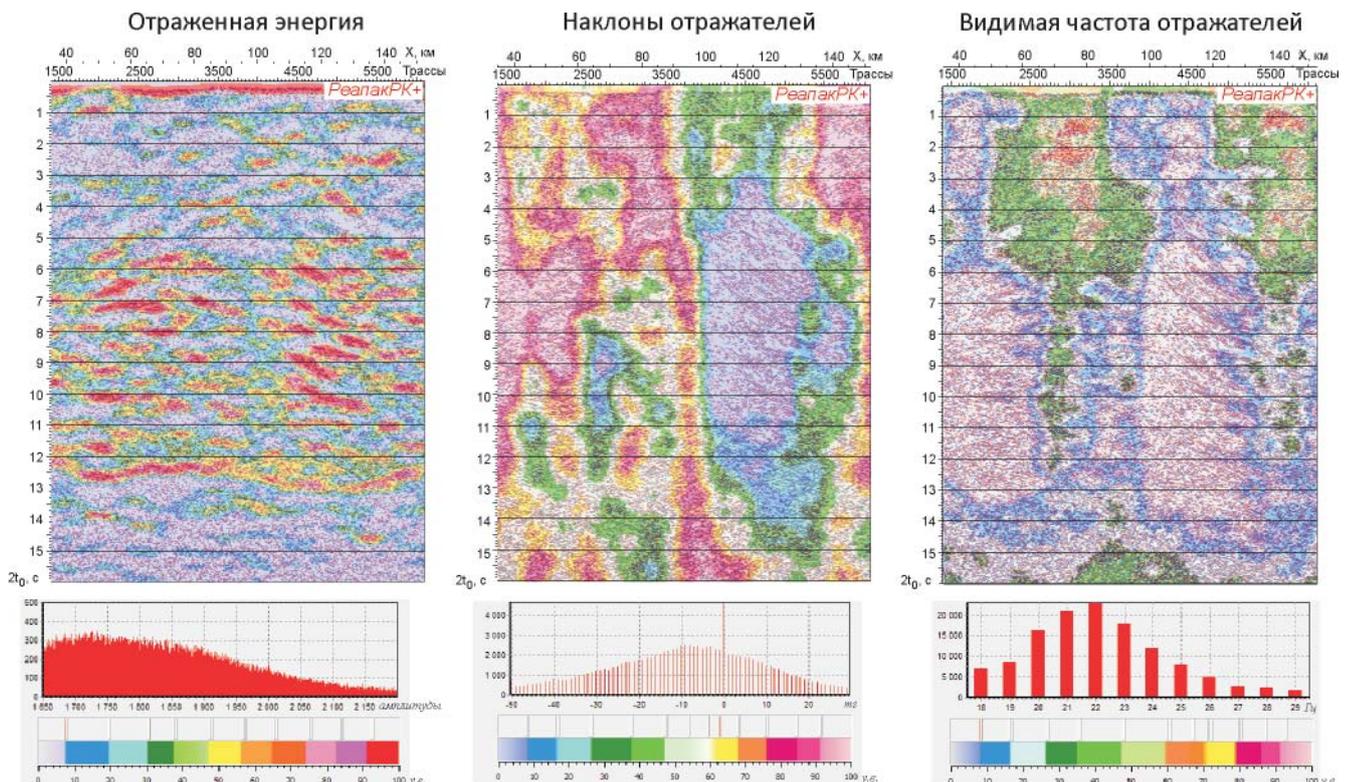


Рис. 3. Фрагменты полей Реапак-атрибутов с гистограммами и палитрами их числового кодирования

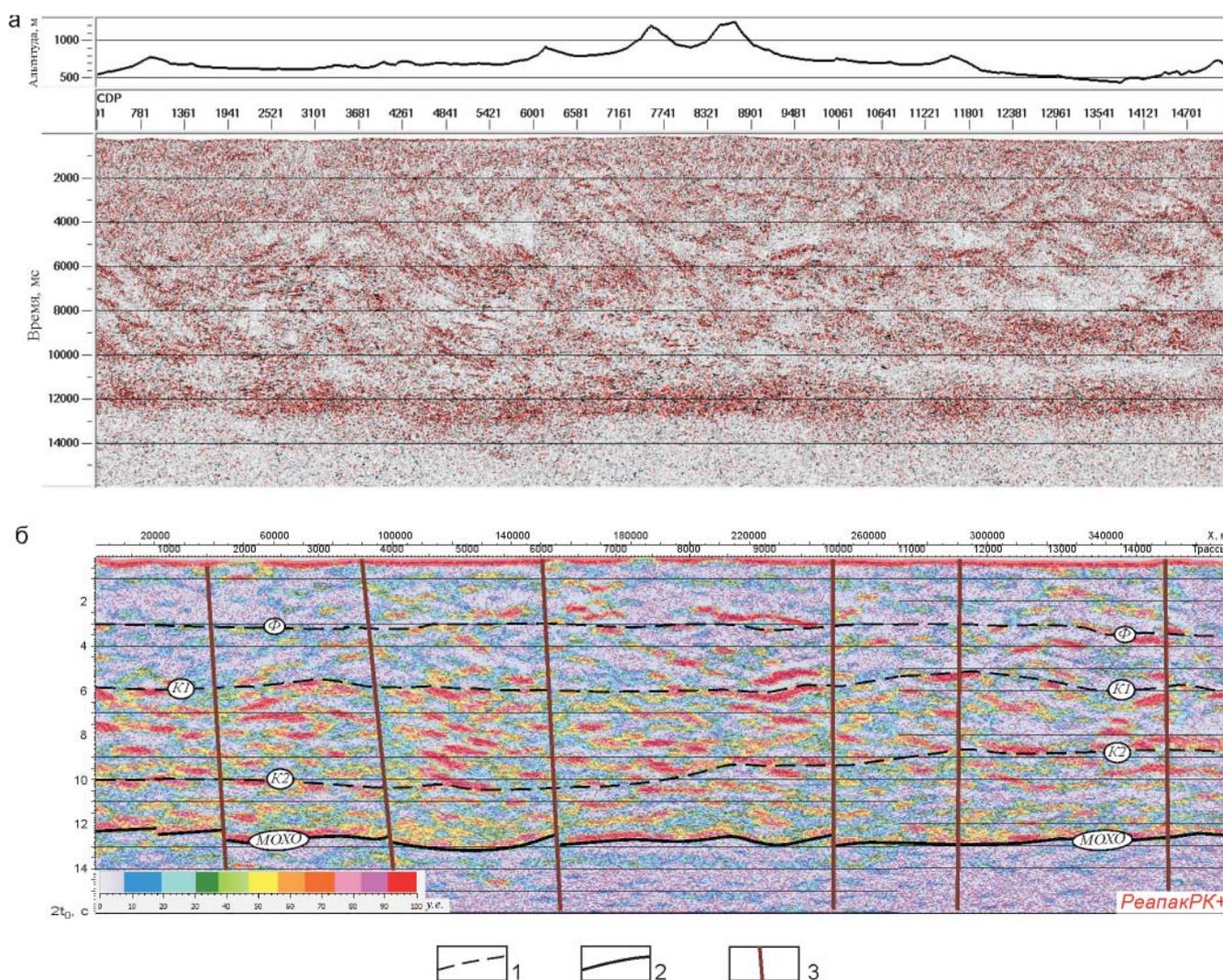


Рис. 4. Разрез ОГТ (а), совмещенный с полем отраженной энергии (б). Восточное Забайкалье, профиль 1-СБ
Границы: 1 – макрослоев, 2 – Мохо; 3 – разломы

земной коры. Оно представлено многочисленными положительными линзообразными аномалиями отраженной энергии (70–90 усл. ед.), разделенными относительно «прозрачными» участками их более низких значений (10–40 усл. ед.), что подчеркивает фрагментарность слоистости разреза земной коры. Энергетические характеристики этого поля связаны с качественным составом пород, степенью их метаморфизма, текстурой и структурой их расланцованности, а также реологическими условиями среды. Структура поля наклонов отражателей характеризует геометрию строения земной коры. Цветовая палитра поля определяет ориентировку (подъем либо погружение) групп площадок (при рассмотрении профиля в определенном ракурсе). Так, в соответствии с выбранной палитрой цветокодирования и ракурсом рассмотрения поля слева направо на приведенном поле наклонов отражателей красный цвет характеризует воздымание площадок в направлении возрастания пикетов сейсмического профиля, а сине-голубой – их погружение. По ориентации наклонов площадок и линиям угловых несогласий устанавливаются формы генерализован-

ных структур разреза, положение и строение линий разломов. Поле видимой частоты отражателей показывает периодичность следования площадок на вертикальной оси. С определенной долей условности низкие значения видимой частоты можно связать с областями растяжения расслоенной породы, а более высокие – с областями ее сжатия. Области низких значений видимой частоты в сочетании с низкими значениями отраженной энергии (прозрачные зоны) можно также объяснить наличием в разрезе интрузивных тел.

В результате интерпретации полей Реапак-атрибутов построена макро модель земной коры по участку профиля протяженностью 380 км (см. рис. 5). Она освещает часть Центрально-Азиатского складчатого пояса, относящуюся к Монголо-Забайкальской складчатой области. Эта область в северной части профиля подходит к Пришилкинской зоне смятия, включающей зону Монголо-Охотского глубинного разлома. Макро модель представлена макрослоями и макроблоками, разделенными разломами. Все поля атрибутов, на которые нанесены геологические элементы модели, изображены с подложкой разре-

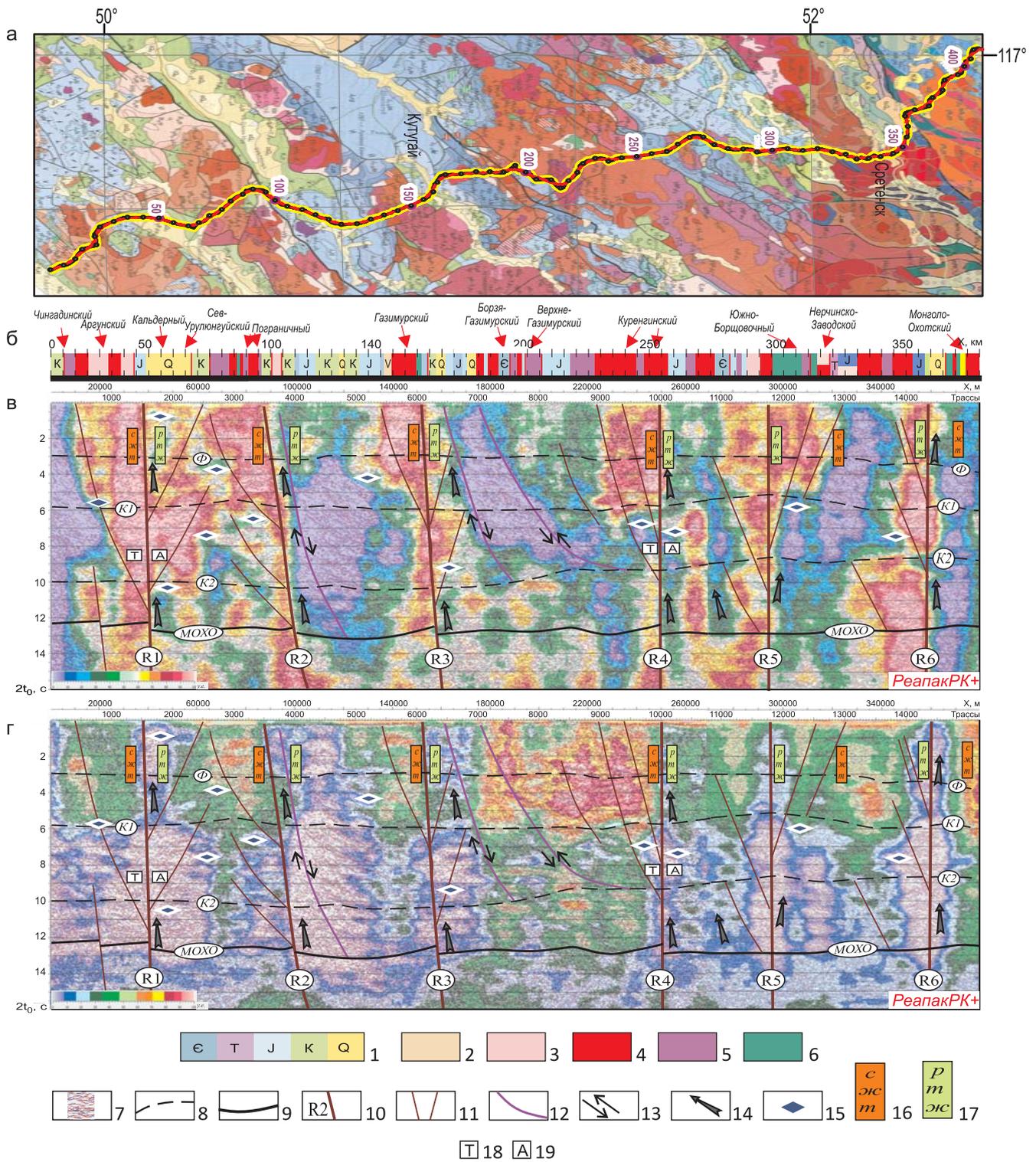


Рис. 5. Сейсмотектоническая модель земной коры, сопоставленная с фрагментом геологической карты (а) и вырезкой из нее (б) и совмещенная с полями сейсмических атрибутов: наклонов (в) и видимой частоты (г). Восточное Забайкалье, профиль 1-СБ

1–6 – вырезка из геологической карты: 1 – осадочные образования фанерозоя; 2 – образования протерозоя; интрузивные образования составов: 3 – кислого, 4 – среднего 5 – основного и ультраосновного, 6 – разломы; 7–19 – поля атрибутов сейсмического профиля 1-СБ: 7 – группы отражателей разреза ЭКО; границы: 8 – макрослоев; 9 – Мохо; 10 – оси разломов; 11 – оперяющие элементы осей разломов; 12 – сбросы; 13 – направление движения блоков при сбросах; 14 – возможные пути движения магматических растворов; 15 – магматические камеры (пулл-апараты); блоки в состоянии: 16 – сжатия, 17 – растяжения; направление движения блоков: 18 – к наблюдателю, 19 – от наблюдателя

за ЭКО. Поле отраженной энергии сопоставлено с исходным разрезом ОГТ (см. рис. 4), а поля наклонов и видимой частоты отражателей – с геологической

картой и узкой полосой ее «среза» по линии профиля, на которой указаны положения закартированных ранее разломов (см. рис. 5).



Поле отраженной энергии – основной источник информации для выделения в земной коре фрагментарных элементов повышенной и пониженной расчлененности и конструирования на их основе крупных слоев макромоделей. Разделение земной коры на макрослои выполнено по различию уровня фона значений отраженной энергии и по степени насыщенности разреза положительными энергетическими аномалиями. Эти критерии были дополнены различиями в структуре макрослоев на полях средней и суммарной длины отражателей, а также общими представлениями о строении континентальной земной коры на территориях складчатых областей, к которым относится Восточное Забайкалье. Верхний макрослой с наименее выраженной расчлененностью, ограниченный снизу кровлей кристаллического фундамента (Ф), отнесен к складчатым структурам верхней части разреза. Он представлен магматическими породами разного возраста (от протерозойского до мезозойского) и состава, на которые наложены узкие впадины, заполненные вулканогенно-осадочными отложениями юры и мела. Остальная часть земной коры по фоновым значениям отраженной энергии, степени акустической расчлененности, протяженности отражателей, качественному составу и реологическим характеристикам пород разделена условными границами K1 и K2 и границей Мохо на три макрослоя: верхний (гранитоидный), средний (гранулитовый) и нижний (базитовый). В нижнем макрослое выделен пояс «рефлективности», с высокой степенью расчлененности пород, нижняя граница которого является подошвой земной коры – границей Мохо. Низкоэнергетические разрывы между отдельными линзообразными структурами этого поля можно связать с окнами и каналами, через которые вероятно проникновение магматических расплавов, флюидонасыщенных термальных растворов и тепловых потоков из мантийного слоя в верхние части земной коры. Это является благоприятным фактором для формирования месторождений полезных ископаемых.

Тектонические элементы разреза – разломы и разделяемые ими блоки – наиболее четко проявлены на поле наклонов отражателей. Это поле (см. рис. 5, в) разделено на крупные аномалии разных направлений углов наклона. В ориентации структуры данных аномалий доминируют субвертикальные элементы, часть которых пересекает всю земную кору. Особенности поля наклонов отражателей рассматриваемого участка профиля 1-СБ во многом соответствуют представлениям о геометрических формах и кинематических проявлениях сдвиговой тектоники, приведенным в обзоре [8], где обобщены результаты работ, выполненных в полевых и лабораторных условиях. В соответствии с этими результатами признаками разломов со смещением по латерали в вертикальном разрезе среды могут быть «пальмовая» либо «цветочная» структуры

расходящихся опережающих разломов от осевого шва (сместителя) субвертикальной ориентации, наличие опережающих сегментов, выпуклые формы геометрии изгиба границ с расширением свода к верхней части разреза. Кроме того, субгоризонтальные движения блоков сопровождаются компрессионными поднятиями пород над зоной главного смещения. Со сдвиговой тектоникой, проявляемой в геометрии сейсмических границ, связаны и механизмы формирования сегментов растяжения и сжатия пород, что является одним из определяющих факторов прогнозирования зон, перспективных для поиска полезных ископаемых.

На поле наклонов отражателей профиля 1-СБ выделено шесть разломов (R1–R6) с признаками геометрии сдвиговой кинематики. Прежде всего это признаки конвергентного смещения блоков по латерали с формированием компрессионных поднятий. Основными элементами таких разломов являются субвертикальные линии сместителей, по которым происходят горизонтальные смещения блоков. К ним можно отнести субвертикальные линии примыкания аномалий противоположных знаков, относящиеся к шовным зонам, с которыми связано формирование в одном из блоков компрессионных поднятий. Сам рисунок поля наклонов как бы отражает куполообразные (сводовые) структуры. В направлении к поверхности можно наблюдать расширение сводов этих структур, разветвление линий угловых несогласий и формирование блоков-сегментов «пальмовой» либо «цветочной» структур, характерных для разрывных нарушений сдвиговой природы. Это, в свою очередь, открывает путь для установления сегментов растяжения и сжатия пород, а также для прогнозирования зон повышенной и пониженной проницаемости среды.

Воздымание площадок с формированием приподнятых блоков (зоны сжатия расчлененной породы) сменяется их «проседанием» в смежных блоках-сегментах, что можно объяснить растяжением расчлененной породы, которое стимулирует проседание ее площадок в сторону погружения. В направлении к дневной поверхности структуры каждого из рассмотренных разломов усложняются взбросовыми и сбросовыми составляющими, а с появлением дополнительных боковых сегментов приобретают вид «пальмового дерева» либо «цветочной структуры». Таким образом, геометрия границ поля наклонов на рассмотренном участке профиля отображает кинематику латеральных сдвигов, осложненных взбросовой и сбросовой компонентами разрывных нарушений. В нижней части земной коры линии сместителей шовных зон, как правило, совпадают с окнами энергетического ослабления пояса «рефлективности» и с разрывами границы Мохо. Они прослеживаются ниже подошвы земной коры и заходят в мантийную часть разреза. Это свидетельствует о том, что выделенные разломы являются структурами литосферного уровня заложения.



Блоки-сегменты могут иметь разные характеристики состояния тектонического напряжения [6] и это состояние может быть диагностировано не только по геометрии границ. Поле видимой частоты отражателей (см. рис. 5, г) представлено крупными аномалиями высоких (до 29 Гц) и низких (до 18 Гц) ее значений. Эти изменения значений видимой частоты по латерали, очевидно, можно использовать как дополнительную оценку тектонических напряжений в среде. Признаком для диагностирования сегментов сжатия являются более высокие, а сегментов растяжения – более низкие значения указанного атрибута.

Каждый из выделенных разломов имеет свои особенности и свои соотношения с ранее закартированными разломами (см. рис. 5, а). Так, в единый разлом сдвиговой кинематики (R1) однозначно вписываются три разлома (Чиндагинский, Аргунский и Кальдерный). При этом Аргунский разлом соответствует положению основного сместителя сдвига R1, на поле отраженной энергии ему соответствуют изменения в энергетических характеристиках пояса «рефлексивности». Чиндагинский и Кальдерный разломы соответствуют положениям боковых ветвей Аргунского разлома. Сегмент между основным сместителем и Кальдерным разломом, в котором наблюдаются выполаживание и погружение отражателей на север, можно отнести к сегменту, где происходит растяжение пород. Подтверждается это низкими значениями видимой частоты отражателей.

Разломы R2 и R3 характеризуются хорошо выраженными компрессионными поднятиями в левых сегментах, четкими субвертикальными линиями сместителей и сбросовыми структурами в правых сегментах. Сместитель разлома R2 отстоит от разлома R1 на 50 км. На поверхности он совпадает с Пограничным, а его левая ветвь – с Северо-Урюлюнгийским разломами. Разлом R3 имеет хорошо выраженную систему оперяющих веток. Выход его линии сместителя на поверхность совпадает с Газимурским разломом. На уровне подошвы земной коры положение сместителей разломов R2 и R3 совпадает с разрывами в прослеживании границы Мохо, наблюдаемое на поле отраженной энергии. Горизонтальный размер блока между этими разломами составляет около 70 км.

По положению границ ЭКО и полю наклонов отражателей между Пограничным и Газимурским разломами видно проявление структуры крупного грабена, южное плечо которого совпадает со сбросом, а подошва доходит до базитового слоя, достигая уровня границы Мохо, которая имеет здесь слегка прогнутую форму. Другая крупная грабенообразная структура, также с южным плечом, соответствующим сбросу, но с подошвой в гранулитовом слое, расположена за правым сегментом Газимурского разлома. Возникновение грабенов связано с растяжением участков земной коры в блоках между

сдвиговыми нарушениями R2 и R4 и последующим оседанием центральных частей этих блоков.

Разломы R4 и R5 имеют хорошо выраженную пальмовую структуру. Первый совпадает с Куренгинским разломом, второй – с Южно-Борщовочным. Положение сместителя разлома R4 вблизи подошвы земной коры соответствует разрыву границы Мохо. Боковая ветвь этого разлома совпадает с Верхнегазимурским разломом. Образование ветви можно связать с локальным надвигом, сформировавшим локальную зону сжатия в левом сегменте разлома. Такую же зону сжатия можно наблюдать в левом сегменте Южно-Борщовочного разлома. Размеры блоков между Газимурским и Куренгинским разломами составляют около 80 км, а между Куренгинским и Южно-Борщовочным – 60 км.

В области Ачинско-Борщовочной надвиго-складчатой системы и Пришилкинской зоны смятия выделен разлом R6. Он совпадает с закартированным Монголо-Охотским разломом (на 360 км). В разломе R6 более слабо выражена «пальмовая» структура в геометрии наклонов отражателей. Наблюдаемое небольшое горизонтальное смещение оси разлома на уровне кровли нижнекорового (базитового) макрослоя можно объяснить изменением проекции разлома на линию профиля в связи поворотом его на 90°.

Одним из требований решения прикладных задач поиска рудных месторождений является разработка критериев обнаружения в земной коре зон повышенной проницаемости пород, которые ассоциируются с зонами их растяжения. В рамках структур сдвиговых разломов такие зоны могут относиться к блокам-сегментам, где наблюдаются наклоны, характеризующие погружение (проседание) площадок. Зоны повышенной проницаемости пород можно выделять вдоль сместителей (см. рис. 5) в опущенных блоках-сегментах. Дополнительным индикатором сегментов растяжения может быть совпадение их с аномалиями низких значений видимой частоты отражателей. В низах земной коры они, как правило, подходят к окнам в поясе «рефлексивности» и к разрывам границы Мохо. Магистральные каналы повышенной проницаемости обеспечивают возможность перемещения магматических расплавов и термальных растворов вверх по разрезу. Все эти признаки стали обоснованием для прогнозирования каналов повышенной проводимости среды в правых сегментах Аргунского, Пограничного, Газимурского и Куренгинского разломов.

Поисковыми объектами при решении вопросов, связанных с полезными ископаемыми, могут быть также локальные зоны аккумуляции магматического вещества на разных уровнях земной коры, в том числе зоны локального корового растяжения расслоенных пород с формированием глубинных аналогов пулл-апартовых структур (магматических камер). Подобными объектами могут быть локализованные замкнутые зоны, где подъемы площадок



при возрастании глубин достаточно резко переходят в погружение. Таким образом, фиксируется локальное проседание групп площадок расслоенных толщ (на макромодели такие структуры обозначены ромбообразными значками). Часть магматических камер – это локальные грабенообразные 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 ее приповерхностной части. Полученная модель Монголо-Забайкальского участка 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. В итоге в зонах локального присдвигового растяжения у поверхности могли формироваться присдвиговые пулл-апартовые впадины с проявлением процессов присдвигового магматизма. Это позволяет обосновать связи депрессионных зон в верхней части коры с глубинной тектоникой (системой выделенных глубинных разломов), что в полной мере может быть отнесено и к Стрельцовской впадине, расположенной в зоне Кальдерного разлома.

Распределение зон сжатия пород земной коры, относящихся к левым сегментам разломов R1, R2, R3, R4, и зон растяжения, относящихся к их правым сегментам, позволяет сделать вывод о северо-западном направлении вектора тектонических напряжений, обеспечивших формирование этих разломов, и левостороннем смещении их блоков-сегментов. Что касается Южно-Борщовочного разлома (R5), то в его структуре аномалия пониженных значений видимой частоты, а следовательно, зона погружения площадок совпадает с левым сегментом. Это может свидетельствовать о возможной смене направления тангенциальных напряжений, сформировавших этот разлом. О плановом положении подвижных систем в Монголо-Забайкальской складчатой области можно судить исходя из пространственной ориентации линии профиля 1-СБ и с учетом того, что напряжение, создающее сжатие пород, и его реализация (сдвиг) имеют взаимно ортогональные направления. С учетом этих факторов есть основания предположить, что на Монголо-Забайкальском участке профиля были реализованы движения типа левого сдвига.

Таким образом, глубинные критерии прогноза перспективных зон для поиска полезных ископаемых на территории Забайкалья в значительной степени связаны с концептуальными представле-

ниями о тектоническом строении земной коры. В частности, при доминировании сдвиговой кинематики в перемещении блоков земной коры по латерали существенную роль играли поиски зон присдвигового растяжения, стимулирующим действием синкинематического магматизма. При этом ведущее значение при построении физико-геологических моделей рудных узлов могут иметь пулл-апартовые структуры, дающие представления о размещении магмопроводящих каналов и магматических камер. Результаты интерпретации полей Реапак-атрибутов позволяют установить направления магистральных путей продвижения магматических расплавов, а также областей их аккумуляции, имеющих геометрическую структуру локальных магматических камер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Государственная** геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение), лист М-50 – Борзя. Объяснительная записка / ред. В. В. Старченко. – СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2010. – 553 с.

2. **Караев Н. А.** Сейсмические модели гетерогенных сред и формируемые ими волновые поля // Вопросы динамической теории распространения сейсмических волн. Вып. XXII. – Л.: Наука, 1982.

3. **Менакер Г. И.** Строение тектоносферы и закономерности размещения рудных месторождений в Забайкалье: методические рекомендации по исследованию закономерностей размещения рудных месторождений в связи с глубинным строением рудных провинций. – Чита: ПГО «Читагеология», 1989. – 65 с.

4. **Павленко Ю. В.** Объемная геолого-геофизическая модель юго-восточного Забайкалья: закономерности размещения эндогенного оруденения (ч. 1) // Вестн. ЧитГУ. – 2011. – № 39 (76). – С. 102–118.

5. **Рудницкая Д. И., Корнилов М. В., Стражникова И. Н.** Теоретические и алгоритмические основы системы РеапакРК+ // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2012. – № 2. – С. 76–87.

6. **Тевелев Арк. В.** Трансферы в структурах сжатия и растяжения // Ежегодная научная конференция «Ломоносовские чтения». – М.: МГУ. 1997. – С. 76–77.

7. **Тимурзиев А. И., Гогоненков Г. Н.** Новейшая сдвиговая тектоника осадочных бассейнов: от нефтегазогеологического районирования недр до технологии поисков и разведки глубокозалегающих месторождений углеводородов // Вести газовой науки. – 2012. – № 1 (9). – С. 68–85.

8. **Sylvester A. G.** Strike-slip faults // Geol. Soc. Amer. Bull. – 1988. – Vol. 100. – P. 1666–1703.

© Д. И. Рудницкая, М. В. Корнилов, Е. В. Мосягин, 2017