ДОКЛАДЫ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК. НАУКИ О ЗЕМЛЕ, 2020, том 493, № 2, с. 24–28

ГЕОЛОГИЯ

УДК 551.1/.4

МЕЗОЗОЙСКО-КАЙНОЗОЙСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ И КИНЕМАТИКА РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ НЮРОЛЬСКОЙ ВПАДИНЫ (ЮГ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ПЛИТЫ)

© 2020 г. А. Н. Москаленко[1,*], А. К. Худолей[1]

Представлено академиком РАН К. Е. Дегтяревым 05.05.2020 г.
Поступило 05.05.2020 г.
После доработки 26.05.2020 г.
Принято к публикации 28.05.2020 г.

По результатам структурно-геологического анализа МОВ ОГТ 3Д получены новые данные о кинематике разрывных нарушений Арчинской площади, которая располагается в Нюрольской впадине на юго-востоке Западно-Сибирской плиты. Выделяется две стадии формирования разломов в мезозойско-кайнозойское время. Первая стадия характеризуется формированием сбросовых перемещений при северо-восточной ориентировке оси растяжения и отвечает триасовому рифтогенезу, а вторая – кайнозойской реактивацией уже имеющихся разломов и формированием новых с преимущественно сдвиговой компонентой перемещения при субмеридиональной и субширотной ориентировках осей сжатия и растяжения соответственно.

Ключевые слова: структурный анализ, кинематический анализ, поле напряжений, МОВ ОГТ 3Д, Нюрольская впадина, Западная Сибирь

DOI: 10.31857/S2686739720080150

Структурные исследования значительной части Западно-Сибирской плиты существенно ограничены отсутствием коренных выходов и невозможностью непосредственных полевых наблюдений. По этой причине основным источником информации о разрывной тектонике региона служат сейсмические данные МОВ ОГТ 3Д. В настоящей работе изучение кинематики разломов для каждой стадии их формирования проводилось при анализе структурных карт сейсмических горизонтов и рассекающих их поверхностей разрывных нарушений. Методические аспекты этого нового подхода описаны в работе [1], а основная идея заключается в том, что выделяемые по сейсмическим данным разлом и вектор перемещения (рис. 1а, б) рассматриваются как аналоги хорошо известного индикатора напряжений – борозд скольжения на поверхностях разрывных нарушений (рис. 1в). Согласно данному подходу, на структурных картах идентифицируются смещения осевых поверхностей складчатых структур по разрывным нарушениям, и получаемый при этом вектор перемещения характеризуется не только направлением перемещения в плоскости разрывного нарушения (угол α), необходимым для реконструкции палеонапряжений традиционными методами [2, 3], но и амплитудами полного, горизонтального и вертикального перемещения. Следовательно, в отличие от анализа зеркал скольжения в природных обнажениях, данный подход позволяет более корректно реконструировать кинематические характеристики разломов.

Изучение кинематики разрывных нарушений в данной работе проводилось по сейсмическим данным МОВ ОГТ 3Д Арчинской площади, располагающейся в Нюрольской впадине на юго-востоке Западно-Сибирской плиты [4–6]. Основным структурным элементом в регионе является рифт северо-западной ориентировки (рис. 2), который рассекает слабодеформированный палеозойский карбонатный фундамент и перекрыт мезозойско-кайнозойским осадочным терригенным чехлом [5, 7, 8]. Предварительные результаты исследования показывают, что одной из основных особенностей тектонического строения Арчинской площади является развитие двух систем разрывных нарушений меридионального и субширотного направлений с субвертикальными поверхностями сместителя [4]. Формирование разрывных нарушений может отвечать происходившим в триасе рифтогенным процессам, одна-

[1] *Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*
**E-mail: moskalenko@protonmail.com*

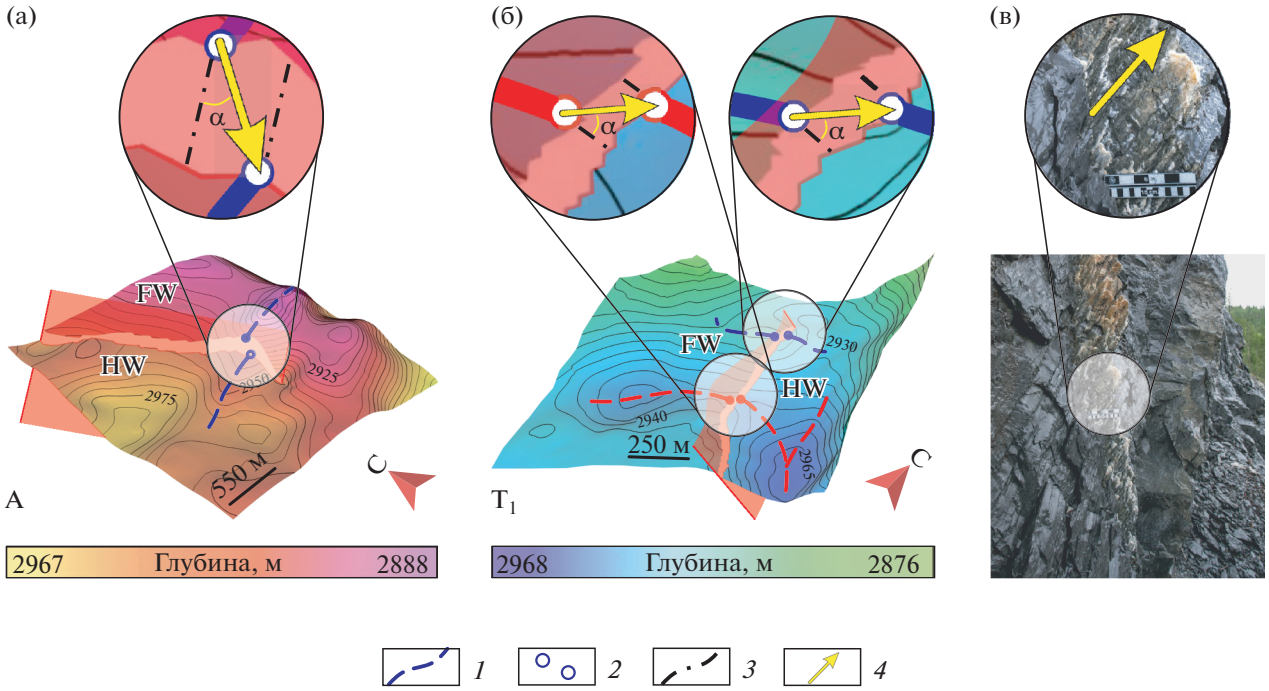

Рис. 1. Векторы перемещений, используемые для реконструкции кинематических характеристик разлома и тектонических напряжений. А. Вектор перемещения на фрагменте сейсмического горизонта А, который фиксирует преимущественно сбросовую кинематику разлома. Б. Векторы перемещения на фрагменте сейсмического горизонта T_1, которые фиксируют преимущественно сдвиговую кинематику разлома. В. Борозда скольжения в природном обнажении. FW – лежачее крыло, HW – висячее крыло, угол α – угол между вектором перемещения и направлением падения поверхности разлома. *1* – след осевой поверхности; *2* – точки разрыва следа осевой поверхности; *3* – граница фрагмента разлома, для которого определяются кинематические характеристики; *4* – вектор перемещения висячего крыла.

ко их дальнейшая эволюция является дискуссионной [4, 9].

Исходными данными для структурно-геологического анализа послужили поверхности четырех сейсмических горизонтов, индексированных в соответствии с решением 6-го межведомственного стратиграфического совещания [10]: регионального отражающего горизонта А, расположенного в основании мезозойско-кайнозойского осадочного чехла; регионально выделяемых в пределах средней юры горизонтов T_2 и T_1, а также расположенного между ними и локально выделяемого только в пределах Нюрольской впадины отражающего горизонта J_{14}. В пределах Арчинской площади выделено 126 векторов перемещения, которые отвечают разрывным нарушениям, идентифицируемым как крутопадающие поверхности с углами падения от 70° до 90°. Сдвиговая компонента присутствует в большинстве разломов, однако закономерностей в распределении лево- и правосдвиговых перемещений не прослеживается.

Сравнение амплитуд полного перемещения по разрывным нарушениям отображает тенденцию их уменьшения вверх по разрезу. Для сейсмического горизонта А среднее значение амплитуды полного перемещения равно 204 м, T_2 – 133 м, J_{14} – 79 м и для T_1 – 75 м. Вследствие анализа соотношения амплитуд вертикального и горизонтального перемещения видно, что на сейсмических горизонтах T_2, J_{14} и T_1 доминирует горизонтальная компонента перемещения по простиранию разрывных нарушений (рис. 3). Это подтверждается распределением угла α, который определяет соотношение между сбросо-взбросовой и сдвиговой компонентами перемещения и варьирует от 0° до 90°. Так, перемещения по падению (угол α варьирует от 45° до 90°), фиксирующие преобладание сбросовой компоненты, широко представлены только на сейсмическом горизонте А, тогда как сдвиговые перемещения (угол α варьирует от 0° до 45°) характерны для всех сейсмических горизонтов.

На основании полученных результатов можно выделить две группы перемещений по разрывным нарушениям: наиболее интенсивные сбросовые, которые характерны только для поверхности фундамента; и сдвиговые, доминирующие на более верхних сейсмических горизонтах. Они хорошо коррелируют с выделенными ранее полями напряжений – наличие горизонтального растяжения при его северо-восточной ориентировке и сдвигового поля при субмеридиональной и суб-

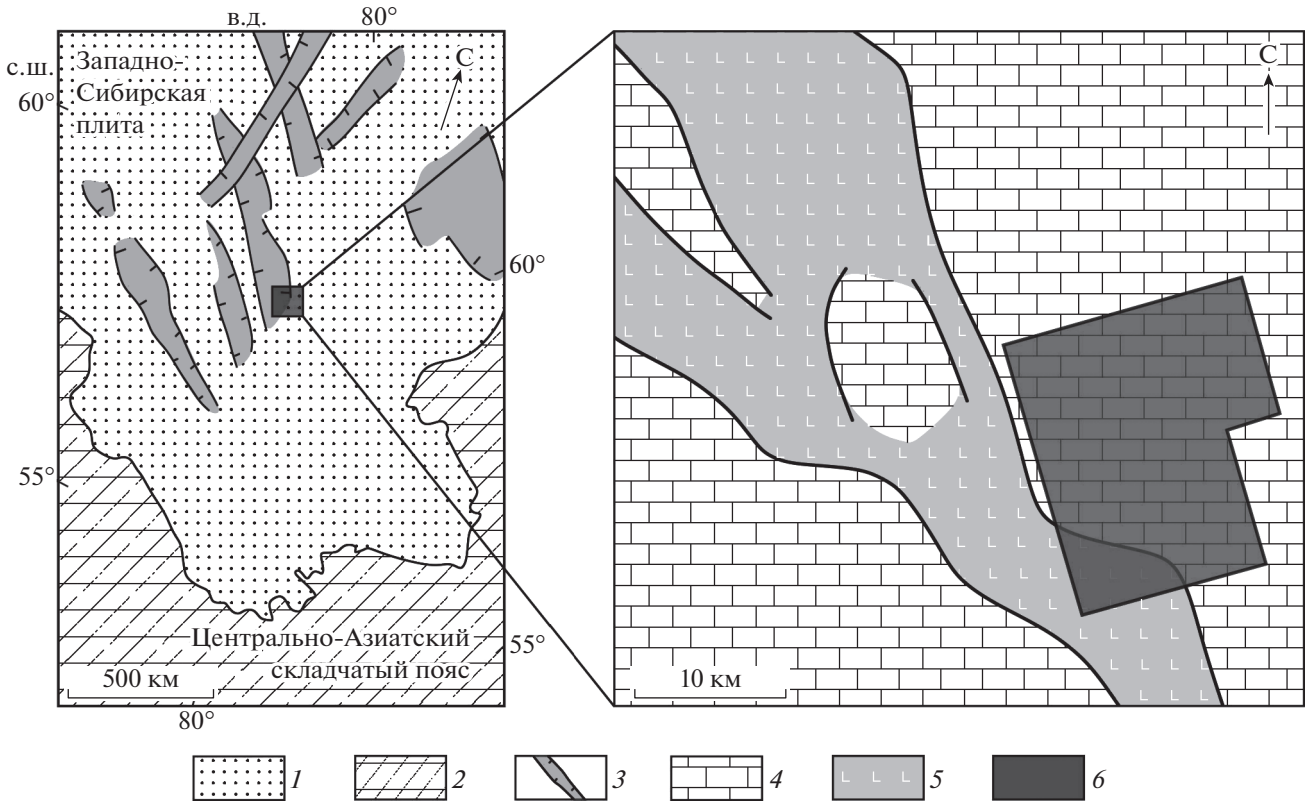

Рис. 2. Расположение района работ (геологические карты по [5, 7] с изменениями). *1* – осадочный чехол Западно-Сибирской плиты; *2* – палеозойские комплексы Центрально-Азиатского складчатого пояса; *3* – позднепалеозойско-триасовые рифты и осадочные бассейны; *4* – фундамент, представленный девонскими карбонатами; *5* – триасовый рифт, заполненный эффузивными образованиями; *6* – Арчинская площадь.

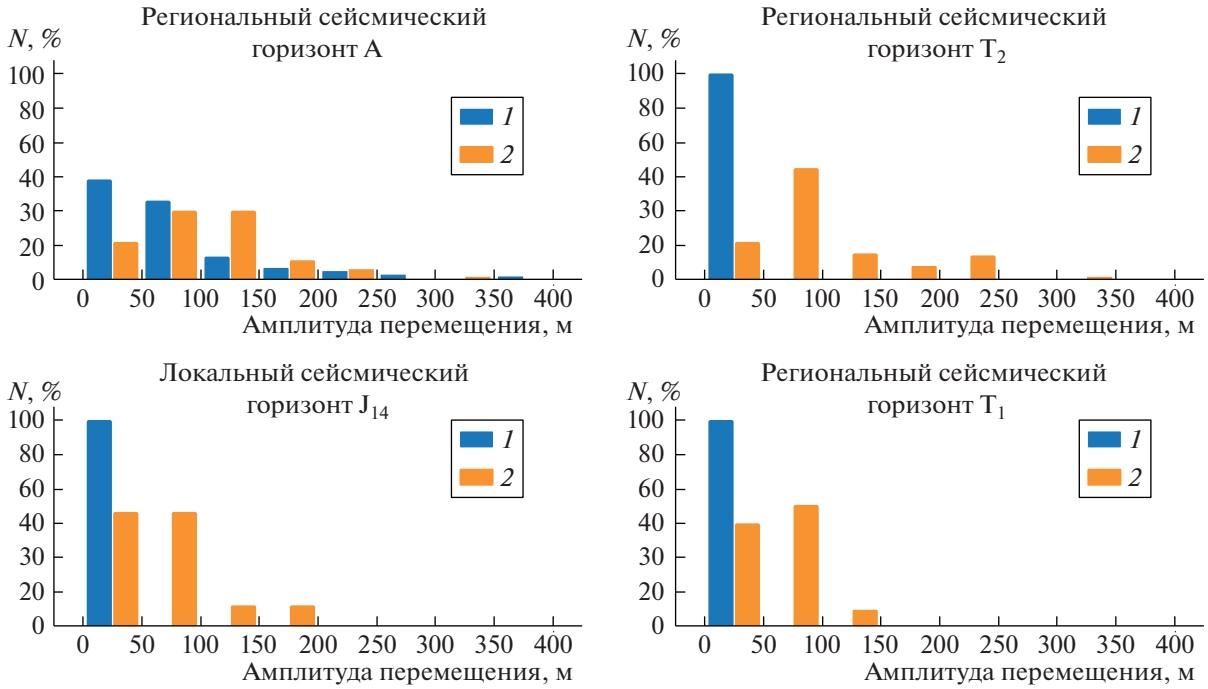

Рис. 3. Распределение амплитуд вертикальной и горизонтальной составляющей перемещения по данным, полученным на сейсмических горизонтах A (76 замеров), T_2 (24 замера), J_{14} (16 замеров) и T_1 (10 замеров). *1* – амплитуда вертикального перемещения; *2* – амплитуда горизонтального перемещения.

широтной ориентировках осей сжатия и растяжения, соответственно, подтверждается реконструкцией методом катакластического анализа [1, 2]. Установленные две стадии формирования разрывных нарушений позволяют уточнить модель эволюции разрывных нарушений в регионе.

Первый этап эволюции разломов с доминирующей ролью сбросовой составляющей отвечает триасовому рифтогенезу, который распознается на всей территории Западной Сибири. Второй этап отвечает реактивации уже имеющихся и формированию новых разрывных нарушений с преимущественно сдвиговой компонентой, где при субмеридиональной ориентировке оси сжатия левосдвиговая компонента перемещения преобладает по разломам северо-восточной ориентировки, а правосдвиговая – северо-западной.

Несмотря на то, что роль мезозойско-кайнозойской разрывной тектоники в регионе ранее уже рассматривалась [11], возраст сдвигового этапа неочевиден. Однако наиболее вероятной причиной сдвигов могла служить кайнозойская коллизия Индостана и Евразии [12], в результате которой произошло возобновление перемещений по сдвигам в смежных с южной частью Западной Сибири структурах Центрально-Азиатского пояса [13]. Полученные нами ориентировки осей главных напряжений сдвигового этапа деформаций подтверждаются данными других исследователей, оценивающих современное поле напряжений в исследуемом регионе и обрамляющих его территориях [14, 15]. Так, на существование современного напряженного состояния при субмеридиональной ориентировке оси сжатия указывают результаты анализа горизонтального смещения земной коры ближайшего горного сооружения к южному обрамлению Западной Сибири – западной части Горного Алтая [15]. По результатам экспериментальных измерений GPS с 2000 по 2012 гг. определены скорости смещений Горного Алтая в север-северо-западном направлении в 1.2 мм/год. Более того, на Арчинской площади проводился анализ трещиноватости по данным FMI [6], который фиксирует наличие современного поля напряжения при северо-восточной ориентировке оси растяжения.

Таким образом, благодаря новому индикатору тектонического напряжения – вектору перемещения, выделяемому при структурном анализе сейсмических данных МОВ ОГТ 3Д, возможно реконструировать кинематические характеристики разрывных нарушений и производить количественные оценки перемещений по ним в тех регионах, где проведение полевых исследований является невозможным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Москаленко А.Н.* Реконструкция параметров напряженно-деформированного состояния по сейсмическим данным МОВ ОГТ 3Д на примере юго-восточной части Нюрольской впадины (Западная Сибирь) и северного склона Байкитской антеклизы (Восточная Сибирь): Автореф. дис... канд. геол.-минерал. наук. СПб., 2018. 22 с.
2. *Ребецкий Ю.Л., Сим Л.А., Маринин А.В.* От зеркал скольжения к тектоническим напряжениям. Методики и алгоритмы / М.: ГЕОС, 2017. 233 с.
3. *Fossen H.* Structural Geology. Second Edition / Cambridge University Press, 2016. 510 p.
4. Реконструкция кинематических характеристик разрывных нарушений и поля палеонапряжений для Урмано-Арчинской площади / А.Н. Москаленко, А.К. Худолей, В.В. Жуков и др. // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2015. № 5. С. 1–16.
5. *Конторович В.А., Бердникова С.А., Антипенко С.В.* Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности зоны контакта палеозойских и мезозойских отложений южной части Васюганской нефтегазоносной области // Геология нефти и газа. 2004. № 2. С. 8–15.
6. *Буторина М.А., Главнова Е.Н., Жуковская Е.А.* Прогноз зон развития трещинно-кавернозных коллекторов палеозойского возраста по данным сейсморазведки (на примере Арчинского месторождения Томской области) // Трудноизвлекаемые и нетрадиционные запасы УВ: опыт и прогнозы: Материалы конференции. Казань, 2014. С. 3–17.
7. *Vyssotski A.V., Vyssotski V.N., Nezhdanov A.A.* Evolution of the West Siberian Basin // Regional Geology and Tectonics: Phanerozoic Passive Margins, Cratonic Basins and Global Tectonic Maps. Boston Elsevier, 2012. P. 754–801.
8. Новые подходы к изучению нефтегазового потенциала доюрских отложений Западно-Сибирской нефтегазовой провинции / В.В. Харахинов, Н.М. Кулишкин, С.И. Шленкин, А.В. Олюнин // Геология нефти и газа. 2015. № 6. С. 63–77.
9. Государственная геологическая карта СССР. Лист О-43, (44) Тара. Масштаб 1 : 1 000 000 / А.Е. Бабушкин, В.А. Богдашов, И.П. Васильев и др. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1979.
10. Решение 6-го Межведомственного стратиграфического совещания по рассмотрению и принятию уточненных стратиграфических схем мезозойских отложений Западной Сибири, Новосибирск, 2003 / Гл. ред. Ф.Г. Гурари; О.С. Дзюба, В.И. Ильина, и др. Новосибирск: СНИИГГиМС, 2004. 113 с.
11. Роль мезозойско-кайнозойской тектоники в формировании залежей углеводородов в южных частях Каймысовского свода и Нюрольской мегавпадины / В.А. Конторович, М.В. Соловьев, Л.М. Калинина, А.Ю. Калинин // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 8. С. 1075–1091.
12. *Najman Y., Appel E., Boudagher-Fadel M.* Timing of India-Asia Collision: Geological, Biostratigraphic, and Palaeomagnetic Constraints // Journal of Geophysical Research. 2010. V. 115. B12416. P. 1–18.

13. *De Grave J., Buslov M.M, Van den Haute P.* Distant Effects of India-Eurasia Convergence and Mesozoic Intracontinental Deformation in Central Asia: Constraints from Apatite Fission-track Thermochronology // Journal of Asian Earth Sciences. 2007. V. 29. P. 188–204.
14. *Юрченко О.С., Сим Л.А.* Сдвиговые деформации северной части Александровского свода // Проблемы тектонофизики. К сорокалетию создания М.В. Гзовским лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН. М.: ИФЗ, 2008.
15. Современные скорости смещений земной коры Горного Алтая и Западного Саяна / А.В. Тимофеев, Д.Г. Ардюков, Е.В. Бойко и др. // Интерэкспогео-Сибирь. 2017. Т. 2. № 3. С. 138–143.

MESOZOIC-CENOZOIC EVOLUTION AND FAULT KINEMATICS ANALYSIS OF THE NUROL DEPRESSION IN THE SOUTH OF THE WEST SIBERIAN BASIN

A. N. Moskalenko[a,#] and A. K. Khudoley[a]

[a] *Institute of Earth Sciences, St. Petersburg University, St. Petersburg, Russian Federation*

[#] *E-mail: moskalenko@protonmail.com*

Presented by Academician of the RAS K. E. Degtyariov May 5, 2020

New fault kinematics data of the Archinsk field in the Nurol depression (SE part of the West Siberian Basin) are obtained by structural map analysis of the 3D seismic reflection data. There are two stages of fault formation in the Mesozoic-Cenozoic. The first stage is characterized by a normal stress regime with NE-trending minimal principal stress and corresponds to Triassic rifting. The second stage is characterized by Cenozoic strike-slip fault both formation and reactivation with NW- and NE-trending minimal and maximum principal stresses.

Keywords: structural analysis, fault kinematics analysis, stress field, seismic data, Nurol depression, West Siberian Basin.