



МАСШТАБНЫЕ ЛАТЕРАЛЬНЫЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПОРОД И ФЛЮИДОВ НА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЕ

А. В. Мигурский

Твердая и флюидная фазы геологического субстрата на Сибирской платформе в периоды высокой тектонической активности смещались по латерали на расстояния в десятки – сотни километров. Существующие представления о невозможности дальней миграции флюидов некорректны, поскольку даже при пассивном перемещении флюидов внутри аллохтонных покровов амплитуды перемещений достигают многих десятков километров. Активная боковая миграция флюидов весьма убедительно проявлена в сосредоточении подавляющего большинства месторождений нефти и газа во фронтальных зонах аллохтонов и крупнейших полей пластовых траппов.

Ключевые слова: зоны аллохтона, пластовые интрузии траппов, флюидодинамика, месторождения нефти и газа, Сибирская платформа.

LARGE SCALE LATERAL DISPLACEMENTS OF ROCKS AND FLUIDS ON THE SIBERIAN PLATFORM

A. V. Migursky

During high tectonic activity solid and fluid phases of geologic substrate on the Siberian Platform laterally displaced for tens-hundreds of kilometers. Existing views on impossibility of distant fluid migration are incorrect, as even at passive fluid displacement within allochthonous overburden displacement magnitudes reach many tens of kilometers. Active lateral fluid migration is rather strongly manifested in concentration of overwhelming majority of oil and gas fields in the frontal allochthon zones and greatest sill fields.

Key words: allochthon zone, trapp sill, fluid dynamics, oil and gas fields, Siberian Platform.

Покровные смещения консолидированных пород

Сибирская платформа со всех сторон окружена складчатыми областями, и почти везде зоны сочленения с ними имеют преимущественно шарьяжно-надвиговое строение со смещением пород в сторону платформы. Возраст шарьяжно-надвиговых дислокаций меняется от каледонид (Саяно-Байкальское обрамление) до герцинид (Енисейский кряж, Таймыр) и поздних мезозойид (Предверхоанский краевой прогиб, южное обрамление Алданского щита, Ангарский надвиг, Присаянье). Этапы их формирования связаны с обстановками мощных горизонтальных тектонических сжатий.

Обширные зоны шарьяжно-надвигового строения установлены вокруг Байкало-Патомского нагорья и в Предверхоанском краевом прогибе (рис. 1). Ширина зоны развития структур срыва вокруг Байкало-Патомского нагорья достигает 200 км, в его внутренней части – около 100 км. Амплитуда латерального перемещения пород, фиксируемая по перекрытиям осадочной толщи платформы кристаллическим основанием, максимальна в самом нагорье (не менее 45 км) [14]. В то же время укорочение толщи аллохтона, заключенной между фасом нагорья и фронтом поверхности срыва (детachment), за счет смятия колеблется, видимо, в пределах 10–15 км [16]. В Предверхоанском краевом прогибе «наибольшие надвиговые перемещения установлены в Южно-Верхоанском секторе и достигают 90 км» [16, с. 192].

Амплитуды доказанного надвигания архей-нижнепротерозойского кристаллического основания на юрские отложения в районе Чульманской и Черемховской депрессий составляют 7–15 км [5, 17]. В. В. Кулаков [9], анализируя характер ограничения мезозойских выходов на юге Алданского щита в поле древних пород, пришел к выводу, что они представляют собой тектонические окна. Амплитуду перекрытия мезозойского бассейна пластинами фундамента он оценил в 40–60 км.

Имеются убедительные геофизические (по данным сейсмо- и электроразведки) свидетельства надвигания образований Енисейского кряжа, Туруханского поднятия на прилегающие районы Сибирской платформы. По имеющимся оценкам, амплитуды надвигания изменяются от единиц до первых десятков километров [18].

Поскольку складчато-надвиговые дислокации обычно развиты в верхних частях осадочного чехла, легкодоступны для изучения геологической съемкой, сейсморазведкой, глубоким бурением, осторожные выводы о масштабах их перемещения в единицы – десятки километров больших споров в настоящее время не вызывают.

Дислокации аллохтона вниз по разрезу ограничены detachment, имеющим ступенчатое строение: в горизонтах пластичных пород он субпараллелен слоистости, а при переходе к жестким пластам пересекает их под крутыми углами. Главной чертой строения detachment является его гипсометрический и стратиграфический подъем при удалении от корневой зоны вплоть до выхода на дневную поверхность во фронтальной части.

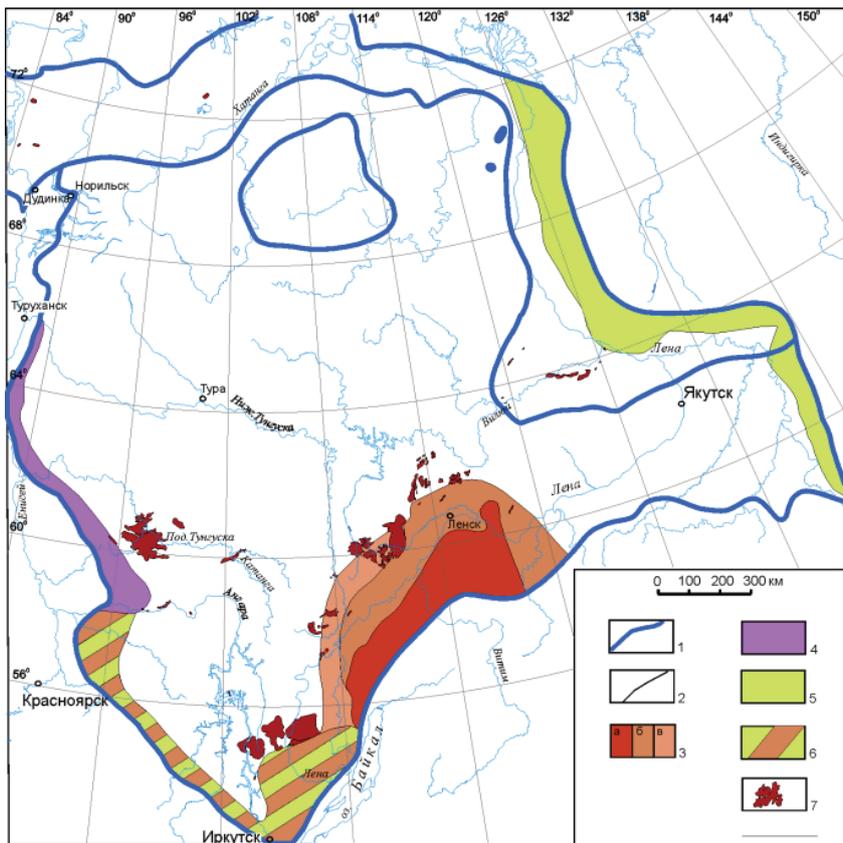


Рис. 1. Зоны шарьяжно-надвигового строения в границах нефтегазоносных провинций (НГП) Сибирской платформы. Границы: 1 – НГП, 2 – шарьяжно-надвиговых зон; этапы развития шарьяжно-надвиговых зон: 3 – S_2-D_1 с положением detachmenta в рифее (а), нижнем венде (б), нижнем кембрии (в), 4 – P_2-T_1 , 5 – K_1 , 6 – S_2-D_1 и K_1 ; 7 – месторождения нефти и газа

Надо отметить, что структуры срыва развиваются во времени от внутренних частей складчатого обрамления в сторону платформы.

Описанные шарьяжно-надвиговые дислокации, по сути, представляют собой внутреннюю структуру глубинных разломов надвиговой природы, отделяющих Сибирскую платформу от соседних структурных элементов земной коры. Данный вывод следует из того, что ширина зон региональных субвертикальных разломов достигает многих десятков километров; в частности, ширина зоны сдвига Сан-Андреас в Калифорнии составляет 60–80 км [19]. В надвигах, близких по протяженности Сан-Андреасу, даже при ширине в несколько раз меньшей, но при наклонном залегании, выход внутренних деформаций на дневную поверхность вполне соответствует объему пород, вовлеченных в покровную дислоцированность.

Заметные (до первых километров) амплитуды латеральных перемещений консолидированных пород установлены и при гравитационных оползаниях верхних частей осадочного чехла при наличии горизонтов, выполняющих функцию смазки. В частности, главную роль в формировании Непской зоны дислокаций сыграло оползание надтрапповой толщи по расплаву в период формирования Усольского силла [11]. Латеральный срыв надсилловых пород с разобщением в плане под- и надтрапповых частей трубок взрыва обнаружен и в районах кимберлитового магматизма [8]. Но поскольку эти нарушения напрямую не связаны с тектоническим напряжением сжатия и не оказывали заметного воздействия на динамику

пластовых флюидов, в дальнейшем они не рассматриваются.

Латеральная миграция флюидов

Более сложно определить характер латеральной миграции флюидов в осадочном чехле. В проблеме периодизации, масштабности и направленности миграции флюидов, в первую очередь углеводородов (УВ), на юге Сибирской платформы еще много неясного. Обычно принимается, что миграционные процессы начались уже в рифее и протекали стационарно по мере прохождения материнских толщ через главные зоны нефте- и газообразования. Поскольку большая часть открытых скоплений УВ расположена за пределами очагов нефтегазообразования, для объяснения их формирования привлекается масштабная (до первых сотен километров) латеральная миграция УВ [6].

Однако многие исследователи (В. Ф. Линецкий, А. Е. Гуревич, А. Г. Арье, А. И. Тимурзиев и др.) дальнюю миграцию флюидов либо полностью отрицают, либо ставят под сомнение. Обоснование незначительной роли латерального перемещения флюидов базируется только на представлениях о статичной обстановке в осадочных бассейнах.

Эти исследователи либо совсем не рассматривают влияние тектоносейсмических активизаций на флюидодинамику в осадочном чехле, либо отводят им незначительную роль. В частности, А. Е. Гуревич приводит сведения о колебаниях уровня подземных вод при землетрясениях, но отмечает, что «упругие волны, а следовательно, и области сжатия распространяются со скоростью 5–7 км/с и не сопровождаются практически пере-



мещением пластовых жидкостей уже в силу своей природы. Поэтому с позиций движения жидкости и газа в породах землетрясения не представляют интереса» [4, с. 32].

Вместе с тем удаленность конкретных месторождений нефти и газа от зон генерации УВ говорит о более значительных масштабах латеральной миграции флюидов: до первых сотен километров. Мнения об определяющей роли тектоносейсмических процессов в резкой активизации миграции флюидов придерживаются Н. В. Черский, В. П. Царев, О. Л. Кузнецов, Г. Д. Осика и мн. др. Изучение гидродинамических эффектов, сопровождающих современные землетрясения, выявило колебания дебитов нефти, газа и воды в скважинах, отстоящих от эпицентров на десятки – сотни километров. Изменения дебитов флюидов в скважинах и источниках фиксируется за многие месяцы до и после сейсмического события. Флюидодинамические эффекты при катастрофических землетрясениях отмечаются на расстояниях многие тысячи километров.

Выход из противоречия между теоретическими расчетами и геологическими фактами видится только в принятии модели насильственного латерального перемещения флюидов. В качестве сил, вызывающих движение флюидов, выступают мощные тектонические напряжения периодов геодинамических активизаций в земной коре [1, 10 и др.]. Причем главным процессом, приводящим к масштабной латеральной миграции флюидов, является субгоризонтальное тектоническое сжатие. В обстановках интенсивных сжатий (зоны субдукций) выделяется «более 90 % мировой энергии мелкофокусных землетрясений и почти вся энергия глубокофокусных землетрясений» [2, с. 171]. Активизация тектоносейсмических процессов приводит к весьма резкому (на несколько порядков) возрастанию скорости латеральной миграции флюидов [3]. Именно в обстановке сжатия в осадочном чехле возникают субгоризонтальные трещины растяжения, способные создавать миграционные каналы даже на участках отсутствия коллекторов. А дополнительные нагрузки тектонических покровов, их клиновидность и последовательное смещение от центров зарождения складчато-надвиговых процессов к периферии препятствуют вертикальной миграции и приводят к поступательному перемещению флюидов. Этот процесс подтверждается возрастанием объемов пластовых флюидов и их аномально высоких пластовых давлений во фронтальных надвигах в Орегонской и других зонах тектонических деформаций сжатия [15, 23]. Часто отжимаемые волны флюидов опережают (до нескольких десятков километров) фронт складчато-надвиговых дислокаций [22], т. е. разгрузка флюидов и, следовательно, аккумуляция УВ может быть сосредоточена на некотором расстоянии от границы структур срыва.

Поскольку Земля постоянно подвергается сотрясениям (от микросейсм до крупных и катастрофических событий), все расчеты передвижения флюидов на основе статичных обстановок в недрах Земли для времен в сотни тысяч – миллионы лет некорректны.

Самые наглядные примеры масштабного латерального перемещения флюидов в геологических процессах связаны с магмами. На Сибирской платформе весьма широко был распространен трапповый магматизм. Магматический расплав, по сути, также является флюидом [20], и его движение в земной коре подчиняется распределению напряжений в регионах внедрения. Гидростатическая природа базальтового расплава определяет закономерности его размещения в осадочном чехле, которые в значительной степени подобны распределению остальных флюидов (воды, нефти, газа). Это и преимущественный подъем расплава вверх по восстанию пород с переходом на более высокие стратиграфические уровни по мере удаления от очаговой зоны, и выбор для ступенчатых переходов наиболее ослабленных и проницаемых участков, и движение по направлениям минимальных геостатических напряжений с обтеканием районов их повышенных значений [13, 14]. Видно, что строение пластовых интрузий траппов во многом подобно строению детачмента аллохтона.

Как и все глубинные эманации, трапповые расплавы первоначально поднимаются по субвертикальным каналам в зонах разломов. Уже на средних глубинах земной коры во фронтальной части магматической колонны начинает формироваться клин летучих компонентов, частью за счет их выделения из расплава, частью за счет захвата флюидов из вмещающих пород. Наиболее активно летучие из основных магм выделяются на глубинах 3–7 км. Эта активность зависит от их весового содержания: чем больше летучих в магме, тем глубже начинается ее вскипание [7]. В осадочном чехле клин летучих, а вслед за ним и расплав в случае преобладания горизонтальных сжимающих напряжений меняют вертикальную составляющую движения на латеральную, формируя пластовые интрузии – силлы. В сущности, интрузии траппов – это застывший след движения флюидов в осадочном чехле. Отсюда, анализ морфологии и размеров пластовых интрузий дает информацию о масштабах и направлениях латерального перемещения флюидов.

Пластовые интрузии сосредоточены главным образом в южной половине Сибирской платформы [12], где выявлены и основные скопления нефти и газа в отложениях рифея, венда и нижнего кембрия. Самый известный пластовый трапп – Усольский силл [12, 21]. В настоящее время его строение охарактеризовано по материалам более чем 400 скважин, региональной и детальной сейсморазведки. В плане силл имеет амeboобразную форму с крупными заливообразными осложнениями и ступенча-

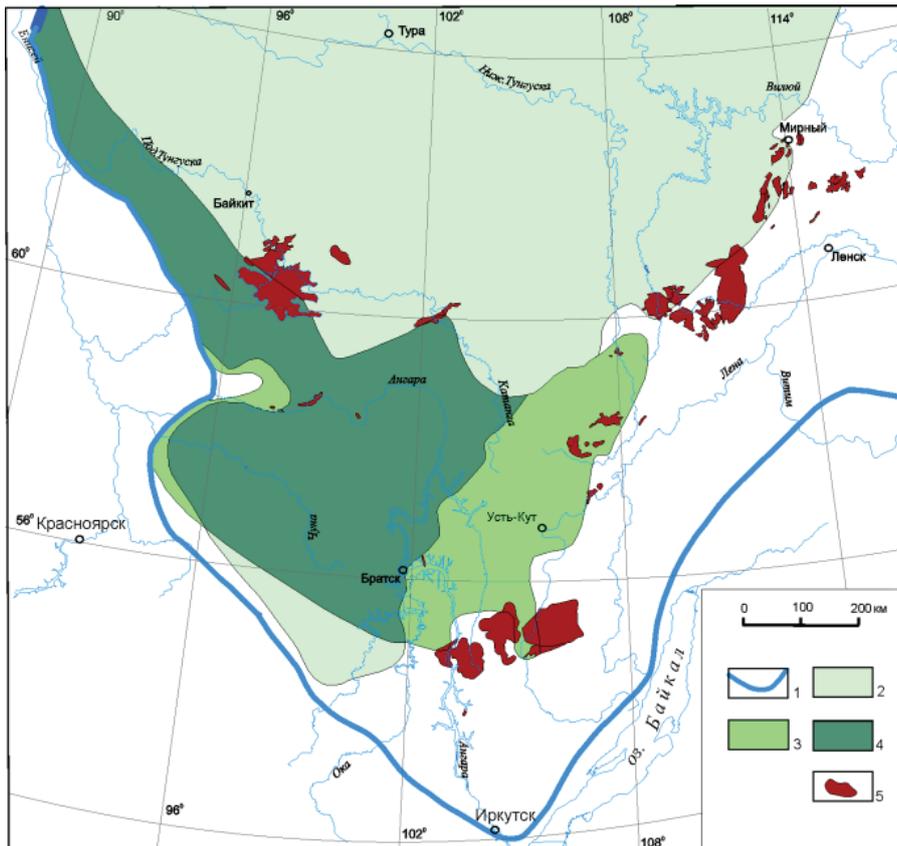


Рис. 2. Основные поля трапповых силлов и скопления УВ на юге Сибирской платформы

1 – граница Лено-Тунгусской НГП; поля траппов: 2 – территория развития пластовых интрузий в верхней половине осадочного чехла, 3 – Усольский силл, 4 – наложение на Усольский силл более верхних интрузий; 5 – месторождения нефти и газа

тыми подъемами по гипсометрии и стратиграфии по мере удаления от очага внедрения (рис. 2). Занятая им площадь превышает 300 000 км²; это, видимо, самое обширное из известных на Земле пластовых трапповых тел. Удаленность границы выклинивания Усольского силла от очаговой области (центральная часть Присяяно-Енисейской синеклизы) достигает 500 км и более. Площади других пластовых интрузий существенно меньше, но могут составлять десятков тысяч квадратных километров.

Следует отметить, что граница выклинивания Усольского силла и в целом регионального распространения пластовых интрузий трассируется внутри районов локализации подавляющего большинства скоплений нефти и газа или в непосредственной близости от них [13]. Это говорит о том, что расплав в региональном плане повторял направленность движения УВ. Обращает на себя внимание удаленность зон нефтегазоаккумуляции от очаговых областей магматических тел (магмоподводящих разломов), которые должны были бы, по логике сторонников неорганической гипотезы генезиса нефти, подводить и «мантийные» УВ.

Главные этапы латерального перемещения пластовых флюидов на Сибирской платформе напрямую связаны с проявлениями складчато-надвиговых дислокаций и траппового магматизма. В том и другом случаях происходило их отжатие от внутренних частей складчато-надвиговых поясов и регионов развития пластовых интрузий [11]. Поддвиг окраин платформы под складчатые области приводил к выжиманию флюидов погружающегося чехла и, вероятно, к перемещению целых

месторождений и к их накоплению у фронтальных частей складчато-надвиговых поясов. Отжатию флюидов способствуют развитие субгоризонтальных трещин растяжения в обстановке горизонтального сжатия и клинообразная форма движущегося аллохтона [10]. В перемещениях УВ важную роль играют тектоносейсмические активизации, приводившие к пульсациям флюидов от длительных и региональных до краткосрочных и локальных. Следует особо подчеркнуть направленность движения флюидов, подчиняющуюся не рельефу проводящих пластов, как принято практически во всех реконструкциях миграционных потоков, а ориентировке главного напряжения сжатия – вкрест простирания складчато-надвиговых дислокаций.

Крупные силлы траппов также оказывали мобилизующее воздействие на перемещение пластовых флюидов. Это связано с их площадной приближенностью к продуктивным горизонтам. Поскольку интрузии создавали себе пространства не только за счет подъема перекрывающих толщ, но и частично за счет сжатия вмещающих толщ, флюиды, и в первую очередь УВ, отжимались от центральных частей силлов к границам их выклинивания [13]. Важно отметить, что региональная граница выклинивания пластовых интрузий на юго-востоке проходит в непосредственной близости к каледонскому поясу нефтегазоносности и субпараллельно ему. Следовательно, этот пояс в период траппового магматизма получал дополнительные порции УВ, отжимаемые уже с северо-запада.

В заключение надо отметить, что твердая и флюидная фазы геологического субстрата на



Сибирской платформе в периоды высокой тектонической активности смещались по латерали на расстояния в десятки и даже сотни километров. Существующие представления о невозможности дальней миграции флюидов некорректны, поскольку даже при пассивном перемещении флюидов внутри аллохтонных покровов амплитуды перемещений достигают многих десятков километров. Активная боковая миграция флюидов весьма убедительно проявлена в сосредоточении подавляющего большинства месторождений нефти и газа во фронтальных зонах аллохтонов и крупнейших полей пластовых траппов (см. рис. 1, 2).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абукова, Л. А.** Основные типы флюидных систем осадочных нефтегазоносных бассейнов [Текст] / Л. А. Абукова // Геология нефти и газа. – 1997. – № 9. – С. 25–29.
- Айзекс, Б.** Сейсмология и новая глобальная тектоника [Текст] / Б. Айзекс, Дж. Оливер, Л. Сайкс // Новая глобальная тектоника. – М. : Мир, 1974. – С. 133–179.
- Влияние** тектоносейсмических процессов на образование и накопление углеводородов [Текст] / Н. В. Черский, В. П. Царев, Т. И. Сороко, О. Л. Кузнецов. – Новосибирск : Наука, 1985. – 224 с.
- Гуревич, А. Е.** Процессы миграции подземных вод, нефтей и газов [Текст] / А. Е. Гуревич. – Л. : Недра, 1969. – 112 с.
- Данкевич, И. В.** Рельеф фундамента Чульманской впадины и природа Южно-Чульманского разлома [Текст] / И. В. Данкевич, Ю. А. Павлов, Л. М. Парфенов // Тектоника Сибири. Т. III. Тектоника Сибирской платформы. – М. : Наука, 1970. – С. 174–179.
- Дробот, Д. И.** Масштабы латеральной миграции углеводородов в терригенных и карбонатных отложениях осадочного чехла юга Сибирской платформы [Текст] / Д. И. Дробот, А. С. Анциферов // Масштабы миграции углеводородов в нефтегазоносных бассейнах СССР. Ч. 2. – Тюмень : ЗапСибНИГНИ, 1977. – С. 21–25.
- Кадик, А. А.** Вода в магматических расплавах [Текст] / А. А. Кадик, Е. Б. Лебедев, Н. И. Хитаров. – М. : Наука, 1971. – 267 с.
- Крючков, А. И.** Идентификация кимберлитовых тел, подвергнутых динамическому воздействию траппов (на примере системы тел в районе трубки Юбилейная, Якутия) [Текст] / А. И. Крючков, А. Д. Харьков, Н. П. Похиленко // Геология и геофизика. – 1995. – № 5. – С. 64–73.
- Кулаков, В. В.** Некоторые особенности структуры Южно-Якутского каменноугольного бассейна [Текст] / В. В. Кулаков // Геотектоника. – 1982. – № 4. – С. 36–41.
- Мигурский, А. В.** Зоны разломов – естественные насосы природных флюидов [Текст] / А. В. Мигурский, В. С. Старосельцев // Отеч. геология. – 2000. – № 1. – С. 56–59.
- Мигурский, А. В.** Трапповый магматизм и непские дислокации [Текст] / А. В. Мигурский // Тектоника нефтегазоносных областей Сибири. – Новосибирск : СНИИГГиМС, 1983. – С. 97–103.
- Мигурский, А. В.** Связь траппового магматизма и тектоники на юге Сибирской платформы [Текст] / А. В. Мигурский // Тектоника, геодинамика и процессы магматизма и метаморфизма. Матер. XXXII Тектон. совещ. Т. 1. – М. : ГЕОС, 1999. – С. 390–393.
- Мигурский, А. В.** Флюидодинамика на Сибирской платформе во время пермо-триасового траппового магматизма [Текст] / А. В. Мигурский // Дегазация Земли: геофлюиды, нефть и газ, парагенезы в системе горючих ископаемых : Тез. докл. – М. : ГЕОС, 2006. – С. 153–155.
- Мигурский, А. В.** Шарьяжное строение зоны сочленения Сибирской платформы с Байкало-Патомским нагорьем [Текст] / А. В. Мигурский, В. С. Старосельцев // Сов. геология. – 1989. – № 7. – С. 9–15.
- Особенности** флюидных режимов в бассейнах различных тектонических типов [Текст] / Л. Э. Левин, Ю. А. Висковский, О. В. Васильева, Р. Д. Родникова // Флюидодинамический фактор в тектонике и нефтегазоносности осадочных бассейнов. – М. : Наука, 1989. – С. 36–43.
- Прокопьев, А. В.** Деформационные структуры складчато-надвиговых поясов [Текст] / А. В. Прокопьев, А. В. Дейкуненко // Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). – М. : МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. – С. 156–198.
- Разломообразование** в литосфере. Зоны сжатия [Текст] / С. И. Шерман, К. Ж. Семинский, С. А. Борняков [и др.]. – Новосибирск : Наука, 1994. – 263 с.
- Старосельцев, В. С.** Енисейский кряж и его сочленение с Сибирской платформой и Западно-Сибирской плитой [Текст] / В. С. Старосельцев, А. В. Мигурский, К. В. Старосельцев // Геология и геофизика. – 2003. – № 1–2. – С. 76–85.
- Теркот, Д.** Геодинамика: Геологические приложения физики сплошных сред. В 2 ч. [Текст] / Д. Теркот, Дж. Шуберт. – М. : Мир, 1985. – Ч. 1. – 376 с. ; Ч. 2. – 360 с.
- Файф, У.** Флюиды в земной коре [Текст] / У. Файф, Н. Прайс, А. Томпсон. – М. : Мир, 1981. – 436 с.
- Феоктистов, Г. Д.** Петрология и условия формирования трапповых силлов [Текст] / Г. Д. Феоктистов. – Новосибирск : Наука, 1978. – 168 с.
- Geiser, P. A.** Mechanisms of the thrust propagation: some examples and implication for overthrust terranes [Text] / P. A. Geiser // Journ. of Structural Geology. – 1988. – Vol. 10, № 8. – P. 829–845.
- Tobin, H. J.** Fluid pressure in the frontal thrust of the Oregon accretionary prism: Experimental constraints [Text] / H. J. Tobin, J. C. Moore, G. F. Moore // Geology. – 1994. – Vol. 22, № 11. – P. 979–982.