

ПРОБЛЕМЫ СЕЙСМОГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ СОЗДАНИИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

А.И. Никонов
ИПНГ РАН, e-mail: nikson59@rambler.ru

Формирование тектонических структур пликативного и блокового характера является свидетельством того, что породы земной коры и осадочного чехла изначально должны быть подвержены деформированию, то есть, воздействию геодинамических процессов, приводящих к пластическим деформациям или к потере их прочностных свойств и последующему разрушению.

Для большинства месторождений, расположенных в пределах локальных платформенных структур, отмечаются такие многочисленные факты, как резкое различие в значениях отметок водонефтяного и газоводяного контактов в контуре залежи, отсутствие гидродинамической связи между скважинами, наличие локальных участков вертикальной связи с вышележащими пластами, неравномерное распределение пластового давления в пределах залежи, резкая смена литолого-фациальных условий, а также наличие участков аномальной проницаемости в пределах одной литологической разности пород. Очевидно, что данные факты в большинстве случаев связаны с зонами, прежде всего, структурной неоднородности в разрезе – с разломами.

Для анализа существующих подходов в геодинамике (кинематического и силового), важным является то, что деформация – есть результат движения, а не воздействия силы или напряжения (то есть силы, нормированной на площадь ее приложения). Силы сами по себе еще не определяют деформаций, которые должны возникнуть. Следовательно, объяснить происхождение деформаций – это значит объяснить происхождение движений, приведших к изменению взаимного расположения отдельных частей тела [1].

Построение образов («моделей») таких объектов, как месторождения нефти и газа на основе данных сейсморазведки часто характеризуется несоответствием представлений о строении и структуре горного массива реальным параметрам геологического пространства.

Разные авторы [2–3] считают, что применение методов 2D и 3D сейсморазведки значительно увеличивает прирост объема полезной информации при интерпретации разреза в пространстве имеющихся разведочных скважин. При этом использование

большого количества процедур для восстановления отраженных волн и обработки их методом динамического анализа, направленного на выявление латеральных границ между слоями, приводит к созданию пликативной «модели» месторождения (рис. 1), способствующей выявлению зон разломов только сдвигового типа и не позволяющей выявлять зоны разломов отрывного типа. В связи с этим построение блоковых «моделей» геологических объектов, отвечающих геодинамической природе их формирования за счет отрывных и сдвиговых деформаций, становится проблематичным.

Так, к результатам построения гидродинамических и геологических «моделей» месторождений на основе данных сейсморазведки предъявляются обоснованные претензии со стороны экспертов государственной комиссии по запасам (ГКЗ), которые считают, что «прирост информации» далеко не всегда коррелируется с «приростом запасов» [4]. Поэтому «часто возлагаемые ожидания от данного метода для построения геологических и гидродинамических «моделей» не соответствуют возможностям физического дистанционного метода, каким продолжает оставаться сейсморазведка, несмотря на бурный прогресс за последнее десятилетие». Эти же авторы [4], подчеркивают, что в обработке и интерпретации сейсмических данных большую роль играет субъективный фактор. Никакими стандартами невозможно описать интуитивные подходы, которые используют специалисты в процессе решения геологических задач.

Данные противоречия, отчасти, можно отнести к следующим проблемам интерпретации сейсмогеофизических данных:

- несоответствия вычисленных аномальных скоростей повышению расчетных плотностей при использовании стандартной функции скорость/плотность;
- малой разрешающей способности метода;
- трассирования тектонических нарушений только на основе вторичных признаков по изменениям в структуре скоростных и плотностных разрезов;
- визуализации структуры получаемого «сейсмического» рисунка в отрыве от реальной структуры объекта;
- недоучета геодинамического моделирования для выявления зон аномальных деформаций в структуре локальных поднятий.

В связи с этим в данной статье основными аспектами являются обсуждение геодинамической и тектонофизической интерпретации разломов при построении сейсмогеологических моделей, а также выявление отражающих горизонтов (ОГ),

получаемых на основе данных сейсморазведки, для палеогеодинамических реконструкций локальных поднятий.

Проблема выделения и картирования разрывных нарушений различного ранга и масштаба на основе сейсмогеофизических методов для геологически закрытых территорий, в пределах которых расположены месторождения нефти и газа, приобретает сегодня наибольшую актуальность [5–6]. Это обусловлено переносом центра тяжести геологоразведочных работ (ГРР) на этапы доразведки в процессе эксплуатации месторождений.

Поэтому при выявлении разломов на стадии интерпретации сейсмогеофизических данных необходимо определиться, что представляет собой разломная зона. Это – ось отрыва или сдвига (линия) в массиве горных пород, по которой произошло разрушение, или это – объем горных пород, измененных геодинамическими и флюидогеодинамическими процессами.

Как известно [7–8], под пространственной характеристикой разлома следует понимать геологическое тело (то есть, некий объем земной коры, имеющий аномальное строение и повышенную трещиноватость, возникшую в результате линейной деструкции среды), определяющееся зоной динамического влияния на окружающий его массив горных пород. Рассматривая предложенную М.В. Гзовским [9] физико-генетическую классификацию разрывных нарушений, можно выделить два основных механизма разрушения твердых тел (включая горные породы): раздвиг (отрыв) и сдвиг (смещение).

Как показывают данные полевых и экспериментальных исследований процесса разломообразования на основе закономерностей формирования внутренней структуры континентальных сдвиговых зон [10] (в том числе характер их стадийности, виды нарушения субстрата, состав структурных парагенезисов), такие зоны определяются тройственными парагенезисами трещин, составляющих различные по ориентировке типы.

Важными фактами, изложенными в работе [10], являются закономерное расположение зон разломов в плане, связанное с направлением осей регионального поля напряжений, и выявленная вокруг разломных зон область нарушенности субстрата. При этом область наибольшего деформационного изменения горных пород принадлежит разломам растяжения и сжатия, в сравнении со сдвиговыми зонами деформаций. Данные аспекты (масштаб зоны разлома, характер разрушения пород, их проницаемость и т.п.) должны учитываться при построении геологических и гидродинамических моделей, так

как являются факторами, оказывающими влияние на эффективность всех стадий разработки месторождения. В данном случае имеется в виду разломно-блоковая модель месторождения, где локальный объект (поднятие) представляется деформационной аномалией, находящейся в региональном поле напряжений.

Рассмотрим в дальнейшем типы зон разломов в разрезе осадочного чехла и особенности их ориентировки.

В работе В.Н. Николаевского и В.И. Шарова [11] приводятся данные об ориентировке разломных зон и трещиноватости в континентальной коре (рис. 2). Наиболее интересным фактором для нефтегазовых месторождений являются области, ограниченные интервалом глубин от 2 до 3 и от 3 до 10 км, где углы падения разрывов в первом интервале остаются крутыми, а во втором – могут быть крутыми и наклонными. Данные закономерности в ориентировке зон разломов связаны со сменой типов разрушения горных пород, где область (первый интервал) хрупкого разрушения типа «отрыв» сменяется областью (второй интервал) образования сколов, но также в условиях хрупкого разрушения.

Приведенные данные об ориентировке разломных зон в этих интервалах глубин можно с определенными ограничениями распространить на прочно связанные породы осадочного чехла, что позволяет говорить об устойчивости разломных зон в периоды деградации палеорельефа и их проявления при формировании поверхности в более позднее время.

Развитие тектонических разрывов (разломов) в коре в целом может быть охарактеризовано следующей схемой (см. рис. 2).

До уровня глубин 2–3 км выделяется первый этаж с преимущественным развитием хрупких разрывов типа «отрыв». Разрывы в этой области имеют крутые углы падения, близкие к вертикали, и это подтверждается механизмами очагов коровых землетрясений. Ниже первый этаж сменяется областью хрупкого разрушения сколового типа (второй этаж). В верхней его части 2а развиваются разрывы чисто *сколового* типа, имеющие пространственную ориентировку, определяемую направлением главных нормальных напряжений. Если одно из главных напряжений направлено вертикально, то имеет место случай А. Если главные оси наклонены, то скол может выходить на поверхность раздела в ортогональной плоскости (Б). Это возможно в силу дилатансионного расширения как при горизонтальной подвижке в нижележащем разупрочненном слое горных пород, так и в

уже созданной латеральной неоднородности. Для нижнего этажа 2б характерен постепенный переход от чисто *сколового* хрупкого разрушения к псевдопластическому разрушению путем катакластического однородного течения. Именно здесь отмечается уменьшение углов наклона тел разломов до субгоризонтального положения.

Характер пространственного расположения разломов сдвигового и отрывного типа в разрезе и в плане, образующихся при формировании купольных структур регионального и локального уровня, приведен в большом количестве работ по физическому моделированию. Разработкой теоретических основ и практических решений в данной области науки занимались такие отечественные ученые, как М.В. Гзовский, С.И. Шерман, А.С. Григорьев, Д.Н. Осокина, А.В. Михайлова, В.Н. Николаевский, П.М. Бондаренко и многие другие.

Эксперименты, выполненные на прозрачных (оптически активных) и непрозрачных (эквивалентных) материалах, позволяют наблюдать за динамикой полей напряжений, а также за процессами образования деформаций (рис. 3).

Метод фотоупругости обеспечивает достаточное соблюдение условий подобия для упругой области деформаций. Поэтому в этих моделях можно наблюдать только рисунок распределения полей напряжений без образования отрывных и сколовых трещин. Физическое моделирование на эквивалентных материалах позволяет проследить стадии развития отрывных и сдвиговых деформаций с образованием разломов разного типа. На рис. 3(1) приведены два случая распределения нормальных (σ_1 и σ_3) и касательных (τ_{\max}) напряжений в многослойной разноплотностной модели (см. рис. 3(1)_{А,Б}), характеризующих образование купольных структур за счет вертикального движения штампа разной формы с учетом веса вышележащих пород [12].

Утолщенные траектории нормальных напряжений на рис 3(1)_Б, возникающие на подошве вышележащих слоев, приурочены к зонам максимального растяжения и расположены над центральными частями поднятия. При вдавливании штампа вверх затухание величин нормальных вертикальных (σ_1) напряжений происходит от точки приложения нагрузки к кровле слоя, а горизонтальных (σ_3) – от центральной оси поднятия к крыльям структуры.

Образование трещин отрыва субвертикальной ориентировки в зонах наибольшего растяжения может произойти только тогда, когда нормальные напряжения превысят прочность пород на разрыв (см. рис. 3(1)_Б). Также необходимо отметить, что при

деформации пород энергия, затрачиваемая на отрыв, всегда меньше, чем ее реализация на сдвиг, а, следовательно, развитие отрывных трещин энергетически выгоднее, чем сдвиговых. Поэтому отрывные трещины формируются раньше, чем сдвиговые. В связи с этим вероятность активизации трещины отрыва, при прочих равных условиях, оказывается выше, чем сдвиговых в зоне 1 и 2 (см. рис. 2).

В то же время максимальные касательные напряжения способны создать зоны сдвиговых деформаций, представленные сколовыми трещинами, которые в большинстве случаев являются непроницаемыми для флюида. На рис. 3(1)_А видно, что эти зоны приурочены к границам разноплотностных слоев в сводовых частях поднятия. Горизонтальные зоны сколовых трещин формируют разупрочненные слои. Эти слои при образовании вертикальных смещений являются поверхностями скольжения, приводящими к сдвиговым перемещениям масс горных пород.

На примере тектоноседиментационного моделирования непрозрачных материалов (см. рис. 3(2)_{А,Б}) можно видеть особенности формирования типов структурных нарушений в разрезе, таких, как отрыв и сдвиг под действием воздымающихся блоков фундамента. Выполненные эксперименты показывают, что ориентировка образующихся трещин отрыва является субвертикальной в присводовой части поднятия, а по мере удаления от купола к его крыльям постепенно приобретает слабонаклонный характер.

Также часто наблюдаются зоны (структуры) оседания в купольной части поднятия за счет разупрочнения пород при их растяжении, что хорошо видно на рис. 3(2)_А (слой Т) и 3(2)_Б (кровля слоя Б).

С учетом разных исследований [13–14], связанных с интерпретацией сейсмогеофизических данных, можно сказать определенно, что используемые методики для трассирования зон разломов позволяют выявлять разломы только сдвигового типа за счет смещения осей синфазности и косвенных признаков. Прослеживание пространственного направления разломов вверх по разрезу также представляет затруднение в связи с тем, что не разработано общих ограничений (правил или критериев) для их выявления. Подобные блоковые модели в дальнейшем используются в качестве каркасов при формировании сеточных трехмерных геологических моделей, что может приводить к созданию неадекватных методов и технологий разработки месторождений.

Например [4], встречаются факты замыкания структурно-тектонической ловушки на разлом, идентифицированный только по одному профилю и намеченный в плане между

другими профилями в соответствии с общими трендами регионального геологического строения. Это создает высокую степень неопределенности как в понимании геологического строения залежи, так и оценки ее площади.

Продemonстрируем пример [14], где авторы выделяют дизъюнктивные дислокации (разломы) на сейсмических разрезах (рис. 4) по вертикальным сечениям куба 3D, используя иерархический подход с применением сейсмоформационного анализа (СФА).

Выполненные построения при выделении разноранговых зон разломов характеризуются только толщиной линии, которая не имеет физических размеров, а применение методики с использованием СФА или традиционного метода не дает понимания генезиса и типа разломных зон, которые выделяются только как сдвиговые.

Разломы отрывного типа, образовавшиеся под действием растягивающих напряжений в процессе формирования структур в осадочном чехле, представляют собой разрывы сплошности без смещения, заполненные разупрочненным материалом горных пород, флюидами и/или вторичными минералами. Обнаружить эти разломы методами обычной сейсморазведки очень сложно. Из признаков разрывных нарушений на сейсмических разрезах для разломов отрывного типа характерны лишь разрывы корреляции, представленные интервалами размытой волновой картины, а также изменения в частотном и амплитудном составах записи. Ситуация осложняется тем, что все эти признаки не являются однозначными для разрывных нарушений отрывного типа.

Исходя из вышесказанного, можно сделать предположение, что в результате построения геологических «моделей» нефтегазовых объектов на основе комплексной интерпретации сейсмогеофизических данных сегодня невозможно без учета разломов отрывного типа построить адекватную геологическую или гидродинамическую модель месторождения.

Ниже продемонстрируем пример комплексирования данных сейсморазведки и структурного дешифрирования для выявления разломных зон отрывного типа.

Релаксация накопленных напряжений в антиклинальных платформенных структурах осуществляется по зонам разломов посредством механизма параметрически индуцированных тектонических деформаций геологической среды (подновление или активизация зон разломов) [15]. Данные представления подтверждены многочисленными наблюдениями на геодинамических полигонах, расположенных как в пределах нефтегазовых месторождений, так и вне их.

Как известно [1, 16–17], факторы современной геодинамики разломных зон позволяют объяснить характер проявления линеаментов на земной поверхности, а также их связь с зонами разломов. На основе данных современной геодинамики разломных зон показано, что проседания земной поверхности над ними формируют подобные локальные отрицательные структуры, связанные с разупрочнением пород, в пределах самой разломной зоны.

Задача структурного дешифрирования при этом состоит не в выявлении отдельных фрагментов структурных форм, а в построении максимально полной картины, отображающей единую и целостную систему соподчиненности и взаимосвязи разрывных нарушений (линеаментов) [18].

На примере Новогоднего месторождения, расположенного в Западной Сибири, покажем выявление зон разломов отрывного типа на основе линеаментного анализа.

Тектонические нарушения региона, к которому приурочена исследуемая площадь месторождения, делятся на несколько возрастных групп по приуроченности к структурным этажам. Это – разрывы в фундаменте, сбросы и взбросы среднего и тафрогенного этажей, а также малоамплитудные нарушения мезокайнозойского чехла. Отдельные разломы длительного развития и сложного строения характеризуются как сквозные и проходят от фундамента через все структурные этажи.

Размеры (ширина) разноранговых линеаментов на земной поверхности получены при выявлении в структуре космических снимков реальных блоковых объектов [19], с использованием многочисленных данных повторных геодезических измерений, где устойчивые типы суперинтенсивных аномалий земной поверхности (\square , s и β) над зонами разломов определяются следующими величинами по ширине: γ -аномалия изменяется до 1–2 км; s -аномалия – до 5–10 км; β -аномалия – до 10–30 км [1].

Разработанная методика дешифрирования [19] позволяет выявлять две системы линеаментов (ортогональную и диагональную), проявления которых на поверхности Земли характеризуют этапы перестройки структуры. Структурное дешифрирование проводится по принципу от «общего – к частному», от мелких масштабов – к более крупным.

Для исследуемой территории месторождения диагональная система линеаментов характеризует разломные зоны, определяющиеся как зоны растяжения (отрыв).

Пример подобного дешифрирования продемонстрирован на рис. 5.

На рис. 6а приведен сейсмостратиграфический разрез, характеризующий волновую картину исследуемого месторождения, а на рис. 6б красным цветом показаны зоны предполагаемых разрывных нарушений отрывного типа (линеаменты диагонального простирания) и их отображения в волновой картине разреза.

Необходимо отметить, что при выделении разных типов разломных зон в разрезе важным является проведение палеогеодинамического анализа, который характеризует формирование структуры во времени, а, следовательно, и этапы проявления тектонической активизации глубинных процессов [20]. В большинстве проектов при построении геологической модели месторождения используется метод изопакхического треугольника. Для данных построений выделяются устойчивые отражающие горизонты (ОГ), которые хорошо прослеживаются, имеют региональный характер и представлены чаще всего глинистыми отложениями. Но формирование данных отложений происходит, когда геодинамическая активность (проявление вертикальных разнонаправленных движений) в пределах локальных поднятий закончена, а основная информация об этих движениях запечатлена в составе литологических фаций, имеющих мощность до 10 метров, и характере их латеральных границ, расположенных между циклами пенеппенизации. Поэтому при небольшом количестве скважин на территории месторождения и малой разрешающей способности сейсмогеофизических методов их прослеживание практически невозможно. Поэтому данные факторы не позволяют построить адекватную геодинамическую модель формирования месторождения, являющуюся основой для последующего выделения зон разломов разных типов.

Выводы

На современном этапе поисков и разведки нефтегазовых месторождений сейсмогеофизические методы, несомненно, являются основой для построения геологических и гидродинамических «моделей». Но при использовании любого дистанционного метода, с помощью которого определяется физическое состояние геологических объектов, необходимо решать множество обратных (часто некорректных) задач для выделения разных геологических объектов. Для адекватного их отображения в пределах одной нефтегазоносной провинции должны быть сформулированы четкие критерии выделения и прослеживания зон структурных неоднородностей, включая зоны разломов, на этапе интерпретации сейсмогеофизических данных.

Сегодня уже понятно, что усложнение математического аппарата для выполнения статического, динамического и других видов анализа может улучшить информационное наполнение «моделей», но данный прирост информации будет небольшим. Поэтому необходимым является комплексирование многих ранее используемых методов получения дополнительной информации, таких, как гравиразведка, структурное дешифрирование материалов космических съемок, теоретические и практические знания современной геодинамики разломных зон, бурение добывающих скважин с отбором керна в слабо изученных горизонтах разреза и т.п.

Данный подход при построении геологических и гидродинамических «моделей» позволит проводить более качественную оценку запасов УВ, а также применение и внедрение эффективных технологий разработки месторождений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кузьмин Ю.О.* Современная аномальная геодинамика асейсмичных разломных зон // Вестник отделения наук о Земле РАН. 2002. № 1(20). 27 с.
2. Методические рекомендации по использованию данных сейсморазведки (2D, 3D) для подсчета запасов нефти и газа / Ю.П. Ампилов, В.М. Глоговский, В.В. Колесов, М.Б. Коростышевский, В.Б. Левянт, С.Н. Птецов. М.: Федеральное агентство по недропользованию. 2006. 39 с.
3. Методические рекомендации по использованию данных сейсморазведки для подсчета запасов углеводородов в условиях карбонатных пород с пористостью трещинно-кавернового типа / Под ред. В.Б. Левянта. М.: ЦГЭ, 2010. 250 с.
4. *Ольнева Т.В., Хромова И.Ю.* Опыт проведения экспертизы сейсмических данных, привлекаемых к подсчету запасов // Недропользование. 2016. Июнь. С. 16–26.
5. *Дмитриевский А.Н., Баланюк И.Е., Донгарян Л.Ш., Каракин А.В., Повещенко Ю.А.* Современные представления о формировании скоплений углеводородов в зонах разуплотнений верхней части коры // Геология нефти и газа. 2003. № 1. С. 2–9.
6. *Дмитриевский А.Н., Киреев Ф.А., Бочко Р.А., Федорова Т.А.* Влияние гидротермальной деятельности на формирование коллекторов нефти и газа в породах фундамента // Изв. РАН. Сер. геологич. 1992. № 5. С. 119–128.
7. *Шерман С.И.* Физические закономерности развития разломов в земной коре. Новосибирск: Наука, 1977. 102 с.

8. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика разломных зон: разломообразование в реальном масштабе времени // Геодинамика и тектонофизика. 2014. Т. 5, № 2. С. 401–443.
9. Гзовский М.В. Основные вопросы классификации тектонических разрывов // М.: Советская геология. 1954. 41 с.
10. Семинский К.Ж. Внутренняя структура континентальных разломных зон. Тектонофизический аспект. Новосибирск: Изд-во СО РАН, Филиал «ГЕО», 2003. 244 с.
11. Николаевский В.Н., Шаров В.И. Разломы и реологическая расслоенность земной коры // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1985. № 1. С.16–28.
12. Бондаренко П.М., Зубков М.Ю. Прогноз зон вторичной трещиноватости на основе данных сейсморазведки и тектонофизического моделирования // Геология нефти и газа. 1999. № 11–12. С. 31–40.
13. Бочкарев В.А., Бочкарев А.В. Сбросы и сдвиги в нефтегазовой геологии. М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2012. 224 с.
14. Мушин И.А., Корольков Ю.С., Чернов А.А. Выявление и картирование дизъюнктивных дислокаций методами разведочной геофизики. М.: Научный мир, 2001. 120 с.
15. Кузьмин Ю.О. Тектонофизика и современная геодинамика // Физика Земли. 2009. № 11. С. 44–60.
16. Кузьмин Ю.О., Никонов А.И. Современная геодинамика разломов – новый аспект линейamentных систем // Путь науки. 2016. Т. 2, № 11(33). С. 89–94.
17. Кузьмин Ю.О., Никонов А.И., Шаповалова Е.С. Особенности структурного дешифрирования линейamentов с учетом современной геодинамики разломов [Электронный ресурс] // Георесурсы, геоэнергетика, геополитика: Электрон. науч. журн. 2016. № 1(13). 13 с. – Режим доступа: <http://www.oilgasjournal.ru> (Дата обращения 22.12.2016).
18. Кравцов В.В., Никонов А.И. Системно-иерархическая структура полей напряжений и ее отражение на аэрокосмических снимках на примере Самотлорского месторождения (Черногорская площадь) // Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений. 1996. № 8–9. С. 18–21.

19. *Кравцов В.В., Никонов А.И.* Геодинамическая цикличность как фактор потенциальной аварийной опасности природно-техногенных систем в нефтегазоносных районах // Нефтепромысловое дело. 1996. № 8–9. С. 20–23.

20. *Никонов А.И.* Роль геодинамических процессов формировании анизотропии физических свойств пород локальных поднятий. // Геология, геофизика и разведка нефтяных и газовых месторождений. М.: ВНИИОЭНГ, 2006. № 12. С. 23–33.

ПРИЛОЖЕНИЯ

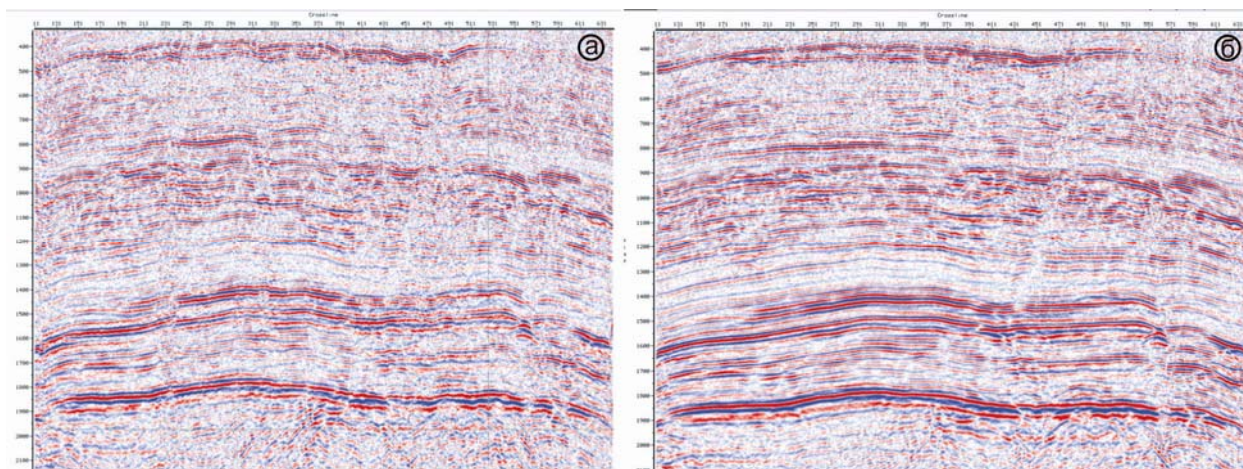


Рис. 1. Волновой разрез по сейсмогеофизическим данным (3D) одного из месторождений, расположенного на севере Западной Сибири: а – предварительный разрез; б – разрез, полученный после автоматической корреляции статики и кинематики

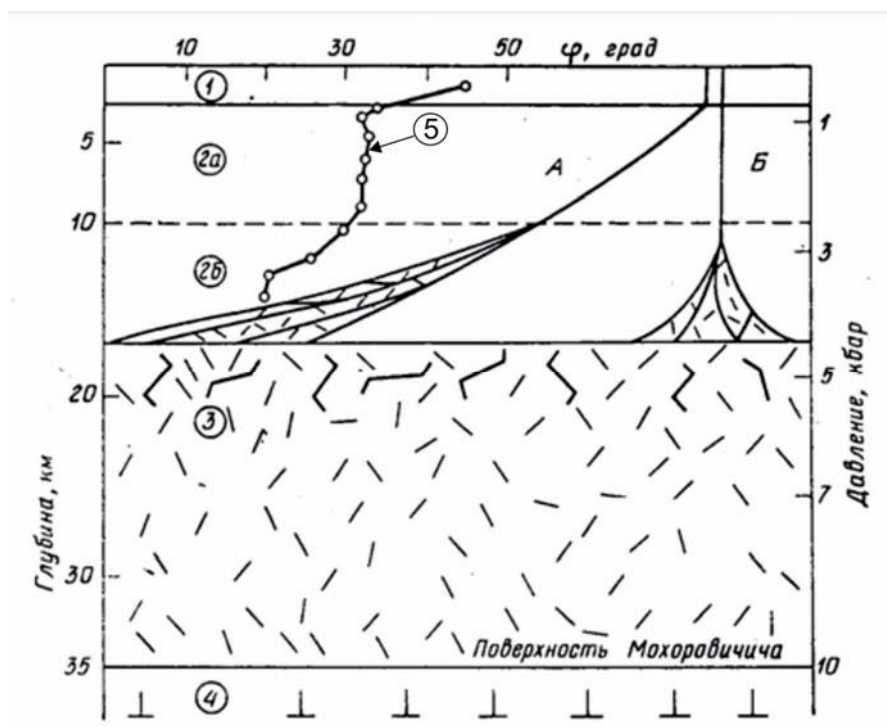


Рис. 2. Схема развития разломов и трещиноватости в континентальной коре:
1 – область хрупкого разрушения типа отрыва; 2 – область образования сколов:
а – хрупкое разрушение, б – локализованное течение (волновод); 3 – область однородного псевдопластического течения; 4 – породы верхней мантии; 5 – график углов падения тектонических разрывов

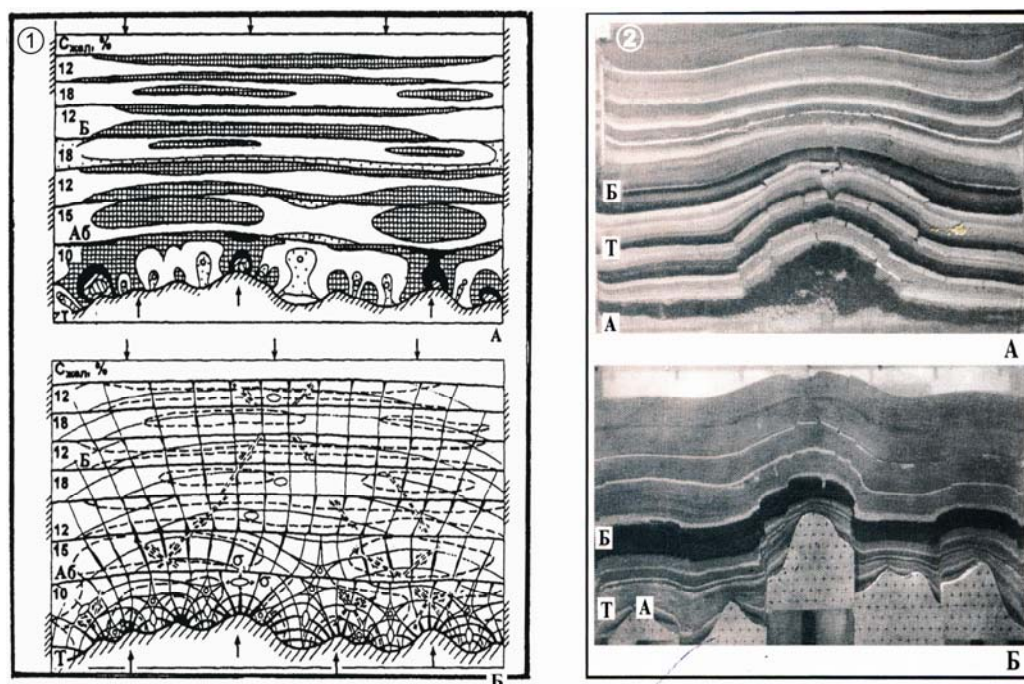


Рис. 3. Примеры физического моделирования на оптико-поляризационных и непрозрачных седиментационных материалах (объяснение в тексте):

1) напряжения в разноплотностных слоях купольных структур при вертикальных нагрузках на штамп: А – распределение значений касательных, Б – распределение значений касательных и нормальных напряжений;

2) формирование зон разломов и просадок в центральных частях поднятий: А – Кальчинское месторождение, Б – Пальяновское месторождение (слои: **А** – кровля фундамента; **Т** – кровля отложений тюменской свиты; **Б** – кровля отложений баженовской свиты)

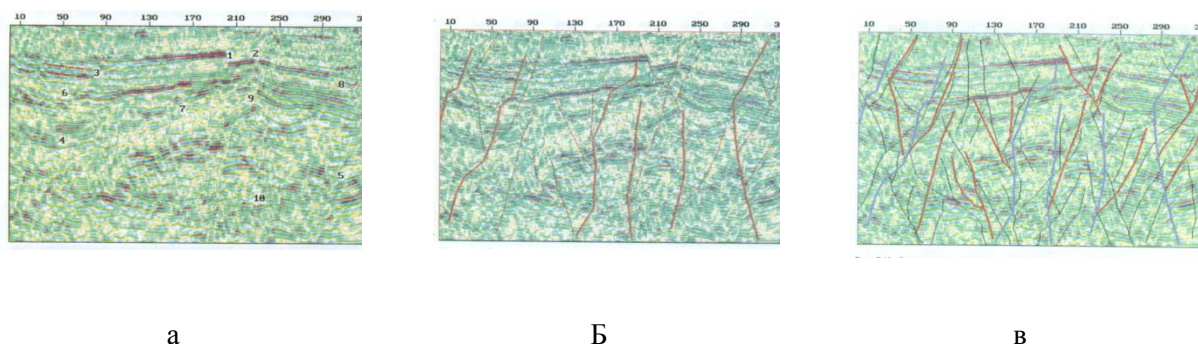
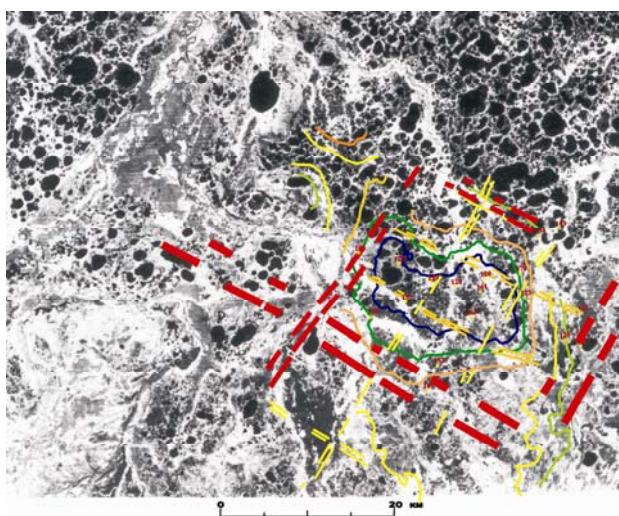
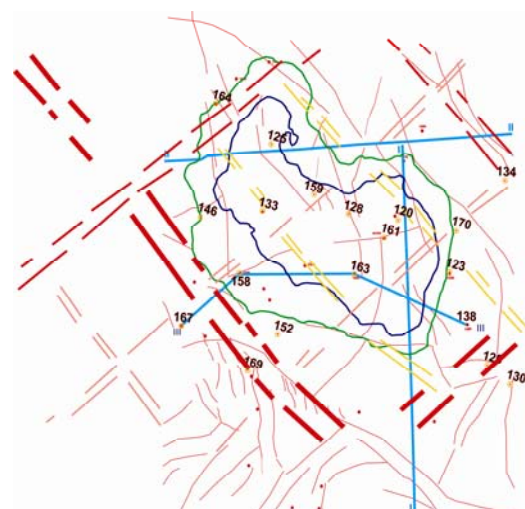


Рис. 4. Выявление зон разломов на сейсмических разрезах:

а – мигрированный разрез вертикального сечения 3D (цифрами показаны сейсмические горизонты); б – выделение крупных рангов (первого и второго) разломных зон на основе СФА; в – сопоставление зон разломов, выявленных традиционным (тонкие линии) и с использованием СФА методами

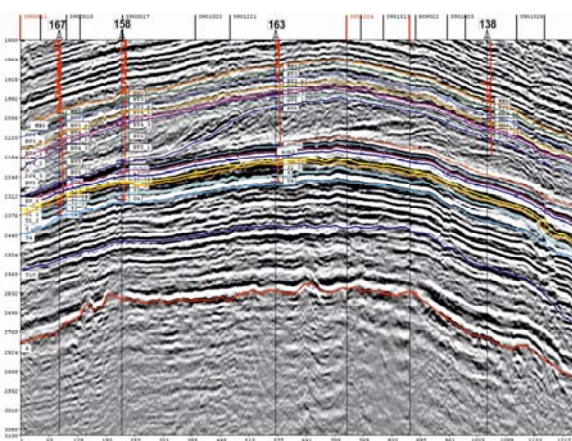


а

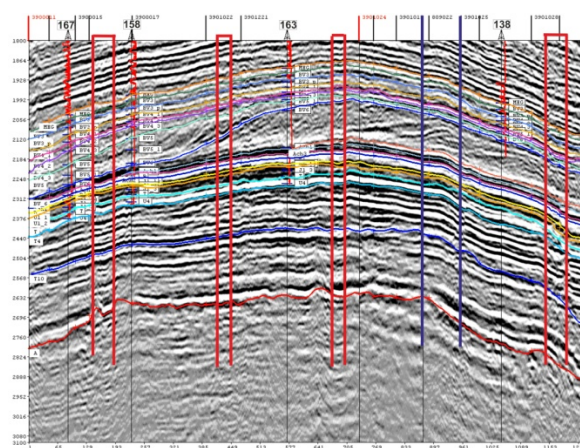


б

Рис. 5. Сопоставительный анализ разломных зон, выявленных на основе сейсмогеофизических данных по кровле пласта Ю 1-1 Новогоднего месторождения и линеаментов: а – схема структурного дешифрирования разноранговой диагональной системы линеаментов, имеющих среднюю ширину – 1,8, 0,6 и 0,2 км; б – сопоставление зон линеаментов, отождествляемых с зонами отрывных деформаций и с выявленными разломами по сейсмогеофизическим исследованиям



a



б

Рис. 6. Сейсмический разрез:

(а) – по профилю III-III (см. рис. 5б);

(б) – с выделенными на этом профиле зонами предполагаемых отрывных разломов (показаны красными линиями), по данным линейamentного анализа; синими линиями показаны сдвиговые зоны разломов, выявленные при интерпретации данных сейсморазведки