

УДК 662.276:552.578.2.061.43

ПЛАНЕТАРНАЯ ТРЕЩИНОВАТОСТЬ И ПРОЦЕССЫ РАЗРАБОТКИ ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

Белозёров Владимир Борисович,

д-р геол.-минерал. наук, профессор кафедры проектирования объектов
нефтегазового комплекса Института природных ресурсов
Томского политехнического университета,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: BelozerovVB@hw.tpu.ru

Актуальность работы связана с проблемой повышения эффективности разработки залежей нефти и газа в низкопроницаемых терригенных коллекторах и сланцевых толщах.

Цель работы: обоснование использования планетарной трещиноватости горных пород для повышения эффективности эксплуатации залежей нефти и газа в низкопроницаемых терригенных коллекторах и сланцевых толщах. В основе исследований – сопоставление существующих теоретических разработок по планетарной трещиноватости с конкретным фактическим материалом по нефтегазовой геологии, литологии и сейсморазведке верхнеюрских и нижнемеловых отложений Западной Сибири.

Методы исследований: выделение планетарной системы трещиноватости по данным сейсморазведки (метод Прони), изучение трещиноватости ориентированного керна, литолого-петрографические исследования зон напряжённости горных пород, анализ эксплуатационных возможностей коллектора в прогнозных зонах планетарной трещиноватости.

Результаты. Выполнен анализ разработки залежи нефти пласта Ю₂ Игольского месторождения. Показана связь повышенных дебитов с зонами напряжённого состояния горных пород, выделенных по данным сейсморазведки. Проведено сопоставление зон напряжённости с ориентировкой системы планетарной трещиноватости для верхнеюрских отложений Западной Сибири. По данным литологических исследований показана связь трещиноватости с интервалами повышенной глинистости коллектора; сопоставлены ориентации выделяемого глобального поля напряжений для отложений девона-карбона Северо-Американского континента и поля распределения микросейсмических исследований, полученных при гидроразрыве нижнекарбоновой сланцевой толщи Barnett. Показано, что выделяемая область сейсмической активности сформирована многочисленными участками микросейсм северо-восточной и северо-западной ориентировки, которые соответствуют прогнозируемым направлениям глобальных напряжений ротационного поля рассматриваемого стратиграфического горизонта данного района по литературным источникам.

Ключевые слова:

Планетарная трещиноватость, сейсмический разрез, технологическая схема разработки, нефтегазоносный коллектор, зоны напряжённости горных пород.

Введение

Эффективность разработки залежей углеводородов в низкопроницаемых коллекторах базируется как на внедрении новых технологий нефтедобычи, так и на использовании природных особенностей строения коллектора, связанных с условиями его формирования и последующего преобразования в породе. С позиции особенностей эксплуатации залежей нефти и газа особый интерес представляют зоны планетарной трещиноватости горных пород. Эти зоны имеют определённые закономерности пространственного развития в различных стратиграфических горизонтах платформенных областей и могут быть выделены и прослежены данными сейсморазведки.

Теоретические и практические предпосылки

В соответствии с генетической классификацией [1] выделяются петрогенетические (литологические, контракционные), тектонические и экзогенные трещины. Наиболее интересны с позиции разработки залежей углеводородов планетарные или общие трещины, выделяемые в группе тектонических.

Общие (планетарные) трещины обладают следующими особенностями [2, 3]:

- развиты как в дислоцированных, так и в горизонтально залегающих породах на платформах и в складчатых областях;

- в каждой земной точке поверхности образуют две взаимно перпендикулярные системы, ориентировка которых меняется как по площади, так и в разрезе;
- системы планетарных трещин прослеживаются в осадочном чехле платформ от докембрия до третичных отложений;
- общие трещины не приурочены к каким-либо тектоническим структурам.

Механизм образования этих трещин до конца не ясен, однако ряд исследователей [3 и др.] проявление планетарной (эндокинетической) трещиноватости связывают с реализацией в разрывные нарушения тех напряжений, которые возникают в осадке в результате действия ротационного поля вращения Земли. Проявление эндокинетической трещиноватости объясняется авторами [3] следующим образом. В стадии сингенеза осадочный материал воспринимает напряжения, обусловленные ротационным полем вращения Земли. Это поле формирует ортогональную линейную систему повышенных механических напряжений, которая «вмораживается» в осадочный покров. Пространственное положение этой ортогональной системы имеет чёткую ориентировку и связано с палеогеографическим полюсом вращения Земли.

Поэтому для различных стратиграфических уровней направленность линейных зон напряжённости будет строго определённой. В процессе седи-

ментации, когда осадок ещё насыщен водой и пластичен, существующие напряжения не приводят к нарушению монолитности породы. Однако при потере воды в процессе литификации и уплотнения породы отложения становятся более хрупкими и существующие напряжения уже не могут компенсироваться пластичностью осадка. Порода растрескивается или находится в критически напряжённом состоянии. Вследствие этого изучение ориентированной трещиноватости особо информативно, так как помимо относительной величины напряжений она несёт информацию о направлениях, по которым эти напряжения были приложены. На платформах, где тектонические деформации осадочного чехла слабо выражены, проявление эндокинетической трещиноватости должно быть преобладающим, а выделенные зоны её проявления могут быть использованы в процессах разработки залежей углеводородов.

Полученные результаты и практические выводы

По результатам проведённых исследований [4] роза трещиноватости пород юры и неокома юго-восточной части Западно-Сибирской плиты (ЗСП) имеет вид, изображённый на рис. 1, А.

Сравнивая выделяемые системы трещин с реконструкцией ротационного поля вращения Азии [5, 6], можно отметить соответствие азимутов трещиноватости 295 и 25 град. ротационному полю юры и апт-сеномана, азимутов – 335 и 65 град. – нижнему и верхнему мелу, а азимутов – 270 и 0 град. – неоген-четвертичному периоду (рис. 1, Б). Интересные результаты получены и при анализе сейсмических данных, где на временных разрезах, после специальной обработки по методу «Прони», отмечаются «столбы» отсутствия отражённых волн при реально существующей акустической дифференциации разреза (рис. 1, Д).

Один из возможных вариантов объяснения этого – наличие напряжённых зон в осадочном чехле, нивелирующих плотностную и скоростную неоднородность осадочной среды. О связи этих зон с ротационным полем можно судить по их пространственной ориентации.

Анализ временных разрезов 2D и 3D на Игольской и Комсомольской площадях (рис. 1, Г) свидетельствует о том, что ортогональные элементы «затухания» сейсмической записи для верхнеюрских отложений Игольской площади имеют азимут простирания 295 и 25 град., а для отложений нижнего мела Комсомольской площади близки к 335 и 65 град. [7, 8].

Это соответствует расчётным для Западной Сибири азимутам напряжённости ротационного поля юры и нижнего мела (рис. 1, Б). Подтверждаются зоны напряжённости (планетарной трещиноватости) и данными бурения. Так, макро- и микроскопический анализ продуктивных песчаников верхней юры, отобранных из этих зон на Игольской площади, свидетельствует о прерывистой, «слепой» трещиноватости, приуроченной к прослоям

песчаников, обогащённых глинистым материалом. Осуществляя проводку скважины в пределах этих зон, мы нарушаем сложившееся геостатическое равновесие и формируем свободное пространство, в результате чего по периферии ствола скважины ранее существовавшая напряжённость горных пород реализуется в прерывистую (эндокинетическую) трещиноватость.

Последующая разработка залежи углеводородов, влияющая на геодинамические характеристики пласта, может приводить к проявлению трещиноватости в межскважинном пространстве, поэтому выделяемые зоны напряжённости могут являться эффективным инструментом для оптимизации эксплуатации месторождений углеводородов и интересным «объектом» для проведения гидро разрыва в пласте. Учитывая, что при наличии напряжённых зон в осадочной породе для формирования трещин необходимо свободное поровое пространство, последнее может формироваться в результате отработки флюида в процессе эксплуатации. Извлечение нефти из поровой среды способствует раскрытию напряжённых зон и образованию трещинной матрицы.

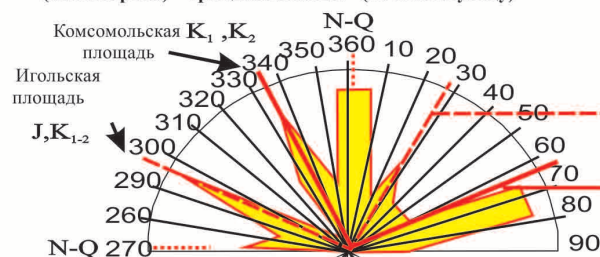
Анализ розы-диаграммы позволяет сгруппировать её лучи в три ортогональных системы азимутов: 335 и 65, 295 и 25, 270 и 0 градусов. Само выделение ортогональных систем трещин даёт основание предполагать, что их формирование обусловлено ротационным полем вращения Земли [3].

Анализ разработки пласта Ю₁ Игольского месторождения (рис. 1, Д) показал тесную связь повышенных дебитов нефти с выделенными зонами динамической напряжённости по данным сейсморазведки. Скважины, пробуренные в пределах трендов напряжённости горных пород, на этапе несформированной системы внутриконтурного заводнения имеют более высокую продуктивность. Из сопоставления карты эффективных толщин пласта Ю₁ (рис. 2) с картой среднесуточных дебитов (рис. 1, Д) следует, что трендам напряжённости соответствуют средние и пониженные значения эффективных толщин песчаника.

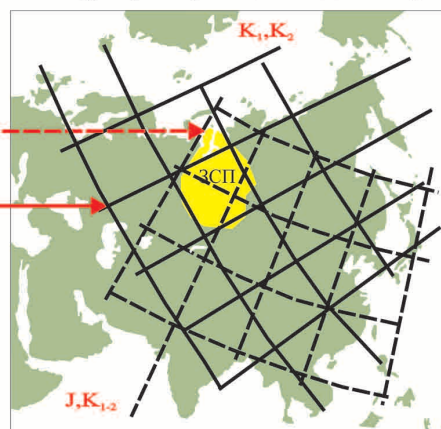
Рассматривая величину притока как произведение работающей толщины коллектора на его проницаемость, повышенные дебиты нефти можно связывать с более высокой фильтрационной характеристикой продуктивного пласта, обусловленной его трещиноватостью.

Не противоречат этому и исследования керна скважин. Так, избирательная послойная трещиноватость в кернах характерна для скважин 1107, 375, 13Р, расположенных вблизи выделяемых трендов напряжённости (рис. 1, Д). Исследования в шлифах, выполненные в скважине 1107 [9], показали, что интервалы послойной трещиноватости приурочены к участкам повышенной глинизации (каолинизации) разреза (рис. 3, А). Зависимость пористости и проницаемости для этих интервалов характеризуется более высокими значениями проницаемости, а анализ построенных графиков с учё-

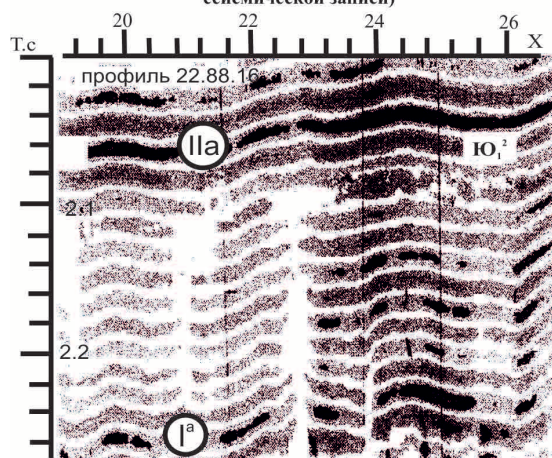
А. Ориентировка простирания трещиноватости в породах юры и неокома Каймысовского свода (по данным К.И. Микуленко) и связь трендов трещиноватости с эндокинетической (планетарной) трещиноватостью (по С.С. Шульцу)



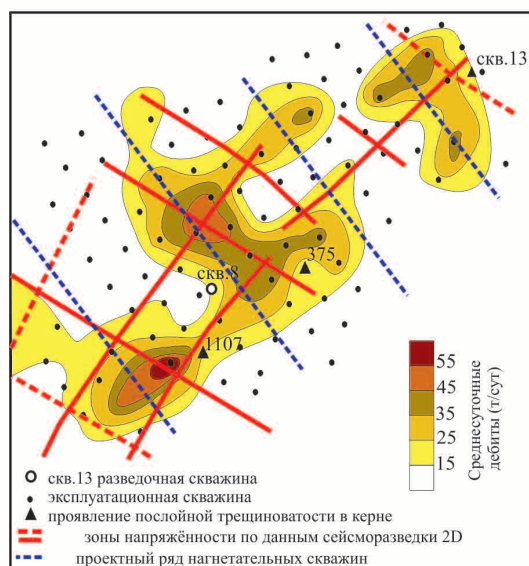
Б. Отпечатки и возраст глобального ротационного поля напряжений (эндокинетическая трещиноватость) на территории Евразии (по А.В. Долицкому).



В. Выделение зон напряжённости в разрезе осадочного чехла по данным сейсморазведки ("столбы" потери сейсмической записи)



Д. Связь величины среднесуточных дебитов нефти с динамически напряжёнными зонами пласта Ю1 в пределах Игольской месторождения.



Г. Пространственная трассировка динамически напряжённых зон по данным 3D и 2D сейсморазведки Комсомольской и Игольской площадей.

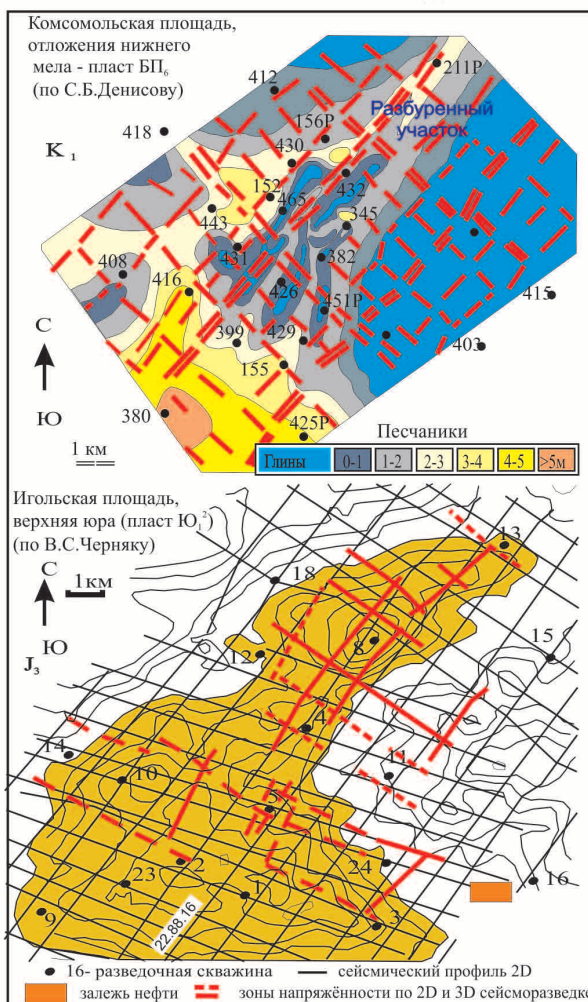
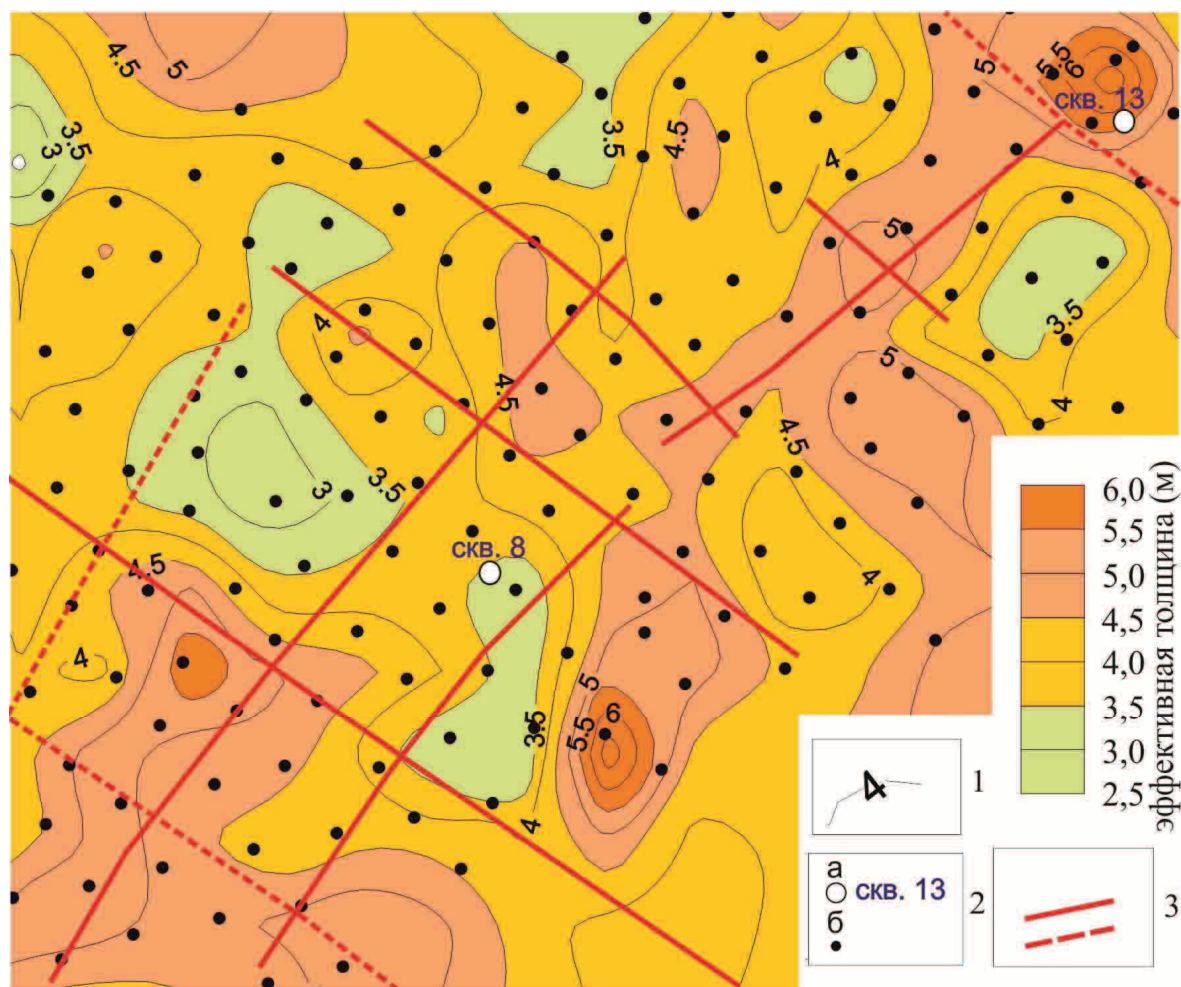


Рис. 1. Выделение зон напряжённости (планетарной трещиноватости) в отложениях осадочного чехла и особенности разработки залежей углеводородов

Fig. 1. Selection of intensity regions (planar fracturing) in sedimentary cover deposits and features of developing hydrocarbon deposits



1-разведочные (а) и эксплуатационные (б) скважины; 2-изопахиты эффективных толщин пласта J_1^2 ; 3- тренды напряжённости горных пород по данным сейсморазведки.

Рис. 2. Карта эффективных толщин пласта J_1^2 Игольского месторождения

Fig. 2. Map of the effective depths of J_1^2 layer of Igolskoe deposit

том литологической неоднородности коллектора существенно повышает коэффициенты корреляции относительно графика общей зависимости (рис. 3, Б).

Как следует из рисунка 3, Б, в результате проявления послойной трещиноватости и формирования сложного типа коллектора [10] в разработку могут быть вовлечены низкопоровые части пласта, что может существенно повысить эффективность эксплуатации залежи нефти. В соответствии с конфигураций кривой самопроизвольной поляризации (ПС), отражающей фильтрационную неоднородность коллектора (рис. 3, А), его проницаемость снижается от кровли к подошве пласта, что связано с увеличением доли глинистой фракции в составе обломочного материала.

Анализ распределения интервалов притока-приёмистости в пределах зон перфорации продуктивного коллектора на «зрелой» стадии разработки месторождения (рис. 4) свидетельствует о наличии

трендов северо-восточной ориентировки, где интервалы притока-приёмистости флюида фиксируются в подошвенной части пласта. Это указывает на присутствие трещинной проницаемости в глинистой низкопоровой части разреза коллектора.

Пространственная ориентировка выделенных зон хорошо согласуется с направлением планетарной напряжённости, определённой для отложений юры Западной Сибири (рис. 1, Б). Проявление в основном северо-восточного тренда напряжённости можно объяснить влиянием фонда нагнетательных скважин. На месторождении реализована рядная система поддержания пластового давления (ППД). Северо-западная ориентировка нагнетательных рядов скважин (рис. 1, Е) благоприятна для дренирования напряжённых зон северо-восточного направления. Более значительное их количество, относительно выделяемых зон напряжённости по данным 2D сейсморазведки, вероятно связано с несовершенством метода 2D съёмки.

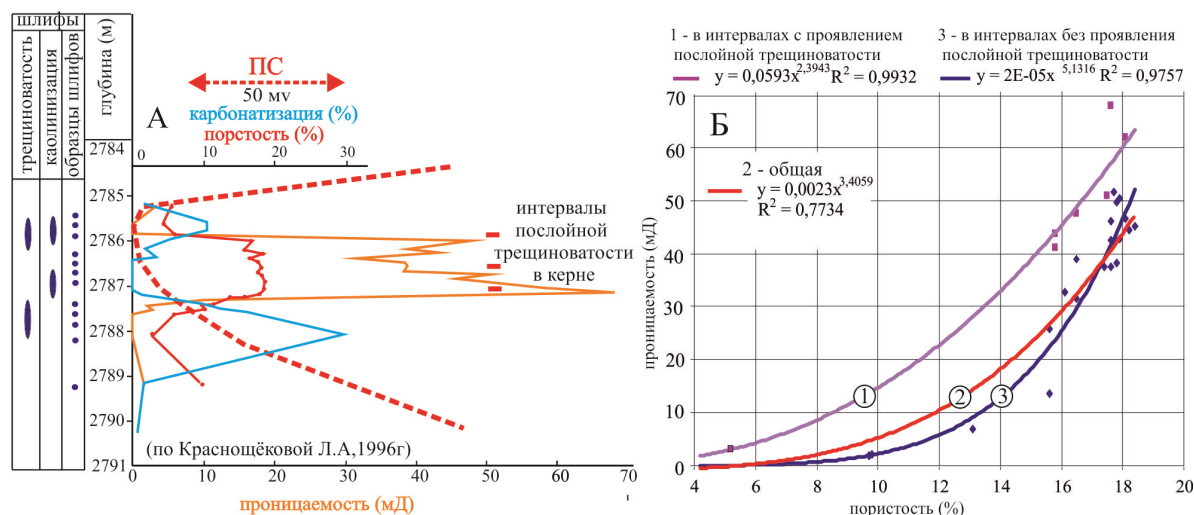


Рис. 3. Литолого-петрофизическая характеристика пласта J_1^2 в скважине 1107 Игольской площади

Fig. 3. Lithological and petrophysical characteristic of J_1^2 layer in 1107 well of Igolskaya ground

Широкое развитие ортогональных трендов планетарной напряжённости в отложениях платформенного чехла [11, 12] и их закономерное пространственное расположение в объёме определённых

стратиграфических уровней позволяют использовать общую (планетарную) трещиноватость при формировании технологических схем разработки залежей нефти и газа.

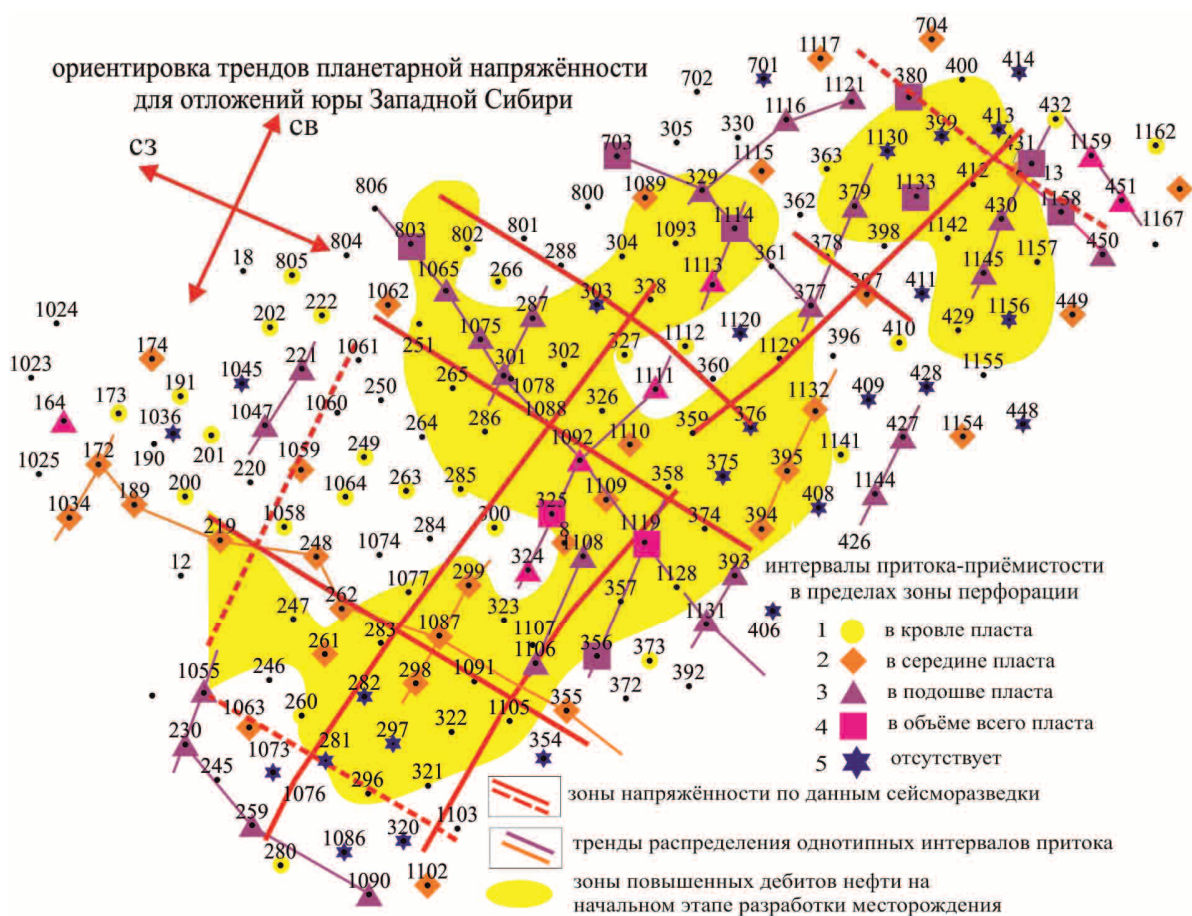


Рис. 4. Распределение интервалов притока-приёмности по разрезу продуктивного пласта J_1^2 на «зрелой» стадии разработки залежи нефти Игольского месторождения

Fig. 4. Distribution of inflow-injectivity along the section of productive formation J_1^2 at the «ephebic» stage of oil reservoir development in Igolskoe deposit

Учитывая тот факт, что планетарные трещины лучше выражены в плотных, менее проницаемых породах [1], выявленные тренды напряженности позволяют более эффективно разрабатывать залежи нефти и газа в низкопроницаемых коллекторах, приуроченных к определённым обстановкам осадконакопления [13].

Как показывают исследования [1, 3], планетарная трещиноватость не является «сквозной». Она локализуется в пределах однородных по литологическому составу слоёв. Трещины вертикально ориентированы относительно напластования, а их пространственное распределение имеет линейную зависимость от толщины слоя [1, 3]. Вследствие этого можно прогнозировать пространственную

матрицу распределения трещин по выделяемым слоям литологической неоднородности изучаемой осадочной толщи и учитывать её в гидродинамических моделях залежей углеводородов.

Общепризнанный факт наличия планетарной трещиноватости в осадочных отложениях различных нефтегазоносных провинций позволяет использовать существующие теоретические и практические исследования по данному вопросу в новых технологиях разработки залежей нефти и газа (гидро разрыв пласта, бурение горизонтальных скважин). Особого практического интереса заслуживает вопрос разработки «сланцевой» нефти, где от трещиноватости глинистых сланцев зависит как величина дебитов углеводородов, так и про-

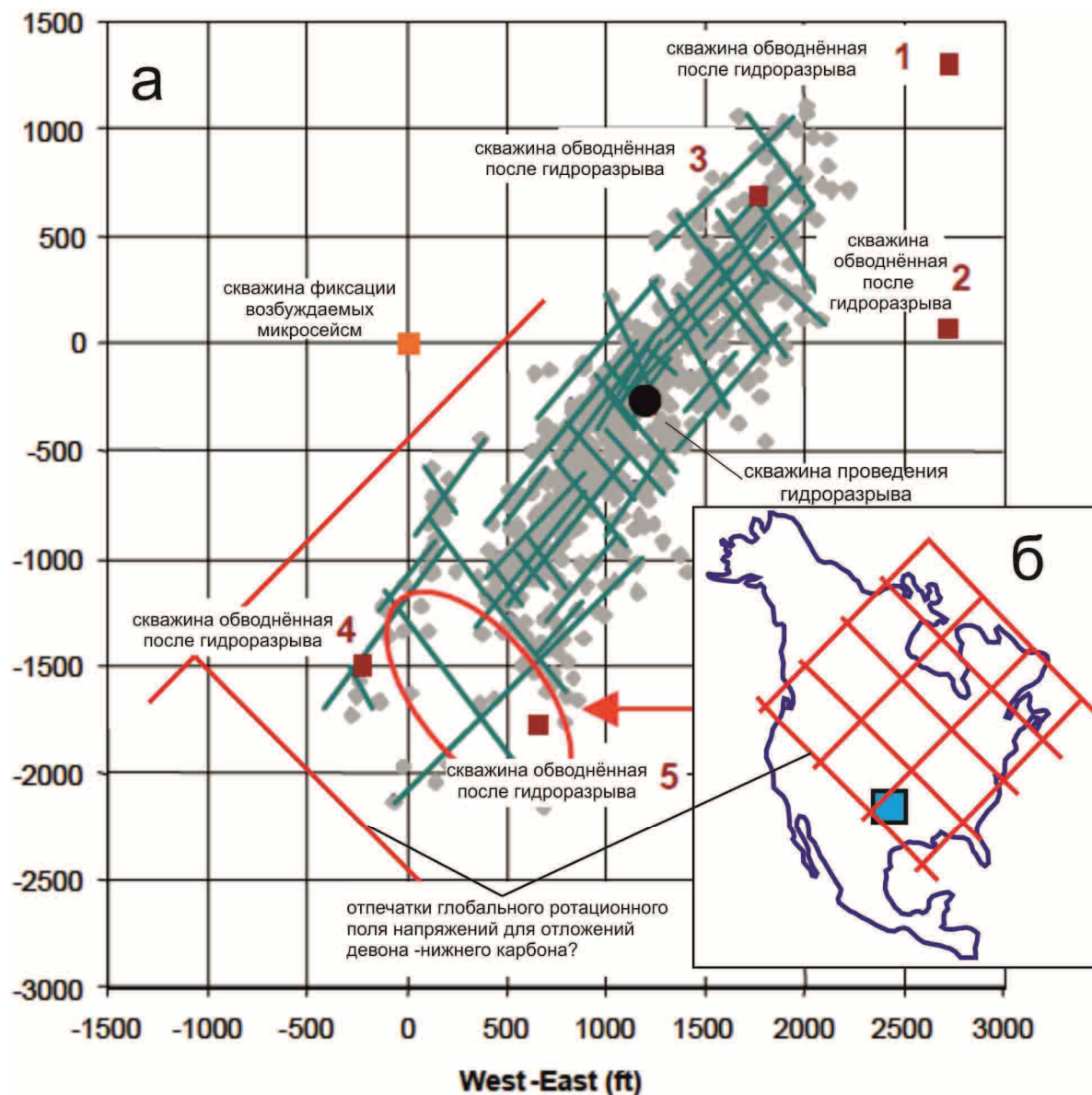


Рис. 5. а) результаты микросейсмических исследований проведённого гидроразрыва в нижнекарбоновой сланцевой толще Barnett [16]; б) отпечатки глобального ротационного поля напряжений для отложений девона-карбона Северной Америки [5]

Fig. 5. а) the results of micro-seismic surveys of the carried out reservoir fracturing of shale formation Barnett [17]; б) mold of global rotating stress field for Devonian-Carbon deposits in North America

должительность рентабельной эксплуатации [14, 15]. В этой связи можно рассмотреть сопоставление ориентации выделяемого глобального поля напряжений для отложений девона-карбона Северо-Американского континента [16] и поля распределения микросейсмических исследований, полученных при гидроразрыве нижекарбоновой сланцевой толщи Barnett (рис. 5).

Как следует из рисунка, гидроразрыв порождает совокупность микросейсм. Выделяемая область сейсмической активности при общей северо-восточной направленности сформирована многочисленными участками микросейсм северо-восточной и северо-западной ориентировки (рис. 5, а), которые хорошо сопоставимы с прогнозируемым полем глобальных напряжений ротационного поля рассматриваемого стратиграфического горизонта данного района (рис. 5, б) по литературным источникам [5].

Как следует из анализа режима работы скважин, влияние гидроразрыва распространяется за пределы области фиксирования микросейсм. После проведения гидроразрыва ряд скважин, расположенных в непосредственной близости, были обводнены, что вероятно связано с поступлением в них жидкости, применяемой при закачке пропанта.

Развитие обширной зоны трещиноватости благоприятно для притока углеводородов из сланцевой

толщи и формирования в ней свободного пустотного пространства. Наличие пустотного пространства в свою очередь способствует дальнейшей активизации процесса трещиноватости по существующим зонам планетарной напряжённости горных пород.

Выводы

1. Элементы планетарной трещиноватости в отложениях платформенного чехла отмечаются по ориентированной трещиноватости в керне скважин [4].
2. Планетарная трещиноватость (напряжённость) горных пород может быть выделена по данным сейсморазведки [10, 17, 18] и использована для повышения эффективности разработки месторождений нефти и газа.
3. Определённая пространственная ориентировка ортогональных трендов планетарной трещиноватости в разновозрастных толщах позволяет формировать на её основе технологические схемы эксплуатации залежей углеводородов.
4. Наиболее эффективно использование трендов планетарной трещиноватости при разработке залежей УВ в терригенных коллекторах пониженной проницаемости и битуминозных сланцевых толщах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рац М.В., Чернышев С.Н. Трещиноватость и свойства трещинных коллекторов. – М.: Недра, 1971. – 160 с.
2. Новиков А.С. О трещиноватости осадочных пород восточной части Русской платформы // Изв. АН СССР, сер. геол. – 1951. – № 5. – С. 68–86.
3. Щульц С.С. Планетарная трещиноватость. – Л.: ЛГУ, 1973. – 176 с.
4. Микуленко К.И., Шемин Г.Г. Трещиноватость юрских и нижнемеловых пород Обь-Иртышского междуречья // Тр. Сиб. науч.-исслед. ин-та геол., геофиз. и минер. сырья. – 1971. – Вып. 132. – С. 90–101.
5. Долицкий А.В. Реконструкции тектонических структур. – М.: Недра, 1978. – 148 с.
6. Долицкий А.В. Земная кора: образование, деформация, развитие, тектоника вращающейся мантии // Ротационные процессы в геологии и геофизике. – М.: КомКнига, 2007. – С. 115–163.
7. Белозёров В.Б. Возможности использования планетарной трещиноватости в разработке залежей нефти и газа // В сб.: 30 лет на службе Томской области. Тр. Сиб. науч.-исслед. ин-та геол., геофиз. и минер. сырья. – Новосибирск, 2002. – С. 136–139.
8. Денисов С.Б. Влияние сдвиговой тектоники на формирование нефтегазовых месторождений Западной Сибири // Нефтяное хозяйство. – 2001. – № 4. – С. 14–18.
9. Краснощёкова Л.А. Наложённый эпигенез коллекторов Игольско-Талового месторождения // Актуальные вопросы геологии и географии Сибири: Сборник трудов. – Томск: Изд-во ТГУ, 1998. – С. 82–84.
10. Белоновская Л.Г. Трещиноватость горных пород и разработанные во ВНИГРИ основы поисков трещинных коллекторов нефти и газа // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2006. – Т. 1. URL: <http://www.ngtp.ru/rub/10/04.pdf> (дата обращения: 08.05.2013).
11. Анохин В.М., Одесский И.А. Характеристики глобальной сети планетарной трещиноватости // Геотектоника. – 2001. – № 5. – С. 3–9.
12. Довбнич М.М., Мачула М.С., Мендрий Я.В. Опыт прогноза трещиноватых зон при изучении нефтеперспективных юрских отложений Западной Сибири // Геоинформатика. – 2010. – № 1. – С. 50–56.
13. Белозёров В.Б. Литолого-седиментационные модели. – Saarbrücken: Academic Publishing, 2014. – 111 с.
14. Баженовская свита – дополнительный источник углеводородов в Западной Сибири / А.В. Лобусев, М.А. Лобусев, Ю.А. Вертигев, Л.С. Кулик // Территория нефтегаз. – 2011. – № 3. – С. 28–31. URL: http://www.neftegas.info/upload/iblock/c44/28_31.pdf (дата обращения: 05.10.2013).
15. Баженовская свита. Общий обзор, нерешенные проблемы / И.С. Балушкина, Е.В. Афанасьев, Е.М. Гаврилова, Г.А. Бирун, Н.С. Калмыков // Научно-технический вестник ОАО «НК Роснефть». – 2010. – № 4. – С. 20–25.
16. Optimizing Horizontal Completion Techniques in the Barnett Shale Using Microseismic Fracture Mapping / M.K. Fisher, C.A. Wright, B.M. Davidson, A.K. Goodwin, E.O. Fielder, W.S. Buckler, N.P. Steinsberger. URL: <http://discovery-geo.com/Papers/SPE%2090051.pdf> (дата обращения: 02.02.2014).
17. Файзуллин И.С., Чиркин И.А. Сейсмоакустические методы изучения трещиноватости горных пород // Геоинформатика. – 1998. – № 3. – С. 24–27.
18. Изучение трещиноватости горных пород многоволновыми поляризационными методами: сейсморазведкой, ВСП и акустическим каротажем // НИИ ГЭТЭК. URL: <http://www.getek.ru/fissured.html> (дата обращения: 02.02.2014).

Поступила 15.02.2014 г.

PLANAR FRACTURING AND DEVELOPMENT OF PETROLEUM RESERVOIRS

Vladimir B. Belozеров,

Dr. Sc., Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue,
Tomsk, 634050, Russia. E-mail: BelozеровVB@hw.tpu.ru

The research is relevant in the context of improvement of oil and gas recovery in low-permeability clastic reservoirs and shale.

The main aim of the research is to substantiate the use of planar fracturing to improve oil and gas recovery in low-permeability clastic reservoirs. The research is based on a correlation between currently available theoretical developments on planar fracturing and practical data obtained with petroleum geology, lithology and seismology of upper Jurassic and lower Cretaceous formations in West Siberia.

Research methods: determination of the planar fracturing system with seismic survey (Prony's method), observation of the oriented core fracturing, lithologic and petrographic research of rock formations density zones, analysis of the reservoir production capacity in its expected zones of planar fracturing.

Results. The author has analyzed Igolsk oilfield J_2 reservoir development. The paper demonstrates the interconnection of the increased rates with rock formation density zones, determined by the seismic survey. The author correlated the density zones with the orientation of the planar fracturing system in upper Jurassic formations in West Siberia. The relation between the fracturing and the reservoir intervals of high clay content are introduced with lithology research data. The author compared the orientations of the global density field for Devonian-Carbon deposits in North America and the field of distribution of microseismic researches obtained at hydraulic fracturing of Low-Carbon shale formation Barnett. It was shown that the seismic activity area was formed by multiple regions of microseisms in northern-east and northern-west orientations which correspond to the predicted directions of rotating field global densities of the considered stratigraphic horizon in this region by the literary sources.

Key words:

Planar fracturing, seismic cross-section, technological development scheme, petroleum reservoir, rock formation density zones.

REFERENCES

1. Rats M.V., Chernyshev S.N. *Treshchinovatost i svoystva treshchinnykh kollektorov* [Fracture properties and fractured reservoirs]. Moscow, Nedra Publ., 1971. 160 p.
2. Novikov A.S. O treshchinovatosti osadochnykh porod vostochnoy chasti Russkoy platformy [On fractured sedimentary rocks of the eastern part of Russian platform]. *Math. USSR Academy of Sciences, Ser. Geo.*, 1951, no. 5, pp. 68–86.
3. Schults S.S. *Planetarnaya treshchinovatost* [Planetary fracture]. Leningrad, Leningrad State University Press, 1973. 176 p.
4. Mikulenko K.I., Shemin G.G. Treshchinovatost yurskikh i nizhnemelovykh porod Ob-Irtyshskogo mezhdurechya [Fracturing of the Jurassic and Lower Cretaceous rocks of Ob-Irtysh interfluvial]. *Trudy Sibirskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta geologii, geofiziki i mineral'nogo syr'ya* [Proc. of Siberian Scientific-Research Institute of Geology, geophysics and minerals], 1971, no. 132, pp. 90–101.
5. Dolitsky A.V. *Rekonstruktsii tektonicheskikh struktur* [Reconstruction of tectonic structures]. Moscow, Nedra Publ., 1978. 148 p.
6. Dolitsky A.V. Zemnaya kora: obrazovanie, deformatsiya, razvitiye, tektonika vrashchayushcheysoy mantii [The crust: formation, strain, development, tectonics of rotating mantle]. *Rotatsionnye protsessy v geologii i geofizike* [Rotation processes in geology and geophysics]. Moscow, KomKniga Publ., 2007. 523 p.
7. Belozyorov V.B. Vozmozhnosti ispolzovaniya planetarnoy treshchinovatosti v razrabotke zalezhey nefti i gaza [Possibilities of using planetary fracturing in developing oil and gas deposits]. *30 let na sluzhbu Tomskoy oblasti. Trudy SNIIGiMS* [30 years in the service of the Tomsk region. Proc. Siberian Scientific-Research Institute of Geology, geophysics and minerals]. Novosibirsk, 2002. pp. 136–139.
8. Denisov S.B. Vliyaniye sdvigoov tektoniki na formirovaniye neftegazovykh mestorozhdeniy Zapadnoy Sibiri [Influence of shear tectonics on formation of oil and gas fields in Western Siberia]. *Oil Industry*, 2001, no. 4, pp. 14–18.
9. Krasnoshchekova L.A. Naloozhennyye epigenez kollektorov Igolsko-Talovogo mestorozhdeniya [Superimposed epigenesis of collectors of Igolsko-Talovy field]. *Aktualnye voprosy geologii i geografii Sibiri: Sbornik trudov* [Urgent problems of geology and geography of Siberia. Collected papers]. Tomsk, Publishing House of Tomsk State University, 1998. pp. 82–84.
10. Belonovskaya L.G. Treshchinovatost gornykh porod i razrabotannyye vo VNIGRI osnovy poiskov treshchinnykh kollektorov nefti i gaza [Fracturing of rocks and developed in VNIGRI bases of searching for fractured reservoirs of oil and gas]. *Petroleum geology. Theory and practice*, 2006, vol. 1. Available at: <http://www.ngtp.ru/rub/10/04.pdf> (accessed 8 May 2013).
11. Anokhin V.M., Odessky I.A. Kharakteristiki globalnoy seti planetarnoy treshchenovatosti [Features of WAN planetary fracturing]. *Geotectonics*, 2001, no. 5, pp. 3–9.
12. Dovbnich M.M., Machula M.S., Mendry Ya.V. Opyt prognoza treshchenovatyykh zon pri izuchenii nefteperspektivnykh yurskikh otlozheniy Zapadnoy Sibiri [Experience in predicting fractured zones when studying oil-Jurassic deposits of Western Siberia]. *Geoinformatics*, 2010, no. 1, pp. 50–56.
13. Belozеров V.B. *Litologo-sedimentatsionnye modeli* [Lithologic and depositional models]. Saarbrücken, Academic Publishing, 2014. 111 p.
14. Lobusev A.V. Lobusev M.A., Vertievets Yu.A., Kulik L.S. Bazhenovskaya svita – dopolnitelnyy istochnik uglevodorodov v Zapadnoy Sibiri [Bazhenov formation is the additional source of hydrocarbons in Western Siberia]. *Territoriya Neftegaz*, 2011, no. 3, pp. 28–31. Available at: http://www.neftegas.info/upload/iblock/c44/28_31.pdf (accessed: 5 October 2013).
15. Afanasiev I.S., Gavrilova E.V., Birun E.M., Kalmykov G.A., Balushkin N.S. Bazhenovskaya svita. Obshchy obzor, nereshennyye problemy [Bazhenov formation. General overview and unresolved problems]. *Scientific and Technical Gazette of «Rosneft»*, 2010, no. 4, pp. 20–25.
16. Fisher M.K., Wright C.A., Davidson B.M., Goodwin A.K., Fielder E.O., Buckler W.S., Steinsberger N.P. Optimizing Horizontal Completion Techniques in the Barnett Shale Using Microseismic Fracture Mapping. *SPE Annual Technical Conference*. Houston, 2004. Available at: <http://discoverygeo.com/Papers/SPE%2090051.pdf> (accessed 2 February 2014).
17. Fayzullin I.S., Chirkin I.A. Seismoakusticheskie metody izucheniya treshchinovatosti gornykh porod [Seismic methods for studying fracturing of rocks]. *Geoinformatics*, 1998, no. 3, pp. 24–27.
18. Izucheniye treshchinovatosti gornykh porod mnogovolnovnymi polarizatsionnymi metodami: seismorazvedkoy, VSP i akusticheskimi karotazhom [The study of rocks by the multi-wave polarization methods: seismic survey, VSP and sonic log]. *SPE GETEK*. Available at: <http://www.getek.ru/fissured.html> (accessed 2 February 2014).

Received: 15 February 2014.