

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЛИТОЛОГО-ПЕТРОФИЗИЧЕСКОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ПРОДУКТИВНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА

Меркулов В.П., Краснощекова Л.А.

Рассмотрена проблема изучения пространственной анизотропии коллекторов нефти и газа комплексом литолого-петрофизических методов, включающим литологический, микроструктурный и палеомагнитно-петрофизический анализы. Пространственное ориентирование керна, предназначенного для изучения анизотропных характеристик пород, производится палеомагнитным методом. Использование ориентированного керна позволяет фиксировать любые проявления упорядоченной структуры пород (слоистость, трещиноватость, закономерная ориентировка частиц, пор и т.д.), а также связанных с ними анизотропных характеристик петрофизических свойств в современной магнитной и географической системах координат. Данные по анизотропии литологических, магнитных и фильтрационных свойств образцов Игольско-Талового нефтяного месторождения показывают, что изменение этих характеристик происходит согласованно. Обобщение получаемых материалов позволяет формировать пространственно неоднородную геостатическую модель коллектора.

Наличие пространственной неоднородности коллекторов выражается в существовании закономерных направлений, благоприятных для внутри- и межпластовых перетоков флюидов. Имеются многочисленные подтверждения этого явления на различных месторождениях, отмечающиеся в резком колебании дебитов добывающих скважин, режима работы нагнетательных скважин и прямых определений фильтрационных свойств по образцам керна, обнаруживающих существенное различие проницаемости по разным направлениям. Это явление предопределяется серией факторов, включающих фациальные условия образования коллекторов, тектонический режим осадконакопления, процессы изменения (выщелачивания) горных пород, приводящие к образованию вторичной пористости. Дополнительным условием, влияющим на анизотропную характеристику коллекторов, может быть напряженное состояние массива горных пород.

Вместе эти факторы приводят к формированию определенным образом упорядоченных структур и текстур пород коллектора, влияющих на их физические свойства, а в конечном счете - и на нефтеотдачу пласта.

Анализ литературных источников по данной проблеме показывает, что в последнее время наблюдается отход от традиционных представлений об однородной структуре коллекторов, представляемых в виде параллельно-слоистых геологических тел, с акцентированием внимания на более сложнопостроенные объекты, слагаемые разнофациальными отложениями и формирующие каналы, благоприятные для фильтрации пластовых флюидов [1]. Геостатическая модель месторождения включает в себя три взаимодействующих элемента - геологическую, петрофизическую и сейсмическую модели. Ни в одной из них не учитывается пока характеристика анизотропности геологического пространства, имеющая векторную или, даже более того, тензорную природу.

В рамках современной технологии исследования керна существует реальная возможность применения специализированных анализов, данные которых могут дать количественную характеристику анизотропии коллекторов

с учетом их структурно-текстурных и фильтрационно-емкостных особенностей. Возможности выявления и последующего моделирования пространственной неоднородности продуктивных пластов основаны на изучении предварительно ориентированных в пространстве образцов керна продуктивных коллекторов комплексом методов, включающих определение анизотропных параметров петрофизических (упругих, магнитных, электрических) и фильтрационных свойств, а также микроструктурный анализ пород по ориентированным шлифам. Такой подход к проблеме обеспечивает выявление упорядоченных структур в коллекторах, позволяет объяснить механизм их формирования и характер отображения в различных видах физических свойств.

Пространственное ориентирование керна, предназначенного для изучения анизотропных характеристик пород, производится палеомагнитным методом.

Палеомагнитный метод основан на явлениях планетарного порядка, связанных с инверсиями (обращением полярности) древнего геомагнитного поля и способностью горных пород фиксировать направления этого поля в процессе формирования в виде вектора остаточной намагниченности [3].

Для осадочной горной породы первичная остаточная намагниченность, образовавшаяся одновременно с породой, имеет ориентационную природу. Из-за нескомпенсированности магнитных моментов ферромагнитных частиц в горных породах обязательно возникает вязкая намагниченность, обусловленная современным магнитным полем Земли и совпадающая с ним по направлению. Вязкая и первичная намагниченности образуют векторную сумму и, в первом приближении, создают естественную остаточную намагниченность (рис. 1), которая может быть измерена по отдельным образцам керна (или образцам пород, отобраным в естественных обнажениях) с достаточной точностью. Опыт мировых палеомагнитных исследований показывает, что вязкая и первичная намагниченности существенно отличаются по степени устойчивости к внешним воздействиям - нагревам и переменным магнитным полям. Вязкая намагниченность пород разрушается значительно быстрее, чем более устойчивая первичная. Возможны и более сложные случаи, когда в породах в виде третьего компонента присутствует химическая намагниченность, обусловленная вторичными изменениями, например, метасоматическими процессами [3].

Изучение поведения векторных характеристик вязкого и первичного компонентов естественной остаточной намагниченности в процессе экспериментов, связанных с нагреванием или воздействием переменного магнитного поля на образец в немагнитном пространстве, позволяет решить серию практических задач, имеющих большое значение для нефтяной геологии.

Первая из них связана с возможностью восстановления пространственной ориентировки керна скважин по вязкому компоненту, получаемому при последовательных шаговых нагревах образцов в виде векторной разности между измеряемыми векторами естественной остаточной намагниченности. Обычная схема нагревов - шагами по 25° от комнатной температуры до пластовой. Погрешность пространственной ориентировки керна (по азимуту и наклону) зависит от величины магнитных свойств пород и для имеющейся в нашем распоряжении отечественной измерительной аппаратуры изменяется в пределах от $\pm 3^{\circ}$ до $\pm 8^{\circ}$. Схема проведения эксперимента с получением итоговых данных по ориентировке керна показана на рис. 1.

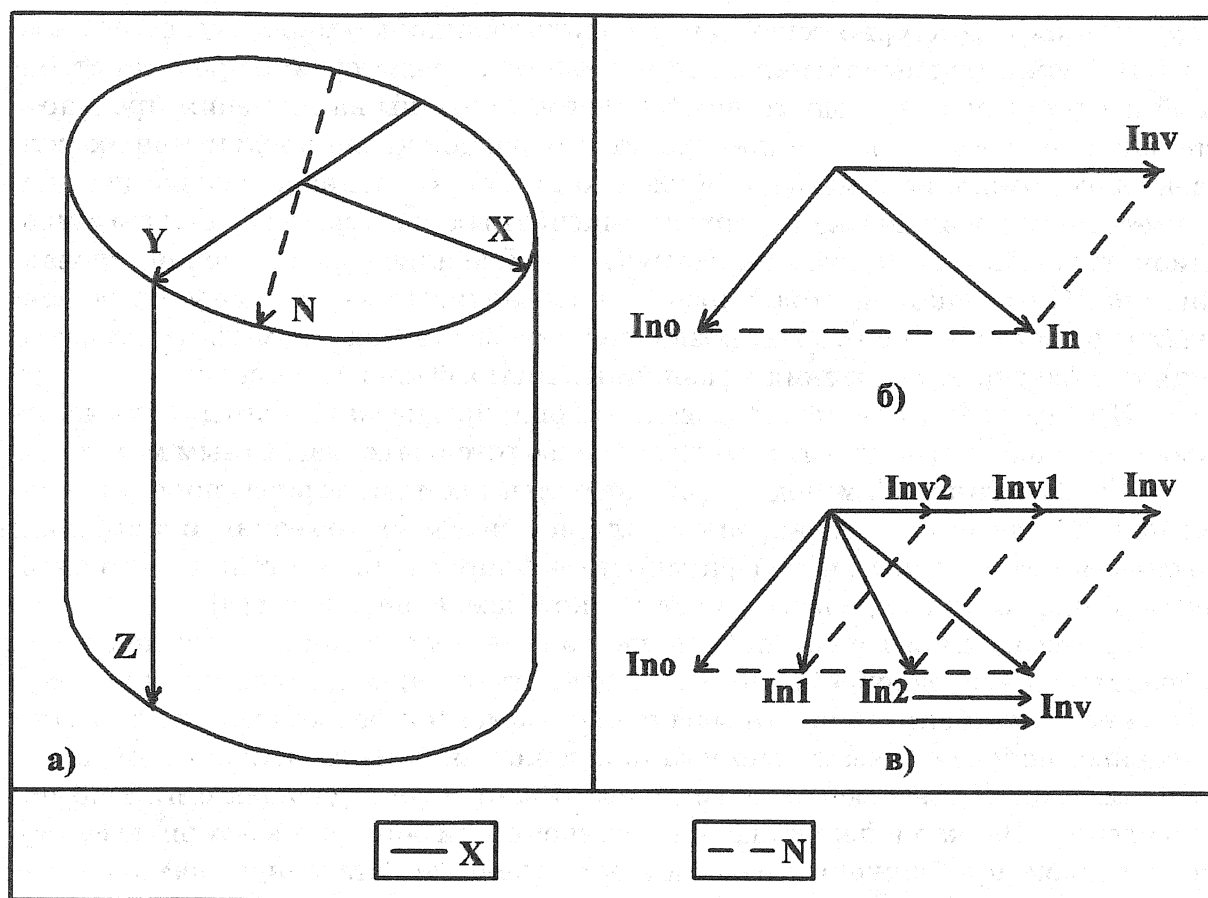


Рис.1. Схема пространственного ориентирования керна скважин палеомагнитным методом: а) образец керна с произвольной системой координат (X, Y, Z) и расчетной плоскостью магнитного меридиана (по вязкой намагниченности – N); б) компоненты вектора естественной остаточной намагниченности I_n – первичная остаточная намагниченность I_{no} , вязкая остаточная намагниченность – I_{nv} ; в) схема шагового размагничивания естественной остаточной намагниченности ($I_n - I_{n1} - I_{n2}$), с последовательным разрушением вязкой намагниченности ($I_{nv} - I_{nv1} - I_{nv2}$) и выделением разностного вязкого компонента (I_{nv})

Вторая задача имеет прямое отношение к проблемам стратиграфического расчленения и корреляции нефтегазоносного комплекса отложений, решение которых для терригенных разрезов представляется в достаточной степени сложным. Первичный компонент естественной остаточной намагниченности осадков объективно отображает изменения полярности древнего геомагнитного поля и, соответственно, зоны прямой и обратной намагниченности в разрезах скважин являются изохронными геологическими реперами.

Третья задача связана непосредственно с изучением пространственной неоднородности коллекторов - использование ориентированного керна позволяет жестко фиксировать любые проявления упорядоченной структуры пород (слоистость, трещиноватость, закономерная ориентировка частиц, пор и т.д.), а также связанных с ними анизотропных характеристик петрофизических свойств в современной магнитной и географической системах координат.

Применение единой системы координат позволяет производить сравнение и статистический анализ различных параметров и характеристик вертикальной и латеральной неоднородности коллекторов, выявлять количественные взаимосвязи, механизмы и причины их проявления. Обобщение получаемых материалов позволяет формировать пространственно неоднородную геостатическую модель коллектора.

Методики изучения пространственной литолого-петрофизической неоднородности коллекторов разрабатывались на базе палеомагнитно-петрофизической лаборатории кафедры геофизических методов поисков и разведки месторождение полезных ископаемых Томского политехнического университета, кафедры петрографии Томского государственного университета и лаборатории физики пласта ОАО ТомскНИПИнефть. Они опробованы в различном объеме на керне Крапивинского, Вахского, Игольско-Талового, Северо-Васюганского и Южно-Черемшанского месторождений, а также серии площадей юго-восточной части Нюрольской впадины (Калиновая, Северо-Калиновая, Солоновская и др.).

Основные залежи нефти и газа западной части Томской области сосредоточены в коллекторах верхнеюрских отложений васюганской свиты, объединяемых группой песчаных пластов Ю₁. С этим продуктивным горизонтом связаны основные перспективы обнаружения новых месторождений. Материалы разведочного и эксплуатационного бурения и испытания пластов показывают, что верхнеюрские коллекторы отличаются резкой дифференциацией эксплуатационных свойств пород. Причины, формы проявления и механизм образования пространственной неоднородности указанной группы коллекторов необходимо изучать для успешной разработки месторождений.

Пример эффективности использования данной разработки на Игольско-Таловом месторождении Томской области приведен ниже.

Модель формирования песчаных коллекторов продуктивного пласта Ю₁² Игольско-Талового месторождения по данным фациального, гранулометрического, литолого-петрофизического изучения характеризуется седиментационной обстановкой, свойственной барам дальней зоны (Белозеров и др., 1997). Баровый

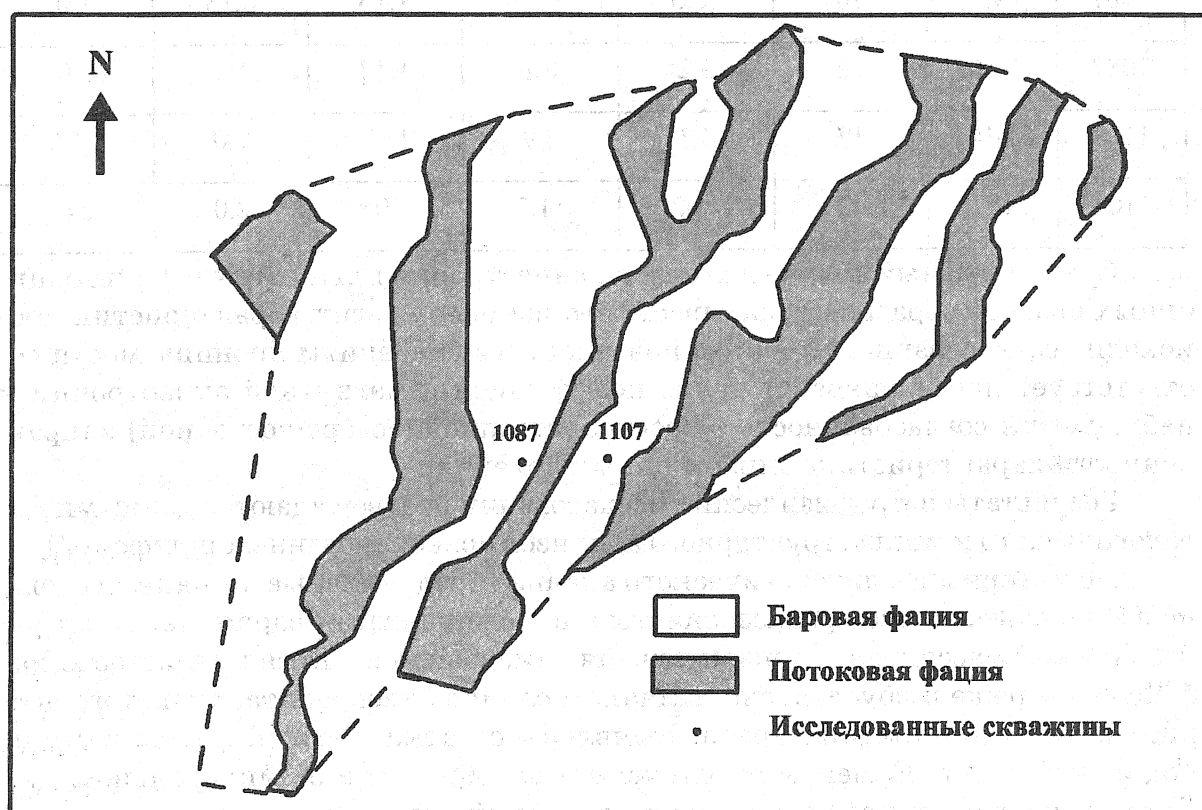


Рис. 2. Схема распространения баровых и потоковых фаций горизонта Ю₁² Игольско-Талового месторождения (М 1:50000)

комплекс имеет северо-восточное простирание слагающих его песчаных тел.

В фациальном отношении пласт Ю₁² неоднороден и представлен осадками баровых (воронкообразная форма ПС) и потоковых фаций (блоковая кривая ПС). Выделяемые типы имеют северо-восточное простирание и в виде протяженных вытянутых зон сменяют друг друга в северо-западном направлении на расстоянии 1,5 - 2 км (рис. 2)

По образцам керн из скважин 1087 и 1107 был выполнен комплекс исследований, включавший: восстановление пространственной ориентировки образцов керн палеомагнитным методом, изучение литолого-структурных особенностей отложений в ориентированных шлифах, включая микроструктурный анализ кварца [4], определение комплекса фильтрационно-емкостных (пористость, проницаемость) и петрофизических (плотностных, упругих и магнитных) свойств с измерением анизотропии магнитных и упругих параметров пород.

В таблице 1 приведены количественные характеристики магнитной и фильтрационной анизотропии по отдельным образцам пород пласта Ю₁². Для этих же образцов был выполнен литологический анализ и микроструктурный анализ кварца.

Таблица 1

Характеристика магнитной и фильтрационной анизотропии песчаников Игольско-Талового месторождения

Скв.	№ обр.	Характеристики магнитной анизотропии				Проницаемость, мД	
		азимут, град	мин. зн.	макс. зн.	коэф-т анизотр.	С-З направл.	С-В Направл.
1087	93	26	10.5	12.6	1.16	0.13	1.0
1087	116	12	5.2	6.1	1.17	1.5	2.0
1107	144	17	4.3	5.9	1.37	7.0	13.6
1107	152	22	11.2	11.7	1.05	2.0	2.6

Сравнительный анализ данных по анизотропии магнитных и фильтрационных свойств образцов показывает, что изменение этих характеристик происходит согласованно. При этом повышенным значениям проницаемости соответствует повышенное значение коэффициента магнитной анизотропии и наблюдается согласованность в пространственной (северо-восточной) направленности характеристике анизотропных явлений.

Результаты петрофизических исследований подтверждаются данными литологического и микроструктурного анализов ориентированных шлифов [2].

По материалам литологического анализа продуктивные песчаники серые и темно-серые, мелко-среднезернистые, полевошпатово-кварцевые. Текстура песчаников массивная, горизонтальная, линзовидная. Косая слоистость наблюдается реже и обусловлена наличием слоев алевролита, углистого детрита и микроконкреций пирита. Выявлены остатки морской фауны пелеципод и аммонитов. Цементы песчаников разнообразны и по минеральному составу, и по структуре. Выделяются кварцевый регенерационный, пленочно-поровый глинисто-гидрослюдистый, поровый каолиновый, базальный пойкилитовый кальцитовый и конформный цементы.

Размер зерен колеблется от 0,01 мм до 1 мм. Для баровых песчаников отмечается присутствие гранулометрических разностей 0,1- 0,25 мм и 0,25 – 0,5 мм. Для песчаников потоковой фации характерно увеличение доли среднезернистых разностей примерно на 10% по сравнению с баровыми коллекторами, улучшение сортировки обломков.

Вторичные изменения в песчаниках Игольско-Талового месторождения развиты широко и выражаются в существенной карбонатизации, децементации (выщелачивание, каолинизация). Первый процесс значительно ухудшает коллекторские свойства пород, в то время как второй приводит к их улучшению.

Изучение ориентировок зерен кварца по форме и внутреннему строению производилось по ориентированным шлифам параллельно плоскости напластования. Поскольку условия осадконакопления на месторождении нами определяются как прибрежно-морские, то можно предположить, что на ориентировку удлиненных зерен кварца существенное влияние оказывали вдольбереговые течения и прибойные потоки. Вдольбереговые течения располагают длинные зерна кварца параллельно береговой линии (L_1). Прибойный поток, подходя к берегу под углом, часть удлиненных зерен ориентирует на мористом склоне бара субнормально к берегу (L_2), а часть – параллельно береговой линии. Это подтверждается бимодальным распределением длинных осей частиц, показанным на рис. 3, 4. При этом преимущественной является северо-восточная ориентировка, согласованная с простиранием баровых тел.

Предпочтительная ориентировка зерен, выявленная микроструктурным анализом, характеризуется наличием двух поясов концентрации (рис.3, 4). В поясе вокруг линейности L_1 отмечается коническое рассеивание большей час-

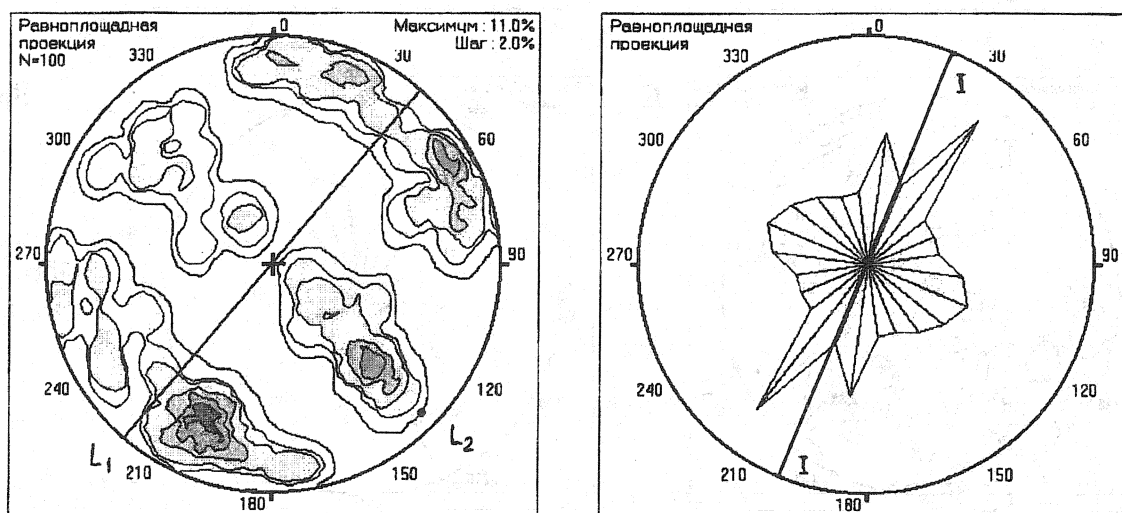
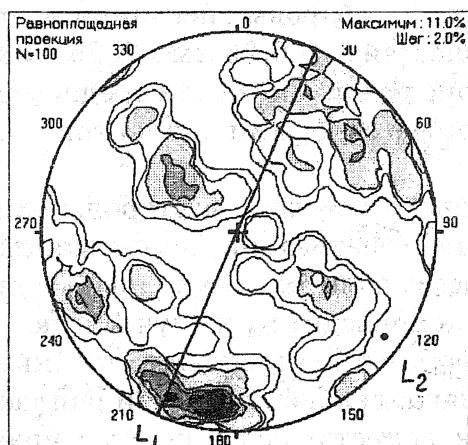


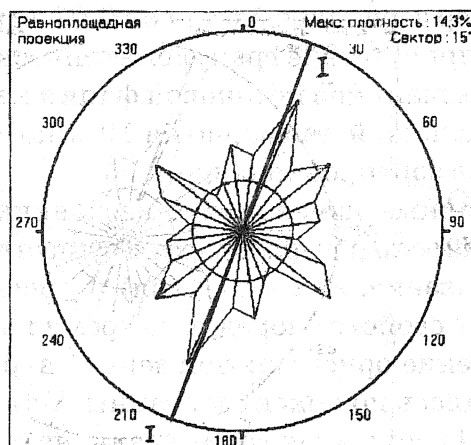
Рис.3. Диаграммы ориентировки оптических осей кварца (А) и осей кварца по удлинению (Б). Изолинии проведены 1-2-4-6-8-10% на 1% сетки Шмидта. Проекция на верхнюю полусферу. Обр. 116, скв. 1087. Линия I-I - направление главной оси эллипсоида магнитной анизотропии

ти оптических осей в радиусе примерно 30° . Симметрично к L_1 под углом 20° - 25° располагаются два максимума высокой плотности – 8% и 11%. Нормально к L_1 ориентирован другой пояс концентрации оптических осей с максимумом 8%. Причем последний располагается вблизи линейности L_2 .

Изменение проницаемости пород и магнитных свойств связано с упаковкой зерен в породе. Проницаемость и величина магнитной восприимчиво-

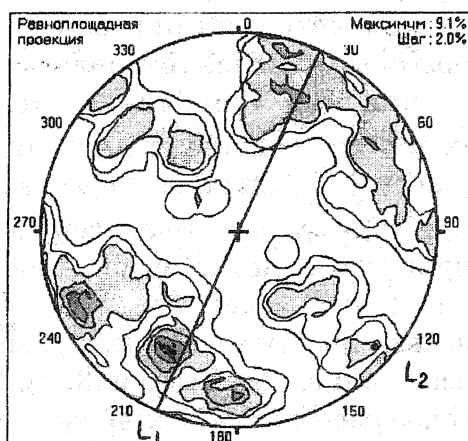


A

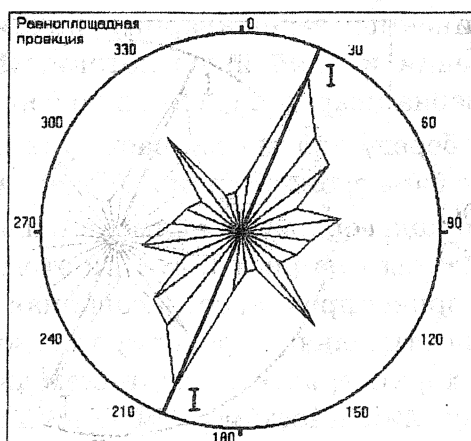


B

Обр. 93,
скв.1087

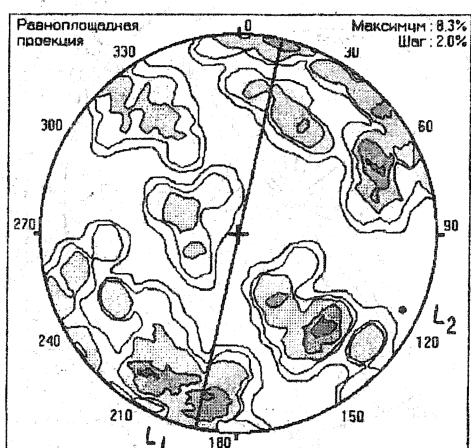


C

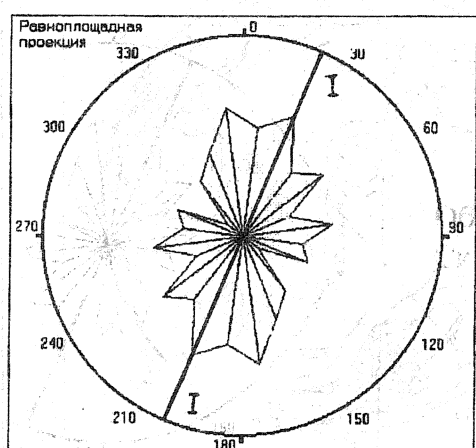


D

Обр.152,
Скв. 1107



E



F

Обр.144,
Скв.1107

Рис.4. Диаграммы ориентировки оптических осей кварца (A, C, E) ориентировки осей кварца по удлинению (B, D, F). Изолинии проведены 1-2-4-6-8-10% на 1% сетки Шмидта. Проекция на верхнюю полусферу. N=100. Линия I-I - направление главной оси эллипсоида магнитной анизотропии

сти песчаников значительно выше по направлениям, параллельным длинным осям зерен, и хуже по линиям, перпендикулярным к ним. При этом характеристики пространственной литолого-петрофизической анизотропии, в частности, азимутальная направленность главных анизотропных осей, характеризуются высокой степенью согласования.

Полученные данные показывают, что основной причиной проявления пространственной литолого-петрофизической неоднородности песчаных коллекторов Игольско-Талового месторождения являются условия осадконакопления. Наиболее достоверные материалы, фиксирующие и объясняющие это явление, могут быть получены только при комплексном исследовании ориентированного в пространстве керна.

Исследование пространственной анизотропии коллекторов месторождения или группы месторождений целесообразно проводить для уточнения геостатической модели. При этом для подготавливаемых к эксплуатации месторождений материалы исследований могут быть использованы при подсчете запасов, проектировании рациональной схемы разработки, обеспечивающей равномерный режим эксплуатации, размещения добывающих и нагнетательных скважин; для разрабатываемых месторождений материалы исследований могут использоваться для оценки режима эксплуатации, проектирования мест заложения последующих эксплуатационных скважин, определения участков для гидроразрыва пласта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жабрев И.П., Стуканогов Ю.А. Зависимость нефтеотдачи от направления вытеснения нефти водой в анизотропных по проницаемости пластах. //Геология нефти и газа. 1992. № 8. С. 34-36.
2. Краснощекова Л.А. Седиментогенная ориентировка кварца в песчаниках горизонта Ю12 Игольско-Талового нефтяного месторождения (Томская область). //Структурный анализ в геологических исследованиях. Томск: ЦНТИ, 1999. С.130-132.
3. Палеомагнитология. /Под ред. А.Н.Храмова. –М.:Недра. 1982.282 с.
4. Родыгин А.И. Микроструктурный анализ кварца. Томск. Изд-во Томск. гос. ун-та. 1994. 216 с.
5. Делицин И.С. Структурообразование кварцевых пород. М.:Наука, 1985. 191 с.

THE INVESTIGATION OF SPACE LITHOLOGICAL AND PETROPHYSICAL HETEROGENEITY OF THE PRODUCTIVE OIL AND GAS RESERVOIRS

Merkulov V.P., Krasnotshekova L.A.

There is considered a problem of oil and gas reservoirs space anisotropy investigation by complex of lithological and petrophysical methods including lithological, microstructural, palaeomagnetic and petrophysical analyses. The space orientation of core to investigate of rock anisotropy parameters is produced by palaeomagnetic method. The using of oriented core permits to record any presence of regulated rock structure (bedding, fracturing, grain orientation and i.e.) and correlated anisotropy parameters of petrophysical properties in modern magnetic and geographic coordinate system. The anisotropy data of lithological, magnetic and filtrate core properties of Igolsko-Talovoe oil field show that those parameters are variated together. The analysis of those data permits to create the space heterogeneous geostatic reservoir model.