

УДК 552.578.2.061.4:551.762.3(571.16)

**Краснощекова Л.А., Меркулов В.П.**Институт природных ресурсов Томского политехнического университета (ИПР ТПУ), Томск, Россия, [krasnl@tpu.ru](mailto:krasnl@tpu.ru), [merkulovvp@hw.tpu.ru](mailto:merkulovvp@hw.tpu.ru)

## **ПЕТРОФИЗИЧЕСКАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ НЕФТЕНОСНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ИГОЛЬСКО-ТАЛОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

*Приводятся результаты определений петрофизической анизотропии верхнеюрских осадочных отложений по керну скважин Игольско-Талового нефтяного месторождения (Томская область). В ходе исследований выявлено увеличение магнитных и упругих параметров изученных образцов по определенным направлениям, совпадающим с предпочтительной ориентировкой слагающих породу зерен и с направлениями максимальной проницаемости в песчаниках пласта, при этом коэффициент магнитной и упругой анизотропии достигает в среднем 20-30%.*

**Ключевые слова:** упругая и магнитная неоднородность, коэффициент анизотропии, предпочтительная ориентировка, модель месторождения.

Многочисленные подтверждения пространственной неоднородности коллекторов на различных нефтяных месторождениях мира описаны в многочисленных работах, посвященных этому вопросу [Жабрев, Стуканогов, 1992; Марабаев и др., 2005; Меркулов и др., 2004; Сахибгареев, 1989; Vandiziol, Massonnat, 1992]. Анизотропия коллекторов отмечается в резком колебании эксплуатационных параметров нагнетательных скважин и прямых определений фильтрационных свойств по образцам керна с установлением существенного различия проницаемости по разным направлениям.

В стандартной постановке вопроса с позиций фильтрационной анизотропии обычно рассматривается соотношение горизонтальной  $K_H$  и вертикальной  $K_V$  проницаемостей [Al-Hadrami, Teufel, 2000; Beckner, Song, 1995; Chen, Lescarbours, 1983; Chen, Teufel, 2002 и др.]. Общеизвестным и достоверно установленным фактом является то, что, как правило, в большинстве случаев горизонтальная составляющая преобладает по отношению к вертикальной и обычное соотношение изменяется в пределах от 0,1 до 0,5. Данные о неоднородности (анизотропии) собственно горизонтальной проницаемости приводятся в работах [Меркулов, Краснощекова, 2002; Wade, Hough, Pedersen, 1998]. Интерес к этому хорошо объясним, если принять во внимание наиболее распространенные режимы течения флюидов в пласте. Но на сегодняшний день это явление оказывается изученным совершенно недостаточно с позиций теории, причин и механизма проявления, связи с геологическими и

петрофизическими особенностями коллекторов, а также практической значимости для разработки месторождений.

Под литолого-петрофизической неоднородностью продуктивных отложений авторы понимают существенно согласованные изменения ориентированных в пространстве структурных и текстурных элементов горной породы (слоистость, ориентировка зерен скелета, пустотных пространств и т.д.) и различных видов петрофизических свойств (магнитных, упругих, фильтрационных и т.д.). Изучение проблемы неоднородности пластов при разработке месторождений показывает, что литолого-петрофизическая анизотропия в явном виде начинает проявляться на поздней стадии, когда в эксплуатационных скважинах начинается процесс интенсивного обводнения продукции. В этом случае становятся очевидными факты неравномерного заводнения пластов и прорыва воды по четко определенным направлениям. Эффективность эксплуатации резко падает, возникают массивы углеводородов, не вовлеченных в разработку. Естественно, что анизотропные явления в коллекторах необходимо исследовать с целью оптимизации размещения нагнетательных и добывающих скважин и увеличения нефтеотдачи.

Определения анизотропных характеристик в нефтяных коллекторах авторами проводились на различных месторождениях Западной Сибири (Игольско-Таловое, Крапивинское, Северо-Васюганское и др.) и Казахстана (месторождение Кисимбай).

В качестве примера рассматривается Игольско-Таловое месторождение, на котором применялся комплекс анализов, позволяющих установить петрофизическую и фильтрационную анизотропию и влияние ее на разработку месторождения.

Игольско-Таловое месторождение расположено на юго-востоке Западно-Сибирской плиты и приурочено к Игольскому куполовидному поднятию Нюрольской впадины. В административном отношении Игольско-Таловое месторождение находится в Каргасокском районе Томской области (рис. 1). В геологическом строении района исследований принимают участие образования палеозойского фундамента и мощный комплекс терригенных отложений чехла.

Модель формирования верхнеюрских песчаных коллекторов продуктивного пласта Ю<sub>1</sub><sup>2</sup> Игольско-Талового месторождения по данным фациального, гранулометрического, литолого-петрофизического изучения характеризуется седиментационной обстановкой, свойственной барам дальней зоны. В фациальном отношении основной нефтеносный пласт на месторождение (пласт Ю<sub>1</sub><sup>2</sup>) 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 [Даненберг, Белозеров, Брылина, 2006].

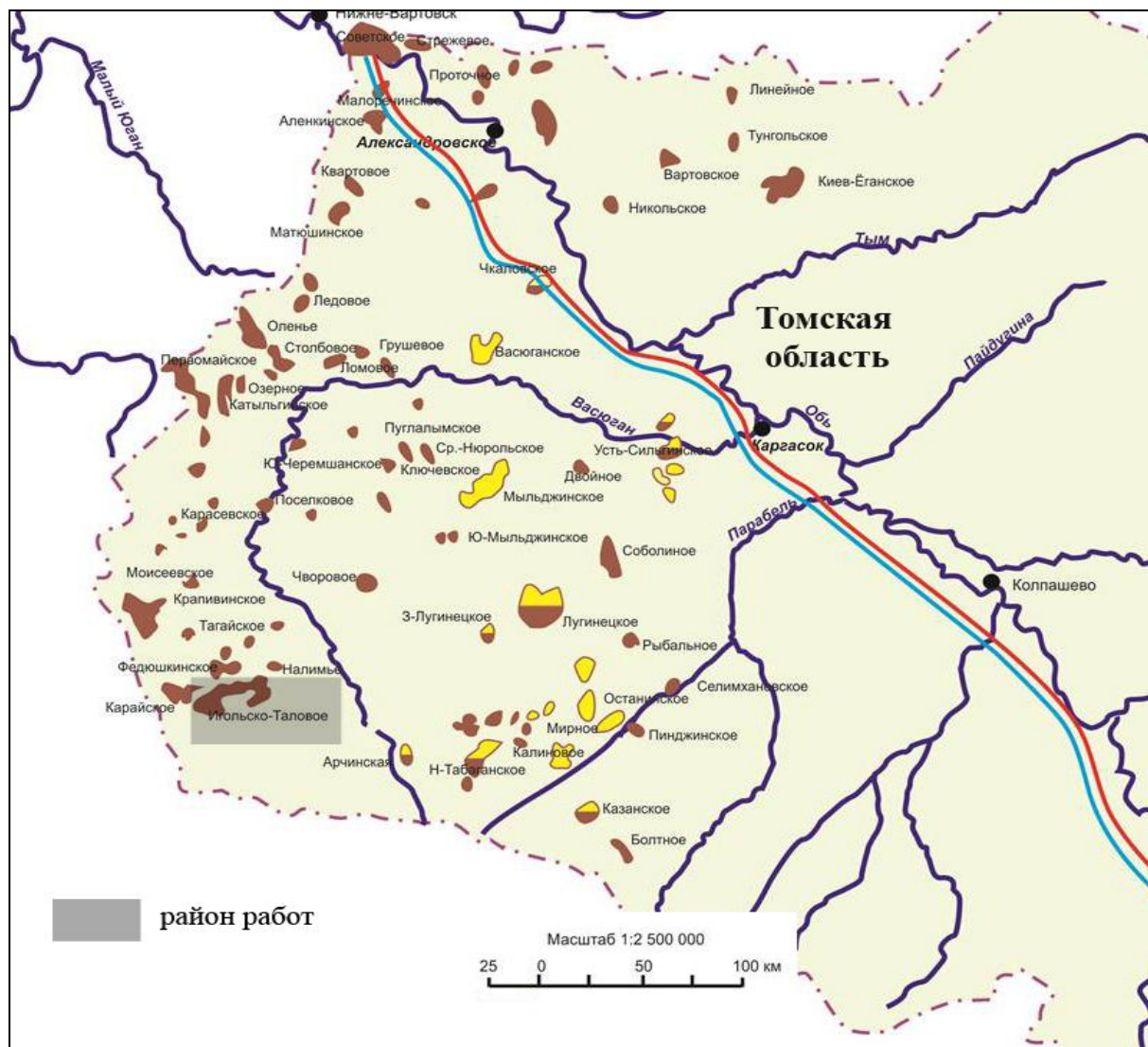


Рис. 1. Обзорная карта района исследования

Петрофизические (магнитные, упругие и другие) и петрографические характеристики пород определялись экспериментально по 98 образцам из скв. XX07 и скв. XX87 Игольско-Талового месторождения. Исследование литологических особенностей проводилось микроскопически в шлифах, изготовленных из предварительно палеомагнитно ориентированных пород.

Палеомагнитное ориентирование керна приводилось в несколько этапов.

1. Подготовка образцов. Для выполнения ориентирования полноразмерного керна отбирались образцы из колонны керна, предварительно прошедшего геологическую ревизию

в кернохранилище. В соответствии с маркировкой «верх-низ» и линиями стыковки на образцы наносилась произвольная система координат для последующих магнитных измерений – ось X направлена в плоскости торцевой поверхности керна по горизонтальной проекции падения видимой слоистости, Y ортогонально вправо (параллельно простиранию слоистости), Z – по образующей керна вниз.

2. Поскольку необходимо было использовать полноразмерный керн, измерения магнитных свойств далее производились на астатическом магнитометре МАЛ-036 в условиях загородной палеомагнитной лаборатории кафедры геофизики Томского политехнического университета. Измерения остаточной намагниченности выполнялись на уровне нижнего магнита, магнитной восприимчивости – в равноудаленном положении (в равноудаленном положении измеряется и остаточная намагниченность, но с меньшей точностью). На каждом этапе производилось три измерения образца для контроля точности и оценки погрешностей. Для оценки анизотропии магнитной восприимчивости (в плоскости XY) измерения производились при последовательных поворотах с шагом  $10^\circ$  в равноудаленном положении. Далее в статье под анизотропией магнитных параметров имеется в виду именно анизотропия магнитной восприимчивости.

3. При экспериментальных исследованиях сначала выполнялась временная магнитная чистка с выдержкой образцов в течение 2-х недель в положении «по полю» и затем в течение такого же времени в положении «против поля» для компенсации «лабораторной» остаточной намагниченности. Далее выполнялась терморазмагничивание с использованием термопечи конструкции В.П. Апарина, позволяющей компенсировать внешнее магнитное поле за счет многослойного пермаллового экрана. Шаг терморазмагничивания  $25^\circ\text{C}$ , конечная температура нагрева –  $125^\circ\text{C}$ . В данном диапазоне температур обычно происходит существенное разрушение вязкого компонента естественной остаточной намагниченности.

4. По результатам обработки экспериментальных данных вычислялись векторные разности, позволяющие оценить направление вязкой намагниченности, обусловленной влиянием современного геомагнитного поля и совпадающей с ним по направлению. Эти данные использовались для пространственного ориентирования керна. Контроль полученных направлений осуществлялся по соответствию наклона вектора вязкой намагниченности наклону современного геомагнитного поля в точке отбора образцов, сопоставлением элементов залегания слоистости по ориентированным образцам. Угловая погрешность определения направления вязкой намагниченности составила  $3^\circ\text{--}8^\circ$ .

5. Полученные данные позволили построить кривые распределения магнитоэлектрических и физико-механических свойств пород пласта Ю<sub>1</sub><sup>2</sup> по разрезу скважин (рис. 2, 3). Анализ диаграмм остаточной намагниченности ( $J_n$ ), магнитной восприимчивости ( $\alpha$ ), фактора Кенигсбергера ( $Q$ ), коэффициентов анизотропии магнитной восприимчивости ( $K_m$ ) и упругих ( $K_u$ ) свойств, плотности пород, скорости прохождения волн в исследуемых породах показывает их определенные количественные вариации как по скважинам, так и по глубинам.

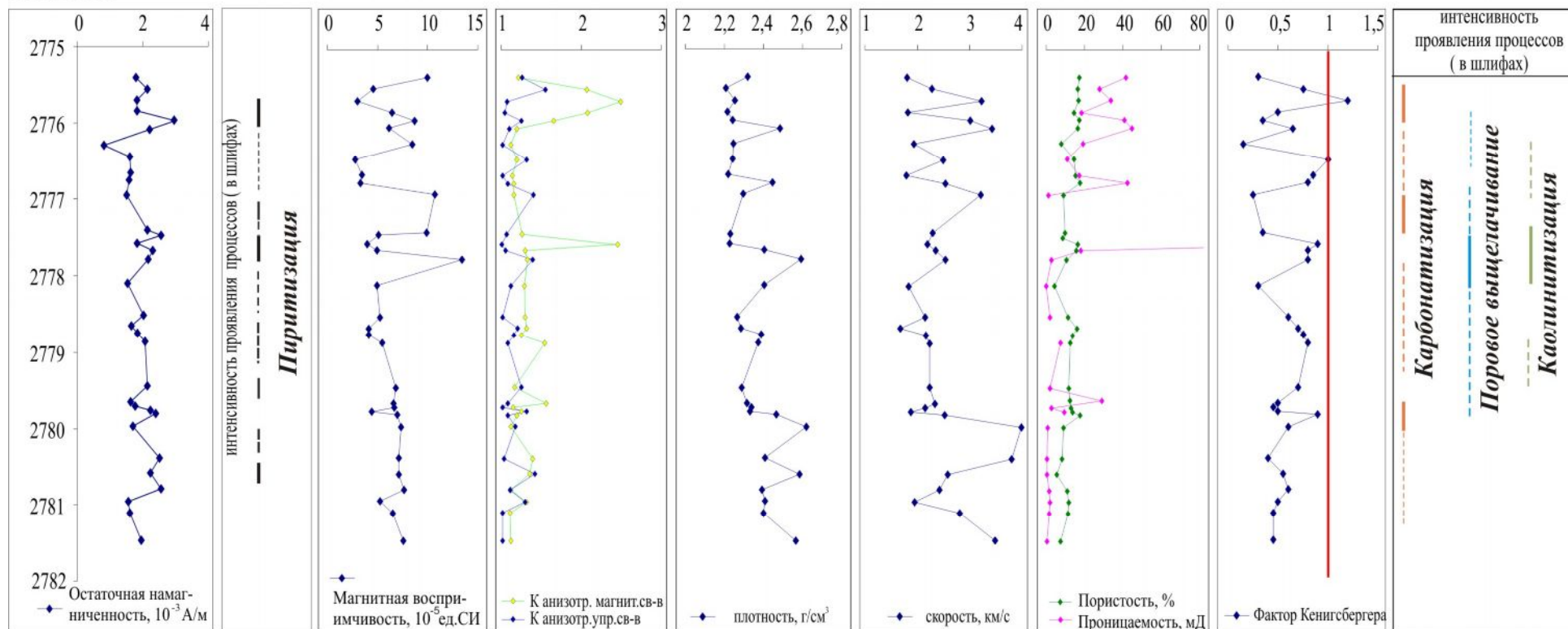
А.Н. Храмов с соавторами [Храмов и др., 1982] отмечали, что «магнитная восприимчивость осадочных пород обусловлена в большей степени набором акцессорных минералов, обнаруживающих ферромагнитные свойства, хотя и здесь главная роль принадлежит магнетиту. Среди парамагнитных минералов наиболее важную роль играют сидерит, хлорит, пирит, ильменит, биотит и иногда глинистые минералы. Так, зерна кварца, чешуйки биотита и хлорита содержат мелкие включения магнетита; агрегаты глинистых минералов часто пропитаны гидроксидами железа. Именно с этими включениями и примесями связаны повышенные значения магнитной восприимчивости и наличие ферромагнитных свойств у перечисленных минералов, чистые разновидности которых относятся к парамагнетикам  $\alpha = 10^{-7} \div 10^{-5}$  СИ».

Вариации изменений  $\alpha$  в пласте фиксируются в пределах  $(2,8-13,7) \times 10^{-5}$  ед. СИ при средних значениях  $(6,2-6,7) \times 10^{-5}$  ед. СИ. Пики значений магнитной восприимчивости отмечаются на глубинах 2787,3–2787,7 м в скв. ХХ07, 2776,8-2777,5 и 2777,8 м - в скв. ХХ87 (рис. 2, 3).

Естественная остаточная намагниченность осадочных пород обломочного происхождения возникает как ориентационная намагниченность малых ферромагнитных частиц (акцессорных минералов), зерна которых рассеяны в «немагнитной» матрице породы. Зерна имеют разные распределения по размерам и форме, разную концентрацию и разные взаимоотношения друг с другом, что влияет на взаимосвязь между пространственным распределением зерен и анизотропией магнитной восприимчивости породы.



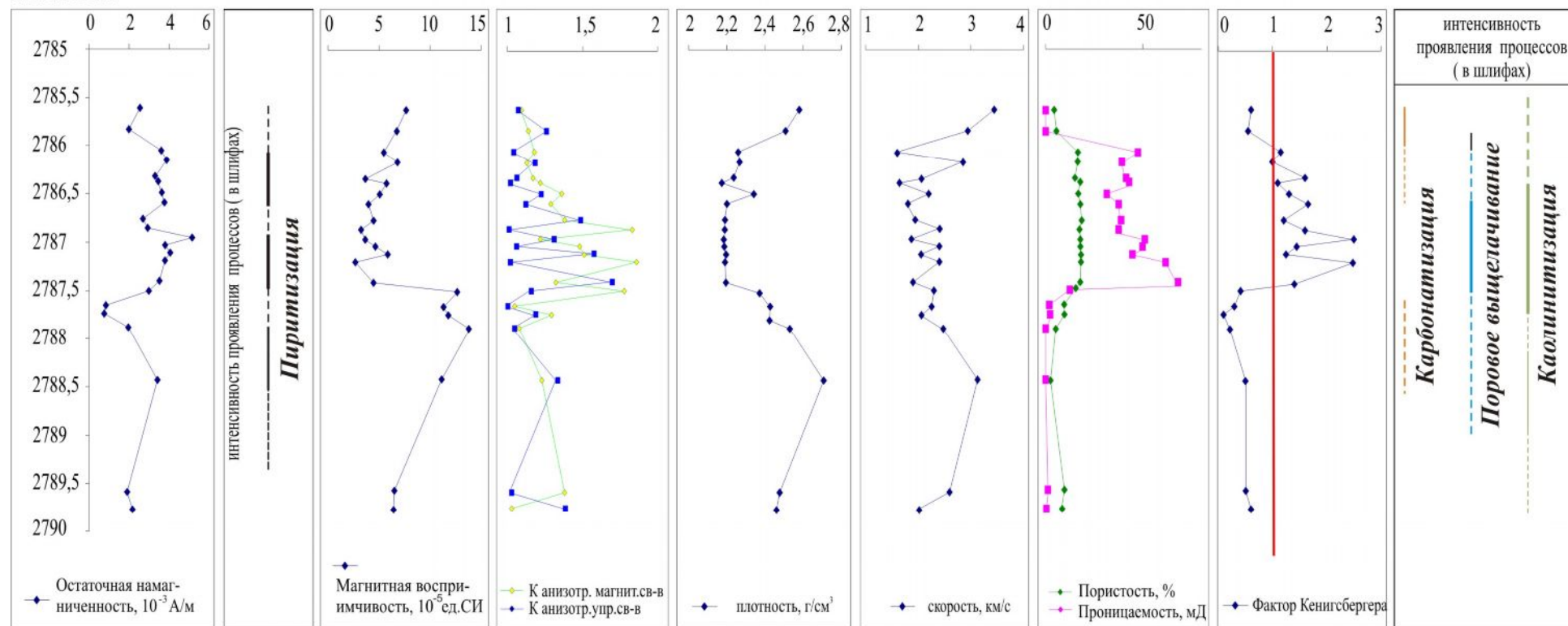
скв. XX87



Толщина вертикальных линий в колонках интенсивности проявления процессов качественно отражает частоту встречаемости минеральных и структурных преобразований (определение в шлифах песчаников): ————— высокая интенсивность, - - - - - средняя интенсивность, . . . . . низкая интенсивность

**Рис. 2. Распределение петрофизических и литологических характеристик в песчаниках пласта Ю<sub>1</sub><sup>2</sup> Игольско-Талового месторождения (скв. XX87)**

скв. XX07



Толщина вертикальных линий в колонках интенсивности проявления процессов качественно отражает частоту встречаемости минеральных и структурных преобразований (определение в шлифах песчаников): ————— высокая интенсивность, - - - - - средняя интенсивность, ..... низкая интенсивность

**Рис. 3. Распределение петрофизических и литологических характеристик в песчаниках пласта Ю<sub>1</sub><sup>2</sup> Игольско-Талового месторождения (скв. XX07)**

Анализ вариаций остаточной намагниченности в разрезах в изучаемых породах показывает неоднородность значений  $J_n$ . Значительные колебания параметров остаточной намагниченности  $(0,67-5,13) \times 10^{-3}$  А/м отмечаются в скв. XX07. Следует отметить, что пики  $J_n$  выше средних значений отмечаются в верхней части пласта Ю<sub>1</sub><sup>2</sup>, а аномально низкие значения – в средней части. Максимумы значений  $J_n$  в изученном керне скв. XX07 превышают в 1,7 раза значения намагниченности в породах скв. XX87. Измеренные значения  $J_n$  в породах скв. XX87 отличаются меньшей дифференциацией и составляют  $(0,82-2,98) \times 10^{-3}$  А/м.

Распределение магнитных характеристик, исследуемых образцов пласта Ю<sub>1</sub><sup>2</sup> в разрезах скважин коррелирует с зонами повышенной интенсивности постседиментационных проявлений и аутигенеза в породах, что отражено на приведенных разрезах на рис. 2, 3. Фиксируется также зависимость распределения магнитных параметров и фактора Кенигсбергера. Характерные пики повышения значений магнитной восприимчивости и остаточной намагниченности выделяются, как правило, в областях, находящихся ниже или выше интервалов с максимальными значениями фактора Кенигсбергера (Q).

Учитывая, что в осадочных породах значения Q более 1,2 указывают на появление в породах химической намагниченности, можно говорить о вторичном изменении пород [Храмов и др., 1982]. Повышенные значения магнитной восприимчивости связаны с различными стадияльными (позднедиа- и катагенетическими) и эпигенетическими образованиями из гидроксидов железа, продуктов окисления и замещения сидерита, пирита и магнетита. Повышенные значения остаточной намагниченности, коэффициентов анизотропии магнитных и упругих свойств и фактора Кенигсбергера фиксируют идущие процессы выщелачивания и глинизации.

Анализ характера распределения магнитных параметров пород по разрезам скважин подтверждает явление анизотропии в исследуемых образцах. В качестве примера на рис. 2 приведены графики распределения коэффициента анизотропии магнитной восприимчивости ( $K_m$ ). Установлено, что значение  $K_m$  по образцам отобранной коллекции может составлять в среднем 30%, а в некоторых случаях увеличиваться в 2 и более раза.

Проявление анизотропии магнитной восприимчивости в горных породах фиксируется на макроуровне, т.е. связано с формой геологического тела, и микроуровне. Последнее обусловлено ориентированными удлинёнными или уплощенными ферромагнитными зёрнами, заключёнными в породе. Кристаллографическая магнитная анизотропия вызвана тем, что в кристалле ферромагнетика есть так называемые оси легкого и трудного



намагничивания, которые являются определенными кристаллографическими осями, разными для кристаллов с разной пространственной решеткой.

А.Н. Храмов и др. (1982) считают, что «при образовании осадочной породы в ее состав могут войти ферромагнитные частицы неизометричной формы. Длинные оси этих частиц вследствие анизотропии формы будут являться преимущественными направлениями их остаточной намагниченности. Такие частицы стремятся расположиться своими длинными осями по направлению течения, а в стоячей воде – в горизонтальной плоскости. При оседании они также будут поворачивать длинную ось ближе к горизонтали. В этом же направлении действует и последующее уплотнение пород».

Повышение значения коэффициента анизотропии магнитной восприимчивости обусловлено новообразованными минералами-ферромагнетиками, ориентирующимися в процессе замещения исходных минералов своими длинными осями по направлению поровых каналов. Предположительно повышенные значение магнитной восприимчивости можно отнести к современному или палеоуровню водонефтяного контакта. При этом аномальные значения  $K$  (каппа) обязаны своему возникновению метасоматическим процессам, возникающим на границе окислительной и восстановительной сред, коими являются вода и нефть.

Полученные данные измерений магнитной восприимчивости позволили построить полярные проекции распределения этого параметра в географической системе координат, что наглядно демонстрирует неоднородность распределения магнитных свойств в плоскости XY образца (рис. 4, А). Для магнитной восприимчивости характерно северо-восточное направление главной оси эллипса анизотропии. Учитывая, что углы падения слоистости пород в изучаемом разрезе невелики ( $3^{\circ}$ - $5^{\circ}$ ), фактически измерение близко к послойной характеристике, которую можно связывать с ориентировкой частиц скелета, поровых пространств и фильтрационной неоднородностью в горизонтальной плоскости.

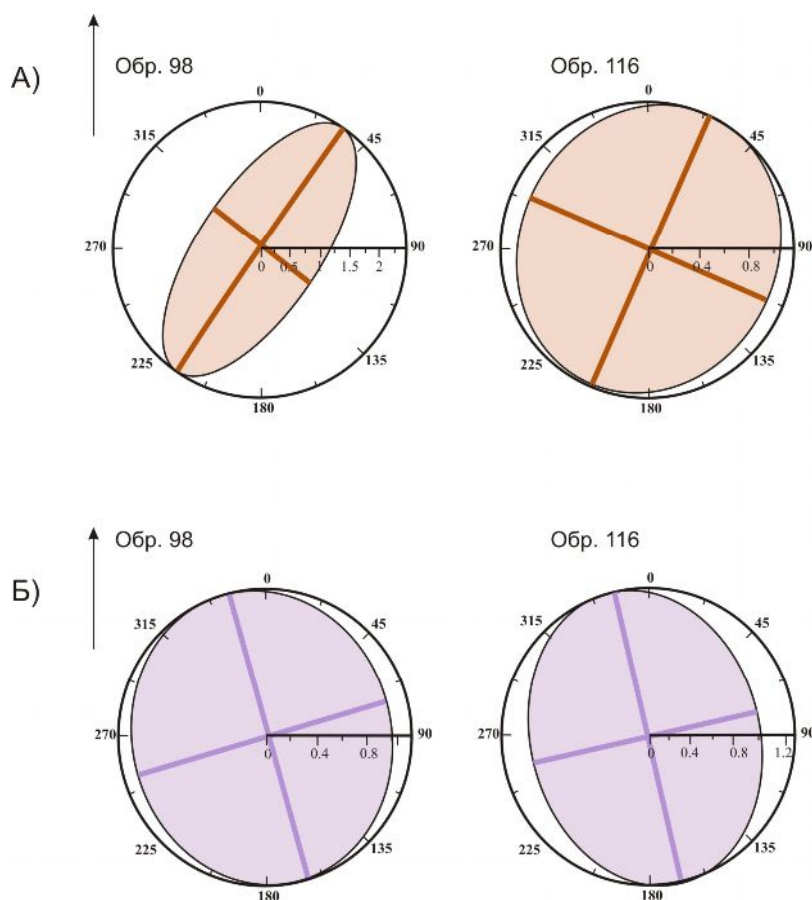
Ультразвуковой структурный анализ основан на существующей взаимосвязи упругих свойств и структуры горных пород. Выявляемая по данным измерений скоростей волн на ориентированных образцах индикатриса скоростей позволяет оценить упругую анизотропию исследуемых образцов. Форма индикатрисы и абсолютные значения упругих параметров являются функцией минерального состава, условий образования, а также характера и интенсивности метаморфогенных преобразований [Старостин, 1979].

В осадочных породах часто наблюдаемая слоистость является причиной отчетливой анизотропии, когда упругие волны в плоскости пласта распространяются с равной скоростью во

всех направлениях, а в перпендикулярном к напластованию направлении – со скоростями, значительно отличающимися.

Кроме слоистости, в осадочных породах наблюдаются другие многочисленные структуры и текстуры (следы ряби, положение древних водотоков, отражающиеся в фациальном составе отложений и в ориентировке зерен пород и т.д.). Все они вызывают вполне определенную, отчетливо ориентированную анизотропию ультразвуковых волн.

Диаграммы на рис. 2, 3 демонстрируют неоднородность распределения скорости пробега упругой волны в породах в плоскости XY, варьирующей от 1,597–1,679 км/с до 3,49–3,981 км/с. На диаграммах скоростей упругих волн отчетливо фиксируются максимумы, совпадающие с зонами интенсивности проявлений магнитных параметров и литологических неоднородностей, о чем упоминалось выше. Распределения коэффициента анизотропии упругих свойств ( $K_u$ ) по разрезам меняется в среднем в пределах 15%, достигая значения 20% и более в некоторых частях разрезов. Здесь мы имеем максимально высокий коэффициент анизотропии скоростей: в средней части пласта скв. XX07 ( $> 1,69$ ) и верхней, средней части пласта скв. XX87 ( $> 1,55$ ).



**Рис. 4. Полярные проекции распределения магнитных (верхний ряд А) и упругих (нижний ряд Б) параметров песчаников пласта Ю<sub>1</sub><sup>2</sup> Игольско-Талового месторождения в условной системе координат (образцы из скв. XX87)**

При нанесении данных измерений продольных волн на полярную проекцию в условных координатах формируется эллипс анизотропии упругих свойств, имеющих, преимущественно, северо-западное направление главной оси эллипса анизотропии (рис. 4, Б).

Длинная ось эллипса отвечает максимальной скорости упругих колебаний в этом направлении, а короткая ось – минимальной скорости в данном направлении. Исследования [Беликов, Александров, Рыжова, 1969] показали, что явления анизотропии упругих свойств пород в значительной мере зависят от степени упорядоченности в расположении основных минералов, слагающих матрицу осадочной породы. А направления максимума эллипса упругой анизотропии характеризует наилучшую степень литологической упаковки частиц минерального скелета осадочной породы.

В песчаниках, алевролитах и аргиллитах сортировка частиц породы по размерам и составу приводит к образованию поясов повышенных значений продольных волн, а преимущественная ориентировка удлиненных зерен, связанная с направлением сноса материала, на диаграммах фиксируется линейными максимумами скоростей ультразвуковых волн и соответствует длинной оси эллипса упругих характеристик.

Проведенные исследования магнитоэлектрических и упруго-механических свойств осадочных пород пласта Ю<sub>1</sub><sup>2</sup> позволили установить в них эффект анизотропии упругих и магнитных свойств. В качестве примера в табл. 1 приведены данные проницаемости в образцах песчаников, измеренные в направлениях, соответствующих максимумам и минимумам главных осей эллипса анизотропии магнитной восприимчивости пород Игольско-Талового месторождения.

Сравнительный анализ данных по анизотропии магнитных и фильтрационных свойств образцов показывает, что изменение этих характеристик происходит взаимозависимо. 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, проведенных авторами.

Таблица 1

**Характеристика магнитной и фильтрационной анизотропии песчаников  
Игольско-Талового месторождения**

Скважина	Номер образца	Характеристики магнитной анизотропии				Проницаемость, мД (по направлениям осей эллипса магнитной анизотропии)	
		Азимут (А), градус направления $\alpha_{\max}$	$\alpha_{\min}$ , $10^{-5}$ ед. СИ	$\alpha_{\max}$ , $10^{-5}$ ед. СИ	Коэффициент анизотропии ( $K_m = \alpha_{\max}/\alpha_{\min}$ )	направление $\alpha_{\min}$	направление $\alpha_{\max}$
XX87	98	37	10,5	12,6	1,2	0,1	1,0
	116	23	5,2	6,1	1,2	1,5	2,0
XX07	144	17	4,3	5,9	1,4	7,0	13,6
	152	22	11,2	11,7	1,0	2,0	2,6

Примечание:  $\alpha_{\min}$ ,  $\alpha_{\max}$  – минимальное и максимальное значения магнитной восприимчивости пород, соответствующее главным осям эллипса анизотропии; А – направление главной оси эллипса анизотропии магнитной восприимчивости ( $\alpha_{\max}$ ) в географической системе координат

В качестве выводов необходимо отметить следующее. Эллиптическая форма характера распределения магнитной восприимчивости на полярной проекции обусловлена ориентировкой ферромагнитных частиц по разным направлениям в плоскости напластования ХУ. Длинная ось эллипса указывает направление наибольшей способности к намагничиванию магнитными полями, короткая ось – направление наименьшей восприимчивости к воздействию магнитных полей.

Анизотропность упругих свойств отложений также имеет место, формируя своим видом эллипс распределения упругих свойств в плоскости ХУ. Длинная и короткая оси эллипса несут информацию о степени литологической упаковки зерен в минеральном каркасе терригенной породы в горизонтальной плоскости. Направлению преимущественной (упорядоченной) ориентировки зерен соответствует максимальная ось эллипса упругих параметров.

Распределение упругих свойств по разрезам исследуемых скважин позволяет сделать вывод об анизотропии пород пласта со значениями  $K_u$ , достигающими 20% и более, т.е. разница в скоростях пробега волны по разным направлениям весьма существенна и определяется достоверно.

Направление главной оси эллипса анизотропии магнитной восприимчивости отмечается преимущественно северо – северо-восточное, а упругой анизотропии – северо-западное. В пределах пласта  $Ю_1^2$  направления максимумов магнитной и упругой анизотропии не совпадают, различаясь на значительный угол, в отдельных случаях близкий к  $90^\circ$ .

Значение коэффициента анизотропии магнитных и упругих свойств по образцам отобранной коллекции достигает в среднем 20-30%, увеличение петрофизических характеристик коррелирует с увеличением фильтрационных свойств изучаемых пород.

Исследование пространственной анизотропии (включая петрофизическую, литологическую, петроструктурную, фильтрационную) коллекторов месторождения или группы месторождений целесообразно проводить для уточнения геостатической модели. При этом для подготавливаемых к эксплуатации месторождений материалы исследований могут быть использованы при 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, в том числе горизонтальных, определения скважин-кандидатов для гидроразрыва пласта.

### Литература

*Беликов Б.П., Александров К.С., Рыжова Т.В.* Упругие свойства породообразующих минералов и горных пород. – М.: Наука, 1969. – 276 с.

*Даненберг Е.Е., Белозёров В.Б., Брылина Н.А.* Геологическое строение и нефтегазоносность верхнеюрско-нижнемеловых отложений юго-востока Западно-Сибирской плиты (Томская область). – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 295 с.

*Жабров И.П., Стуканогов Ю.А.* Зависимость нефтеотдачи от направления вытеснения нефти водой из анизотропных по проницаемости пластах // Геология нефти и газа. – 1992. – № 8. – С. 34-36.

*Марбаев Ж.Н., Жолтаев Г.Ж., Утегалиев С.А., Байымбетов А.Ж., Досмухамбетов М.Д., Исказиев К.О., Битеуова С.А., Джамикешев А.М.* Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности Северного и Среднего Каспия. – Астана: Изд-во ТОО «АртТрибуна», 2005. – 194 с.

*Меркулов В.П., Александров Д.В., Краснощекова Л.А., Ненахов Ю.Я.* Литолого-петрофизическая анизотропия песчано-глинистых коллекторов нефтяных месторождений // Научно-технический вестник ЮКОС. – М.: Издательский дом Нефть и капитал, 2004. – № 10. – С. 33-36.

*Меркулов В.П., Краснощекова Л.А.* Исследование пространственной литолого-петрофизической неоднородности продуктивных коллекторов месторождений нефти и газа // Известия ТПУ. – 2002. – Т.305. – Вып. 6. – С. 296-304.



*Сахибгареев Р.С.* Вторичные изменения коллекторов в процессе формирования и разрушения нефтяных месторождений. – Л.: Недра, 1989. – 260 с.

*Храмов А.Н., Гончаров Г.И., Комиссарова Р.А., Писаревский С.А., Погарская И.А., Ржевский Ю.С., Родионов В.П., Слауцитайс И.П.* Палеомагнитология. – М.: Недра, 1982. - 312 с.

*Al-Hadrami, H.K., Teufel, L.W.:* Influence of Permeability Anisotropy and Reservoir Heterogeneity on Optimization of Infill Drilling in Naturally Fractured Tight-Gas Mesaverde Sandstone Reservoirs, San Juan Basin, SPE Paper 60295, 2000 SPE Rocky Mountain Regional/Low Permeability Reservoirs Symposium, Denver, U.S.A., March 12-15, 2000.

*Bandiziol, D., Massonnat, G.* Horizontal Permeability Anisotropy Characterization by Pressure Transient Testing and Geological Data, SPE Paper 24667, 67th Annual Technical Conference and Exhibition of the Society of Petroleum Engineers, Washington, DC, U.S.A., October 4-7, 1992.

*Beckner, B.L. and Song, X.:* Field Development Planning Using Simulated Annealing-Optimal Economic Well Scheduling and Placement, SPE Paper 30650, Annual Technical Conference, Dallas, October 22-25, 1995.

*Chen, H.G. and Lescarboua, J.A.:* «Interference Analysis of an Anisotropic Reservoir Using Five-Spot Data» paper SPE 11967 presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, San Francisco, CA, 5-8 Oct. 1983.

*Chen, H.Y., Teufel, L.W.:* «Timing and Distance of Well Interference in Anisotropic Reservoirs,» paper SPE 77455 presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, San Antonio, TX, 29 Sept.-2 Oct. 2002.

*Wade, J.M., Hough, E.V., Pedersen, S.H.:* Practical Methods Employed in Determining Permeability Anisotropy for Optimization of a Planned Waterflood of the Eldfisk Field, SPE Paper 48961, 1998 SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, U.S.A., September 27-30, 1998.

**Krasnoschekova L.A., Merkulov V.P.**

Institute of Natural Resources of Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia, krasnl@tpu.ru, merkulovvp@hw.tpu.ru

### **PETROPHYSICAL HETEROGENEITY OF THE OIL-BEARING FORMATIONS BELONGING TO THE IGOLSKO-TALOVOYE FIELD (TOMSK REGION)**

*The petrophysical anisotropy of the Upper Jurassic sedimentary section has been determined in core samples obtained from wells of Igolsko-Talovoye oil field (Tomsk region). During the research activity it was revealed an value increase in the magnetic and elastic parameters of the studied samples along preferential directions, which coincide with the preferred orientation of the rock-forming grains and with the direction of maximum permeability in sandstone reservoir, the ratio of the magnetic and elastic anisotropy factor reaches an average of 20-30%.*

**Keywords:** *elastic and magnetic heterogeneity, anisotropy factor, the preferred orientation, field model.*

#### **References**

Al-Hadrami, H.K., Teufel, L.W.: Influence of Permeability Anisotropy and Reservoir Heterogeneity on Optimization of Infill Drilling in Naturally Fractured Tight-Gas Mesaverde Sandstone Reservoirs, San Juan Basin, SPE Paper 60295, 2000 SPE Rocky Mountain Regional/Low Permeability Reservoirs Symposium, Denver, U.S.A., March 12-15, 2000.

Bandiziol, D., Massonnat, G. Horizontal Permeability Anisotropy Characterization by Pressure Transient Testing and Geological Data, SPE Paper 24667, 67th Annual Technical Conference and Exhibition of the Society of Petroleum Engineers, Washington, DC, U.S.A., October 4-7, 1992.

Beckner, B.L. and Song, X.: Field Development Planning Using Simulated Annealing-Optimal Economic Well Scheduling and Placement, SPE Paper 30650, Annual Technical Conference, Dallas, October 22-25, 1995.

Belikov B.P., Aleksandrov K.S., Ryzhova T.V. *Uprugie svojstva porodoobrazujushhih mineralov i gornyh porod* [Elastic properties of rock-forming minerals and rocks]. Moscow: Nauka, 1969, 276 p.

Chen, H.G. and Lescarbourea, J.A.: «Interference Analysis of an Anisotropic Reservoir Using Five-Spot Data» paper SPE 11967 presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, San Francisco, CA, 5-8 Oct. 1983.

Chen, H.Y., Teufel, L.W.: «Timing and Distance of Well Interference in Anisotropic Reservoirs,» paper SPE 77455 presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, San Antonio, TX, 29 Sept.-2 Oct. 2002.

Danenber E.E., Belozjorov V.B., Brylina N.A. *Geologicheskoe stroenie i neftegazonosnost' verhnjejursko-nizhnelovoyh otlozhenij jugo-vostoka Zapadno-Sibirskoj plity (Tomskaja oblast')* [Geological structure and petroleum potential of Upper Jurassic-Lower Cretaceous sediments of the south-east of the West Siberian Plate (Tomsk region)]. Tomsk: Izd-vo TPU, 2006, 295 p.

Hramov A.N., Goncharov G.I., Komissarova R.A., Pisarevskij S.A., Pogarskaja I.A., Rzhnevskij Ju.S., Rodionov V.P., Slaucitajs I.P. *Paleomagnetologija* [Paleomagnetology]. Moscow: Nedra, 1982, 312 p.

Marabaev Zh.N., Zholtaev G.Zh., Utegaliyev S.A., Bajymbetov A.Zh., Dosmuhambetov M.D., Iskaziev K.O., Biteuova S.A., Dzhamikeshev A.M. *Geologicheskoe stroenie i perspektivy neftegazonosnosti Severnogo i Srednego Kaspija* [Geological structure and petroleum potential of the North and Middle Caspian]. Astana: Izd-vo TOO «ArtTribuna», 2005, 194 p.

Merkulov V.P., Aleksandrov D.V., Krasnoshhekoval L.A., Nenahov Ju.Ja. *Litologo-petrofizicheskaja anizotropija peschano-glinistyh kollektorov neftjanyh mestorozhdenij* [Lithologic and petrophysical anisotropy of sandshale reservoirs of petroleum fields]. Nauchno-tehnicheskij vestnik JuKOS. – Moscow: Izdatel'skij dom Neft' i kapital, 2004, no. 10, p. 33-36.

Merkulov V.P., Krasnoshhekoval L.A. *Issledovanie prostranstvennoj litologo-petrofizicheskoi neodnorodnosti produktivnyh kollektorov mestorozhdenij nefti i gaza* [Research of the spatial heterogeneity of lithologic and petrophysical productive reservoirs of oil and gas]. Izvestija TPU. – 2002, vol. 305, issue 6, p. 296-304.

Sahibgareev R.S. *Vtorichnye izmenenija kollektorov v processe formirovanija i razrushenija neftjanyh mestorozhdenij* [Secondary changes of reservoirs in the formation and destruction of petroleum fields]. Leningrad: Nedra, 1989, 260 p.

Wade, J.M., Hough, E.V., Pedersen, S.H.: Practical Methods Employed in Determining Permeability Anisotropy for Optimization of a Planned Waterflood of the Eldfisk Field, SPE Paper 48961, 1998 SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, U.S.A., September 27-30, 1998.

Zhabreev I.P., Stukanogov Ju.A. *Zavisimost' nefteotdachi ot napravlenija vytesnenija nefti vodoj iz anizotropnyh po pronicaemosti plastah* [Oil recovery dependence on the direction of displacement of oil by water in anisotropic permeability formations]. Geologija nefti i gaza, 1992, no. 8, p. 34-36.

© Краснощекова Л.А., Меркулов В.П., 2014