

Первоочередными задачами поисково-разведочных работ является разведка выявленной в верхнемеловых отложениях на юго-западном крыле складки Зардоб, поиск залежей в этих же отложениях в ее северо-восточной части, а также поиск новых залежей в разрезе среднего эоцена.

Вообще, целью рекомендуемых новых поисково-разведочных работ будут уточнение геологического строения площади, изучение всего разреза палеоген-миоценовых и верхнемеловых отложений и выявление нефтегазоносных объектов, вскрытых в скв. 3, 4 и 7 в разрезе верхнего мела и эоцена. Отсутствие надежной структурной схемы и недостаточность всего геолого-геофизического материала не позволяют однозначно судить о местозаложении и глубинах проектируемых скважин.

Таким образом, анализ и обобщение фактических геолого-геофизических материалов и данных поисково-разведочного бурения по северо-восточному борту Езлах-Агджабединского прогиба показали следующее:

- структуры северо-восточного борта характеризуются благоприятными геологическими условиями для скопления и сохранения залежей нефти и газа в резервуарах верхнего мела, среднего эоцена и частично миоцен-олигоцена;
- полученные положительные результаты по нефтегазоносности верхнего мела, эоцена и миоцена в пределах структур Мурадханлы, Зардоб, Шыхбаги и Джафарлы служат основанием для расширения поисково-разведочных работ как на указанных структурах, так и в окружающих их локальных поднятиях;
- в распределении залежей углеводородов в разрезе верхнего мела и среднего эоцена значительную роль сыграли как структурные, так и литологические факторы.
- основными объектами поисково-разведочных работ могут быть резервуары верхнего мела;
- перспективы выявления залежей нефти в резервуарах среднего эоцена и олигоцен-миоцена связаны с литологическими типами ловушек; нефтеносность этих ловушек целесообразно изучать попутно с верхнемеловыми отложениями;
- современными методами сейсморазведки следует уточнить структурные соотношения между верхним мелом, палеогеном и миоценом.

Рецензент доктор геол.-минер. наук, проф. Ю. И. Кузнецов

Результаты исследований и работ ученых и конструкторов

*М. Ю. Зубков
ООО «ЗапСибГЦ»*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ «ГЛАВНОГО СТРЕССА» В ОСАДОЧНОЙ ТОЛЩЕ И ЕГО ОРИЕНТАЦИЯ ПО СТОРОНАМ СВЕТА С ПОМОЩЬЮ ПАЛЕОМАГНИТНОГО МЕТОДА

Приведены результаты исследований коллекции образцов полноразмерного ядра с целью определения направления «главного стресса» в осадочной толще, из которой они были подняты. Для этого определены направления их максимальной деформации в условиях одноосного нагружения и максимальной скорости распространения в них продольных волн. С помощью палеомагнитного метода определенные направления максимальных значений деформаций и скорости продольных волн привязаны к сторонам света. Выявлены три основных типа деформирования образцов в процессе их одноосного сжатия. Уточнен смысл понятия «главный стресс».

Ключевые слова: ядро, деформация, скорость продольной волны, палеомагнитный метод, направление «главного стресса».

Введение

В настоящее время при разработке углеводородных (УВ) залежей, особенно если они содержатся в низкопроницаемых породах-коллекторах, с целью увеличения нефтеотдачи часто применяется метод

гидроразрыва пласта (ГРП). Поскольку ГРП происходит в направлении максимальных напряжений, возникающих при его проведении, то для его эффективного осуществления необходимо знать распределение напряжений, существующих в пласте.

Наиболее корректное определение направления «главного стресса», или максимального нормального напряжения, производится на ориентированном керне, только что поднятом из скважины. Дело в том, что «свежий» керн в атмосферных условиях, избавившись от напряженного состояния, в котором он находился в пластовых условиях, начинает релаксировать и его диаметр в результате этого процесса изменяется закономерным образом. Измеряя степень изменений его диаметра, можно определить направление максимального напряжения, в котором он подвергался в условиях пласта.

К сожалению, подобные исследования в настоящее время не проводятся на буровой.* Кроме того, поднятый из скважины керн редко бывает ориентированным по сторонам света, поэтому необходим иной способ ориентации керна и определения на нем направления «главного стресса», существующего в пласте, из которого он был поднят.

Решению именно этой задачи посвящена настоящая публикация.

Аппаратура и методы исследований

Керн, поднятый на поверхность и даже пролежавший некоторое время в кернохранилище, обладает своеобразной «деформационной памятью», обусловленной сохранившимися в нем микродислокациями, образовавшимися вследствие неоднородного распределения напряжений, существовавших в пластовых условиях, в которых он находился до попадания на поверхность. Поэтому в процессе одноосного сжатия его диаметр изменяется закономерным образом, как бы «вспоминая» неоднородность поля напряжений, существовавших в пласте.

Поскольку деформации, возникающие в испытываемом образце при его одноосном сжатии, имеют микроскопические размеры, то они измеряются специальными измерителями линейных перемещений (ЛИР 19), которые равномерно распределяются по диаметру полноразмерного образца через 30° друг от друга. При этом предварительно на его торце обязательно проводится «нулевая» линия, чтобы

* Такие исследования выполнялись по керну Кольской СГ-3 еще 40 лет назад. (Прим. ред.)

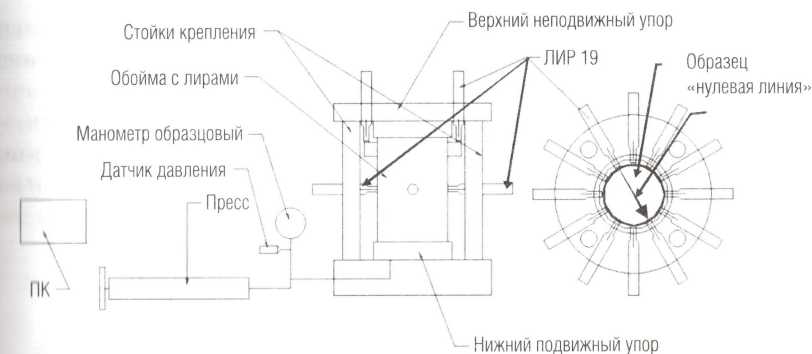


Рис. 1. Схема установки для определения направления «главного стресса»

затем по ней можно было сориентировать полученное направление «главного стресса» по сторонам света с помощью палеомагнитного метода (рис. 1).

Кроме измерения деформации образца, происходящей в результате постепенного увеличения одноосной нагрузки, в тех же направлениях измеряются скорости распространения продольных волн (V_p). По полученным результатам определяются направления, в которых отмечаются максимальные значения деформаций и V_p . Нагружение образцов при исследовании их деформации при одноосном сжатии производится с шагом в $0,5 \text{ МПа}$, а при определении V_p шаг повышения одноосного давления составляет $1,5 \text{ МПа}$. Заканчивается нагружение образцов при давлении $7,5 \text{ МПа}$, поскольку при более высоких давлениях образцы могут деформироваться с образованием трещин и даже разрушиться.

После проведения измерений деформационных и акустических свойств полноразмерных образцов из них изготавливаются «плашки» высотой 2 см , которые отрезаются с верхней и нижней частью каждого из исследованных образцов, из которых в свою очередь изготавливаются кубики с таким же ребром (2 см). Для того чтобы не запутаться, на «плашках», а затем и на кубиках наносятся стрелки, которые упираются в нарисованную ранее на торце полноразмерного образца вертикальную линию. Чтобы не перевернуть кубик «вверх ногами», на одной из его граней наносится знак V, указывающий направление «вниз» по оси Z (рис. 2).

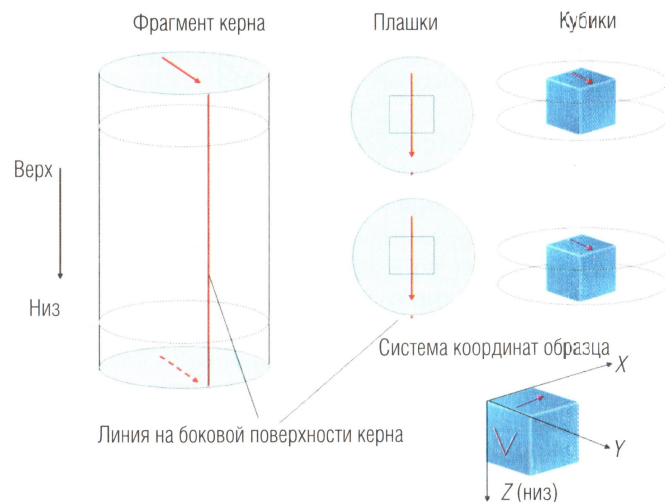


Рис. 2. Последовательность маркировки полноразмерных образцов керна с целью их привязки к сторонам света палеомагнитным методом

Для образцов измеряются следующие магнитные характеристики: k – объемная магнитная восприимчивость, NRM – величина естественной остаточной намагниченности, и рассчитывается фактор Q (фактор Кегигсбергера), равный отношению остаточной намагниченности к наведенной.

Процедура ориентирования керна состояла в определении направления вязкой намагниченности образца (VRM) [1], в предположении, что вязкая намагниченность отражает направление современного магнитного поля в месте бурения.

Определение вязкой намагниченности осуществлялось по результатам полного ступенчатого размагничивания образца на основе диаграмм Зийдервельда (совмещение на одном рисунке двух ортогональных проекций траектории движения конца вектора остаточной намагниченности в процессе ее уничтожения) [3]. Оптимальный интервал выделения вязкой намагниченности устанавливается экспериментальным путем, и для отобранных в качестве примера образцов он составлял от 80 до 200 °С, что согласуется с теоретическими расчетами [2]. Направление оси X из вертикальной системы координат в географическую осуществляется по направлению вязкой

намагниченности с учетом местного магнитного склонения (D_3), рассчитанного с помощью онлайн-калькулятора с сайта Geomagnetism для географического положения изучаемой скважины. При расчетах учитывается также величина местного магнитного склонения. Всего описанными методами (в качестве примера) исследовалось 16 образцов, отобранных из одной и той же скважины и из одного и того же пласта.

Результаты исследований

Анализ полученных результатов показал, что радиальные диаграммы, демонстрирующие изменения радиусов исследованных образцов, заметным образом отличаются друг от друга. В обобщенном виде можно выделить три их главных типа:

- первый тип характеризуется примерно равномерным увеличением диаметра испытываемого образца в радиальном направлении по мере его одноосного нагружения (рис. 3, *a*);
- второй тип выделяется по преимущественно однонаправленному увеличению его диаметра при постепенно нарастающем одноосном сжатии (рис. 4, *a*);
- третий тип характеризуется изменением направления максимального увеличения диаметра в процессе его нагружения (рис. 5, *a*).

В отличие от деформационных, акустические свойства образцов по мере их одноосного сжатия изменяются очень слабо, поэтому выделить по этим свойствам различные классы образцов не удалось. По результатам акустических исследований оказалось возможным определить лишь направление максимальных значений V_p на завершающем этапе сжатия образцов.

Поскольку микротрещины, имеющиеся в образце, ориентированы вдоль или параллельно направлению «главного стресса», которому подвергалась порода, из которой был выбурен этот образец, то максимальные скорости распространения V_p совпадают с его ориентацией.

Напротив, максимальное увеличение диаметра образца при его одноосном сжатии происходит в перпендикулярном по отношению к «главному стрессу» направлении. Следовательно, максимальные значения скорости V_p и диаметра образцов в идеале должны быть ориентированы перпендикулярно по отношению друг к другу.

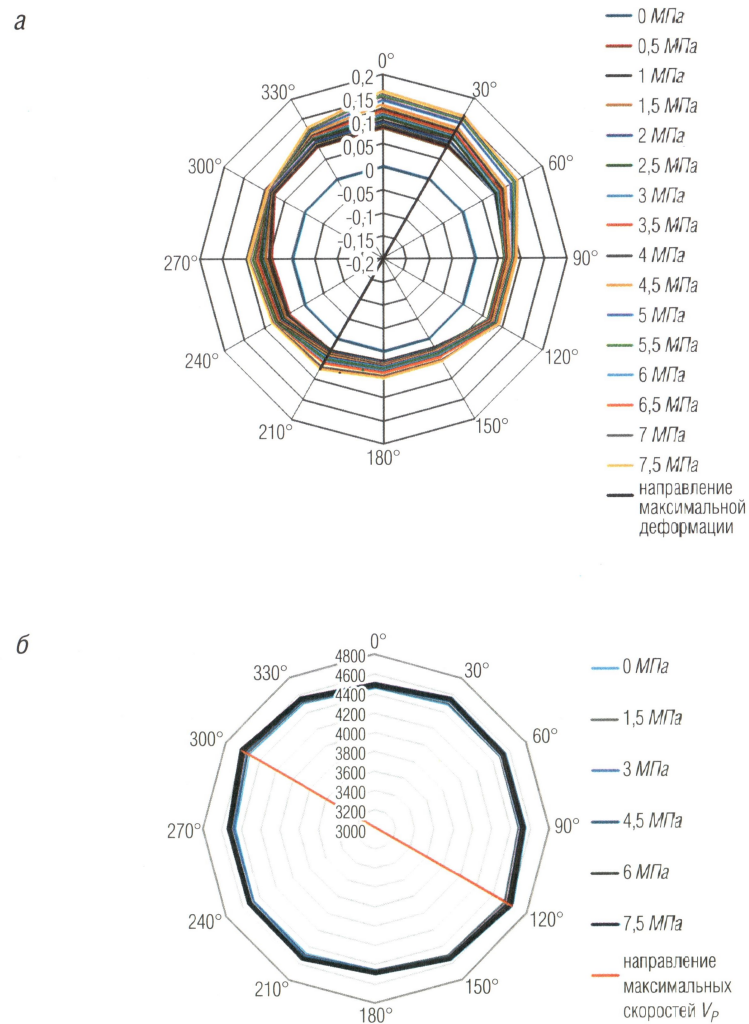


Рис. 3. Направления максимальной деформации (а) и максимальной скорости продольной волны (б) в образце с однородным типом деформации

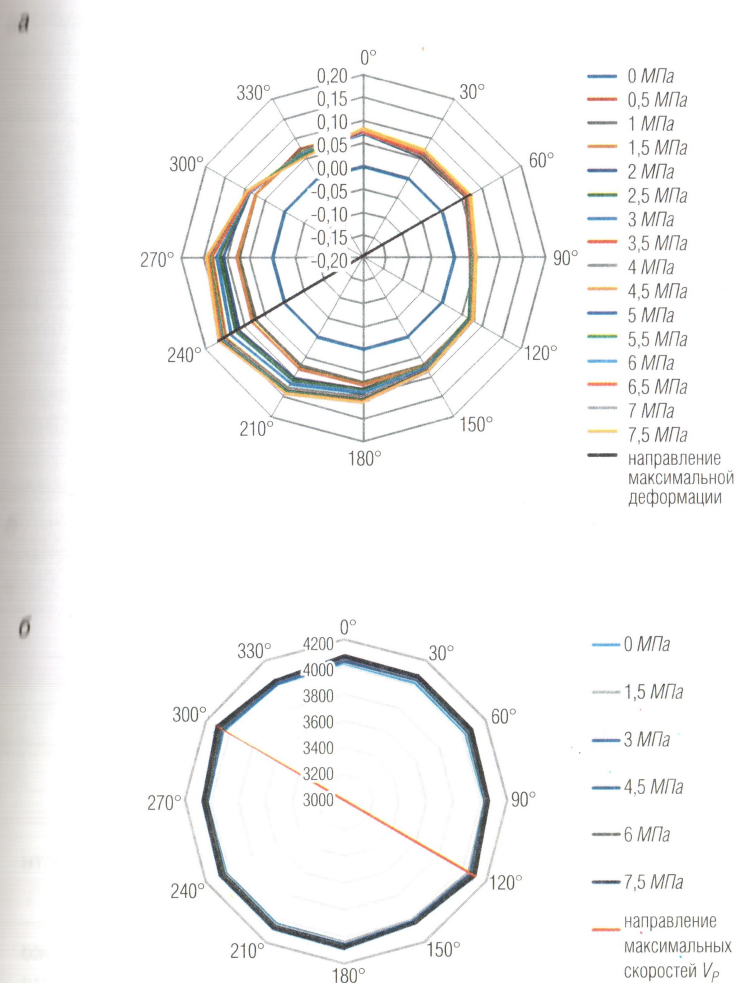


Рис. 4. Направления максимальной деформации (а) и максимальной скорости продольной волны (б) в образце с однонаправленным типом деформации

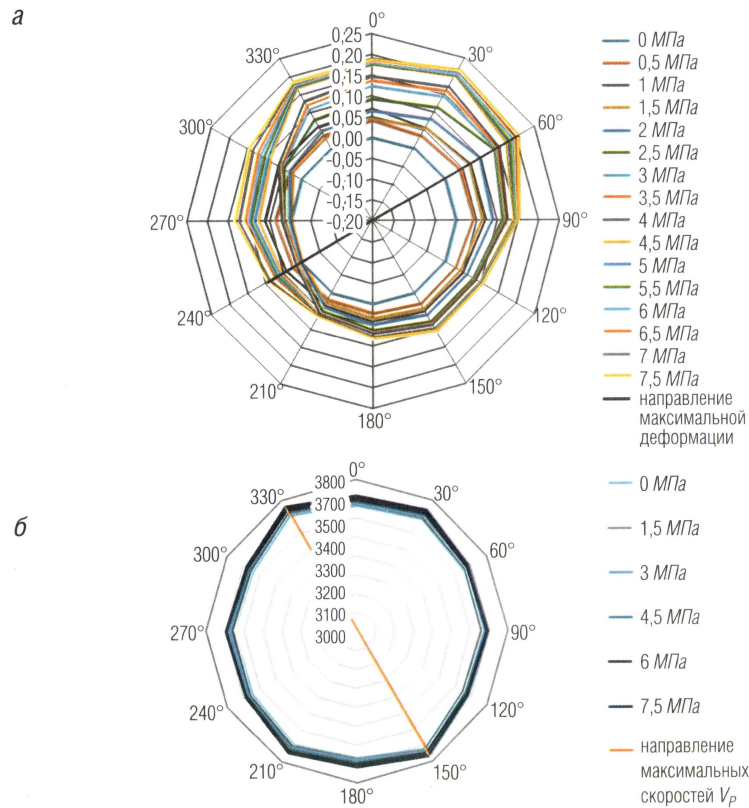


Рис. 5. Направления максимальной деформации (а) и максимальной скорости продольной волны (б) в образце с переменным типом деформации

Нанесение результатов исследований всех образцов на одни и те же диаграммы максимальных деформаций и скоростей распространения V_p и последующее усреднение полученных данных показало, что, действительно, направления «главного стресса», полученные обоими методами, практически совпадают, расхождение в их направлениях составляет всего 17° (рис. 6). В рассматриваемом случае ориентация «главного стресса», определенная по результатам исследованной коллекции образцов, почти совпадает с направлением север–юг.

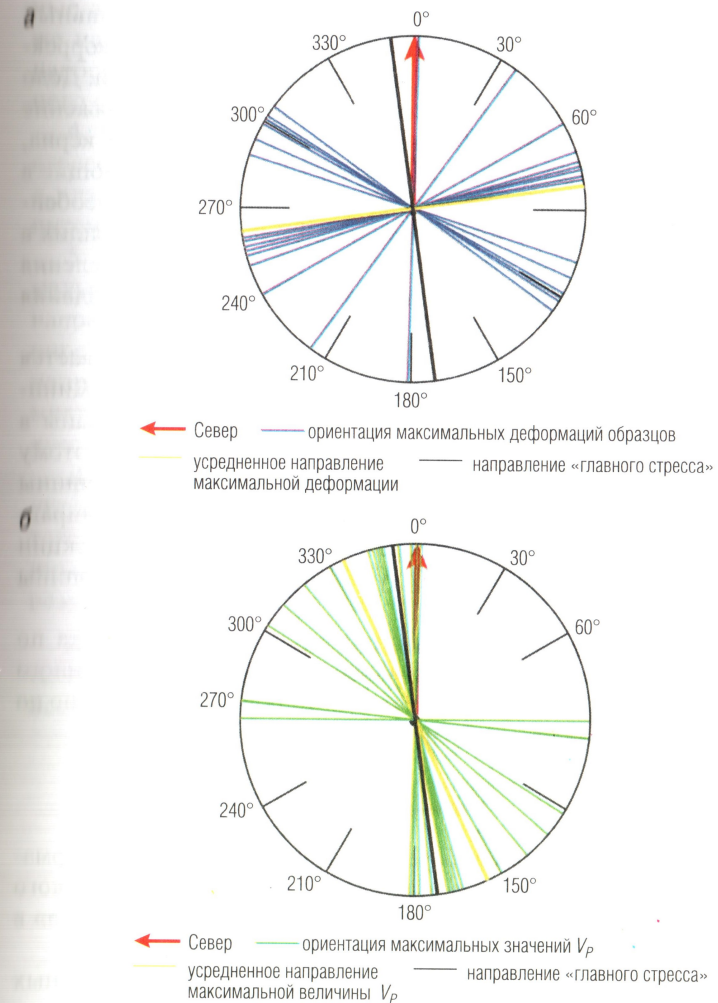


Рис. 6. Направления максимальных деформаций, исследованных образцов с усредненным их направлением (а), направления максимальных скоростей продольной волны в тех же образцах с усредненным их направлением (б), а также привязкой полученных усредненных значений к сторонам света и выделением направления «главного стресса» обоими методами

В заключение обратим внимание на то, что термин «главный стресс», в том смысле как он обычно употребляется, не совсем корректен, поэтому в тексте настоящей публикации он взят в кавычки. Дело в том, что в осадочной толще максимальное нормальное напряжение (σ_1) ориентировано вертикально, именно поэтому в образцах керна, отобранных из вертикальных скважин, трещины, присутствующие в них, практически всегда ориентированы субвертикально, что особенно характерно для компетентных разновидностей пород, входящих в состав толщи. В описанном в настоящей работе способе определения направления «главного стресса» σ_1 моделировалось путем создания одноосного сжатия на образец.

На самом деле под термином «главный стресс» подразумевается средняя величина нормального напряжения (σ_2). Среднее и минимальное (σ_3) значения нормального напряжения ориентированы в горизонтальной плоскости, то есть параллельно слоистости. Поэтому в зависимости от их взаимной ориентации субвертикальные трещины оказываются повернутыми в направлении σ_2 . Именно это направление и было определено на примере описанной выше коллекции образцов. В этом же направлении будут распространяться трещины гидроразрыва.

Если в пластовых условиях величина σ_2 достаточно велика по сравнению с σ_3 и в осадках уже образовались трещины тектоногенного происхождения, то гидроразрыв пласта будет происходить именно по этим уже «готовым» нативным* трещинам.

Выводы

1. На основе комплексирования результатов определения деформационных и акустических свойств образцов в процессе их одноосного сжатия возможно восстановление направления «главного стресса» в анализируемой осадочной толще.
2. Выделяются три разновидности поведения полноразмерных образцов в процессе их одноосного нагружения по особенностям изменения их диаметров: равномерное, однонаправленное и переменное.
3. Микротрещины, присутствующие в образцах, ориентированы параллельно направлению «главного стресса», поэтому максималь-

* От лат. *nativus* – врожденный.

ные значения скорости продольной волны ориентированы в том же направлении, а максимальные значения деформации образцов, наоборот, в перпендикулярном по отношению к направлению «главного стресса».

4. В предлагаемом способе определения направления «главного стресса» максимальные значения нормального напряжения, которое в пластовых условиях ориентировано вертикально, моделируются путем одноосного сжатия полноразмерных образцов.

5. На самом деле направление «главного стресса», или максимального нормального напряжения, ориентировано в вертикальном направлении, а в горизонтальной плоскости (параллельно слоистости) определяется ориентация промежуточного значения нормального напряжения, в направлении которого ориентированы природные микротрещины, присутствующие в пласте, где будут возникать искусственные трещины в случае проведения ГРП.

Для проведения исследований по определению направления «главного стресса» лучше всего использовать образцы с массивной текстурой, так как наличие в образцах включений, слоистости или иных неоднородностей может привести к получению неоднозначных результатов.

Автор выражает свою признательность сотруднику МГУ д. г.-м. н. А. Ю. Казанскому за интерпретацию данных по палеомагнитным исследованиям.

*Рецензенты канд. геол.-минер. наук В. Г. Мамяшев,
доктор геол.-минер. наук, проф. Ю. И. Кузнецов*