

## Отображение падения и азимута для интерпретации сейсморазведки 3D. Dip and azimuth displays for 3D seismic interpretation

R.M. Dalley,<sup>1,2</sup> E.C.A. Gevers,<sup>1,3</sup> G.M. Stampfli,<sup>1,4</sup> D.J. Davies,<sup>1</sup> C.N. Gastaldi,<sup>1</sup> P.A. Ruijtenberg,<sup>1</sup> и G.J.O. Vermeer<sup>1,5</sup>

### Введение

За последнее десятилетие, изошренные сейсмические трехмерные данные (3D) стали все более часто использоваться с целью более точного определения геологических структур, содержащих скопления нефти и газа. В благоприятных обстоятельствах, даже возможно определить пределы распространения самих углеводородов и, в редких случаях, показать отступление водонефтяного контакта в ответ на длительную добычу нефти и газа.

Ранее, сейсмические данные 3D интерпретировались тем способом, что и сетка двумерных профилей (2D). Равноудаленные инлайны и кросслайны абстрагировались их совокупного куба данных и, извлекая дополнительную выгоду из произвольных сечений и временных срезов, интерпретаторы могли строить временные карты изолиний по выбранным горизонтам с все большей достоверностью. Однако, значительная доля от общего объема полученных данных не использовалась в процессе, и это продолжалось до наступления систем интерактивной интерпретации данных (так называемых рабочих станций), когда интерпретация всего объема данных стала возможной.

Возможность технической реализации превратилась в реальность с развитием новых и мощных программ автоматического прослеживания (пикирования) горизонтов. Они помогают интерпретатору включать данные по каждой средней точке (СТ) в куб данных. В некоторых еще более продвинутых программах, выбранные «стартовые» линии, которые изначально были получены при интерпретации вручную, подаются в программы автоматического прослеживания, которые в свою очередь экстраполируют пикировку горизонта, пока не будет покрыта каждая ОСТ в съемке. Таким образом для любого заданного отражающего горизонта становится возможным генерировать файлы двойного времени пробега, амплитуды, мгновенной фазы, и т.д. в рамках координат x,y. Эти файлы позволяют производить расчет дополнительных атрибутов горизонтов, в особенности, падения и азимута (Shell Internationale Petroleum Maatschappij BV 1988. Технологии обработки горизонтов с целью получения структурных геологических данных по данным сейсморазведки 3D. *Research Disclosure* 29473). В этой работе рассматриваются и отображаются последние два атрибута. Будет

показано, что если тщательно выбрать параметры цветного отображения, можно легко и уверенно проинтерпретировать небольшие латерально протяженные объекты, которые были бы пропущены при традиционной интерпретации. Применяемые технологии имеют много общего с методами, применяемыми в фотогеологии.

### Методы

С использованием интерактивных интерпретационных рабочих станций интерпретатор может вспомнить и отобразить виртуально все интересующие сейсмические данные определенной съемки 3D (или 2D). Как только было получено отображение данных трасс, можно выполнить прослеживание (пикирование) выбранных горизонтов и разломов на экране, и существует ряд программ, которые помогают для экстраполяции ручных пикировок на каждую ОСТ в съемке. Алгоритмы автоматического прослеживания, применяемых с этими целями, варьируют значительно по своей степени сложности. Самые простые из них едва ли являются средствами экстраполяции от максимального временного отсчета на один цикл до максимального отсчета следующего, а более сложные зависят от корреляции от полной трассы к трассе в окне определенной длины. Недавние достижения в управлении данными 3D позволили производить корреляцию данных по горизонтам от линии к линии в псевдо-автоматическом режиме. Пикировки, создаваемые такими программами не только более быстро создаются по сравнению с ручной методикой, но являются и более логичными. Другими преимуществами являются возрастающее правдоподобие интерпретаций разломов, и точное размещение пикировок горизонтов на отдельных блоках разломов с минимальным контролем со стороны пользователя.

Важным элементом успеха этих программ является способность производить быстрый контроль качества по получаемым пикировкам посредством быстрого вывода на экран и возможностям редактирования, которыми располагают рабочие станции. Ручное вмешательство необходимо только в случае обнаружения погрешностей пикирования. Как только произведена пикировка, интерпретируемый горизонт формирует временную функцию на пикируемой части съемки, что является необходимым условием для получения информации об обработанном горизонте, а именно - карт падений и азимутов.

«Мгновенное» падение - это локальное падение (величина наклона горизонта в разрезе), рассчитанное для каждого отсчета по сетке горизонта. 'Мгновенный' азимут - это направление этого наклона, измеренное относительно локального опорного направления.

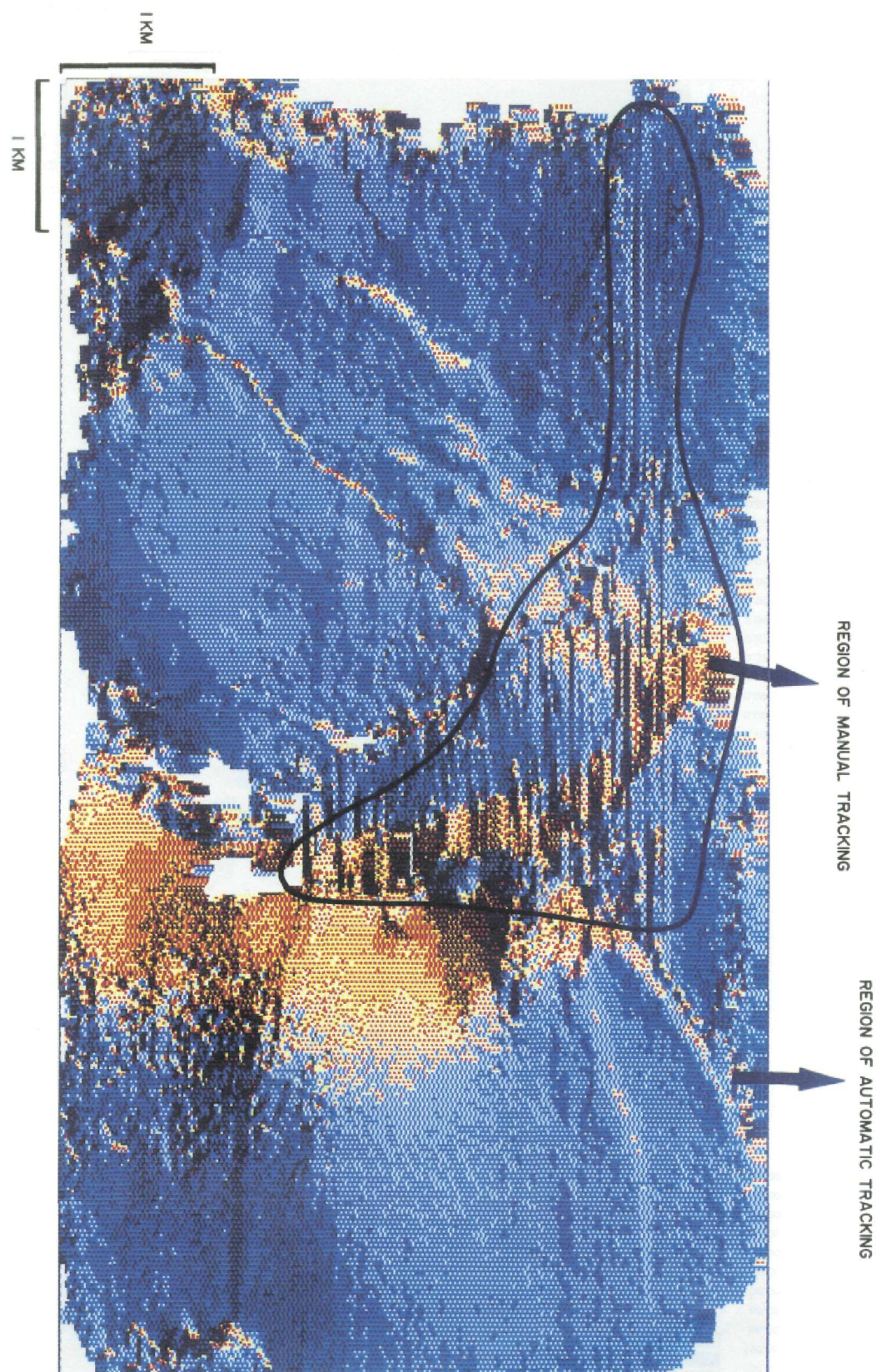
<sup>1</sup> Shell Internationale Petroleum Maatschappij BV, Postus 162, 2501 AN The Hague, The Netherlands.

<sup>2</sup> Настоящий адрес: Shell Expro, Aberdeen, UK.

<sup>3</sup> Настоящий адрес: KSEPL, Rijswijk, Zuid-Holland, The Netherlands.

<sup>4</sup> Настоящий адрес: Institut de Géologie et Paléontologie, Université de Lausanne, Switzerland.

<sup>5</sup> Настоящий адрес: Shell Canada Ltd., Calgary, Canada.



**Рисунок 1** Контрастная область на карте азимутов, пропикированная вручную и область, пропикированная с помощью автоматического прослеживания.



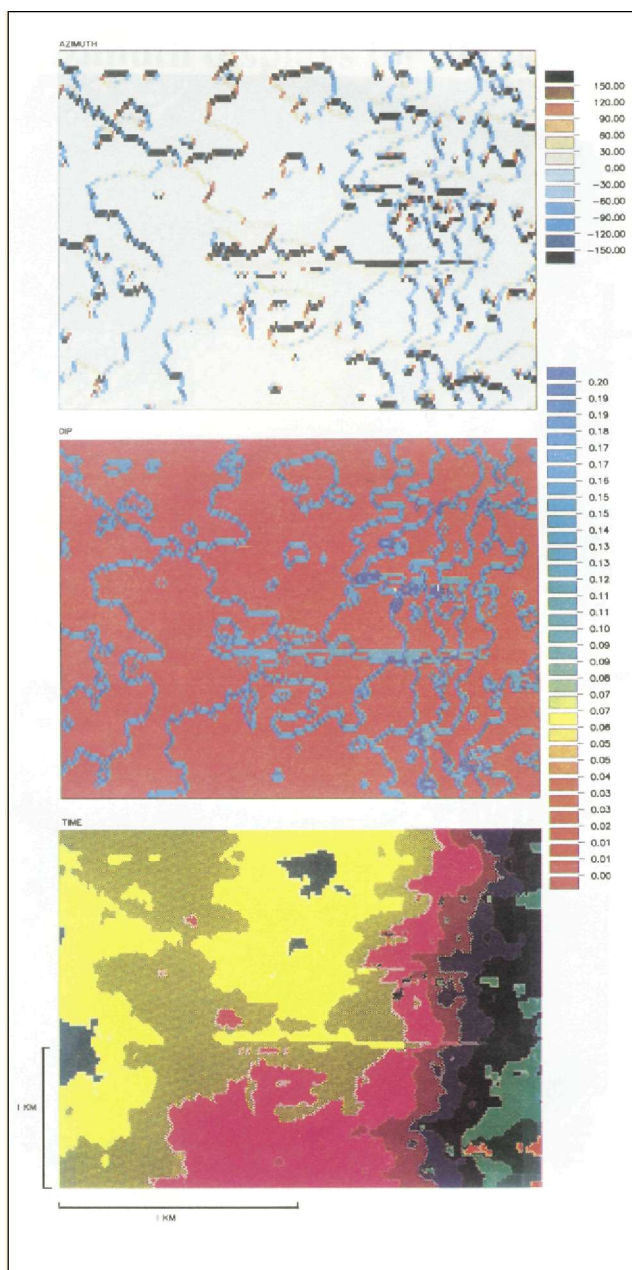


Рисунок 2 (а) Карта отображает не-интерполированные временные пикировки (азимуты, падение и время). Из-за того, что отсчеты данных дискретны, рисунки азимутов и падений несут в себе 'контуры' больших падений и переменных азимутов, там где происходит возрастание величин отсчетов, на фоне нулевого падения.

В простейшем виде расчет атрибута можно представить в виде уравнений:

$$\text{Dip} = \sqrt{((dt/dy)^2 + (dt/dx)^2)}$$

$$\text{Azimuth} = \arctan((dt/dy)/(dt/dx))$$

Где  $dt/dx$  – падение в  $\text{мс м}^{-1}$  в направлении  $x$ , и  $dt/dy$  то же, но в направлении  $y$ . Расчет выполняется по каждой пропикированной ОСТ в файле горизонта. Члены  $dt/dx$  и  $dt/dy$

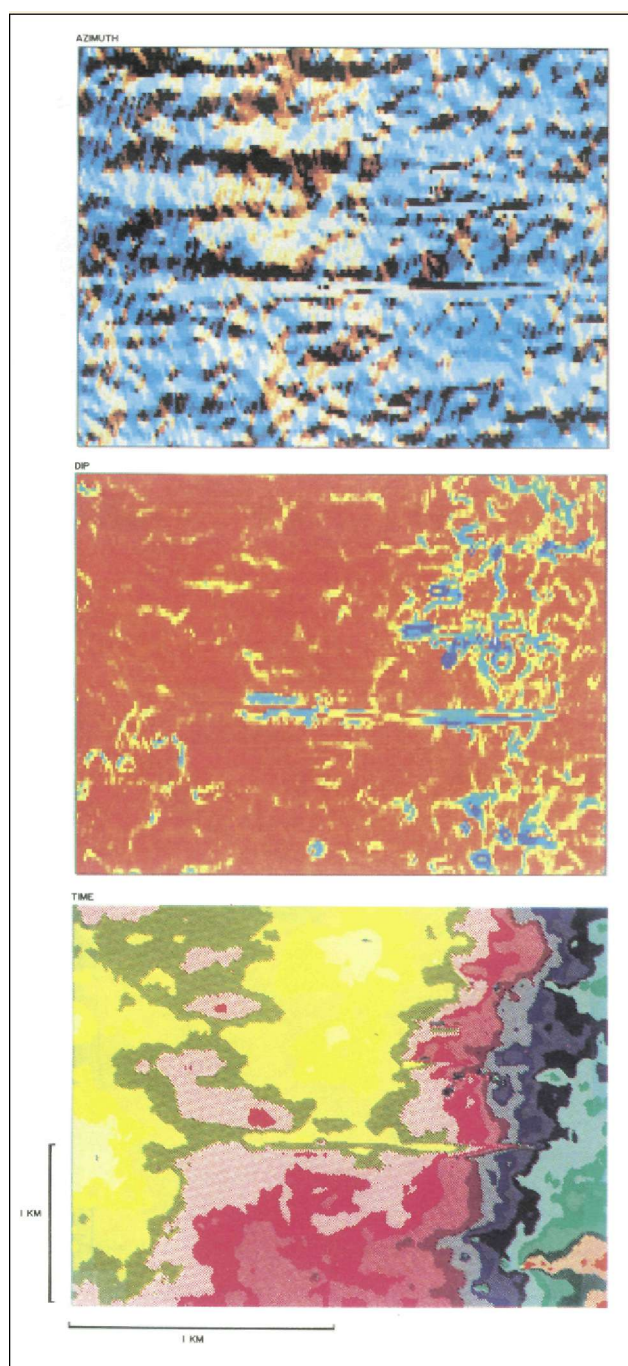
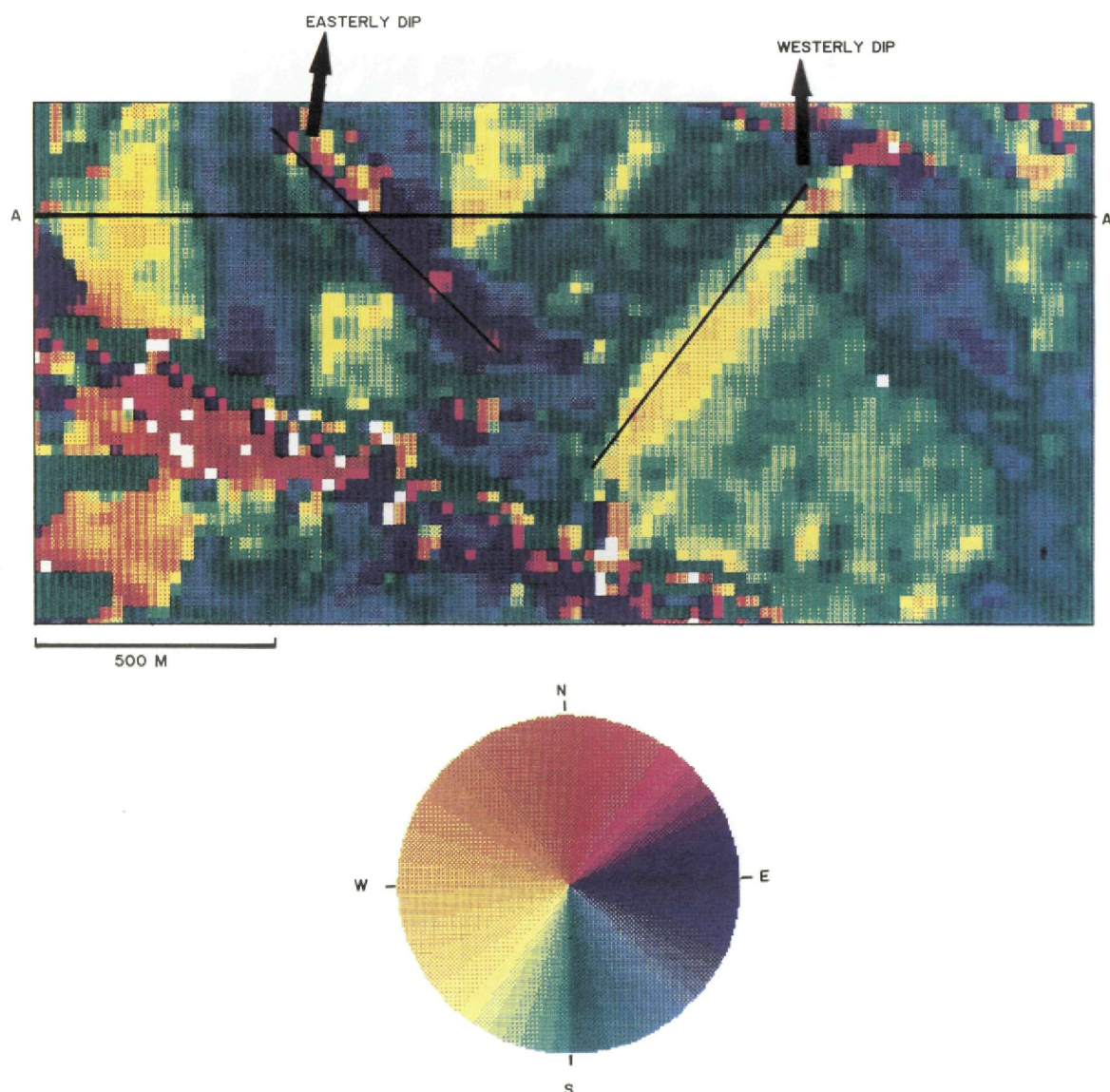


Рисунок 2 (b) Отображение карты на проинтерполированных временных пикировках (азимут, падение и время).

рассчитываются путем изучения локальных окрестностей интересующей точки и расчета среднего градиента. Можно использовать одну или более окрестности в обоих направлениях вдоль осей  $x$  и  $y$ ; обычно удовлетворительными считаются два в каждом из четырех направлений.

Несколько факторов являются важными для улучшения качества карт падений и азимутов. Прежде всего горизонт должен быть последовательно пропикирован от линии к линии по одной фазе импульса, с целью увеличения латеральной прослеживаемости



**Рисунок 3** Карта азимута – Альпийский надвиговый пояс.

слабо выраженных структур и сокращения фонового шума. Второе, преимущество является использование алгоритма автоматической пикировки, который интерполирует пикировки горизонтов, введенные вручную по каждому ОСТ в целях того, чтобы убедиться в правильности прослеживания фаз. Именно это требование более чем любое другое делает использование автоматического прослеживания (а не ручного) по полному набору данных крайне желательным. На рисунке 1 показан набор данных, к которому было применено ручное и автоматическое прослеживание. Ясно, что прослеживаемость фазы по результатам автоматического прослеживания превосходит по качеству прослеживание в ручном режиме.

Степень детальности разрешения полностью определяется точностью временных данных, используемых в программе для прослеживания данных трасс. На рисунке 2 приведено сравнение карт падений, полученных по тому же набору данных

совместно с пикировками горизонтов на временных отсчетах, а также с интерполированными отсчетами с точностью 0.001 мс. Большая степень детальности характерна для интерполированной карты отсчетов.

В идеале временная функция, которая необходима для расчетов падений и азимутов, непрерывна в пространстве. На практике разломы и области со слабым отношением сигнал-шум приводят к пропускам в прослеживаемости. Для сокращения этих пропусков и распознавания плоскостей разломов и сигналов плохого качества, вызванных другими причинами, преимуществом является производить интерпретацию разломов как части горизонта (т.е. там, где слой может иметь нулевую мощность). При интерпретации разломов они будут вести себя как линейные структуры с относительно высокими значениями падения и локально аномальными азимутами.

Подходящие шкалы цвета важны для эффективного отображения карт падений и азимутов. Гладкая гамма цветов радуги часто используется для падений (небольшие падения - красным, высокие значения падений - синим),



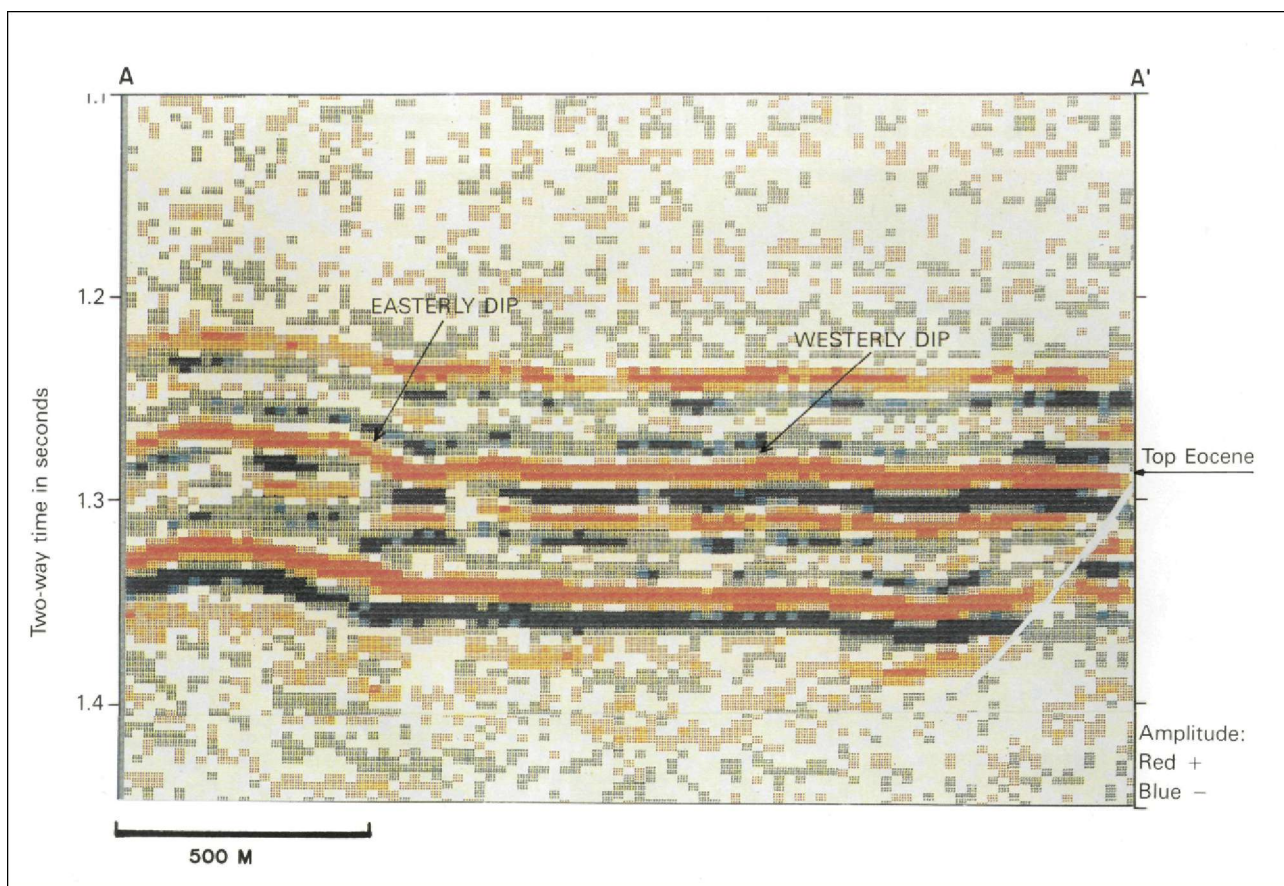


Рисунок 4 Сейсмический профиль набора данных 3D (A - A' на рис. 3).

Тогда как для азимута используется спектр цветов, имитирующих направление освещения, что дает полезное 'топографическое' представление для облегчения интерпретации.

#### Примеры

В первом примере мы показали данные по месторождению нефти, расположенному перед альпийским надвиговым поясом. Углеводороды находятся в слегка смятых песчаниках эоценового и верхнемелового возраста. Хорошее качество данных и высокоамплитудные отражения от кровли эоцена дают этот горизонт, который интерпретируется на всей области съемки, делая возможным расчет всех падений и азимутов. Часть карты азимутов, приведенная на рис. 3, отображает несколько интересных структур, включающих сопряженные серии флексур, которые пересекаются под углом 90° (желтый и синий цветные полосы). Эти флексуры были проинтерпретированы как типичные структуры, связанные с режимом надвигов; сопряженные сдвиговые напряжения часто развиваются перед надвиговым поясом. Рисунок 4 – сейсмический профиль (по кубу данных 3D) через флексуры, которые имеют падение на восток и на запад. Здесь мы хотели проиллюстрировать то, что хотя флексуру, падающую на восток, нельзя перепутать, и можно проинтерпретировать как флексуру на сейсмическом профиле на рис. 4, флексуру, падающую на запад, можно легко принять за шум, если не иметь того преимущества и не наблюдать латерально протяженный линеамент на карте азимутов (рис. 3).

Рисунки 5, 6 и 7 отображают карты изохрон, падений и азимутов по данным различных съемок на месторождении в бассейне Северного моря. В этом примере возможности методики в детальном выявлении разломов и складок очевидны, то же касается разломов со смещением величиной 4 мс двойного времени пробега. Хотя на карте изохрон виден тренд этих небольших разломов, только на карте падений их точное положение и кулисообразное строение становится заметным. Карта азимута, приведенная в работе, как если бы она была искусственно подсвечена с востока, дает дальнейшую детальную информацию, которая не очевидна на картах падений и изохрон. Два идентифицируемых тренда разломов интерпретируются как сопряженные сбросы, образовавшиеся в результате сбросо-сдвиговых деформаций. Этот набор данных иллюстрирует, что карты падений и азимутов должны рассматриваться как взаимодополняющие отображения: информация, которая очевидна на одной из них, существенно влияет на интерпретацию другой.

#### Заключения

В данной работе, мы описали методики, при помощи которых простая обработка данных изохрон, пропиксированных на каждой OCT 3D съемки, может принести важную дополнительную информацию в геологическую интерпретацию. В частности, рассчитанные атрибуты падений и азимутов доказали свою ценность. Имея подходящую аппаратуру и программное обеспечение, можно получить эти атрибуты, затратив лишь слегка больше усилий интерпретатора.



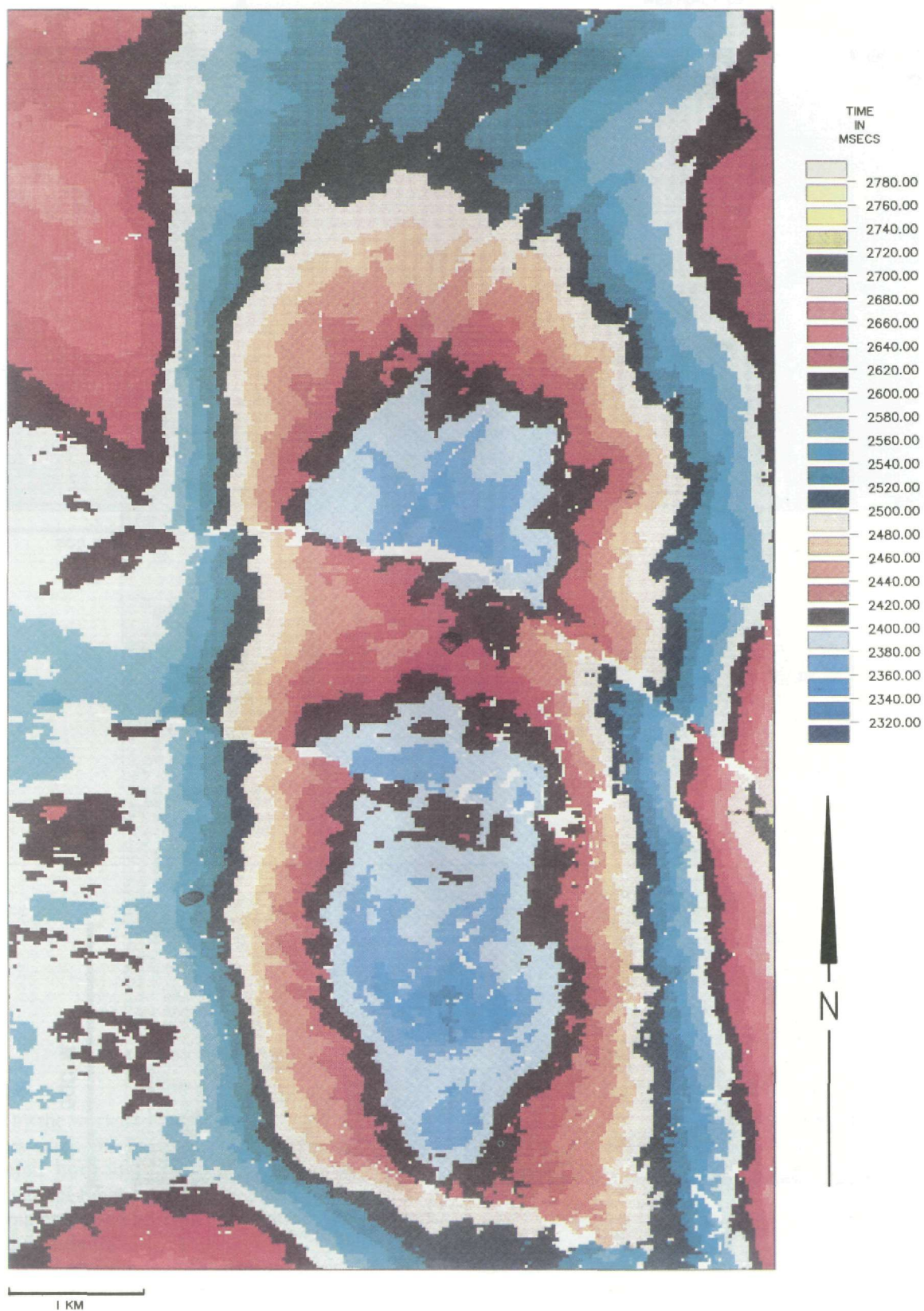


Рисунок 5 Карта изохрон антиклинали, нарушенной разломами.



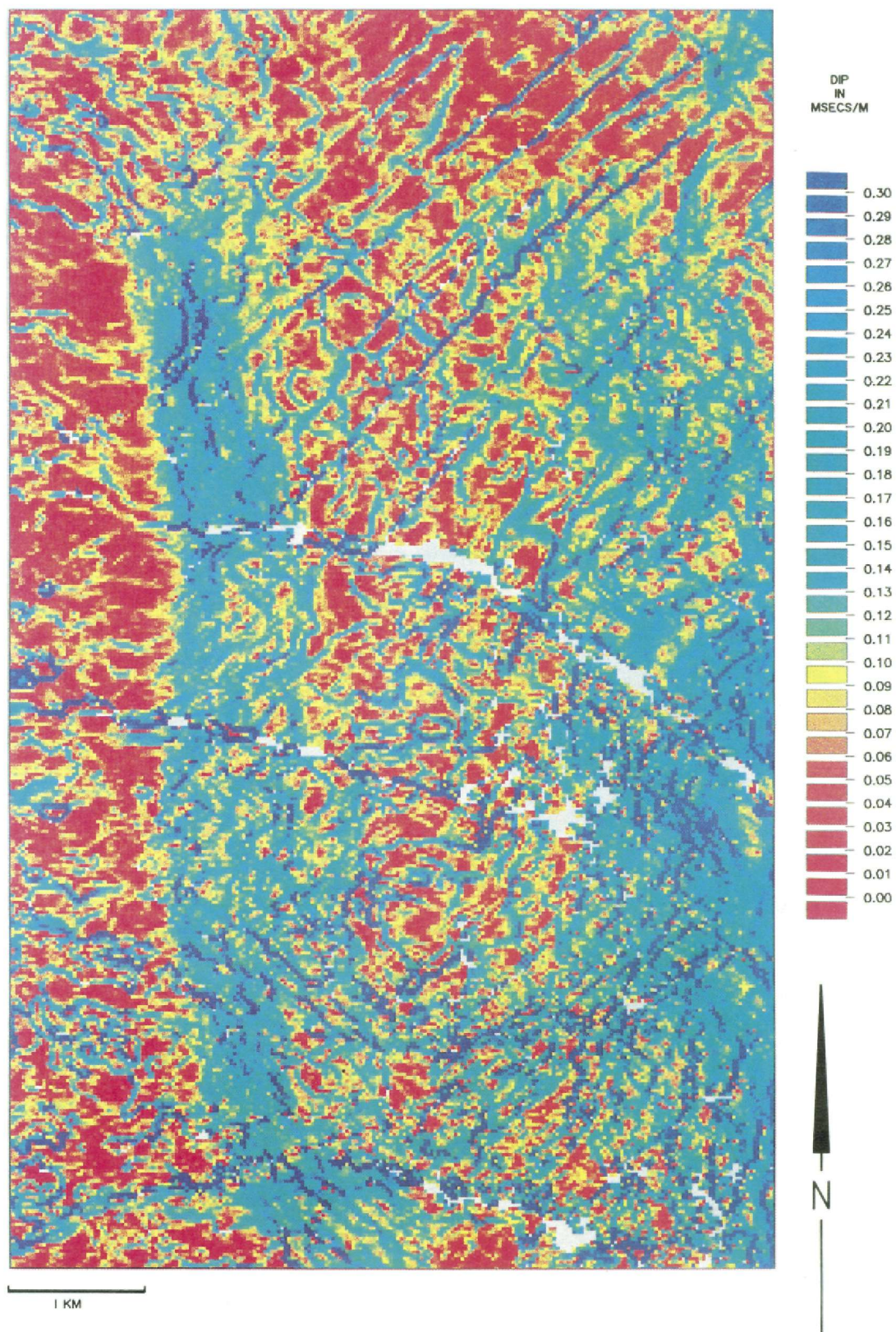


Рисунок 6 Карта падений антиклинали, нарушенной разломами.



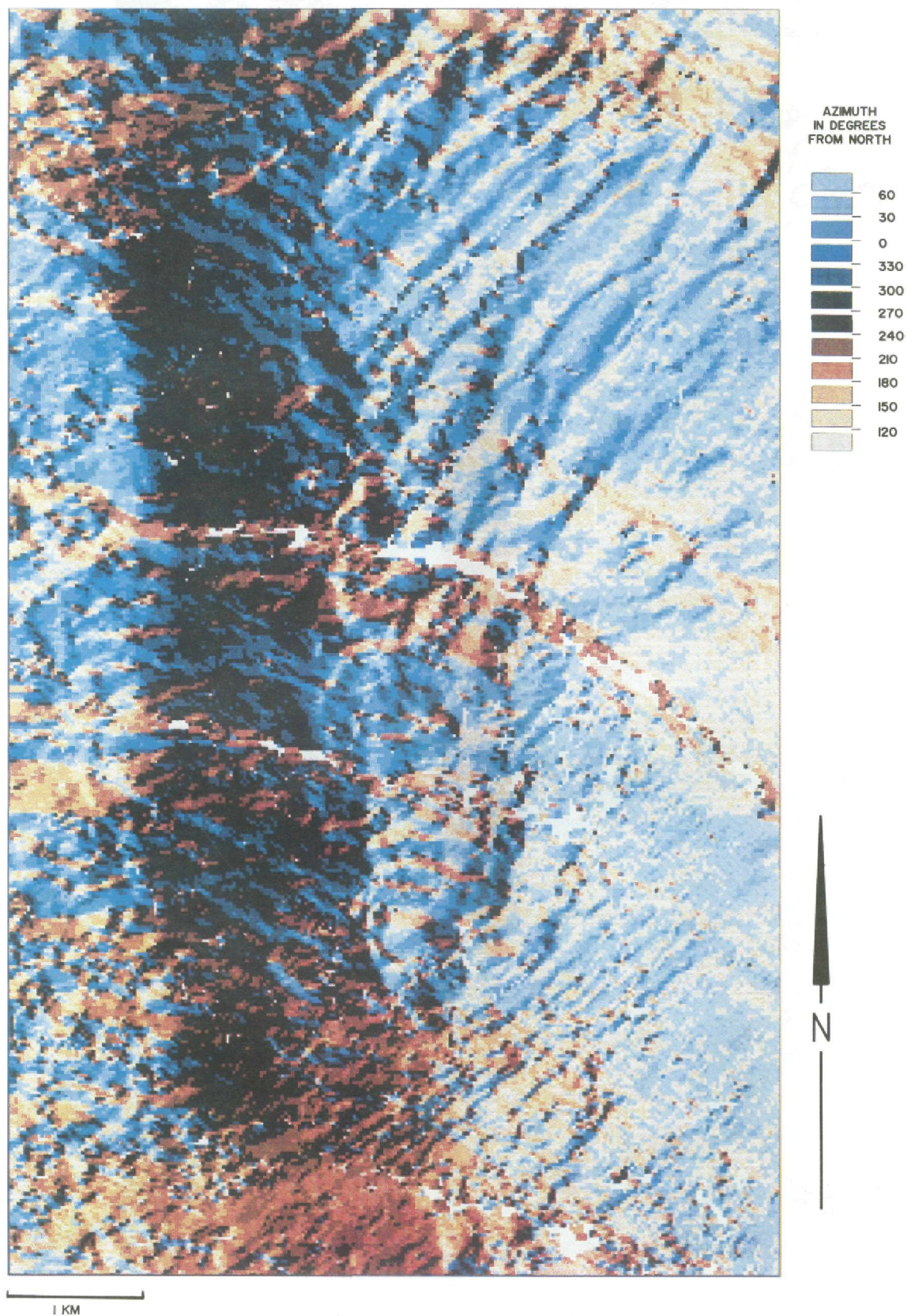


Рисунок 7 Карта азимутов антиклинали, нарушенной разломами.