



© А.В. Буторин, 2024



УДК 550.834.052:004.932.2
<https://doi.org/10.51890/2587-7399-2024-9-3-26-33>

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ЦВЕТОВОГО КОМБИНИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КАЧЕСТВЕННОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

А.В. Буторин

Группа компаний «Газпром нефть» РФ, Санкт-Петербург

Электронный адрес: ProNeft@gazprom-neft.ru

Введение. Методика цветового смешивания, или хроматическая интерпретация, является широко распространенным инструментом анализа, особенно для геологических комплексов сложного строения. Реализация подразумевает использование либо частотных срезов, полученных в рамках спектральной декомпозиции, либо амплитудных срезов, разнесенных между собой по времени.

Цель. Изучение процесса возникновения аномалий в рамках цветового смешивания амплитудных срезов. Дополнительной задачей является разработка метрик для сравнения между собой известных инструментов хроматической интерпретации.

Материалы и методы. Для реализации исследования использован язык программирования python и открытые библиотеки. На начальном этапе исследования выбранные алгоритмы изучены на простых модельных данных, что позволяет сформировать ключевые гипотезы, которые в дальнейшем проверялись на реальном наборе сейсмических данных.

Результаты. В результате исследования показано, что ключевым фактором, приводящим к появлению аномалий при цветовом смешивании амплитудных срезов, является форма отражения (видимый период). Данный фактор работает как для частотных срезов, так и для амплитудных. Однако наблюдаются различия в детализации результатов. Так, смешивание амплитудных срезов позволяет получить более информативное представление о внутреннем строении изучаемого комплекса за счет более локального проявления аномалии, а также сохранения информации о знаке отражения.

Заключение. Разработанный алгоритм оценки информативности хроматических карт позволяет сделать вывод о большей информативности результатов цветового смешивания амплитуд. Данный тезис подтвержден как на модельных данных, так и на реальном примере.

Ключевые слова: хроматическая интерпретация, eXchroma, RGB смешивание, энтропия, динамическая интерпретация

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Буторин А.В. Сравнение методов цветового комбинирования для решения задач качественной интерпретации данных сейсморазведки. ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. 2024;9(3):26–33. <https://doi.org/10.51890/2587-7399-2024-9-3-26-33>

Статья поступила в редакцию 31.03.2024

Принята к публикации 18.05.2024

Опубликована 30.09.2024

COMPARISON OF COLOR BLENDING METHODS OF SEISMIC DATA FOR QUALITATIVE INTERPRETATION

Aleksandr V. Butorin

Gazprom нефt company group, RF, Saint Petersburg

E-mail: ProNeft@gazprom-neft.ru

Introduction. The technique of color mixing or chromatic interpretation is a widespread analysis tool, especially for geological complexes of complex structure. The implementation implies the use of either frequency slices obtained within the framework of spectral decomposition, or amplitude slices spaced apart in time.

Aim. The purpose of this research is to study the process of occurrence of anomalies within the framework of color mixing of amplitude slices. An additional task is to develop metrics for comparing chromatic interpretation tools with each other.

Materials and methods. The python programming language and open libraries were used to implement the research. At the initial stage of the study, the selected algorithms were studied on simple model data, which allows us to form key hypotheses, which were later tested on a real seismic data.

Results. The key factor leading to the appearance of anomalies in the color mixing of amplitude slices is the shape of reflection. This factor works for both frequency slices and amplitude ones. However, there are differences in the detail of the results. Thus, mixing the amplitude slices allows geophysicist to get a more information about the internal structure of the studied complex due to a local character of the anomaly, as well as the preservation of information about the reflection sign.

Conclusion. The developed algorithm for evaluating the informativeness of chromatic maps allows us to conclude that the results of color mixing of amplitudes are more informative. This thesis was confirmed both on model data and on a real example.

Keywords: eXchroma, color analysis, RGB blending, entropy, dynamic interpretation

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Butorin A.V. Comparison of color blending methods of seismic data for qualitative interpretation. PRONEFT. Professionally about oil. 2024;9(3):26–33. <https://doi.org/10.51890/2587-7399-2024-9-3-26-33>

Manuscript received 31.03.2024

Accepted 18.05.2024

Published 30.09.2024

ВВЕДЕНИЕ

В современных сейсмогеологических проектах широкое распространение получил объектно-ориентированный подход к интерпретации, когда качественная интерпретация выполняется с целью получения максимально детального представления о распространении геологических объектов или фациальных обстановок на изучаемой территории.

Решение задачи выделения объектов может достигаться различными инструментами. Наиболее простым является использование атрибутов волнового поля, в данном случае производится анализ выбранной характеристики вдоль целевого отражения с последующим выделением геологических объектов. По мере развития методов анализа значительную популярность получил подход кластеризации по форме отражения. Наиболее распространенным решением, вероятно, можно назвать ПО Stratimagic. Данная методика, появившись в конце прошлого века, вошла в стандартный набор инструментов анализа 2000-х и широко применяется и сегодня [3]. В рамках алгоритма реализована возможность одновременного анализа множества амплитуд, описывающих изменение формы отражения, либо совокупности карт атрибутов. При этом в рамках решения задачи происходит объединение схожих трасс в кластер, чем достигается снижение размерности задачи. Имея на входе вектор значений для каждого бина, на выходе алгоритм выдает одно значение, описывающее принадлежность к одному из определенных кластеров.

Следующий виток развития подходов анализа, произошедший в 2010-х, связан с внедрением методов спектральной декомпозиции и инструмента визуализации цветового смешивания или RGB-визуализации [4]. Несмотря на то что внедрение технологии спектральной декомпозиции в интерпретацию сейсмических данных произошло

в конце 1990-х [6], широкое развитие в отечественных проектах методика цветового комбинирования получила спустя 20 лет. Новый подход к анализу данных получил широкое распространение во многих проектах при изучении сложных литологических объектов, так как основной фактор появления аномалий связан с частотной дисперсией энергии при интерференции.

ПРЕДЛОЖЕННЫЙ АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ИНФОРМАТИВНОСТИ КАРТ RGB-ВИЗУАЛИЗАЦИИ С ВЫРАБОТАННЫМИ КРИТЕРИЯМИ ПОЗВОЛЯЕТ ПОЛУЧИТЬ БОЛЕЕ ПОЛНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О ВНУТРЕННЕМ СТРОЕНИИ ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ.

Последний на сегодня шаг в развитии инструментов связан с модификацией технологии RGB-визуализации, которая заключается в использовании не частотных срезов по результатам спектрального разложения, а срезов амплитуд исходного куба, разнесенных между собой по времени. Изначально данная технология получила название eXchroma и была представлена в ПО Petrel [5]. В дальнейшем подход был внедрен и в других программных средствах, получив название «амплитудная декомпозиция», в том числе отечественных, например IPLab (И.И. Приезжев) и ПО «ГеоМейт», где технология получила название «полихром». Целью данного исследования является анализ факторов, приводящих к появлению аномалий в алгоритме амплитудной декомпозиции, а также сравнение между собой спектральной и амплитудной декомпозиции с точки зрения их геологической информативности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Реализация алгоритмов спектрального и амплитудного смешивания выполнена на языке

программирования Python с применением открытой библиотеки PIL (Python Imaging Library). Алгоритм спектральной декомпозиции и последующего частотного смешивания подробно описан в публикациях [1, 2]. Механизм получения амплитудного смешивания значительно проще в плане вычислений, так как для его реализации необходимо получить срезы амплитуд вдоль заданной поверхности амплитуд и на некотором отступе от нее. Дальнейшее получение результата RGB-смешивания остается аналогичным — значения каждой из имеющихся карт нормируются в диапазоне [0; 255], в дальнейшем каждая карта приписывается к отдельному цветовому каналу (красного, зеленого или синего цвета), затем в рамках формирования результата все три карты объединяются в единый массив данных, каждый элемент которого описывается значением насыщенности по трем цветам.

На начальном этапе для изучения возникающих эффектов создана модель выклинивающего пласта с переменным контрастом по отношению к вмещающим породам. Модель сформирована таким образом, чтобы происходила противофазная интерференция в зоне выклинивания, т.е. коэффициенты

отражения на кровле и подошве имеют разный знак.

Модельные данные проанализированы с использованием цветового комбинирования как амплитуд, так и частот для сравнения данных технологий между собой.

На **рис. 1** показаны вертикальные сечения моделей вдоль кровли пласта. На результатах смешивания частотных срезов наблюдается ожидаемая картина — возникновение цветовой дифференциации в зоне интерференции. При использовании амплитудных срезов наблюдается аналогичная закономерность возникновения аномалий, появление которых связано с областью интерференции сигналов. При этом за счет сохранения знака амплитуды наблюдается разный характер цветовой аномалии в случае интерференции отражений противоположного знака. Кроме этого, отмечается большая локальность аномалий, которые в случае использования частотных срезов проявляются начиная с мощности 20 мс и завершаются около мощности 5 мс. В случае использования амплитудных характеристик в алгоритме цветового комбинирования, аномалии начинают проявляться при меньшей мощности (5–6 мс) и сохраняются до полной интерференции сигналов (**рис. 1**).

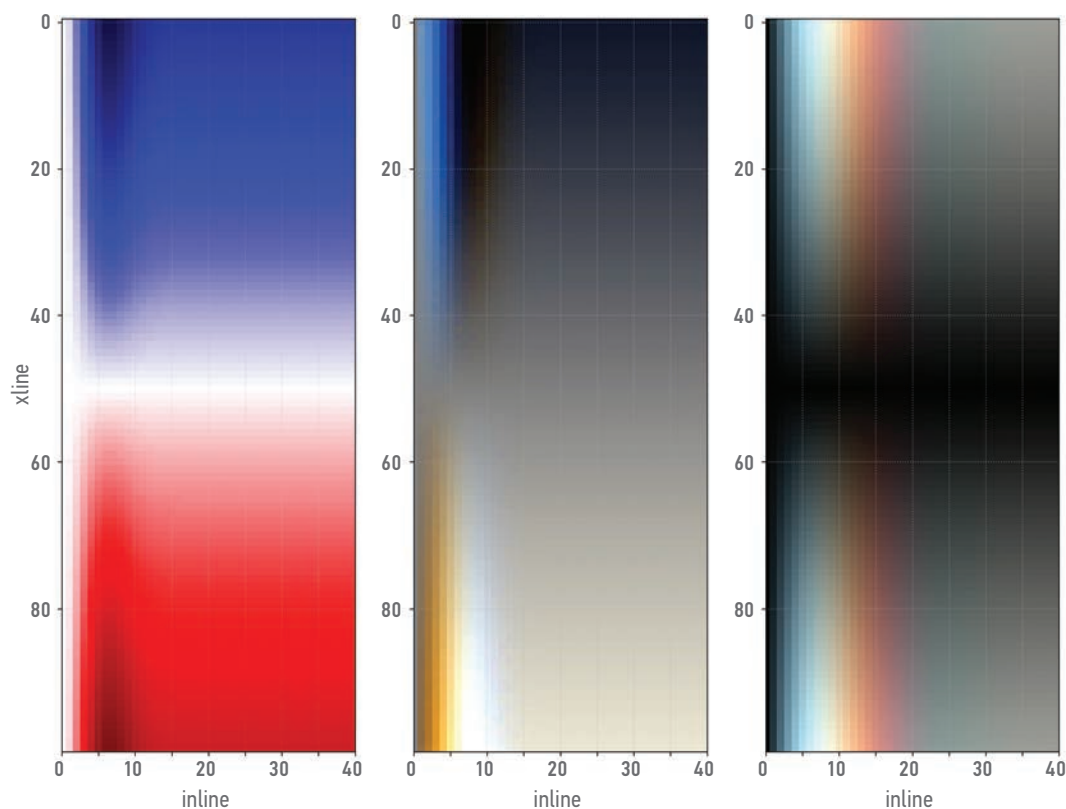


Рис. 1. Сравнение результатов цветового смешивания: слева — срез амплитуд, в центре — смешивание амплитудных срезов, справа — смешивание частотных срезов (А.В. Буторин)

Fig. 1. Comparison of color blending results: left — amplitude slice, center — amplitude blending, right — frequency blending (Aleksandr V. Butorin)

Возможной опцией при формировании карт выступает отступ между стратиграфическими срезами. В большинстве случаев используется расстояние в 1 отсчет, увеличение шага может приводить к большей цветовой дифференциации за счет уменьшения скоррелированности карт между собой. Тестирование данного параметра на синтетических моделях показывает, что увеличение шага между срезами выше 2 дискретов нецелесообразно, так как приводит к потере локализации аномалии (рис. 2).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Рассмотрим применение технологии комбинирования амплитуд на реальном примере. На рис. 3 показано распределение среднеквадратичных амплитуд вдоль целевого отражающего горизонта. Как видно из иллюстрации, ключевым геологическим объектом является аккреционный бар, связанный с меандрирующим руслом. Дополнительно показаны три трассы, находящиеся в разных участках имеющегося волнового поля и приуроченные к различным зонам (для данного примера значение 0 по временной оси соответствует положению

целевого отражающего горизонта). В зоне отсутствия геологического объекта, связанного с аккреционным баром (фиолетовая трасса на рис. 3), наблюдается низкое значение ширины фазы или видимого периода, около 7 дискретов, что отвечает доминантному значению частоты волнового поля. В зоне развития аккреционного бара за счет проявления интерференции ширина фазы увеличивается и превышает 9 дискретов (черная и красная трассы на рис. 3).

В зависимости от процессов интерференции локальные изменения формы отражения могут претерпевать изменения, что будет приводить к изменениям видимого периода (локальной мгновенной частоты) и различиям в изменении амплитуд выше и ниже целевого отражающего горизонта. Таким образом, смешивание амплитудных срезов выступает инструментом анализа формы отражения относительно выбранного положения целевого горизонта.

В рассматриваемом примере шаг дискретизации составляет 2 мс — выбор шага между срезами в два отсчета позволяет получить более отличающиеся амплитудные срезы, что положительно влияет на цветовую дифференциацию. Для выбранного практического примера выполнен перебор

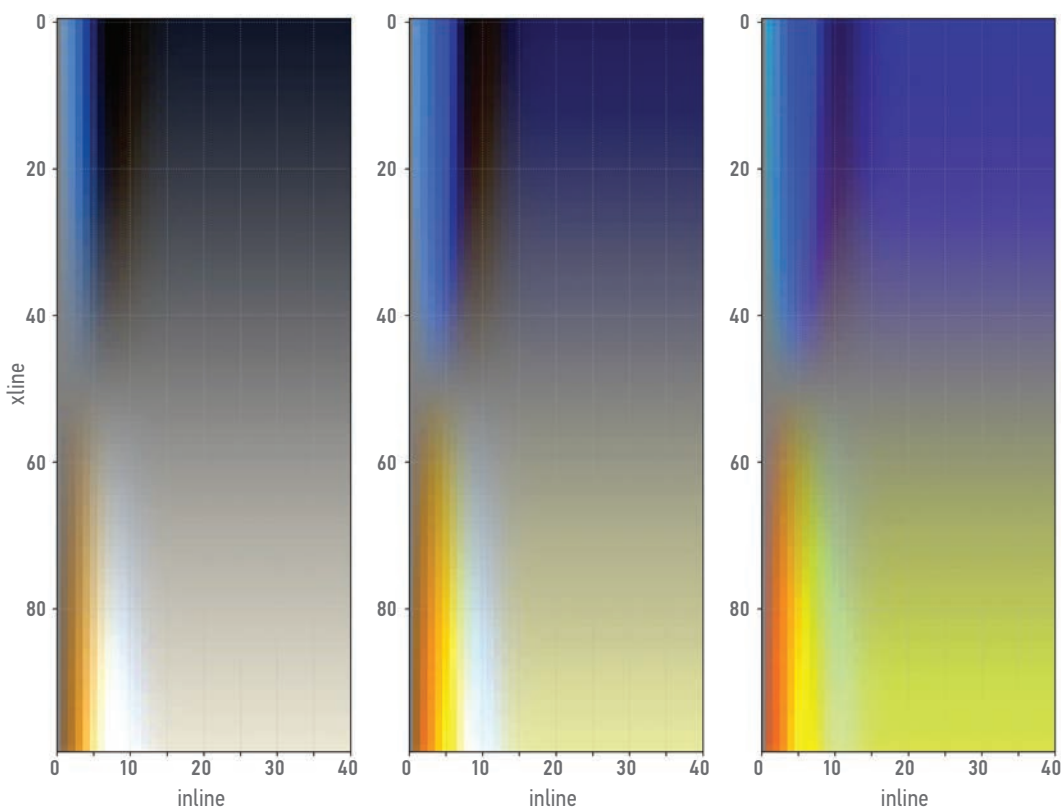


Рис. 2. Изменение результатов смешивания амплитудных срезов при разном шаге между срезами амплитуд: слева — 1 дискрет, в центре — 2 дискрета, справа — 3 дискрета (А.В. Буторин)

Fig. 2. Change in amplitude blending with different step between slices: left — 1 sample, center — 2 samples, right — 3 samples (Aleksandr V. Butorin)

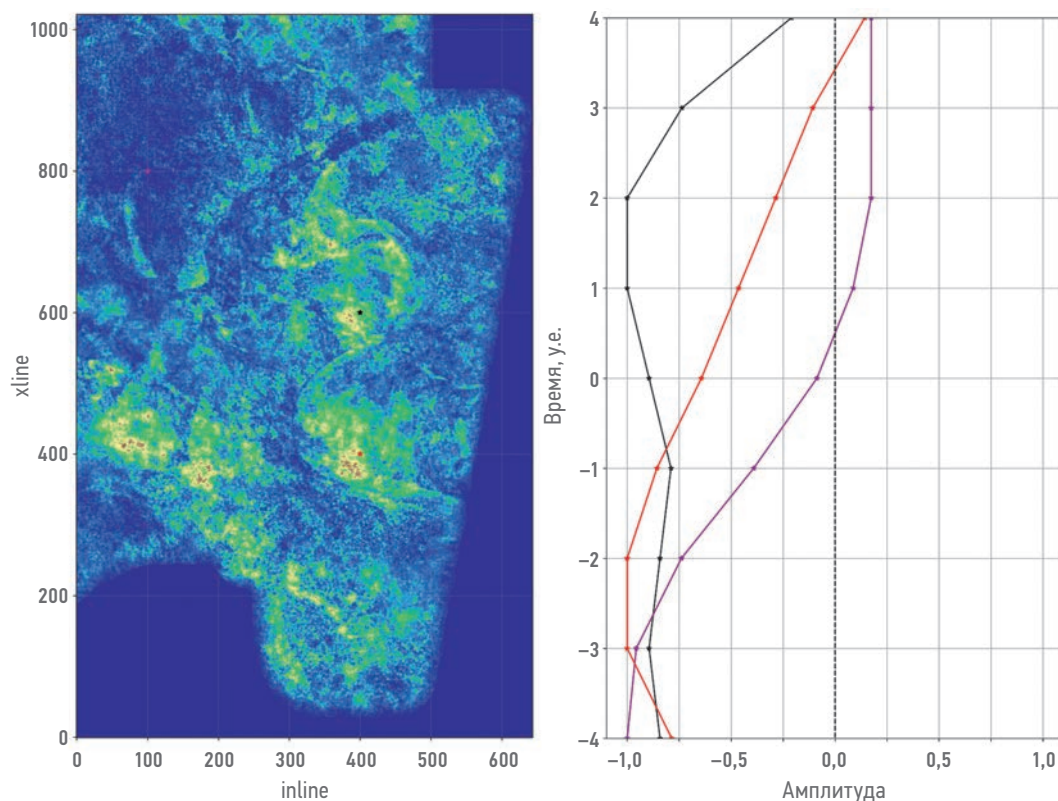


Рис. 3. Карта среднеквадратических амплитуд вдоль целевого отражающего горизонта (слева) и характерные формы отражения в выбранных точках (справа). Цвет трассы соответствует цвету точки на карте (А.В. Буторин)
Fig. 3. Root-mean squares amplitude map extracted on reflection horizon (left) and specific traces in corresponding points (right). Color of trace corresponds with color of point on map (Aleksandr V. Butorin)

отступов между стратиграфическими срезами от 2 до 8 мс (**рис. 4**). В качестве критерия оценки по полученным результатам оценивалась энтропия Шеннона, используемая в качестве меры информативности цифровых изображений [1]. В целом карты характеризуются схожим значением энтропии, однако максимальная оценка получена

для шага между стратиграфическими срезами в 4 мс. Отдельно необходимо описать инструменты повышения качества изображения, которые могут использоваться для получения более информативного результата. К ключевым факторам могут быть отнесены резкость, насыщенность, контраст и яркость

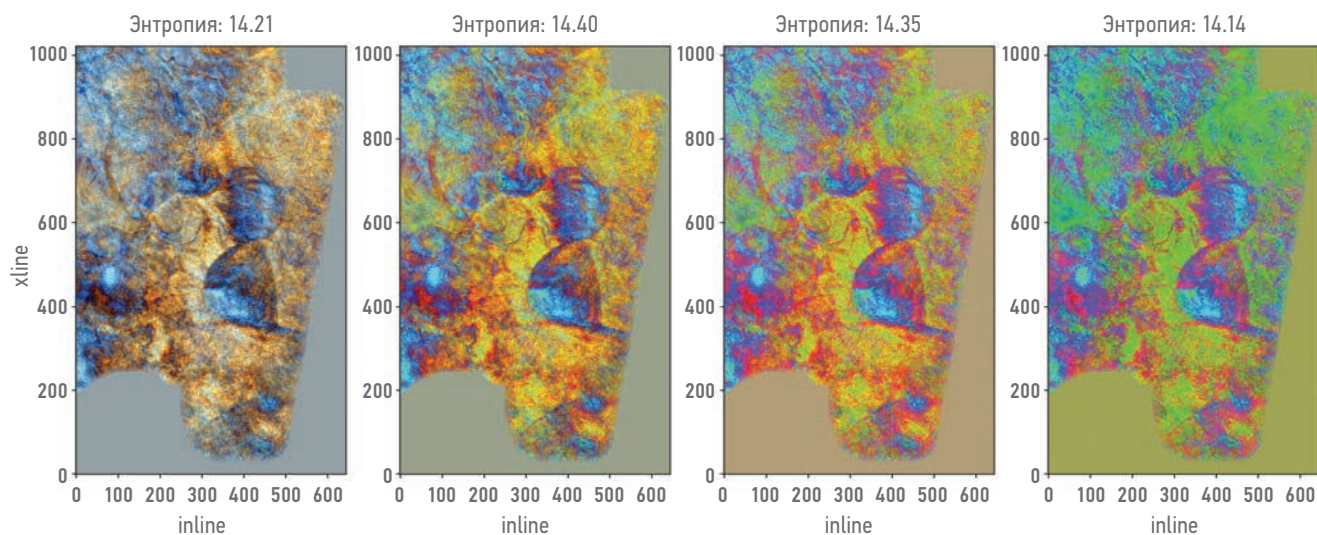


Рис. 4. Карты цветового смешивания для различных отступов между стратиграфическими срезами 2, 4, 6 и 8 мс (А.В. Буторин)
Fig. 4. Color blending maps with different steps between slices 2, 4, 6 and 8 ms (Aleksandr V. Butorin)

изображения. С математической точки зрения применение указываемых факторов к результатам цветового комбинирования является преобразованием значений цветовых каналов, представленных исходными стратиграфическими срезами. Изменение контрастности и яркости может быть представлено как линейное преобразование цветовых каналов $RGB' = a * RGB + b$, где интерсепт (b) отвечает за изменение яркости, а градиент (a) — за изменение контраста.

Изучение того, как различные факторы влияют на качество получаемого результата, требует ввода объективных метрик, которые могут быть использованы для сравнения. В качестве одной из метрик может быть использована уже введенная ранее энтропия Шеннона, показывающая цветовую дифференциацию пикселей между собой. Однако данная характеристика не всегда может быть информативна. Так, максимальная энтропия будет соответствовать карте, на которой цвет пикселя меняется случайным образом, что отражает максимальную цветовую дифференциацию. На **рис. 5** показаны результаты цветового смешивания в исходном виде и при усилении насыщенности цвета, а также карта, заполненная случайными значениями цвета в каждом пикселе, которая характеризуется максимальным значением энтропии. В качестве дополнительного параметра предлагается использование метрики, основанной на применении пространственного фильтра выделения границ (Canny-фильтр).

Пространственный фильтр позволяет подчеркнуть границы отдельных геологических объектов, что является целевой задачей геологической интерпретации. Для получения окончательной метрики производилось суммирование значений по полученной карте. Так, для карты со случайными значениями в пикселях суммарное значение равняется нулю при оценке на базе 5×5 пикселей, что отражает отсутствие площадных объектов, в рамках которых цвет остается выдержанным. Таким образом, измерение параметра выраженности границ позволяет дополнительно охарактеризовать получаемые результаты. Окончательные настройки изображения могут быть ориентированы на получение оптимального сочетания энтропии и параметра границ.

В рамках выполненного исследования проведен анализ влияния факторов изображения (резкости, насыщенности, контраста и яркости) на значения метрик «энтропия» и «доля границ». Применение факторов пост-обработки изображения выполнено при помощи библиотеки PIL языка программирования python (интенсивность фактора задается вещественным числом). Установлено, что увеличение резкости положительно влияет на обе метрики, однако наибольшее влияние оказывается именно на энтропию. В качестве оптимального значения параметра может быть использовано значение в диапазоне 1,5–3,0. Цветовая насыщенность не оказывает значительного влияния на метрики, поэтому ее значение может быть принято в районе 2,0. Контраст и яркость имеют противоположное влияние на метрики, в данном случае значительное снижение энтропии

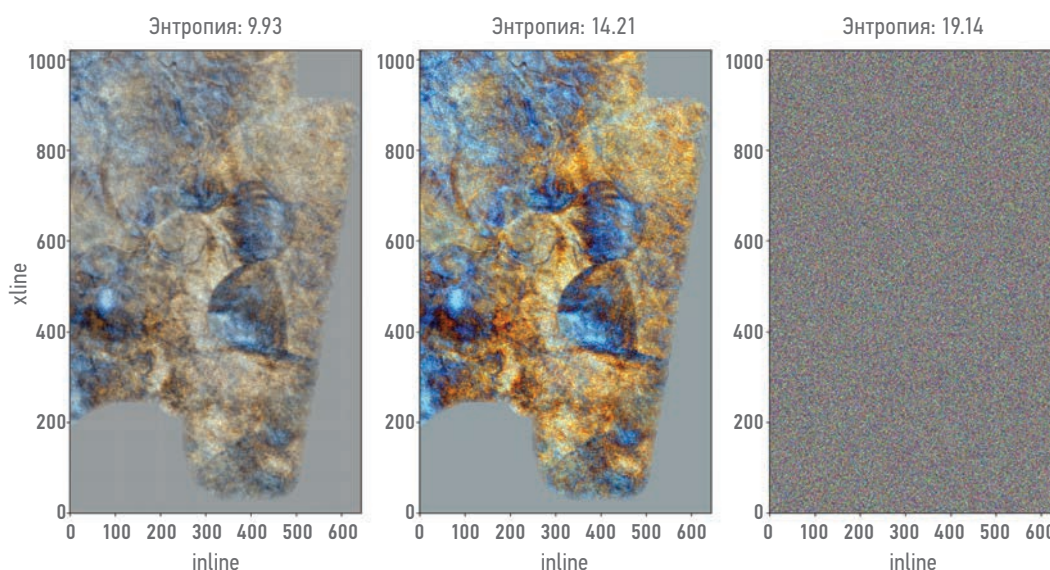


Рис. 5. Карты цветового смешивания: слева — исходная, в центре — с усилением насыщенности, справа — случайная карта (А.В. Буторин)

Fig. 5. Color blending maps: left — initial map, center — enhanced map, right — random map (Aleksandr V. Butorin)

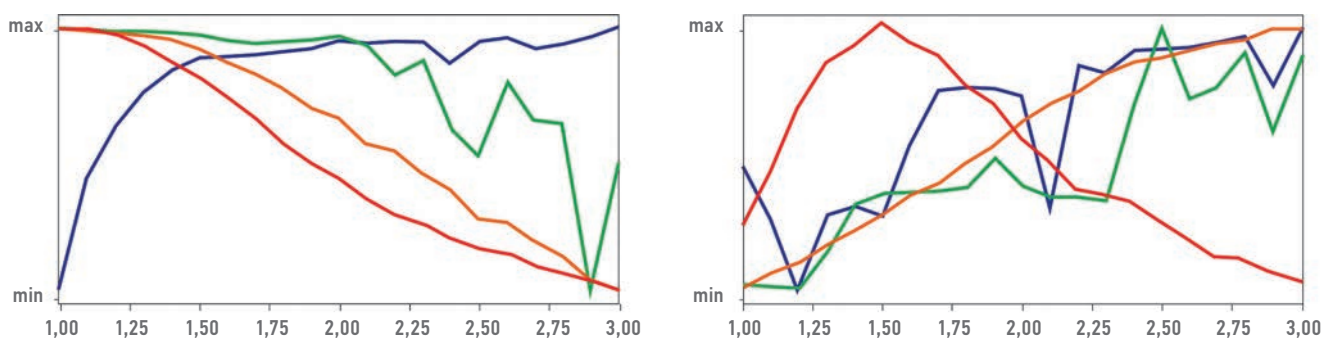


Рис. 6. Влияние факторов резкости (синий), насыщенности (зеленый), контраста (оранжевый) и яркости (красный) на энтропию (справа) и долю границ на изображении (слева) (А.В. Буторин)

Fig. 6. The influence of sharpness (blue), saturation (green), contrast (orange) and brightness (red) on entropy (left) and edges (right) of the image (Aleksandr V. Butorin)

является более негативным фактором, поэтому увеличение параметров выше 1,25 не рекомендуется. Итоговые графики тестирования показаны на **рис. 6**.

Таким образом, в рамках исследования реализован алгоритм амплитудного смешивания, а также предложены объективные критерии оценки. Наличие критериев позволяет детально подобрать параметры обработки изображений для повышения информативности.

ОБСУЖДЕНИЕ

При сравнении работы двух алгоритмов цветового смешивания (по частотным и по амплитудным срезам) отмечается очевидное сходство: появление аномалий связано с изменением

видимого периода или формы отражения, что, в свою очередь, зависит от фазовых изменений строения изучаемого интервала. Смешивание амплитуд, как показывает анализ модельных данных, обладает рядом преимуществ — появление аномалий более локализовано, что позволяет анализировать более тонкие явления, дополнительно наблюдаются отличия аномалий при разном типе интерференции за счет сохранения знака амплитуды, в отличие от методов спектральной декомпозиции. Это также повышает интерпретируемость результатов с точки зрения фазового разделения или выделения объектов.

Таким образом, для тонких объектов более предпочтительным инструментом анализа является смешивание именно амплитудных срезов. В подтверждение данного тезиса

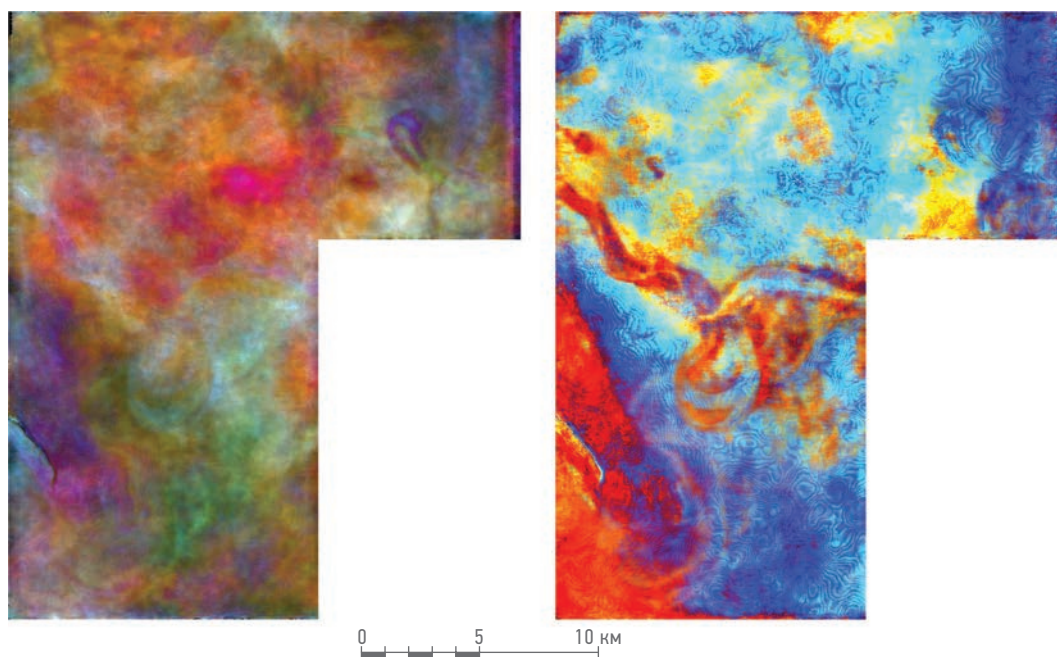


Рис. 7. Сравнение результатов цветового смешивания частотных (слева) и амплитудных (справа) стратиграфических срезов (А.В. Буторин)

Fig. 7. Comparison of color blending results for frequency (left) and amplitude (right) stratigraphic slices (Aleksandr V. Butorin)

выполнено сравнение результатов цветового смешивания на одной из площадей ХМАО Западной Сибири по кровле пласта Ю₁, приуроченного к васюганской свите (рис. 7). Известно, что данные отложения обладают слабым контрастом упругих свойств, невысокой мощностью коллекторов, а также искажающим влиянием интерференции от границ баженовской свиты. Как показывает сравнение (рис. 7), в случае анализа частотных срезов геологический объект, представленный отложениями русловых фаций, практически не выделяется, в отличие от алгоритма комбинирования амплитуд.

Выполненное исследование позволяет сделать следующие выводы:

- Методика цветового комбинирования позволяет выделить геологические объекты за счет изменения видимого периода

(ширины) отражения, данный фактор выступает основным как при спектральной декомпозиции, так и при анализе амплитудных срезов;

- Смешивание амплитудных срезов позволяет выделить более локальные объекты. При этом сохраняется возможность различить разные типы интерференции, за счет сохранения информации о знаке амплитуды, что повышает информативность получаемого результата;
- Инструментом оценки качества могут выступать энтропия, отражающая информативность получаемой карты, а также параметр границ, получаемый при помощи пространственной фильтрации изображения Canny-фильтром с последующим суммированием и показывающий выраженность границ между объектами.

Список литературы

1. Буторин А.В. Автоматизация выбора частот для RGB-визуализации результатов спектральной декомпозиции // PRONEFT. Профессионально о нефти. — 2024. — Т. 9. — № 1. — С. 34–41.
2. Butorin A.V. Application of wavelet spectral decomposition for geological interpretation of seismic data // Journal of Geological Resource and Engineering. — 2016. — Vol. 4. — No. 5. — Pp. 231–241.
3. Coleou T., Poupon M., Azbel K. Unsupervised seismic facies classification: A review and comparison of techniques and implementation // The Leading Edge, October 2003.
4. Henderson J., Purves S.J., Leppard C. Automated delineation of geological elements from 3D seismic data through analysis of multichannel, volumetric spectral decomposition data // First Break, 2007. — Vol. 25. — No. 3. — Pp. 87–93.
5. Laake A., Structural interpretation in color — A new RGB processing application for seismic data // Interpretation. — 2015. — Vol. 3. — No. 1. — Pp. SC1–SC8.
6. Partyka G., Gridley J., Lopez J., Interpretational application of spectral decomposition in reservoir characterization // The Leading Edge. — 1999. — Vol. 18. — No. 3. — Pp. 353–360.

References

1. Butorin A.V. Automatic frequencies selection for RGB representation of the spectral decomposition results // PRONEFT. Professionally about oil. 2024, vol. 9, no. 1, pp. 34–41.
2. Butorin A.V. Application of wavelet spectral decomposition for geological interpretation of seismic data // Journal of Geological Resource and Engineering. 2016, vol. 4, no. 5, pp. 231–241.
3. Coleou T., Poupon M., Azbel K., Unsupervised seismic facies classification: A review and comparison of techniques and implementation // The Leading Edge, October 2003.
4. Henderson J., Purves S.J. and Leppard C. Automated delineation of geological elements from 3D seismic data through analysis of multichannel, volumetric spectral decomposition data // First Break. 2007, vol. 25, no. 3, pp. 87–93.
5. Laake A., Structural interpretation in color — A new RGB processing application for seismic data // Interpretation. 2015, vol. 3, no. 1, pp. SC1–SC8.
6. Partyka G., Gridley J., Lopez J., Interpretational application of spectral decomposition in reservoir characterization // The Leading Edge. 1999, vol. 18, no. 3, pp. 353–360.

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

А.В. Буторин — разработал концепцию исследования, подготовил текст и рисунки. Согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Aleksandr V. Butorin — developed the article concept, prepared the text and pictures. Accepted the responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Александр Васильевич Буторин — кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры «Геофизика» Института наук о Земле СПбГУ, руководитель по развитию дисциплины «Сейсморазведка», Группа компаний «Газпром нефть», 190000, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Почтамтская, д. 3–5.
e-mail: ProNeft@gazprom-neft.ru
AuthorID: 877389
SPIN-код: 8474-6120
Web of Science: B-7405-2019
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6074-1439>
Scopus: 56370048400

Aleksandr V. Butorin — Cand. Sci. (Geol.-Min.), Associate Professor at the Department of Geophysics at Institute of Earth Sciences, Head of seismic discipline Gazprom oil company group 3–5, Pochtamtamskaya str., 190000, Saint Petersburg, Russia.
e-mail: ProNeft@gazprom-neft.ru
AuthorID: 877389
SPIN-code: 8474-6120
Web of Science: B-7405-2019
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6074-1439>
Scopus: 56370048400