

Геоинформатика. 2022. № 3. С. 47–55.
Geoinformatika. 2022;(3):47–55.

Информационные системы в геологии и геофизике

Научная статья

УДК 50

<https://doi.org/10.47148/1609-364X-2022-3-47-55>

Опыт применения атрибутного анализа при оценке информативности и качества обработки данных региональной сейсморазведки

© 2022 г. — Андрей Александрович Участкин^{а)}, Владимир Александрович Михайлов^{б)}, Александр Олегович Навроцкий^{в)}

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт»; Москва, Россия

^{а)}aauchastkin@vnigni.ru, ^{б)}mikhailovva@vnigni.ru, ^{в)}aonavr@vnigni.ru

Аннотация: В статье рассматриваются возможности количественной оценки информативности и качества обработки материалов региональных сейсморазведочных работ на основе применения атрибутного анализа. Атрибутный анализ позволяет контролировать ход обработки сейсмических временных разрезов, своевременно корректируя граф и выбор основных параметров применяемых процедур обработки, обеспечивая тем самым наиболее эффективное решение поставленных геологических задач при выполнении региональных сейсморазведочных работ по государственному заданию ФГБУ «ВНИГНИ».

Ключевые слова: *атрибутный анализ, контроль качества обработки, соотношение сигнал/помеха*

Для цитирования: Участкин А.А., Михайлов В.А., Навроцкий А.О. Опыт применения атрибутного анализа при оценке информативности и качества обработки данных региональной сейсморазведки // *Геоинформатика*. — 2022. — № 3. — С. 47–55. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2022-3-47-55>.

Information systems in geology and geophysics

Original article

Experience in the use of attribute analysis in assessing the information content and quality of regional seismic data processing

© 2022 — Andrey A. Uchastkin^{а)}, Vladimir A. Mikhailov^{б)}, Alexander O. Navrotsky^{в)}

All-Russian Research Geological Oil Institute; Moscow, Russia

^{а)}aauchastkin@vnigni.ru, ^{б)}mikhailovva@vnigni.ru, ^{в)}aonavr@vnigni.ru

Abstract: The article discusses the possibilities of quantifying the information content and quality of processing materials of regional seismic surveys based on the use of attribute analysis. Attribute analysis allows you to control the processing of seismic time sections, correcting the graph in a timely manner and selecting the main parameters of the processing procedures used processing, providing the most effective solution of the set geological tasks when performing regional seismic surveys according to the state assignment of the FSBI "VNIGNI".

Key words: *attribute analysis, seismic data processing quality control, signal/noise ratio*

For citation: Uchastkin A.A., Mikhailov V.A., Navrotsky A.O. Experience in the use of attribute analysis in assessing the information content and quality of regional seismic data processing. *Geoinformatika*. 2022;(3):47–55. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2022-3-47-55>. In Russ.

Введение

К результатам обработки сейсмических материалов МОГТ-2D в настоящее время предъявляются высокие требования. Требуется получение суммарных временных и глубинно-динамических разрезов, характеризующихся высокой разрешающей способностью при сохранении высокого соотношения сигнал/помеха (SNR — signal-to-noise ratio). Эти требования обусловлены необходимостью решения не только традиционных структурных задач, но и возможностью эффективного решения динамических задач, в частности, прогноза физических

свойств горных пород на основе применения различных способов сейсмической инверсии, AVO анализа и др.

Оценка качества обработки на качественном уровне, т.е. путём визуального анализа результатов обработки является, как правило, субъективной и не учитывает все спектрально-динамические характеристики сейсмической записи. Именно по этой причине на смену качественным, визуально-оценочным критериям оценки полевых сейсмозаписей и результативных суммарных разрезов, пришли количественные оценки качества [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7] и др.

Применение количественного атрибутивного анализа при оценке суммарных временных разрезов МОГТ-2D позволяют достаточно полно охарактеризовать качество получаемых результатов на различных этапах обработки, дополнив и уточнив визуальные критерии и обеспечив тем самым наиболее эффективное решение поставленных геологических задач.

Научно-методическое сопровождение обработки сейсмических материалов

Супервайзерской службой Управления комплексного сопровождения ГРП ФГБУ «ВНИГНИ» проводится научно-методическое сопровождение процесса обработки данных региональных сейсморазведочных работ, получаемых в рамках выполнения Государственного задания ФГБУ «ВНИГНИ», которое включает следующие виды работ:

- согласование этапов и графа обработки;
- согласование изменений в графе обработки;
- обеспечение надлежащего качества обработки и элементов интерпретационного сопровождения обработки (ИСО);
- методическое сопровождение и курирование всех этапов камеральных работ по обработке сейсмических данных;
- проведение рабочих встреч с участием специалиста-эксперта (супервайзера по обработке) и представителей заинтересованных сторон для обсуждения результатов выполнения обработки;
- составление экспертных заключений о качестве и объемах выполненных работ;
- подготовка Актов окончательной приёмки результатов обработки данных региональных сейсморазведочных работ, выполняемых за счёт средств Федерального бюджета.

Научно-методическое обеспечение процесса обработки проводится в комплексе с интерпретационным сопровождением обработки (ИСО). Каждый этап обработки контролируется сейсмическим моделированием по скважинам, расчетом и анализом сейсмических волновых полей в целевых интервалах разреза на изучаемых площадях.

Основными задачами ИСО являются:

- обеспечение группы обработки имеющейся геологической информацией, позволяющей выполнить обработку вновь получаемых сейсмических данных и переобработку ретроспективных сейсмических профилей таким образом, чтобы максимально полно решить поставленные геологические задачи;
- выполнение контроля геологического качества результатов обработки, оперативная увязка новых данных с общими представлениями о геологическом строении изучаемого региона;

- минимизация рисков получения некондиционных материалов на этапе обработки сейсмических данных.

Для обеспечения своевременного и качественного выполнения интерпретационного сопровождения обработки (ИСО) сейсмических данных группа обработки предоставляет в группу интерпретации следующие данные после каждого этапа обработки:

- сейсмограммы ОГТ в окрестностях опорных скважин по характерным сейсмическим профилям;
- результаты и иллюстрации тестирования этапов обработки;
- разрезы скоростей (суммирования, миграции);
- суммарные временные, глубинно-динамические разрезы в окрестности опорных скважин.

Количественные критерии качества обработки сейсмических данных

При сопровождении работ ГРП в ФГБУ «ВНИГНИ» широко применяются количественные оценки информативности и качества обработки, которые рассчитываются по сейсмическим волновым полям на суммарных и мигрированных разрезах, получаемых в процессе обработки данных сейсморазведки в различных регионах РФ: при обработке данных морской, речной и сухопутной сейсморазведки.

Количественные критерии качества обработки рассчитываются на основных этапах (препроцессинг, предварительная обработка, основная обработка, PSTM и PSDM). Это позволяет надёжно оценить изменение спектральных и динамических характеристик сейсмической записи, а также контролировать их как в процессе всего цикла обработки, так и при выборе наиболее оптимальных параметров применяемых процедур при их тестировании.

Для каждой трассы на суммарных временных и мигрированных разрезах рассчитывались следующие стандартные атрибуты сейсмической записи:

- соотношение сигнал/помеха (SNR — signal-to-noise ratio);
- частота максимума амплитудного спектра (F_{max});
- ширина амплитудно-частотного спектра (ΔF).

Применяется также комплексный параметр, который включал в себя вышеперечисленные атрибуты:

$$K_{\text{компл.}} = F_{max} \times \Delta F \times S/N/100.$$

Важным параметром сейсмической записи является соотношение сигнал/помеха. Данное соотношение характеризует степень преобладания энергии сигнала над случайным шумом в заданном временном окне анализируемого суммарного временного разреза. Существует несколько способов

расчёта данного атрибута. Нами был использован наиболее надёжный и простой способ, предложенный Яновским А.К. [1] для вычисления дисперсионного (энергетического) соотношения сигнал/шум по каждому двум соседним трассам анализируемого временного разреза:

$$\frac{S}{N} = \frac{\max\{\hat{B}_{1,2}\}}{1 - \max\{\hat{B}_{1,2}\}},$$

где $\max\{\hat{B}_{1,2}\}$ — наибольшее значение нормированной ФВК двух соседних трасс временного разреза:

$$\hat{B}_{1,2}(k) = \frac{\sum_{j=0}^{m-1-k} a_{1,j} * a_{2,j+k}}{\sqrt{\sum_{j=0}^{m-1} a_{1,j}^2} * \sqrt{\sum_{j=0}^{m-1} a_{2,j}^2}},$$

где в числителе — максимум ФВК двух трасс ($a_{i,j}$ — значение амплитуды j -того отсчёта на i -той трассе); в знаменателе — ФАК i -й и ФАК j -й трасс в нуле.

Результат относится к первой из 2-х анализируемых трасс. Рассчитанные значения соотношения сигнал/помеха (SNR) осредняются на базе нескольких (3-5 трасс) и строятся графики изменения данного параметра (S/N) по профилю. Данный способ базируется на двух допущениях: помеха не коррелирована между соседними трассами, а сигнал сохраняет свою форму от трассы к трассе.

При этом оценка энергии сигнала вычисляется по величинам ФВК для каждого пар соседних трасс, а оценка энергии шума выполняется путём вычитания энергии сигнала из значения АКФ. АКФ определяет суммарную энергию сигнала и случайной помехи, нормированное значение АКФ всегда равно единице.

Результаты атрибутного анализа

Комплексное сопровождение обработки данных региональных сейсморазведочных работ, выполняемых по государственному заданию ФГБУ «ВНИГНИ», осуществлялось по ряду регионов, которые охватывают территорию Западной и Восточной Сибири, Урала, Поволжья, Прикаспия и др.

Контроль качества обработки региональных сейсморазведочных работ к настоящему времени выполнен по 40 объектам, включая сухопутные, морские и речные объекты ГРП на УВС в РФ.

В качестве иллюстрации ниже приведены результаты атрибутного анализа, полученные в процессе оценки информативности и качества обработки данных, по одному из сейсмических профилей № 012211, отработанных в регионе Западной Сибири (Государственное задание Федерального агентства по недропользованию № 049-00012-20-01).

Рассматриваемый сейсмический профиль № 012211 был отработан по центрально-симметричной системе наблюдения с $X_{\max} = 4000$ м и номинальной кратностью 40. Сейсмическая регистра-

ция осуществлялась с использованием геофонов GS-20DX, группирование 12 сейсмоприёмников на базе 25 м, шаг по профилю — 50 м. В качестве источника возбуждения использовались электромагнитные импульсные источники возбуждения сейсмических колебаний — группа источников «Геотон-15». Расстояние между пунктами возбуждения 100 м.

Обработка сейсмических данных МОГТ-2D выполнялась в Новосибирском филиале ФГБУ «ВНИГНИ» с использованием обрабатывающего комплекса GeoClaster и Geovation (CGG) и отечественного ПО: «PreProc», «BONUS».

Процесс обработки был направлен на улучшение динамической выразительности, повышение разрешенности и соотношения сигнал-помеха сейсмической записи, пригодной в дальнейшем для интерпретации.

Граф обработки сейсмических включал следующие основные этапы:

- описание и контроль системы наблюдения;
- учёт верхней части разреза (ВЧР);
- корректирующая фильтрация;
- коррекция статических и кинематических поправок;
- обработка сейсмограмм — подавление регулярных и случайных волн-помех;
- временная миграция до суммирования (PSTM) и обработка мигрированных сейсмограмм;
- финальная обработка суммарных мигрированных разрезов.

В основу выбора графа и параметров процедур обработки были заложены следующие подходы:

- учёт опыта предыдущих работ в данном регионе;
- учёт требований Технического (геологического) задания в том, что обработка данных сейсморазведки должна проводиться в широком диапазоне частот с сохранением истинного соотношения амплитуд, обеспечивать высокое соотношение сигнал/помеха с целью повышения латеральной и вертикальной разрешенности временного разреза;
- использование процедур, обеспечивающих учёт искажающего влияния неоднородностей верхней части разреза (ВЧР) на динамические и кинематические параметры сейсмической записи;
- применение многоступенчатой коррекции статических и кинематических поправок;
- применение процедур обработки, направленных на подавление широкого класса волн-помех различного типа и обеспечивающих надёжное прослеживание целевых отражающих горизонтов и выделение тектонических нарушений;
- получение временных и глубинных разрезов после миграционных процедур до суммирования с построением пластовых глубинно-скоростных мо-

делей для целевых интервалов разреза и основных сеймостратиграфических комплексов.

Граф обработки был адаптирован к сейсмогеологическим условиям (глубинным и поверхностным)/характеристикам регистрируемых сейсмических записей на исследуемой площади. В рамках проведения атрибутного анализа были проанализированы результаты обработки сейсмических материалов по данному профилю, получаемые на ключевых этапах применённого графа обработки.

Основные результаты оценки достигнутой информативности и качества обработки на ключевых этапах обработки по данному профилю № 012211 приведены на рисунках 1–8.

Для выбранных целевых интервалов сейсмической записи строились графики, количественно отображающие характер изменения рассчитанных атрибутов вдоль анализируемых сейсмических профилей. Эти материалы позволяют определять характер изменения основных спектрально-динамических характеристик сейсмической записи по латерали на различных этапах обработки.

На рис. 1, рис. 2 показаны фрагменты временных разрезов, полученных на предварительном и финальном этапах обработки. На рис. 3–8 представ-

лены результаты атрибутного анализа в интервале времён 0–1200 мс.

Выводы по результатам атрибутного анализа по профилю № 012211

Выполненные расчёты (рис. 1–8) показывают, что в результате обработки данных МОГТ-2D:

- осреднённое по профилю значение частотного диапазона ΔF возросло в среднем с 12 Гц до 60 Гц;
- осреднённое по профилю значение частоты максимума амплитудного спектра (F_{max}) возросло в среднем с 17–18 Гц до 31–41 Гц;
- осреднённое по профилю значение сигнал/помеха повысилось практически в 10 раз, составив в среднем 9–10;
- комплексная оценка качества сейсмического материала ($F_{max} \times \Delta F \times S/N/100$) возросла с 2 до 113–121.

Реализованный граф и методика обработки сейсмических материалов региональных работ МОГТ-2D позволили получить сейсмические разрезы, с высоким соотношением сигнал/помеха и широким спектральным составом записи, пригодные для проведения геологической интерпретации и решения поставленных геологических задач.

Рис. 1. Априорный (предварительный) временной разрез в интервале времён 0–1200 мс

Fig. 1. Preliminary time section in the time interval 0–1200 ms

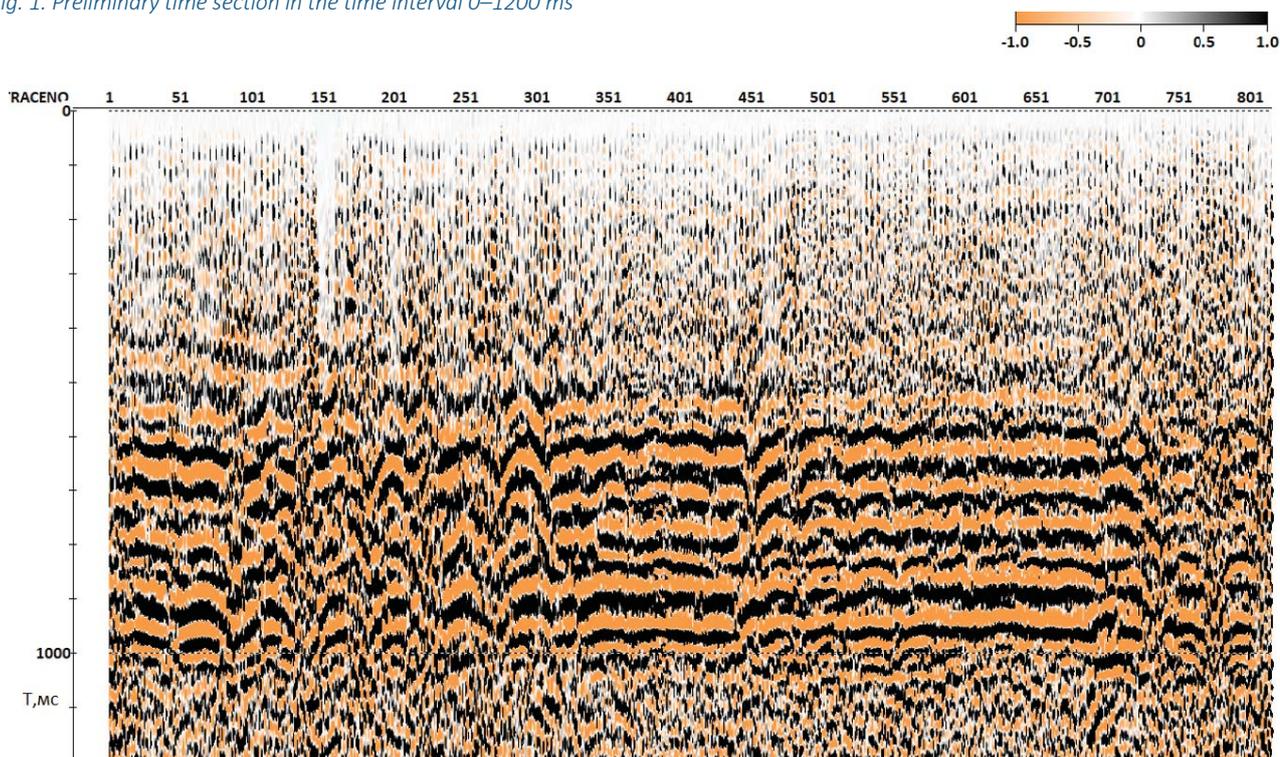


Рис. 2. Временной разрез после финального этапа обработки в интервале времён 0–1200мс

Fig. 2. Time section after the final stage of processing in the time interval 0–1200 ms

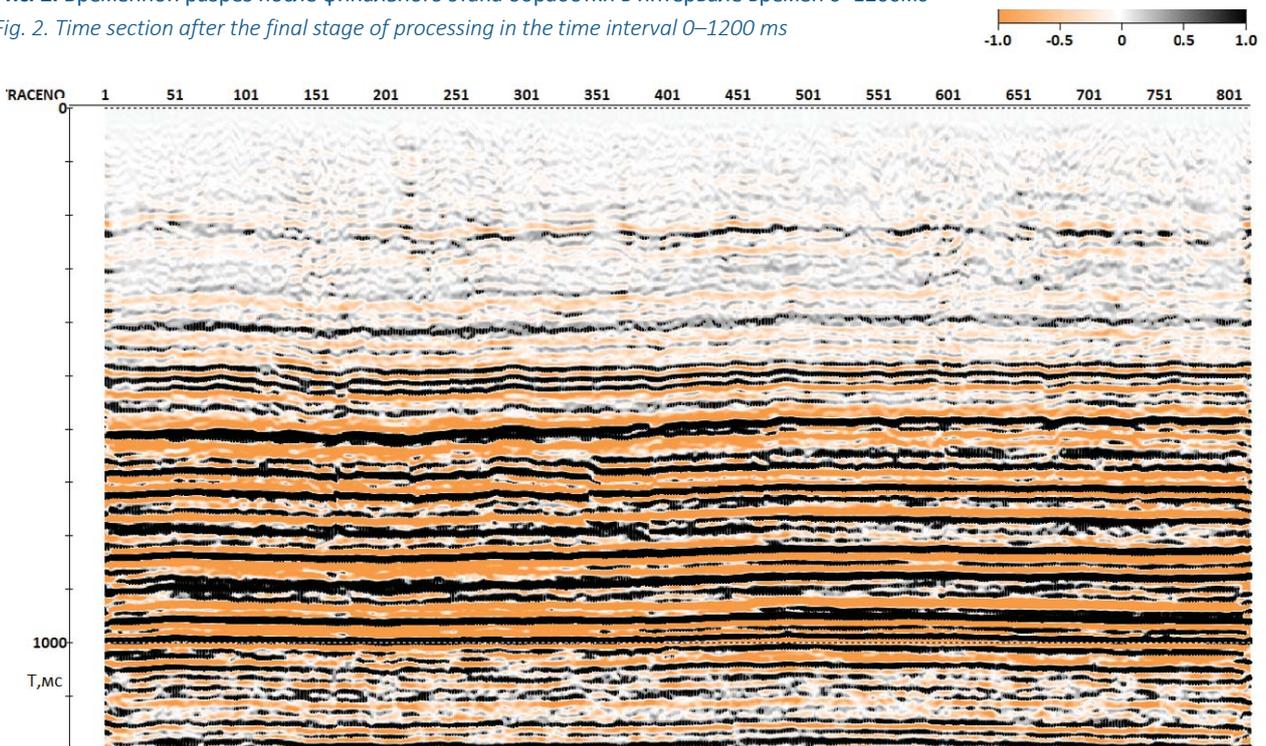
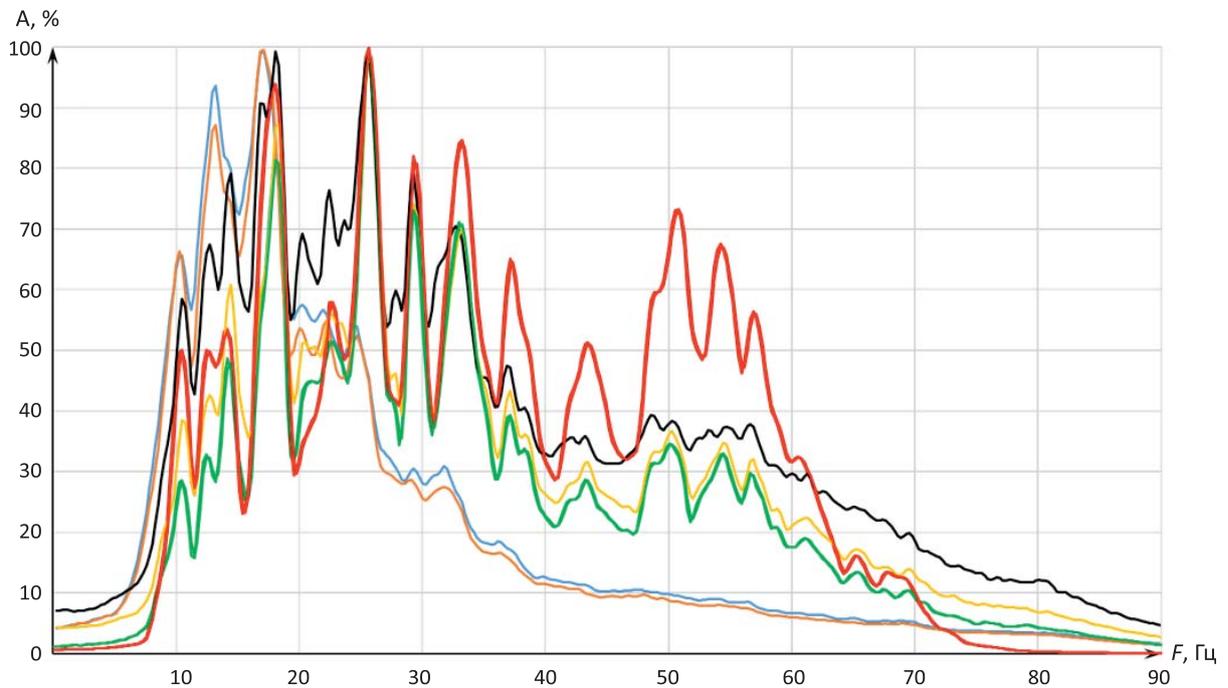


Рис. 3. Сопоставление амплитудно-частотных спектров сейсмической записи в интервале времён 0–1200 мс

Fig. 3. Comparison of amplitude-frequency spectra of seismic recording in the time interval 0–1200 ms



1 2 3 4 5 6

1 — предварительная обработка; 2 — учет ВЧР; 3 — корректирующая фильтрация;
 4 — коррекция статических и кинематических поправок; 5 — миграция PSTM; 6 — финальная обработка
 1 — pre-processing; 2 — accounting for the upper part of the section; 3 — corrective filtering;
 4 — correction of static and kinematic amendments; 5 — migration PSTM; 6 — final processing

Рис. 4. Частота максимума амплитудного спектра (F_{max}) в интервале времён 0–1200 мс

Fig. 4. Frequency of the maximum amplitude spectrum (F_{max}) in the time interval 0–1200 ms

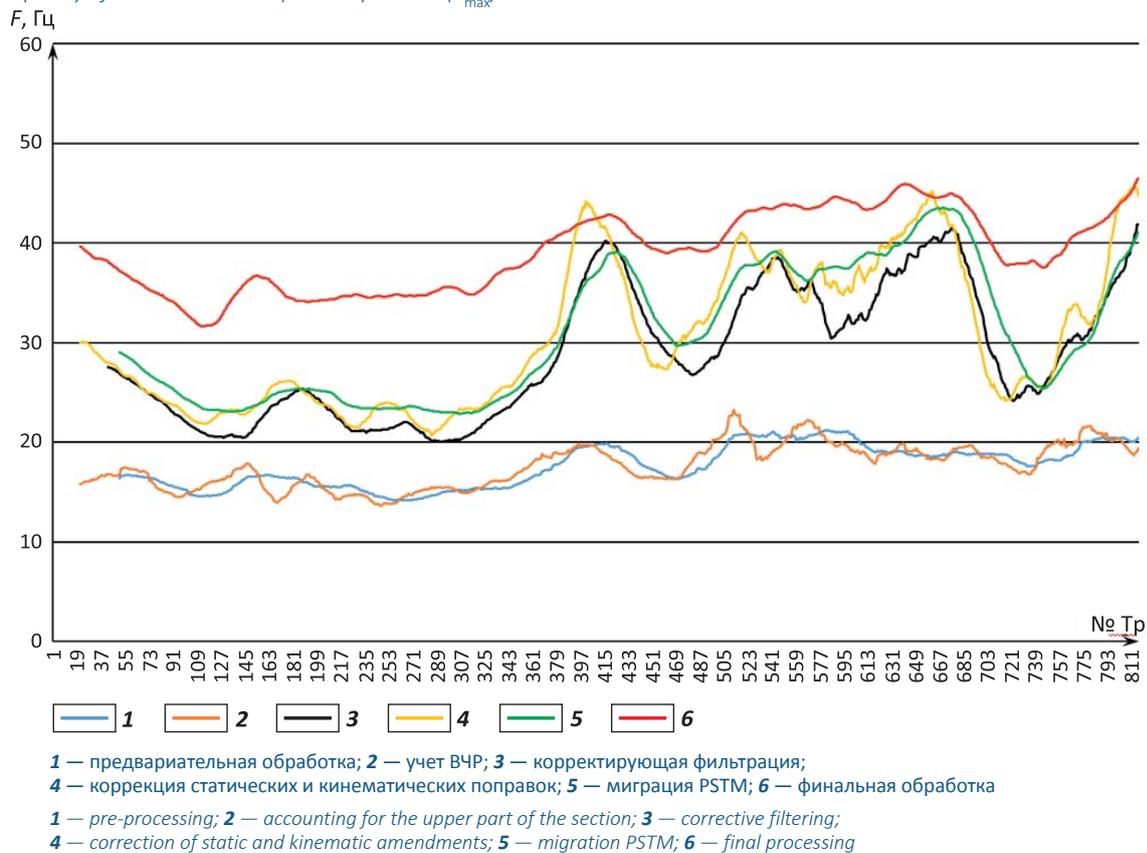


Рис. 5. Частотный диапазон ΔF в интервале времён 0–1200 мс

Fig. 5. Frequency range ΔF in the time interval 0–1200 ms

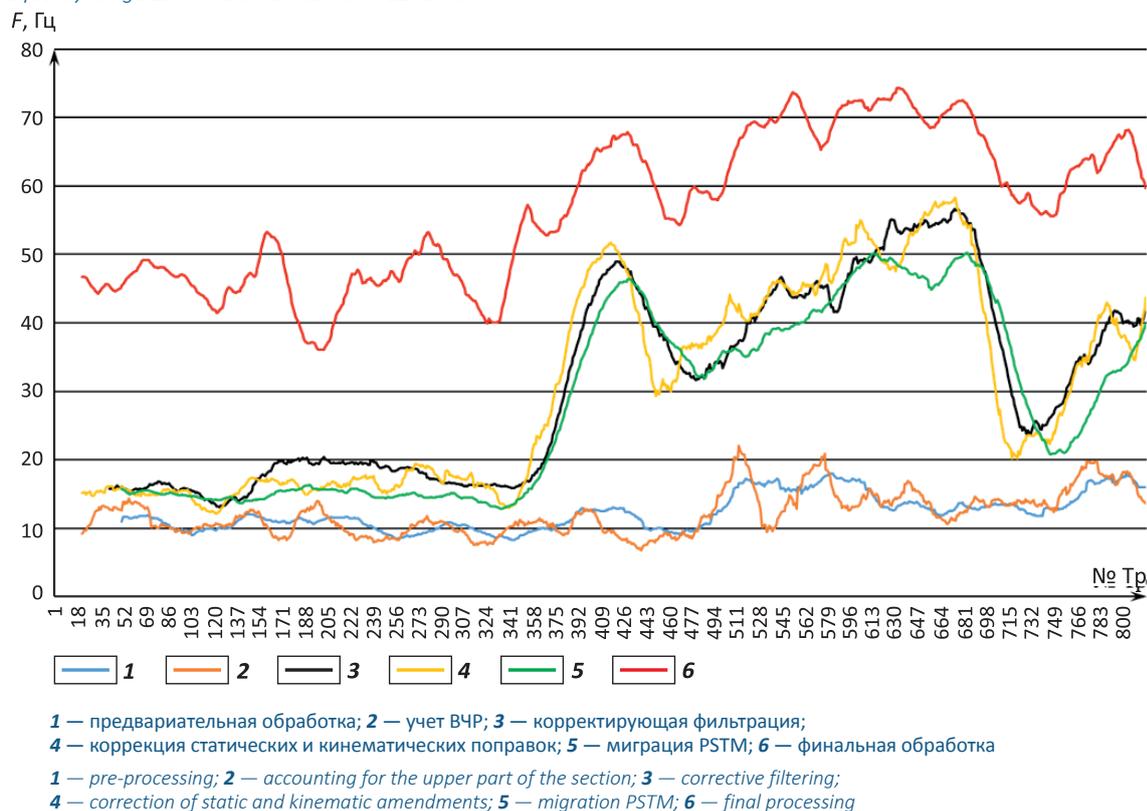


Рис. 6. Соотношение сигнал/помеха в интервале времён 0–1200 мс

Fig. 6. Signal-to-noise ratio in the time interval 0–1200 ms

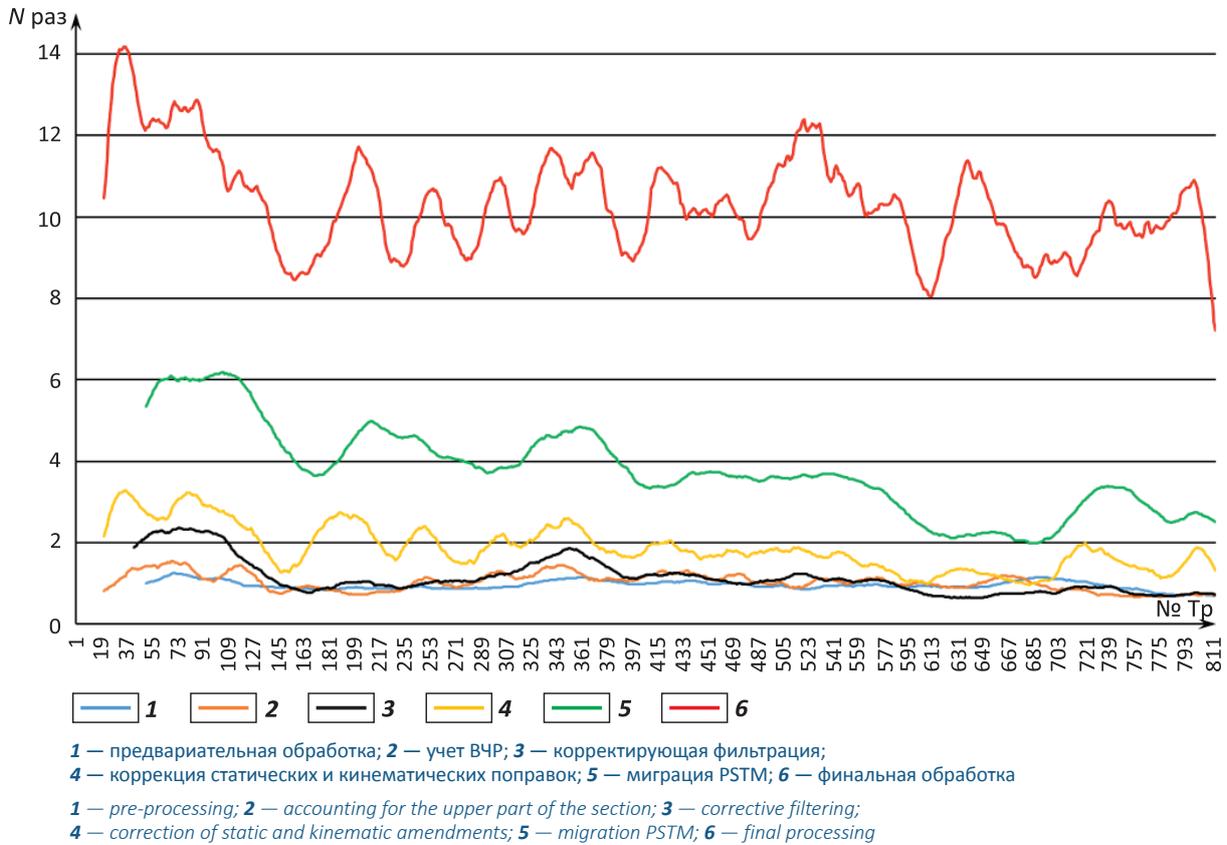


Рис. 7. Сопоставление средних значений соотношения сигнал/помеха в интервале времён 0-1200 мс

Fig. 7. Comparison of the average values of the signal/interference ratio in the time interval 0-1200 ms

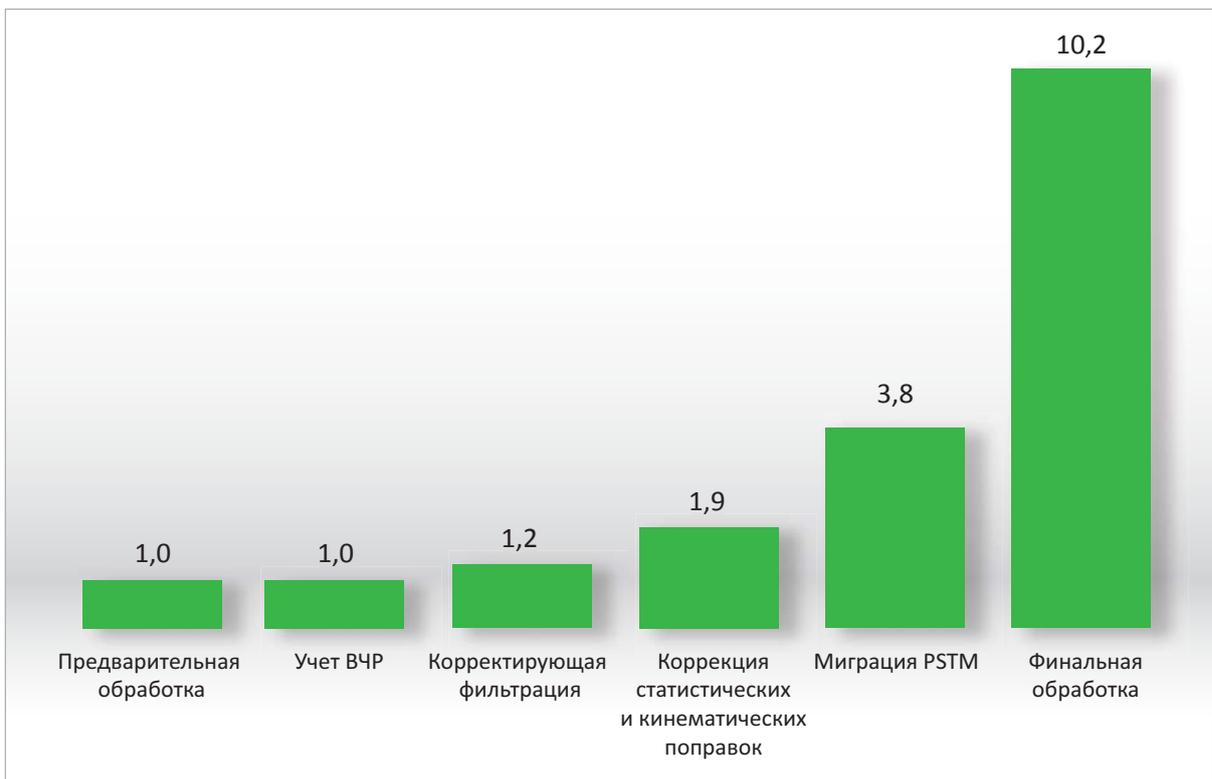
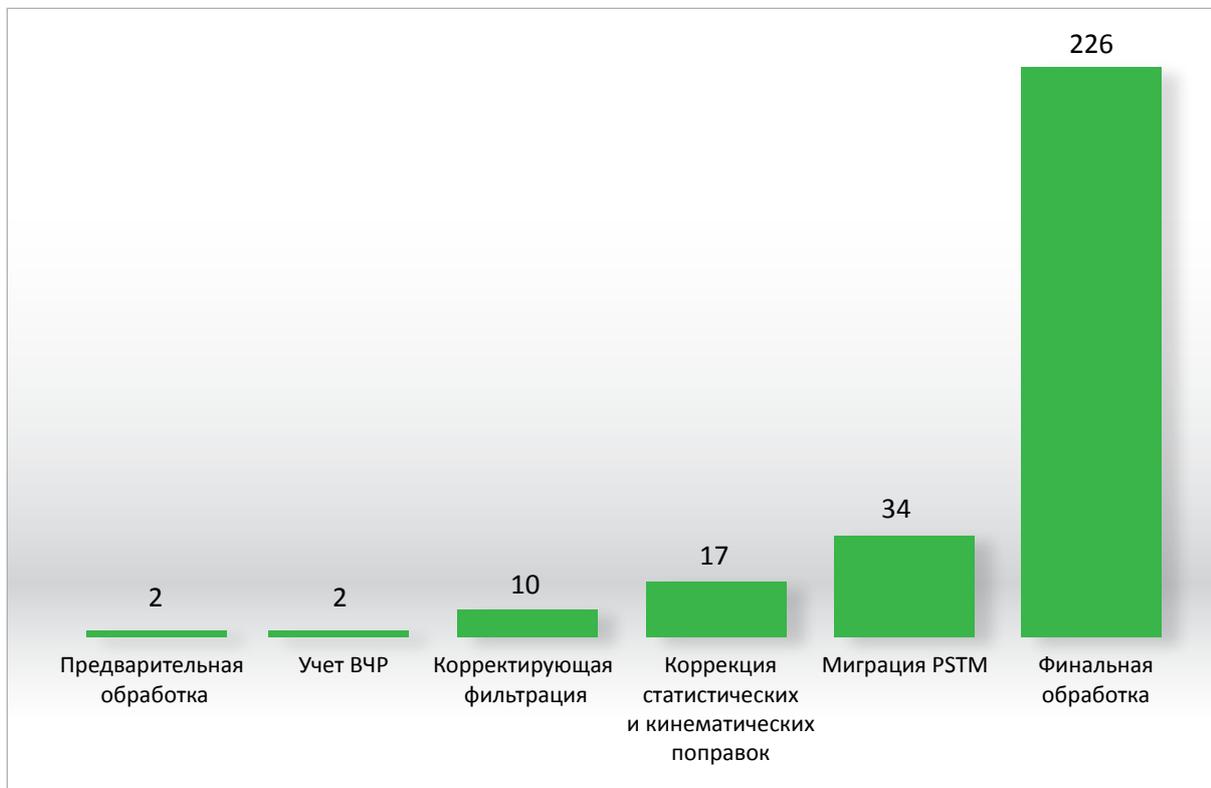


Рис. 8. Сопоставление комплексной ($F_{max} \times \Delta F \times S/N/100$) характеристики качества сейсмического материала в интервале времён 0–1200 мс по этапам обработки

Fig. 8. Comparison of complex ($F_{max} \times \Delta F \times S/N/100$) characteristics of the quality of seismic material in the time interval 0–1200 ms by processing stages



Заключение

1. Применённая методика атрибутивного анализа позволяет на всех ключевых этапах обработки получить объективные оценки качества обработки данных региональных сейсморазведочных работ, обеспечивая тем самым наиболее эффективное решение поставленных геологических задач при выполнении региональных сейсморазведочных работ по государственному заданию ФГБУ «ВНИГНИ».

2. Применение количественного атрибутивного анализа позволило контролировать ход обработки и переобработки, своевременно корректируя граф и выбор основных параметров применяемых процедур обработки.

3. Для более глубокого анализа качества обработки необходимо её использовать в сочетании с интерпретационным сопровождением (ИСО) обработки сейсмических материалов.

Список источников

1. Белоусов А.В. Стандартные оценки качества полевого сейсмического материала // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2011. – Т. 37. – № 3. – С. 31–36.
2. Гогоненков Г.Н., Кравцов Е.Я., Черняк В.С. Оценка эффективности предварительной обработки сейсмических данных // Прикладная геофизика: сборник статей. – Вып. 78. – М.: Недра, 1975. – С. 3–15.
3. Закариев Ю.М., Грибов Э.Н., Дрибинский И.В. Контроль качества сейсмических высокоплотных исследований при высокой производительности работ // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2022. – Т. 73. – № 2. – С. 71–77.
4. Крылов И.Б. Записки о качестве первичного сейсмического материала и его оценках. М.: Научные технологии, 2016. – 340 с.
5. Никульников А.Ю., Горбачёв С.В., Мясоедов Д.Н., Нурмухамедов Т.В. Применение количественного контроля качества в процессе обработки данных сейсморазведки // Геофизика. – 2019. – № 1. – С. 55–64.
6. Тищенко И.В., Тищенко А.И., Жуков А.А. Контроль качества сейсмических данных – проблемы и решения // Технологии сейсморазведки. – 2008. – № 3. – С. 68–77.
7. Хаттон Л., Уэрдингтон М., Мейкин Дж. Обработка сейсмических данных. Теория и практика / Пер. с англ. А.Л. Малкина. – М.: Мир, 1989. – 216 с.
8. Li B., Wang D., Liu Y., Liu C. Local SNR estimation method for seismic data // SEG Technical Program Expanded Abstracts. – 2016. – P. 4720–4724. DOI: 10.1190/segam2016-13853984.1.

References

1. *Belousov A.V.* Standartnye otsenki kachestva polevogo seismicheskogo materiala [Standard evaluations for the quality of field seismic material]. *Pribory i sistemy razvedochnoi geofiziki*. 2011;37(3):31–36.
2. *Gogonenkov G.N., Kravcov E.Ya., Chernyak V.S.* Otsenka effektivnosti predvaritel'noi obrabotki seismicheskikh dannykh [Evaluation of the efficiency of seismic data preprocessing]. In: *Prikladnaya geofizika: sbornik statei*. Iss. 78. Moscow: Nedra; 1975. pp. 3–15.
3. *Zakariyev Yu.Sh., Gribov Eh.N., Dribinskii I.V., Marutyayn V.G., Ryaboshapko S.M.* Kontrol' kachestva seismicheskikh vysokoplotnykh issledovaniy pri vysokoi proizvoditel'nosti rabot [Quality control of seismic high-density surveys with high productivity]. *Pribory i sistemy razvedochnoi geofiziki*. 2022;73(2):71–77.
4. *Krylov I.B.* Zapiski o kachestve pervichnogo seismicheskogo materiala i ego otsenkakh [Notes on the quality of primary seismic material and its evaluations]. Moscow: Nauchnye tekhnologii; 2016. 340 p.
5. *Nikulnikov A.Y., Gorbachev S.V., Myasoedov D.N., Nurmukhamedov T.V.* The application of quantitative quality control in the processing of seismic data. *Geofizika*. 2019;1:55–64.
6. *Tishchenko I.V., Tishchenko A.I., Zhukov A.A.* Kontrol' kachestva seismicheskikh dannykh — problemy i resheniya [Seismic data quality control-problems and solutions]. *Tekhnologii seismorazvedki*. 2008;3:68–77.
7. *Hatton L., Worthington M.H., Makin J.* Seismic data processing: theory and practice. London: Blackwell, 1986. 177 p.
8. *Li B., Wang D., Liu Y., Liu C.* Local SNR estimation method for seismic data. In: *SEG Technical Program Expanded Abstracts*. 2016. pp. 4720–4724. DOI: 10.1190/segam2016-13853984.1.

Статья поступила в редакцию 21.09.2022, одобрена после рецензирования 23.09.2022, принята к публикации 24.09.2022.
The article was submitted 21.09.2022; approved after reviewing 23.09.2022; accepted for publication 24.09.2022.

Информация об авторах

Участкин Андрей Александрович

Ведущий специалист отдела научно-методического сопровождения ГРП ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт»
117105 Москва, Варшавское шоссе, д. 8
e-mail: aauchastkin@vnigni.ru

Михайлов Владимир Александрович

Заведующий отделом научно-методического сопровождения ГРП ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт»
117105 Москва, Варшавское шоссе, д. 8
e-mail: mikhailovva@vnigni.ru

Навроцкий Александр Олегович

Начальник управления комплексного сопровождения ГРП ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт»
117105 Москва, Варшавское шоссе, д. 8
e-mail: aonavr@vnigni.ru

Information about authors

Andrey A. Uchastkin

Leading Specialist of the Department of Scientific and Methodological support of the Geological Department All-Russian Research Geological Oil Institute
8, Varshavskoye sh., Moscow, 117105, Russia
e-mail: aauchastkin@vnigni.ru

Vladimir A. Mikhailov

Head of the Department of Scientific and Methodological support of the Geological Department All-Russian Research Geological Oil Institute
8, Varshavskoye sh., Moscow, 117105, Russia
e-mail: mikhailovva@vnigni.ru

Alexander O. Navrotsky

Head of the Department of Integrated Exploration Support All-Russian Research Geological Oil Institute
8, Varshavskoye sh., Moscow, 117105, Russia
e-mail: aonavr@vnigni.ru