

Количественная оценка качества полевого материала в методах естественных сейсмических полей

■ Пономаренко Д.В., Вихорева А.А., Приходько А.В.,
Пыхалов В.В., Рассказов А.Н., «Октопус», г. Астрахань.
■ Горбатилов А.В., ИФЗ РАН, г. Москва.

Аннотация. Эффективность использования методов естественных сейсмических полей, для решения геологических, геолого-промысловых и иных задач, определяется качеством полевого материала. Как и в сейсморазведке, в методах естественных сейсмических полей, первичная оценка качества является важнейшим элементом, так как непосредственно в полевых условиях позволяет принять решение о возможности использования полевых данных для решения поставленных перед работами задач. При выполнении сейсморазведочных работ используется нормативная база, а также наработанная система оценки качества. В методах естественных сейсмических полей отсутствуют общие требования к оценке качества полевого материала. В настоящей статье обосновывается возможность использования методик оценки качества полевого материала в методах естественных сейсмических полей, с учётом их специфики, на тех же принципах что и в сейсморазведке. При этом предлагается использовать терминологию, применяемую в сейсморазведке. Такой подход позволяет адаптировать нормативные требования при оценке качества полевого материала, используемые при сейсморазведочных работах, к работам методами естественных сейсмических полей.

Ключевые слова: методы естественных сейсмических полей, количественная оценка качества, полевой материал.

Введение

Предлагаемая статья является продолжением темы адаптации новых сейсмических технологий, основанных на регистрации естественного сейсмического поля, к принятым нормам, в широко применяемых технологиях, прежде всего сейсморазведке.

В статье [1] были рассмотрены особенности обращения с оборудованием, применяемым в методах естественных сейсмических полей (ЕСП). Настоящая статья посвящена возможности количественной оценке качества полевых записей, получаемых при регистрации естественного сейсмического поля.

Для этих целей в сейсморазведке существует многообразие методов и методик, реализованных в программных продуктах, которые позволяют по определённым, наперед заданным критери-

ям, оценивать качество полевого материала. Методики и методы, а также критерии оценки качества, выбираются, в соответствии с нормативными документами, результатами ранее выполненных работ, либо на основании специальных опытных работ.

Количественная оценка качества полевого материала предполагает, что к такой оценке допущены материалы, зарегистрированные, в соответствии с проектными решениями, с соблюдением технологии проведения полевых работ (как правило, изложенной в проектах на выполнение работ, и уточнённой в процессе опытных исследований), полученные с использованием технически исправного оборудования.

При рассмотрении настоящей статьи, будем считать, что методика проведения работ, изложенная в проекте на проведе-

ние работ, позволяет решать поставленные геологические задачи; работы выполняются с соблюдением требований проекта, инструкций, регламентов, и другой нормативной документации.

Соответственно, при изложенных выше условиях, передаваемый в обработку полевой материал, при оценках «хорошо» и «удовлетворительно», должен обеспечивать решение геологических задач.

Количественной оценке, при выполнении сейсморазведочных работ, подвергаются: текущее состояние каналов записи (выполняемые перед каждым возбуждением (приёмом)), а также соответствие полевой записи наперед заданному диапазону оценок [2]. Оценка качества выполняется на полевых вычислительных центрах, с использованием современных персональных компьютеров.

В методах ЕСП выполнение количественной оценки качества полевого материала, в том числе и на полевых вычислительных центрах, может быть осуществлено на основе тех же принципов, что используются и в сейсморазведке, но с учётом особенностей применяемой аппаратуры, методики работ и регистрируемого сейсмического сигнала.

Возможности количественной оценки качества полевого материала цифровыми методами, при работах методами ЕСП

Для методов ЕСП отсутствует нормативная база по количественной оценке качества полевого материала.

Анализы используемой нормативной базы в сейсморазведке указывают на возможность их успешного использования при количественной оценке качества полевых материалов в методах ЕСП.

Основной единицей объёма полевого

материала в сейсморазведке является физическое наблюдение - совокупность сейсмограмм, полученных при постоянном положении пункта возбуждения и расстановки сейсмоприемников [3].

В методах ЕСП источник возбуждения не дает первовступлений, и не имеет отметки момента возбуждения (как в активных методах сейсморазведки и ВСП). В методах ЕСП есть понятие начала записи и её окончания.

В связи с этим, можно скорректировать понятие физическое наблюдение, для его использования в методах ЕСП, понимая под ним совокупность сейсмограмм, полученных при неизменной отметке начала регистрации и окончания регистрации, при постоянном положении расстановки сеймостанций (сейсмоприемников).

Понятие сейсмограмма, принятое в сейсморазведке – «совокупность сейсмических трасс, сгруппированных по общему признаку», где сейсмическая трасса - это «совокупность сейсмических сигналов, зарегистрированных в пункте приема в течение заданного времени после возбуждения упругой волны» [3].

Общим признаком может быть общий пункт возбуждения, общий пункт приема, общая глубинная точка, общая средняя точка сейсмических трасс и т. д.

В методах ЕСП, зарегистрированные полевые записи разбиваются на небольшие, по длительности, интервалы времени, с соблюдением синхронности для каждой из компонент – на кадры.

В методах ЕСП общим признаком для объединения сейсмотрасс в сейсмограмму является их объединение по интервалу времени регистрации (общему времени записи).

В таком случае, каждый кадр может быть эквивалентен понятию сейсмограммы.

Таким образом, сейсмограмма в методах ЕСП (кадр) – это совокупность сейсмических трасс, объединённых по общему признаку – общий интервал времени регистрации.

Сейсмическая трасса в методах ЕСП – это совокупность сигналов, зарегистрированных в пункте приема, в течение заданного времени, после начала регистрации на каждой из компоненте.

Как и в сейсморазведке, сейсмограмма может быть, как однокомпонентной, так и иметь несколько компонент регистрации (с индексацией в сейсморазведке С) [4].

Если метод ЕСП использует позиционные способы корреляции при обработке, то в этом случае сейсмограмма будет состоять из набора кадров, одновременно зарегистрированных на всей группе сейсмостанций, участвующих в расстановке.

Таким образом, если запись выполняется одной трёхкомпонентной сейсмостанцией, то каждый кадр будет являться трёхкомпонентной сейсмограммой, каждая сейсмограмма при этом будет состоять из трёх трасс. Соответственно, физическое наблюдение будет состоять из всех трехкомпонентных сейсмограмм (кадров), зарегистрированных сейсмической станцией.

Если метод ЕСП использует позиционные способы корреляции при обработке, в этом случае физическое наблюдение будет состоять из всех трёхкомпонентных сейсмограмм, зарегистрированных на всей группе сейсмостанций участвующих в расстановке.

Для количественной оценки качества физического наблюдения, в сейсморазведке используют отношение параметров полезного сигнала к помехе.

Здесь следует отметить следующий аспект:

В сейсморазведке, под помехой понимаются, как регулярные волны-помехи (в МОГТ это кратные волны, дифрагированные и др.), так и нерегулярные.

Для снижения влияния регулярных волн-помех, используются специальные проектные решения, заложенные в методику отработки, а также сложные процедуры по их удалению в процессе обработки.

Для оперативного анализа качества полевого материала, используются оконные оценки соотношения сигнал/помеха, где в качестве помехи принимаются параметры микросейсм, а полезный сигнал оценивается по специальным алгоритмам в окнах, в которых регистрируется целевые отраженные волны [2].

В соответствии с такой оценкой сигнал/помеха, осуществляется количественная оценка качества полевого материала [2].

При этом энергия волн-помех (кратных волн, преломленных и т.д.) не учитывается, так как эти волны-помехи устраняются в процессе обработки различными видами фильтрации.

В большинстве случаев, использование полевых вычислительных центров, позволяет осуществить предварительную обработку полевого материала, и дать полноценную оценку качества принимаемого полевого материала.

В соответствии с инструкцией по сейсморазведке, оценка качества принимаемых физических наблюдений (принимаемого полевого материала) осуществляется по следующей методике:

Для каждого физического наблюдения первоначально оценивается количество сейсмограмм, соответствующих требованиям инструкций (и иным условиям приёма) - принимаются, или не принимаются.

Оценка «брак» (коэффициент качества «0») для сейсмограммы ставится в случае:

- наличия технического брака (нечитаемая отметка момента, превышение величин взаимных влияний каналов друг на друга и т.д.);

- общее количество сейсмотрасс с техническими дефектами (например, неисправный канал и т.д. и т.п.), или с соотношением сигнал/помеха, меньше порогового (когда зашумлённость микросейсм, промышленными помехами и т.д. выше критического) превышает наперёд заданный порог.

Оценка качества «удовлетворительно» - если уровень сигнал/помеха в сейсмотрассах не менее наперёд заданного порога, и при небольших технических нарушениях (например, количество неработающих каналов в сейсмограмме не более пороговой величины).

Сейсмограмма оценивается оценкой «хорошо», когда при отсутствии технического брака величина соотношения сигнал/помеха не менее наперёд заданного уровня.

По количеству сейсмограмм, объединённых в единое физическое наблюдение, выполняется оценка качества принимаемого полевого материала по формуле [10,11]:

$$K = (1 \cdot q_1 + 0.9 \cdot q_2) / (q_1 + q_2 + q_3), \quad (1)$$

Где K - коэффициент качества принимаемого объема материала; q_1 - количество физических наблюдений принятых с оценкой «хорошо»; q_2 - с оценкой «удовлетворительно»; q_3 - с оценкой брак.

Естественное сейсмическое поле можно охарактеризовать волновыми пакетами стационарными (распределение спектральной плотности, которых при бесконечно длительном периоде регис-

трации может быть принято в первом приближении постоянным), и нестационарным (у которых распределение спектральной плотности зависит от времени наблюдения).

Нестационарные волны-помехи создаются, как правило, локальными источниками, расположенными на поверхности (по отношению к регистрирующим станциям) - как техногенными и антропогенными, так и природными - ветровыми, животными и пр.

Этот тип волн, в большинстве методов ЕСП, может быть отнесен к волнам-помехам.

В некоторых методах (например, при мониторинге гидроразрыва) изучаются продольные и поперечные волны, возникающие на глубине, при трещинообразовании, вызванном техногенным воздействием на пласт - гидроразрывом.

Их проявление в ЕСП резко отличается от проявления волн-помех, создаваемых поверхностными источниками.

В этих методах присутствует первовступление, связанное, собственно, с техногенным воздействием на пласт. Однако волновой фронт, возникающий от трещинообразования, обладает более низкой энергией, чем энергия первовступлений.

Через непродолжительное время, регистрируемое поле приобретает все признаки ЕСП, что позволяет использовать методики полевого контроля качества для методов ЕСП (с учётом позиционности для регистрируемого поля, о которой будет сказано ниже).

Стационарные волны создаются постоянно действующими источниками, и представлены волнами Рэлея и Лява (обладающие наибольшей энергией), и менее энергетически выдержанными вертикально направленными и иными типами волн.

Стабильность в распределении спектральной плотности, при длительных наблюдениях стационарного поля (прежде всего поля поверхностных волн), подтверждено многочисленными исследованиями [5-9 и др.]. Такое распределение спектральной плотности носит региональный характер.

В качестве количественной оценки соотношения сигнал/помеха, можно использовать отношение параметров поверхностных волн, к аналогичным параметрам нестационарного естественного сейсмического поля.

Критерии оперативной количественной оценки качества сейсмограмм в методах ЕСП

Рассмотрим критерии количественной оценки качества физических наблюдений (при условии соблюдения требований к методике проведения работ и технической исправности полевой аппаратуры).

Как и в сейсморазведке, для количественной оценки качества сейсмограмм, составляющих физическое наблюдение, в методах ЕСП возможно использовать [2] амплитудные, корреляционные, частотные, спектральные оценки, а так же соотношение сигнал/шум.

Для методов, использующих только принципы поляризационной корреляции (НСЗ, ММЗ и ряд других), критерием отбраковки трехкомпонентной сейсмограммы, служит превышение порога, рассчитанного по сейсмотрассе параметра (амплитудного, корреляционного, частотного, спектрального). В качестве порога может быть принята величина тройного среднеквадратического отклонения параметра (амплитудного, корреляционного, частотного, спектрального), относительно его математического ожидания.

Превышение выбранного порога

является указанием на отбраковку сеймотрассы.

Порог = $МО(Параметра) + n S(Параметра)$, (2)

Где МО математическое ожидание (средняя величина/) параметра за весь период наблюдения; n – множитель (может быть как положительным, так и отрицательным); S – величина среднеквадратического отклонения параметра.

Для методов, использующих позиционную корреляцию (мониторинг гидроразрыва, локация микросейсмических событий, и ряд других) требуется дополнительный критерий: количество отбракованных сейсмограмм, составляющих физическое наблюдение.

Амплитудные оценки

В большинстве случаев в сейсморазведке, для отбраковки сейсмических трасс и сейсмограмм, используется: сумма абсолютных значений амплитуды, сумма амплитуд, среднеквадратическое значение амплитуд в окне анализа.

Соответственно, аномальные изменения этих параметра (превышение порога, то есть в формуле 1 коэффициент « n » – положительный), могут свидетельствовать о появлении каких либо помех (например, порыв ветра, движение автотранспорта, неисправность канала записи и т.д.), и такая трасса должна быть исключена из обработки.

Аномальные изменения этого параметра (меньше наперед заданного порога, то есть в формуле 2 коэффициент « n » – отрицательный) могут свидетельствовать о неисправности аппаратуры.

В методах ЕСП аналогичная ситуация, так как аномальные изменения энергии, вызываемые аналогичными (как и в сейсморазведке) причинами, резко снижают возможность использования

таких сейсмограмм. Эти сейсмограммы либо требуют дополнительных процедур обработки (фильтрации), либо, в ряде случаев, не могут быть использованы для решения геологических задач (то есть являются браком).

В методах ЕСП, для выявления таких аномальных кадров, используются параметры, в виде суммы абсолютных амплитуд, суммы квадратов амплитуд, максимальная абсолютная амплитуда, сумма амплитуд сейсмотрассы в кадре (то есть окно выбирается равным длине кадра).

Соответственно, превышение, каким либо параметром порога, может свидетельствовать о появлении каких либо помех (например, порыв ветра, движение автотранспорта, неисправность канала записи и т.д.).

Разделить аномальное поведение параметра на вызванные неисправнос-

тью тракта записи либо повышенной зашумлённостью можно при использовании различных величин порога.

Если аномальное поведение параметров сейсмотрассы в кадре связано неисправностью тракта записи (технической неисправностью тракта записи, разрядом аккумуляторной батареи, загрязнением контактов), то такой кадр получает оценку «брак» и полностью исключается из обработки.

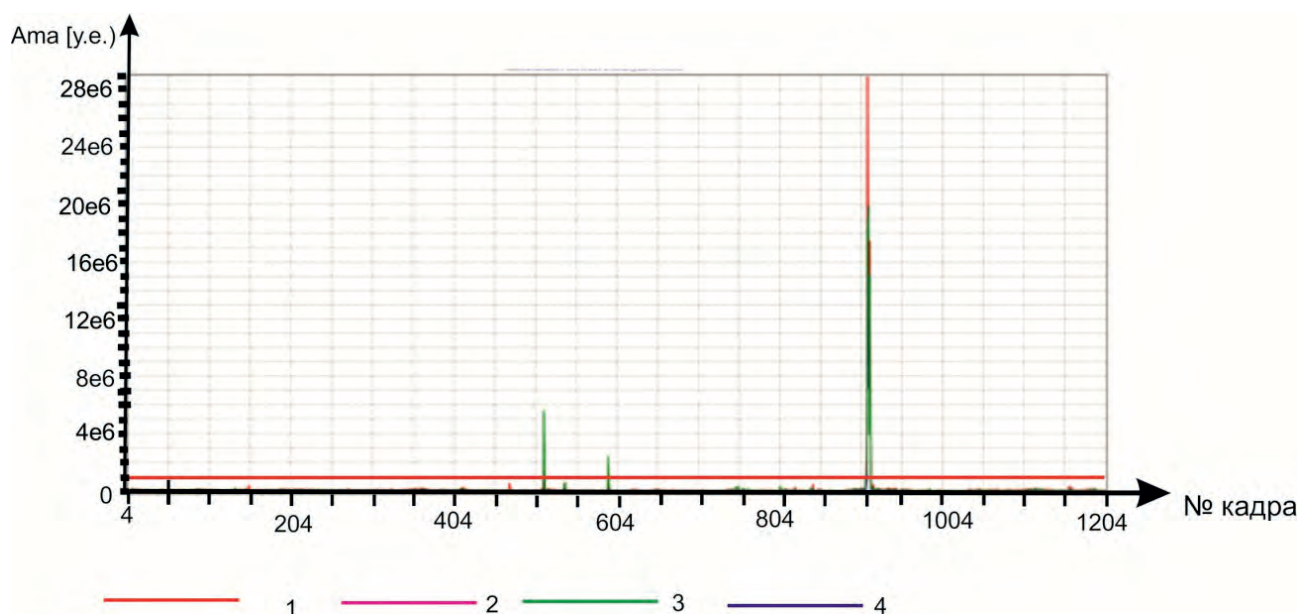
В отличие от сейсморазведки, в естественном сейсмическом поле, трудноудаляемыми при обработке, являются короткопериодные (импульсные) помехи. Их амплитуда может в разы превышать среднюю величину амплитуды в кадре.

Соответственно амплитудный параметр может служить для выявления кадров, содержащих сейсмотрассы с аномальными всплесками энергии.

▼ Рис. 1. Покадровое распределение параметра «Максимальная амплитуда» на одном из пикетов при работах на Астраханском ГКМ.

Условные обозначения:

1. Пороговое значение для оценки зашумлённости кадров по параметру «Максимальная абсолютная амплитуда в кадре»;
2. Покадровая максимальное абсолютная величина амплитуды в кадре по компоненте X;
3. Покадровая максимальное абсолютная величина амплитуды в кадре по компоненте Z;
4. Покадровая максимальное абсолютная величина амплитуды в кадре по компоненте Y;



Такие кадры должны оцениваться после выполнения дополнительной фильтрации. Если фильтрация не позволяет удалить такие помехи, то такой кадр получит оценку «брак», либо будут требовать проведения дополнительных процедур фильтрации (оценка «удовлетворительно»).

На рис.1 показана вариограмма параметра максимальной положительной амплитуды. Здесь отчётливо видно наличие кадров, содержащих аномальные всплески амплитуды.

Таким образом, амплитудные оценки могут служить, для выявления кадров (сейсмограмм), обладающих аномальными свойствами.

Корреляционные оценки

В сейсморазведке результатом корреляционных оценок является оценка доминирующей частоты, и определение параметра сигнал/шум, путём расчёта функции автокорреляции (АКФ) и взаимной корреляции (ФВК), соответственно [2].

При этом под шумом понимается сигнал, не коррелируемый от одной трассы к другой.

В методах ЕСП данные параметры также могут являться мерой стабильности записи, но с определёнными оговорками:

Дело в том, что в отличие от сейсморазведки, где есть мощный импульс послышки (источник) сигнала, в методах ЕСП мы имеем дело не с одним источником, а с группой источников. Соответственно, функция взаимной корреляции между соседними кадрами, а также функция АКФ может быть не достаточно стабильной, даже при отсутствии помех, что связано с интерференцией поверхностных волн, возбуждаемых различными источниками, квазигармоничностью интерференционного сигнала, и

рядом других причин.

Кадры, по которым рассчитаны параметры, на основе АКФ и ФВК, могут быть использованы, только при получении надёжных оценок порога.

Спектральные оценки

В сейсморазведке к спектральным оценкам относятся [2]: энергия спектра; энергия спектра на заданной частоте (например, пиковой); пиковая частота; центральная частота; ширина спектра; процентная часть спектра.

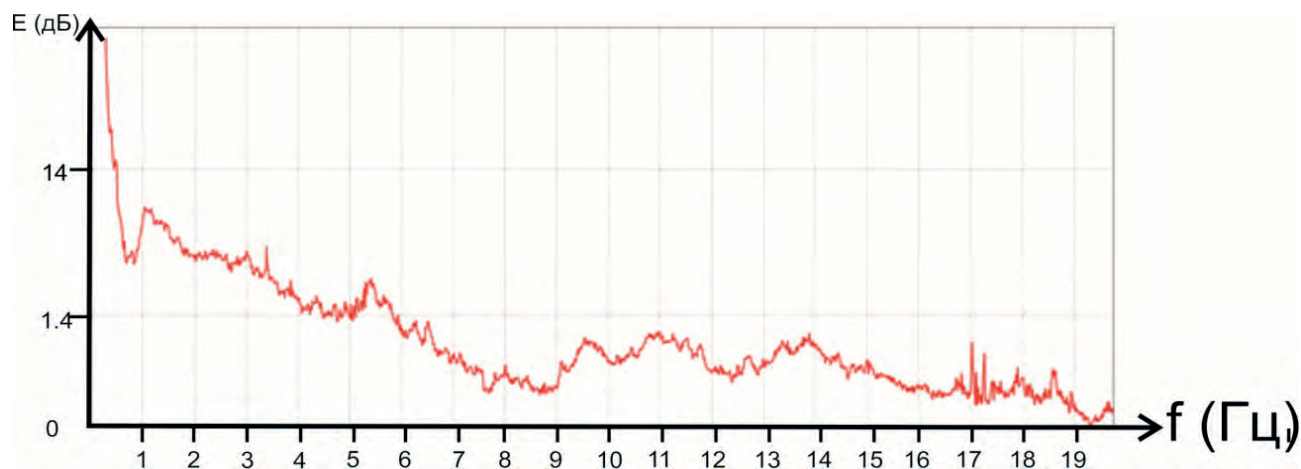
В методах ЕСП спектральным оценкам придаётся особое значение, так как, при отсутствии первовступлений, надёжное выделение того, или иного типа волн, наилучшим образом выполняется в спектральной области.

Волновой пакет, созданный поверхностными волнами, имеет определённое распределение спектральной плотности (в инфразвуковой области в большей степени отвечающей гиперболе, в акустическом диапазоне частот - ближе к параболе), и такое распределение спектральной плотности, в целом, носит региональный характер (стабильное расположение основных максимумов и минимумов).

Для выявления сейсмотрасс (кадров) с аномальными свойствами, можно использовать следующие спектральные оценки:

Энергия спектра

В целом, энергия спектра сейсмотрассы в кадре, при отсутствии помехи, не должна резко изменяться от кадра к кадру, и быть больше, или меньше, наперёд заданного порога (превышении порога может свидетельствовать о появлении дополнительного шума (движение автотехники, шумы создаваемые животными, ветровые помехи)).



▲ Рис. 2. Типичное распределение спектральной плотности на Астраханском своде по компоненте Z.

Значительное падение энергии может свидетельствовать о технической неисправности сейсмостанции в момент записи.

При отсутствии стационарных источников помех (локальные источники, связанные с бурением скважин, работой генераторов и др.), есть чёткое распределение минимумов и максимумов в распределении спектральных линий, особенно хорошо отмечаемых в инфразвуковом диапазоне.

Эти минимумы и максимумы определяются, как удаленными источниками (штормовые микросейсмы, влияние антропогенных источников (удаленные населённые пункты) и т.д.), так и особенностью строения верхней части разреза (появление стабильных локальных максимумов в частотном диапазоне более 10 Гц – для каждой площади это свои интервалы частот).

На рис.2 показано характерное распределение спектральной плотности на Астраханском своде (вертикальная компонента).

Как видно из рисунка, для Астраханского свода характерно наличие максимума спектральной плотности на частотах, менее 0,5 Гц, минимума на частотах от 0,5 до 1 Гц, области повышения энергии на частотах 1-4 Гц; области понижен-

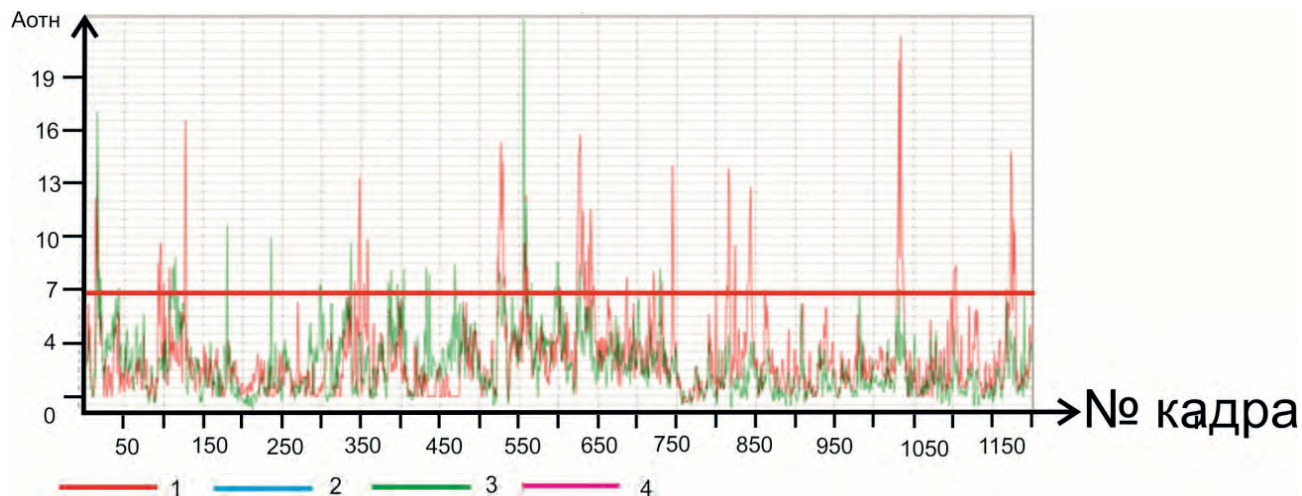
ных энергий в диапазоне частот 7-10 Гц, области повышенных энергий в диапазоне 10-15 Гц, близкое распределение локальных минимумов и максимумов в распределении спектральной плотности для поверхностных волн и на горизонтальных компонентах.

Соответственно, соотношение спектральной плотности в областях минимумов и максимумов, при отсутствии дополнительных источников энергии (волн различного типа), не должно резко изменяться для сейсмотрасс от кадра к кадру.

Поэтому кадры, у которых это соотношение хотя бы для одной сейсмотрассы превышает пороговое, либо должны быть исключены из дальней обработки (брак), либо потребуют использование специальных фильтров – рис. 3.

При работах в пределах эксплуатируемых месторождений, а также в районе, в которых значительно влияние антропогенных и техногенных, постоянно (либо длительно) действующих помех, количественная оценка качества полевого материала осложняется, так как такие регулярные помехи могут быть удалены только в процессе специальной обработки.

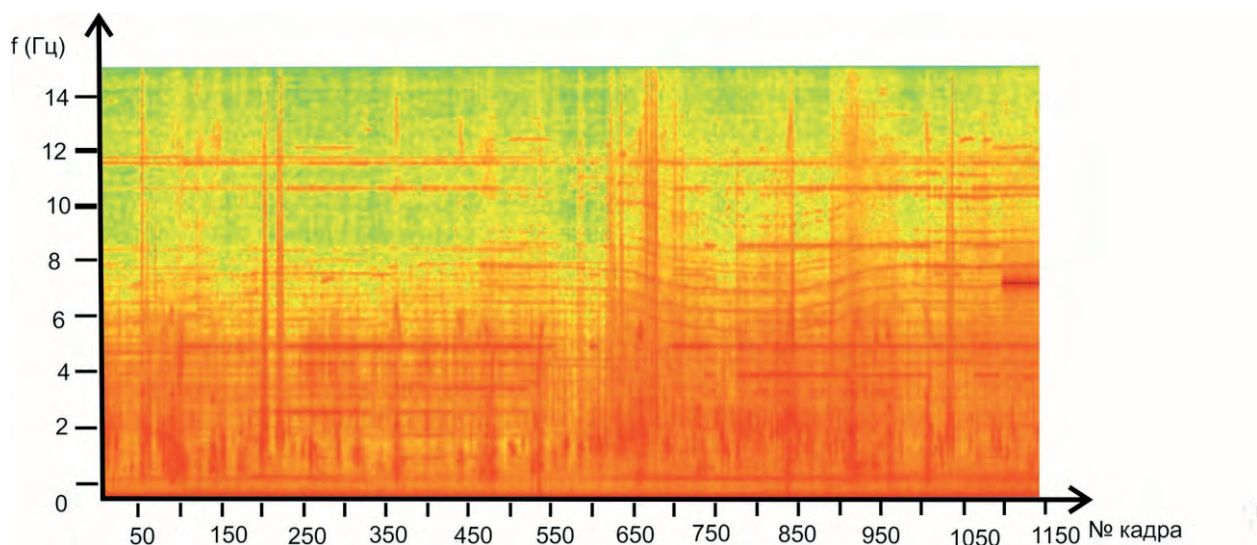
На рис.4 показано распределение во времени энергии ЕСП. Как видно из



▲ Рис. 3. Распределение соотношений максимумов спектральной плотности на разных частотах.

Условные обозначения:

1. Пороговое значение для соотношений максимумов спектральной плотности;
2. Покадровое максимальное соотношений максимумов спектральной плотности по компоненте X;
3. Покадровая максимальное соотношений максимумов спектральной плотности по компоненте Z;
4. соотношений максимумов спектральной плотности по компоненте Y;



▲ Рис. 4. Спектрограмма (распределение энергии в кадре показано цветом палитры) естественного сейсмического поля на компоненте Z на территории АГКМ).

представленного рисунка, волновое поле характеризуется обилием субгоризонтальных полос, обладающих повышенной энергией и связанных с техногенным фактором.

Для отбраковки кадров с аномальной зашумлённостью, можно использовать величины дисперсии и коэффициента корреляции между наблюдаемыми

спектрами сейсмоотрасс в каждом кадре, и спектрами сейсмоотрасс эталонным и (то есть спектрами сейсмоотрасс, характерным для исследуемой территории, и прошедшим специальную обработку по удалению из ЕСП промышленных помех). Если величины среднеквадратического отклонения спектральной плотности превышает наперёд заданный порог,

либо коэффициент корреляции меньше наперед заданного порога, то в этом случае такие кадры являются аномальными.

Повышение дисперсии, либо снижение коррелируемости по отношению к эталону, может быть связано, как с неисправностью тракта регистрации (канал не пишет), так и повышенной зашумлённостью записи.

В зависимости от заданного порога, можно оценить наличие технической неисправности, либо повышенной зашумлённости интервала записи.

Если аномалия связана с технической неисправностью, то такой кадр получит оценку «брак». Если аномалия вызвана повышенной зашумлённостью и после специальной фильтрации помех не устраняется, то в этом случае такой кадр получает оценку «брак».

Итоговая количественная оценка качества полевого материала

Для количественной оценки качества сейсмограмм, в сейсморазведке используются выработанные критерии.

В зависимости от количества забракованных сейсмотрасс, сейсмограмма оценивается по трехбалльной шкале: «хорошо», «удовлетворительно» и «брак». Далее оценивается качество физического наблюдения по формуле (1).

Аналогичный подход можно использовать и в методах ЕСП.

Так же, как и в сейсморазведке, полевой материал, принятый с оценкой «удовлетворительно», потребует больших затрат времени, (в том числе, для осуществления специальных процедур фильтрации помех), чем материал, имеющий оценку «хорошо».

Критерием отбраковки полевого материала (требование пересъёма, либо изменение методики работ, переноса сейсмостанции в более благоприятные условия наблюдения), является недоста-

точное количество сейсмограмм получивших оценку «хорошо» либо «удовлетворительно» - менее некоторого порога.

Для каждого из используемых методов ЕСП, критерий такого количества кадров (сейсмотрасс) разный, и зависит от сложности геологического строения территории, контрастности поискового объекта относительно вмещающей среды, и ряда других факторов.

Минимальное количество кадров, как и используемые пороги, должны быть обоснованы результатами предварительной (тестовой) обработки наиболее зашумленных сейсмических записей, либо путём использования результатов обработки материалов с подобной степенью зашумлённости на площадях, со схожими геологическими условиями (метод аналогий).

Описываемые подходы к оценке качества полевого материала, позволяют оперативно диагностировать, не только повышенную зашумлённость полевой записи, но и выявлять неисправности тракта записи, непосредственно на площади исследований (в полевом вычислительном центре).

Заключение

Выполненный анализ способов количественной оценки качества полевого материала при сейсморазведочных работах, показывает на возможность их использования при полевых исследованиях методами ЕСП.

При этом необходимо учитывать особенности в строении естественного сейсмического поля.

Полученные оперативные количественные оценки качества полевого материала, позволяют оперативно принимать решения в полевых условиях о необходимости изменения продолжительности времени наблюдения, перемещения расположения сейсмостанций в область пониженной зашумлённости; предостав-

ляют критерии объективного контроля качества полевого материала (супервайзеринга), при выполнении работ методами естественных сейсмических полей.

Литература

1. Пономаренко Д.В., Агафонов В.М., Вихорева А.Н., Гарифуллин И.Р., Неешпапа А.В., Пыхалов В.В., Рассказов А.Н. «Особенности диагностики технического состояния полевой аппаратуры в методах естественных сейсмических полей. журн. Приборы и системы разведочной геофизики 2/2023, стр 81-93,
2. Белоусов А.В. Стандартные оценки качества полевого сейсмического материала. /Приборы и системы разведочной геофизики. №3, 2011, стр.31-36.
3. ГОСТ 16821-91, Сейсморазведка, термины и определения, дата введения 0.1.07.92. Комитет стандартизации и метрологии. Г. Москва. 28 с
4. Г.Н. Боганик, И.И. Гурвич Сейсморазведка, г. Тверь, Изд-во АИС, 2006 г, 744 с
5. Яновская, Т. Б. Основы сейсмологии : учебное пособие / Т. Б. Яновская ; Санкт-Петербургский гос. ун-т. - Санкт-Петербург : Изд-во Санкт-Петербургского гос. ун-та, 2008. - 258,
6. Р.А. Орлов Опыт использования микро-сейсмического шума для решения геологических задач в условиях платформы (на примере Воронежского кристаллического массива) ВЕСТНИК ВГУ, СЕРИЯ: ГЕОЛОГИЯ, 2011, №1, ЯНВАРЬ-ИЮНЬ 184–192
7. Д.Г. Левченко, В.Д. Левченко. О природе «окон прозрачности» в широкополосном спектре донных микросейсм // Океанология. 2013. Т.53. № 3. С. 332-346. DOI:10.1134/S0001437013020100
8. Рыкунов, Л.Н. Микросейсмы. Экспериментальные характеристики естественных микровибраций грунта в диапазоне периодов 0.07–8 с. / Л.Н. Рыкунов -М.: Наука, 1967. – 67 с. 107.
9. Винник Л.П. Структура микросейсм и некоторые вопросы группирования в сейсмологии. / Винник Л.П. - М.: Наука, - 1968. - 104 с.
10. Инструкция по сейсморазведке. – М.: Мин-во геологии СССР, 1986. – 80 с.

11..Инструкция по сейсморазведке 2003 г, ФГУП ВНИИГеофизика, Москва, 2003 г., 149 стр

Подробнее об авторах



Пономаренко
Дмитрий Владимирович
генеральный директор
АО «Октопус»



Вихорева
Александра Андреевна
начальник отдела разработки
программного обеспечения
АО «Октопус», к.ф-м.н.



Приходько
Андрей Валерьевич
ведущий программист
АО «Октопус»



Пыхалов
Виктор Владимирович
заместитель главного геолога
АО «Октопус», д.г-м.н.



Рассказов
Александр Николаевич
начальник отдела реализации
проектов АО «Октопус»



Горбатилов
Андрей Вениаминович
ведущий научный сотрудник
Институт физики Земли РАН,
лаб.702. Москва, к.ф-м.н,