

Планирование уровневой системы контроля качества полевых сейсморазведочных работ на шельфе для повышения эффективности проектов

■ Горбачев С.В., ООО «РН-Шельф-Арктика», г. Москва.

Аннотация.

В работе рассматривается проблематика оперативного изменения требований контроля качества сейсмических данных в процессе приемки результатов полевых работ. Представлена методика подготовки и планирования системы контроля качества морских сейсморазведочных работ 2D и 3D с буксируемым оборудованием, направленная на повышение эффективности реализации проектов на шельфе. Показано, что для оперативного выполнения полевых работ и получения качественных сейсмических данных необходимо на этапе планирования работ прорабатывать возможность оперативного изменения (смягчения) параметров контроля качества регистрируемых данных. Особое внимание уделено вопросам обоснованности параметров контроля качества с точки зрения теории сейсмического сигнала, что напрямую связано с возможностями обработки и задачами интерпретации.

Ключевые слова: сейсморазведка, контроль качества, допуски, планирование работ, супервайзеры.

Введение

Сейсморазведочные работы — сложный и дорогостоящий процесс, в результате которого должны быть получены качественные сейсмические данные, которые в дальнейшем будут обработаны с использованием различных математических алгоритмов обработки, проинтерпретированы и увязаны с имеющейся геолого-геофизической информацией. От качества полевых данных во многом зависит результат последующих этапов геологоразведочных работ. Поэтому для снижения рисков получения некондиционных данных разработаны требования контроля качества. Они прописаны в технических заданиях, планах работ или иных регламентирующих документах. Чаще всего требования формируются максимально жёсткими без достаточной оценки множества технических, природно-климатических, сейсмогеологических особенностей районов проведения работ. Многие критерии качества регистрации копируются из одного документа в другой без детального понимания и

анализа их влияния на конечный результат. В технических заданиях говорится о возможности изменения критериев приемки данных, но для этого необходимы соответствующие обоснования, которые, как правило, отсутствуют. С учетом быстрого развития технологий обработки сейсмических данных превышения пороговых значений некоторых параметров контроля качества могут быть скомпенсированы инструментами обработки, что в свою очередь позволит существенно оптимизировать процесс выполнения полевых работ.

Полевые работы — это непрерывный процесс и для проведения дополнительного анализа данных, чаще всего, нет ресурсов и времени. Более того, не всегда геофизики-обработчики в полевых партиях обладают необходимым уровнем знаний для проведения углубленного анализа, что не позволяет оперативно подготовить обоснования и принять взвешенные решения. Понимая все сложности процесса производства полевых работ, зная параметры контроля

качества и возможные их изменения из-за влияния различных техногенных и природных факторов, возможно на этапе подготовки к полевым работам проработать варианты оптимизации параметров контроля качества в виде обоснованной уровневой системы их изменения без существенной потери качества результатов.

Контроль качества

Рассмотрим особенности контроля качества морских сейсморазведочных работ 2D/3D и предлагаемую систему с точки зрения повышения оперативности принятия решений и эффективности работ в целом. В России, к сожалению, нет государственного стандарта морской сейсморазведки, при этом единственный стандарт 1986-ого года охватывает только сухопутные данные. Он морально устарел и требует существенных изменений [Слонов, 2023]. Во всех нефтяных компаниях, работающих на шельфе, разработаны внутренние нормативные документы или имеются типовые технические задания. В них детально прописаны методики работ, требования контроля качества, условия приема данных и критерии по переотработке/перестрелу данных. Частично они схожи между собой и основаны на мировых стандартах, сформированных много лет назад. При этом, не всегда понятно, как изменение того или иного параметра, превышающего требования спецификации, отражается на качестве данных, насколько это существенно и можно ли чем-то пожертвовать. Если задать вопрос, как влияют изменения того или иного параметра на итоговое качество данных, мало кто сможет ответить. Анализировать это необходимо с учетом возможностей и ограничений всех процедур последующей обработки сейсмических данных на камеральном

этапе. С учетом того что технологии обработки постоянно совершенствуются [Горбачев, 2020], применяются эффективные алгоритмы подавления помех и пространственной интерполяции данных, указанные в технических заданиях параметры зачастую необоснованно жесткие. В результате этого возникают дополнительные затраты времени и денег при производстве полевых работ. При этом полученный прирост качества полевых сейсмических данных на результат камеральной обработки практически не влияет.

Факторы, влияющие на качество полевых сейсморазведочных данных, можно разделить на четыре группы:

I. Качество работы сейсмического оборудования: приемников, источников и всего набора вспомогательных элементов. Если придерживаться стандартных правил, то все характеристики оборудования должны соответствовать допускам производителей. Только при их соблюдении может выполняться качественная регистрация сейсмических данных. Важным условием является качественная подготовка и обслуживание оборудования. Подрядчиком на этапе подготовки к работам. Поэтому, для успешного выполнения проектов, заказчику необходимо проверять качество выполнения данной задачи перед началом работ. В процессе работ могут быть поломки с частичной заменой оборудования, но процент таких случаев желательно минимизировать путем использования надежного оборудования и своевременного сервисного обслуживания. Необходимо принимать во внимание некоторые особенности характеристик оборудования, например, отклонение чувствительности сейсмоприемника величиной 10% является существенным моментом для сейсмического сигнала, но в практике работ допускается.

II. Точность определения координат и положение оборудования в пространстве (геометрия расстановки) – очень важный параметр, который влияет на фактическое положение зарегистрированных данных, качество покрытия и построения изображения. На подготовительном этапе в обязательном порядке должны проводиться проверки и верификация навигационного оборудования. В процессе работ необходимо постоянно осуществлять контроль точности позиционирования источников и приемников в пространстве. С учетом специфики морских работ с буксируемым оборудованием, связанной с нахождением расстановки в постоянном движении под влиянием гидрологической обстановки, точность определения истинных координат существенно ниже чем при работах на суше. Для контроля положения оборудования в пространстве применяются специальные многоканальные акустические системы. При этом, для соблюдения геометрии расстановки необходимо применять специальные динамические системы. Под воздействием природных гидрологических факторов истинное положение оборудования в пространстве отличается от проектного, что требует высокой точности его определения. На последующем этапе обработки выполняется восстановление планового положения точек наблюдения путем регуляризации данных [Никульников, 2023].

III. Уровень шумов - этот параметр можно разделить на два вида. Первый, связан с техногенным шумом буксировки сейсмического оборудования в водном слое, шумом от самого судна, винтов и других объектов, генерирующих упругие колебания в водном слое. Этот вид помех принимается как постоянный, так как технически исключить его невозможно.

Второй вид связан с гидрологическими и природно-климатическими условиями. Течения и волнение моря существенно влияют на качество данных и детально контролируется в процессе работ. При превышении допустимого уровня таких помех предусмотрена приостановка работ [Титов, 2016].

IV. Особенности сейсмогеологического строения – чаще всего под ним подразумевается изменение строения верхней части разреза (мерзлота, зона малых скоростей, газ, интрузии и т.д.), влияющее на характеристики сейсмического сигнала. При автоматическом контроле качества [Тищенко, 2011] такие зоны определяются достаточно хорошо. Они не связаны с работой оборудования и природно-климатическими помехами (зоной ответственности подрядчика). При условии неизменности методики, технологии и оборудования полевых работ и соблюдении критериев контроля качества учет влияния неоднородностей верхней части разреза переходит на этапы обработки и интерпретации.

При такой классификации система контроля качества и приемки данных должна сводиться к анализу I, II и III групп (работа сейсмического, навигационного оборудования и контроль уровня шумов). Поэтому рассмотрим более детально конкретные параметры и их изменения для морских сейсмических работ 2D и 3D с буксируемым оборудованием.

Пример анализа параметров

Для возбуждения сигнала используется групповой пневмоисточник высокого давления, основные элементы его контроля можно разделить на две группы: технические и геометрические. К первой группе относятся: объем источника (работа всех элементов), стабильность

Параметры	Глубина 3м (-1 м)	Глубина 4м (базовая)	Глубина 5м (+1 м)
Peak to peak	37,6 (-16%)	44,8	47 (5%)
Peak to bubble	17,4 (-15%)	20,5	21,9 (7%)
Макс/мин уровень амплитуды	17,4/ 20,3	20,5/ 24,3	21,9/ 25,1
Амплитуда максимума bubble	1 (-22%)	1,28	1,56 (22%)
Время задержки bubble- peak, мс	145 (3%)	141	134 (-5%)
Энергия, Дж	31 927,9 (-39%)	52 306,3	68 984,7 (32%)
Акустическая эффективность, %	9,5 (-39%)	15,6	20,6 (32%)

▲ Табл. 1. Сравнение изменения характеристик пневмоисточника при изменении глубины.

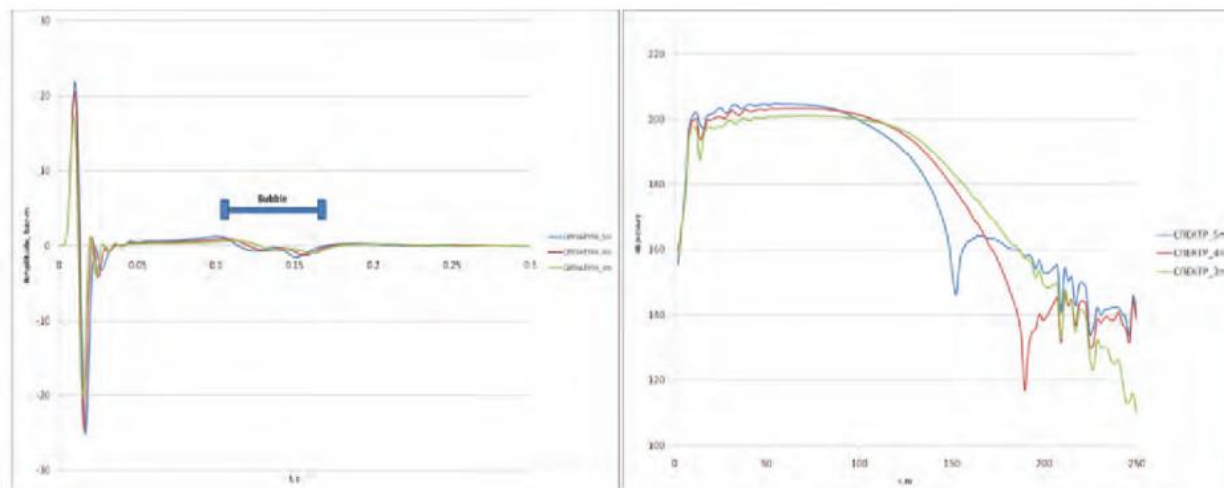
давления, синхронизация элементов и момента срабатывания. Ко второй: глубина погружения и геометрия положения линий источника в пространстве.

Попробуем оценить влияние различных параметров и их взаимосвязь на примере изменения глубины источника. При спокойном море и буксировке источников в водном слое его глубина достаточно стабильна и выдерживается в пределах проектных значений. При наличии волнения глубина может существенно меняться. Рассмотрим изменение характеристик источника при изменении глубины на ± 1 м. Для этого можно выполнить моделирование сигнатур источника на разных глубинах (в специализированном программном обеспечении), имитируя влияние волнения моря на форму сигнала. В качестве другого теста можно проанализировать ситуации с отключением нескольких единичных пушек или изменения рабочего давления пневмоисточника. Что касается изменения геометрии, то есть сближения или расхождения линий пневмоисточников, то также можно провести анализ изменения геометрии с учетом возможных смещений из-за влияния кильватерной струи, волнения моря и других факторов [Казанин, 2023]. По результатам моделирования вышеуказанных отклонений и анализа данных можно сделать количественные предположения, каким образом изменения

параметров кластера ПИ влияют на характеристики генерируемого сигнала (энергия, амплитудно-частотные характеристики и т.д.). Далее, на сверточной модели в программных продуктах по обработке можно проверить, как и какие процедуры обработки могут скомпенсировать эти изменения, в том числе, при различном уровне шума. Проведя такие работы, можно более однозначно, понимать влияние изменения параметров морского пневмоисточника на характеристики сигнала, а также инструменты компенсации таких влияний тем самым обоснованно корректировать диапазоны/критерии контроля качества каждого из параметров.

В таблице 1 приведены характеристики одного источника, рассчитанные в специальном софте, для разных глубин буксировки. Из таблицы видно, что при изменении глубины ± 1 м изменения различных характеристик источника составляют от 5 до 39%, что является существенным. Поэтому, отслеживание параметров глубины является важным элементом контроля. На рисунке 1 представлены формы импульсов и их амплитудно-частотные спектры.

Проанализируем на модельных данных влияние искажений истинной глубины источника. На рисунке 2а представлены трассы свертки базовой сигнатуры с несколькими дельта импульсами. Далее к данным была применена сигнатурная



▲ Рис. 1. Изменение формы сигнала и его спектра в зависимости о глубины.

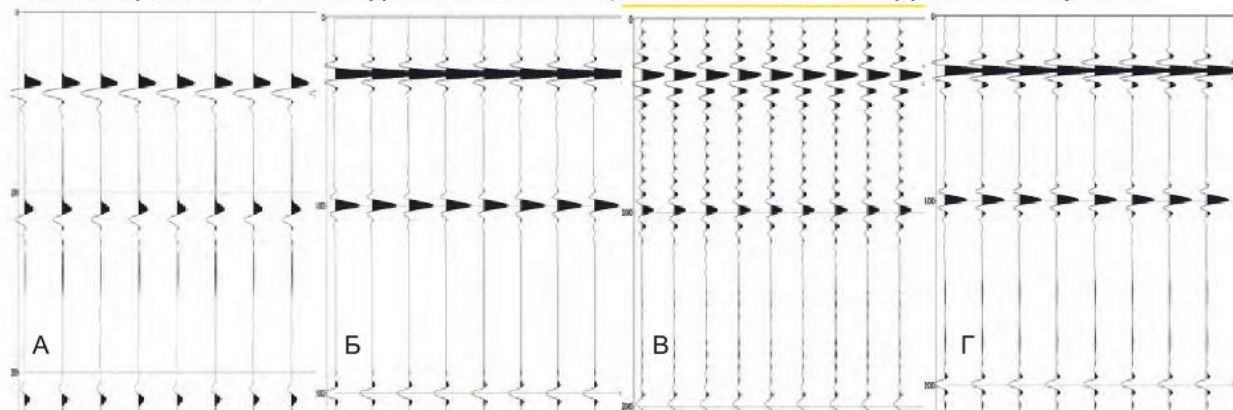
деконволюция с разными формами импульса, 2б - рассчитанным для истинной глубины, 2в - рассчитанным этой же группы, но для другой глубины. Как видно, применение стандартной сигнатурной деконволюции к морским данным при изменении и не учете глубины вносит дополнительный существенный шум в данные. Поэтому для корректного учета побочных пульсаций и приведения данных к ноль фазовой форме обязательно применение алгоритмов адаптивной сигнатурной деконволюции (2г).

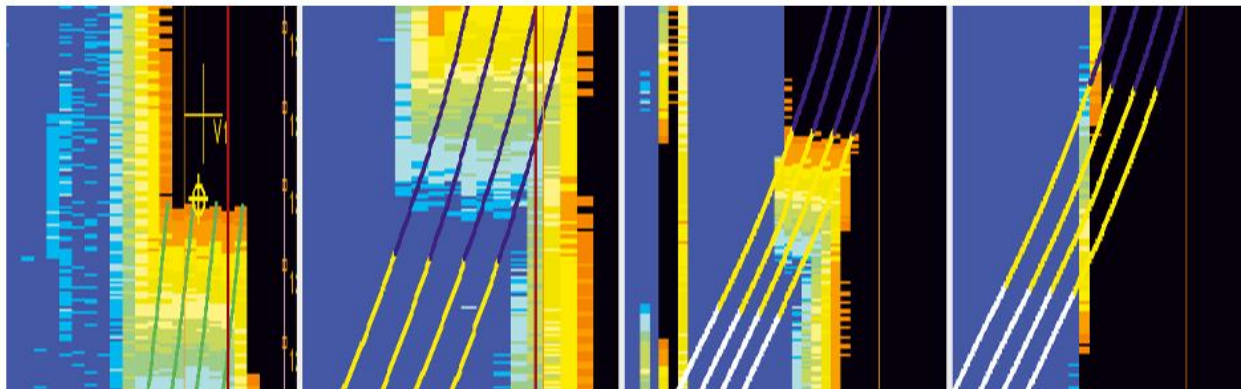
На примере такого анализа можно сделать вывод о возможной адаптации параметров контроля и приемки данных с учетом изменения волнение моря. Аналогичную работу можно провести для

сейсморегирующей аппаратуры (сейсмокося): стабильность глубины погружения, амплитудно-частотные характеристики гидрофонов, уровень шумов на разных зонах по кося, количество работающих и неработающих каналов и т.д.

Наиболее сложными задачами 3D морских сейсморазведочных работ с буксируемым оборудованием является контроль буксировки оборудования в водном слое и поддержание планового положения в пространстве для получения равномерного покрытия по всем диапазонам удалений. На современных судах для контроля стабильности используют латеральные контролеры, которые позволяют с достаточно хорошей точностью буксиро-

▼ Рис. 2. Синтетические трассы: а – свертка с сигнатурой, б – результаты сигнатурной деконволюции с истинной сигнатурой, в – результаты сигнатурной деконволюции с сигнатурой с рассчитанной для некорректной глубины, г – результат использования адаптированной сигнатурной деконволюции для данных с некорректной глубины.





▲ Рис. 3. Пример захода судна 3D и сноса кос в зоне сильных течений.

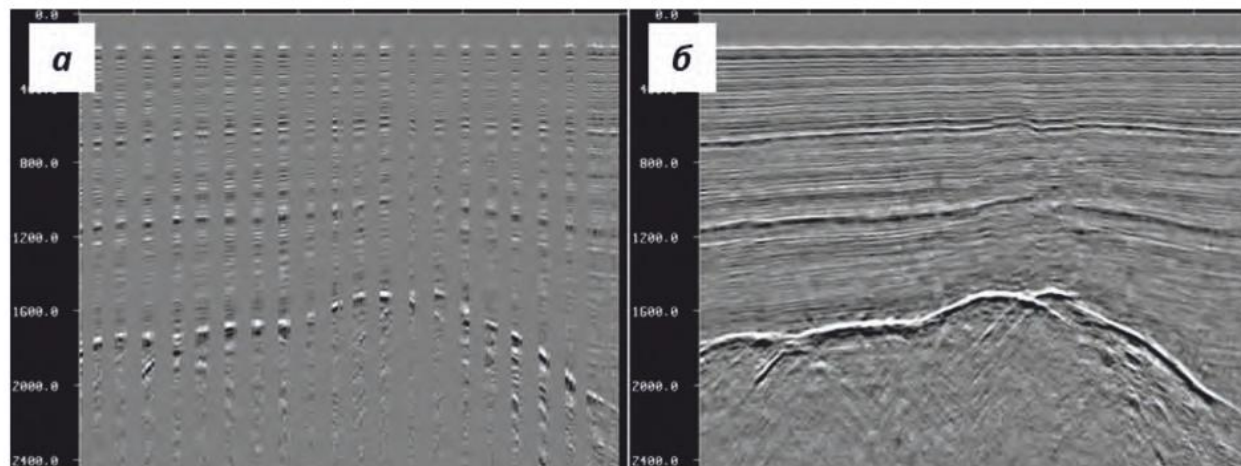
вать оборудование. При сильных течениях возникают существенные сносы регистрируемого оборудования. Помимо изменения геометрии расстановки повышается уровень шума. В этом случае необходимо находить компромисс между меньшим процентом дострелов с целью компенсации пропусков покрытия и повышением уровня шумов.

В любом случае, в процессе полевых работ возникают пропуски в кратности по разным диапазонам удалений, которые надо закрывать дополнительными проходами, что требует времени и, как следствие, финансовых затрат. В технических заданиях прописаны допустимые размеры зон понижения кратности для разных диапазонов удалений, но при этом всегда есть граничные условия. Для оценки возможных зон пропусков и критериев контроля качества необходимо понимать технологии последующей обработки.

Процедурой, направленной на компенсацию неравномерного покрытия площади работ, является пространственная регуляризация данных на основе алгоритмов интерполяции [Никульников, 2023].

На рисунке 3 представлен пример сноса сейсмических кос при работе на мелководной зоне Печорского моря [Титов, 2016]. В районе работ присутствовало сильное постоянное течение, направленное перпендикулярно движению исследовательского судна с регистрирующим оборудованием. Были предприняты все возможные попытки перестрела профилей и учета сноса оборудования, однако зоны пропуска по разным диапазонам удалений полностью компенсировать не удалось. В результате последующих процедур обработки, а именно регуляризации, удалось компенсировать пропуски и получить качественные данные для дальнейшей интерпретации (рисунок 4).

▼ Рис. 4. Фрагмент разреза ближних удалений до (а) и после (б) 3D регуляризации.



Уровневая система контроля качества

Работая на шельфе и особенно в Арктических и Северных морях, необходимо четко понимать все сложности и ограничения, планировать варианты выполнения сейсмических проектов с учетом всех возможных природно-климатических и технических рисков. Поэтому для выполнения запланированных объёмов программы геологоразведочных работ, получения сейсмических данных хорошего качества в установленные сроки, необходимо заранее проработать варианты оптимизации базовых и расширенных параметров контроля качества. Фактически, до начала полевых работ, понимая все сложности их проведения, связанные с безледовым периодом, течениями, гидрометеорологической обстановкой, возможными экологическими ограничениями и т.д., отсутствие четко проработанной системы принятия решений может привести к неэффективному потраченному времени, проблемам во взаимоотношениях подрядчика и заказчика, не выполнению запланированных объёмов работ и существенным финансовым затратам.

На основании описанных выше примеров анализа, необходимо прорабатывать влияние различных параметров контроля качества на характеристики получаемых сейсмических данных. Понимая возможности и ограничения процедур обработки, можно выработать гибкую систему смягчения первоначальных допусков в

зависимости от конкретных ситуаций. То есть для каждого параметра или группы параметров прорабатываются варианты изменения допусков контроля качества на каждом уровне, что позволяет заблаговременно иметь детальный анализ и оперативно принимать решения с в короткие сроки. Базовая схема системы расширенного контроля качества представлена на рисунке 5.

Суммарно, при выполнении морских сейсморазведочных работ контролю подлежат порядка 40 параметров, для каждого из них существуют допуски, прописанные в технических заданиях. Данная система предполагает проработку 4х уровней возможных отклонений с предварительной проработкой влияния каждого из них на качество сейсмических данных и возможности компенсации на уровне последующей обработки.

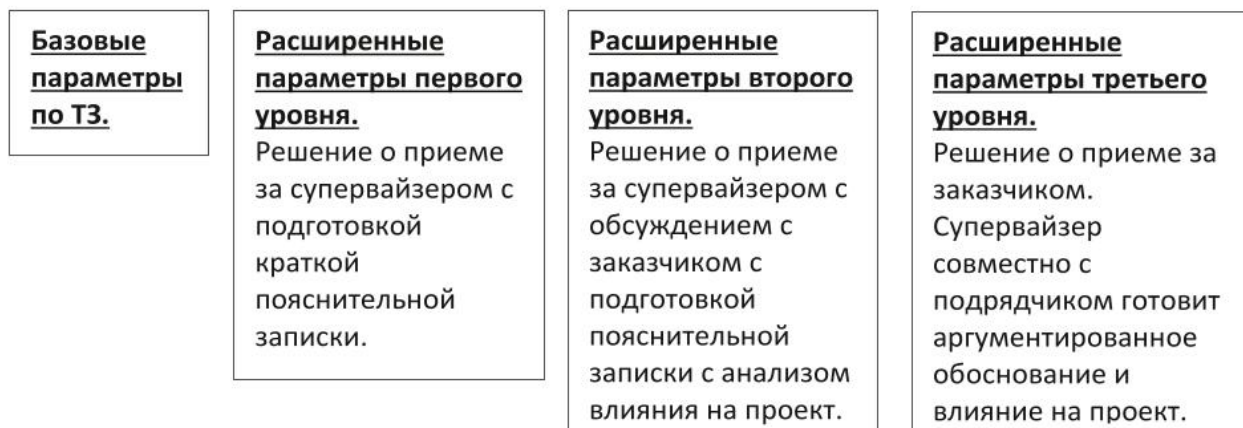
На первом уровне в процессе выполнения полевых работ супервайзер и группа контроля качества подрядчика работают по ним и самостоятельно принимают решение о приемке либо переработке зарегистрированных данных.

Второй уровень – подразумевает более расширенные значения параметров контроля качества, которые превышают базовые в силу объективных причин.

Для приемки данных с такими отклонениями необходима подготовка пояснительно записки с описанием ситуации и обоснованности отклонений.

Третий уровень включает еще большие

▼ Рис. 5. Пример схема многоуровневой системы контроля качества.



отклонения от базового варианта, в процессе принятия решений в обязательном порядке участвуют сотрудники службы качества заказчика и разбирают ситуацию, с последующими выводами о приемке либо переотработке данных.

Четвертый уровень самый сложный: отклонения принимаются на основании углубленного анализа данных, с подготовкой соответствующих материалов, с привлечением, чаще всего, группы обработчиков.

Наличие четкой системы контроля качества и схемы принятия решений позволяет оперативно принимать решения о качестве данных, минимизировать непроизводительное время работы судна, получать качественные данные.

Понимание особенности зарегистрированных данных позволяет более грамотно и взвешенно подходить к камеральной обработке и последующей интерпретации.

Благодаря наличию многоуровневой системы контроля качества удаётся исключить большой пласт лишней работы и разногласий между супервайзерами, заказчиком и подрядчиком.

Работа супервайзеров

Очень важный вопрос в процессе реализации полевых сейсмических проектов, это работа супервайзеров. К сожалению, в этом направлении имеются проблемы. Чаще всего в супервайзеры переходят уже опытные специалисты с позиций начальников партий, технических руководителей, руководителей группы контроля качества или обработки, а иногда и операторов. При этом, навыки супервайзера должны охватывать очень большой объем знаний по аппаратуре, сейсморазведке, навигации и обработки данных, а также и высокий уровень коммуникаций и менеджмента, необходимого для эффективного взаимодействия с подрядчиком и заказчиком. Здесь возникают существенные проблемы, так как

таких людей полностью обладающих всеми качествами и знаниями практически нет. Поэтому, наличие заранее проработанной системы контроля качества, с вариантами изменения параметров, позволяет минимизировать многие сложности в процессе выполнения полевых работ.

Выводы

Проведение сейсморазведочных работ очень дорогостоящий и трудоемкий процесс. В нем задействовано много разноуровневого персонала, техники, но самое главное - это данные. Важно качество и своевременность их получения. Поэтому система контроля качества результатов полевых работ должна критериев контроля качества учитывать скорость производства работ, основываясь на возможности решения геолого-геофизических задач средствами обработки и интерпретации. При этом очень важный элемент минимизации рисков проекта - это заблаговременная и качественная подготовка всего геофизического, навигационного и судового оборудования к проекту.

Большинство параметров контроля качества разработаны давно и не все понимают, как они влияют на решения геолого-геофизических задач. Поэтому необходимо четко оценивать с учетом современных технологий обработки сейсмических данных и прорабатывать гибкие критерии каждого элемента контроля качества.

В статье описано и представлено несколько примеров анализа изменений параметров и их влияния на характеристики сигнала. Они показывают, что на количественном уровне можно оценить различные изменения и проработать подходы по их минимизации в процессе обработки.

При планировании и подготовке к полевым работам необходимо адаптировать базовые параметры контроля качес-

тва с учетом специфики работ, позволяя получать оптимальные данные при максимальной производительности и минимизации времени на переотработку данных.

На большинстве проектов присутствуют супервайзеры, в задачи которых входит контроль выполнения работ и взаимодействие с группой контроля качества подрядчика, а также выработка и принятия оперативных решений. В большинстве случаев супервайзеры - это бывшие операторы, полевые обработчики, технические руководители, которые с детальными возможностями и задачами современной обработки и интерпретации не знакомы. Поэтому заказчику необходимо заранее и самому прорабатывать варианты систем уровневого контроля качества и сопровождать работы для повышения эффективности проектов.

Данная система контроля качества неоднократно применялась на морских сейсморазведочных проектах и показала свою эффективность.

Подобный подход к анализу параметров и выработке обоснованных уровней допуска может быть эффективно применен и к сухопутным сейсморазведочным работам, и другим геофизическим методам.

Благодарности

Автор выражает огромную благодарность всем коллегам, которые на разных проектах и этапах работ участвовали в планировании, подготовке, сопровождении, контроле качества и приемке сейсмических данных, а также в анализе влияния параметров регистрации и технологий обработки на качество сейсмических данных.

Литература

1. Горбачев С.В., Никульников А.Ю., Нурмухамедов Т.В. Возможности, методы и примеры повышения качества переобработки морских сейсморазведочных данных, как инструменты получения новой геолого-геофизической информации // Приборы и системы разведочной геофизики, Саратов, №4, 2020.
2. Горбачев С.В., Титов А.Б., Обметко В.В., Рейдик Ю.В. Особенности планирования и выполнения 3D сейсморазведочного проекта в условиях предельного мелководья шельфа Печорского моря // Нефтяное хозяйство, №6, 2021.
3. Казанин А.Г., Базилевич С.О., Литвачук А.В., Росанов В.В. Влияние геометрии группы пневмоисточников на сейсмический сигнал при выполнении 4D-мониторинга // Приборы и системы разведочной геофизики, Саратов, №2, 2023.
4. Никульников А.Ю., Горбачев С.В., Нурмухамедов Т.В., Самаркин М.А. Оптимизация методик регуляризации сейсмических данных 3D на примере транзитных данных акватории Печорского моря // Геофизика, №4, 2023.
5. Слонов Д.Н., Горбачев С.В. Инструкция по сейсморазведке - догмат или фундамент развития отрасли // Приборы и системы разведочной геофизики, Саратов, №1, 2023.
6. Титов А.Б., Горбачев С.В. Элементы контроля качества морских сейсморазведочных работ с буксируемым оборудованием // Приборы и системы разведочной геофизики, Саратов, №1, 2016.
7. Тищенко И.В., Тищенко А.И., Жуков А.А. Алгоритмы и критерии оценки качества полевых сейсмических записей // Технологии сейсморазведки, №2, 2011.

Подробнее об авторе



Горбачев
Сергей Викторович

Начальник управления реализации ГРП ООО «РН-Шельф-Арктика», к.т.н., Доцент Высшей школы инновационного бизнеса МГУ.