

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

Часть I



С.М. ИСЕНОВ*,

кандидат геол.-мин. наук, Почетный
разведчик недр РК, главный геофизик,
<https://orcid.org/0000-0003-0737-2336>

ТОО «ГЕОМЕДЖ KZ»

Республика Казахстан, 050000, г. Алматы, ул. Богенбай батыра, 132

Рассмотрены физические возможности сейсморазведки и основные факторы, ограничивающие область решения целевых геологических задач исследований на этапах разведки и доразведки месторождений углеводородов. Эффективность и круг решаемых структурно-тектонических и динамических задач сейсморазведки находятся в зависимости от степени соответствия реальному строению геологического разреза базовых математических моделей применяемых методик и технологий полевой сейсмосьемки, обработки и интерпретации сейсмоданных. Достоверность прогнозирования вещественного состава отложений и физических параметров резервуаров углеводородов определяются достигнутыми количественными оценками Сигнал/Помеха и вертикальной разрешающей способностью сейсмической записи. Обсуждаются пути повышения эффективности сейсморазведки, включая практические результаты применения технологий Мультифокусинг, расширяющих круг решаемых геологических задач.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: геологические задачи сейсморазведки МОГТ, физические возможности и ограничения сейсморазведки, технологии Мультифокусинг, количественные оценки Сигнал/Помеха и вертикальная разрешающей способности, прогнозирование вещественного состава отложений и физических параметров резервуаров, неопределенности при геологическом и гидродинамическом моделировании.

СЕЙСМИКАЛЫҚ БАРЛАУ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ ЖОЛДАРЫ ЖӘНЕ ТҮЙТКІЛДІ МӘСЕЛЕР

*Адрес для переписки. E-mail: serik.issenov@gmail.com

С.М. ИСЕНОВ*, геол.-мин. ғыл. канд., бас геофизик, <https://orcid.org/0000-0003-0737-2336>

«ГЕОМЕДЖ КЗ» ЖШС

Қазақстан Республикасы, 050000, Алматы қ-сы, Бөгенбай батыр к-сі, 132

Көмірсутек кенорындарын барлау және қосымша барлау кезеңдеріндегі геологиялық мәселені шешуді шектейтін негізгі факторлар мен сейсмикалық барлаудың физикалық мүмкіндіктері қарастырылған. Сейсмикалық барлаудың тиімділігі мен құрылымдық-тектоникалық және динамикалық мәселерінің шешімі қолданылатын тәсілдердің базалық математикалық үлгісінің геологиялық қиманың нақты құрылымына сәйкестік дәрежесіне, далалық сейсмикалық түсірілім техногиясына, өңдеу және түсіндіруге тәуелді. Шөгінділердің заттық құрамы және көмірсутегі қоймаларының физикалық параметрлерін болжаудың нақтылығы қол жеткізілген сандық Сигнал/Шу бағалары мен сейсмикалық жазбаның вертикаль тұнықтық қабілетімен анықталады. Сейсмикалық барлаудың тиімділігін арттыру жолдары, оның ішінде геологиялық мәселелерді шешу ауқымын кеңейтетін Мультифокусинг технологиясын қолданудың практикалық нәтижелері талқыланады

ТҮЙІН СӨЗДЕР: ЖТНТ (МОГТ) сейсмикалық барлаудағы геологиялық мәселелер, сейсмикалық барлаудың физикалық мүмкіндіктері мен шектеулері, Мультифокусинг технологиясы, сандық Сигнал/Шу бағалары мен вертикаль тұнықтық қабілет, шөгінділердің заттық құрамы мен қоймалардың физикалық параметрлерін болжау, геологиялық және гидродинамикалық модельдеудегі белгісіздіктер.

PROBLEM ISSUES AND WAYS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF SEISMIC SURVEY

S.M. ISSENOV*, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Chief Geophysicist, <https://orcid.org/0000-0003-0737-2336>

«GEOMAGE-KZ» LLP

80, Bogenbay batyr, str., Almaty, Republic of Kazakhstan, 050000

The physical capabilities of seismic prospecting and the main factors limiting the scope of solving target geological problems of research at the stages of exploration and additional exploration of hydrocarbon deposits are considered. The efficiency of structural-tectonic and dynamic problems of seismic exploration to be solved depend on the degree of correspondence to the real structure of the geological section of the basic mathematical models of the applied methods and technologies of field seismic survey, processing and interpretation of seismic data. The reliability of predicting the material composition of sediments and physical parameters of hydrocarbon reservoirs is determined by the achieved quantitative Signal / Noise estimates and the vertical resolution of the seismic record. The ways of increasing the efficiency of seismic exploration are discussed, including the practical results of the application of Multifocusing technologies, which expand the range of geological problems to be solved.

KEY WORDS: geological problems of CDP seismic exploration, physical capabilities and limitations of seismic exploration, Multifocusing technologies, quantitative estimates of Signal / Noise and vertical resolution, prediction of the material composition of sediments and physical parameters of reservoirs, uncertainties in geological and hydrodynamic modeling.

ВВЕДЕНИЕ



а этапaх разведки и доразведки месторождений углеводородов (УВ) основную информацию о строении геологического разреза и физических параметрах резервуаров получают по данным сейсморазведки и глубокого

бурения. Сейсморазведка методом многократных перекрытий, широко известного как метод общей глубинной или срединной точки (ОГТ или ОСТ) в сейсмическом поле отраженных волн, является наиболее информативным геофизическим методом разведки и широко применяется в нефтегазовой отрасли. Общепринято считать, что современные методики и технологии среднечастотной сейсморазведки МОГТ обеспечивают решение структурно-тектонических (кинематических) задач с достаточно высокой степенью точности и достоверности. Такое утверждение справедливо при относительно простом геологическом строении среды. По мере усложнения строения среды и глубинности исследований погрешности кинематической интерпретации сейсмоданных увеличиваются вплоть до полной потери информации о целевых интервалах, о чем свидетельствуют неоднократно установленные факты существенного расхождения между данными глубинного бурения и сейсмическими структурными построениями, например, в условиях солянокупольной тектоники Прикаспийской впадины [1-3].

Существенно более проблематичными являются «динамические» задачи сейсморазведки, включая прогнозирование вещественного состава отложений и параметров резервуаров УВ на основе анализа атрибутов сейсмической записи и определения их корреляционных связей со скважинными и добычными данными. При этом опорные скважинные данные могут содержать разного рода погрешности измерений и определения физических (фильтрационно-емкостных) свойств резервуаров, и скважинных данных не бывает в нужном объеме или по методам исследований [4-11 и др.]. Известные примеры успешного решения обратных динамических задач сейсморазведки следует отнести либо к районам с благоприятными сейсмогеологическими условиями и сравнительно простому геологическому строению, при достаточном количестве опорных скважинных данных, либо к искусству интерпретаторов, которое основано на интуиции, большом опыте и накопленной геолого-геофизической информации о геологическом строении конкретных районов и месторождений.

Для повышения достоверности результатов интерпретации данных наземной сейсмологии и точной увязки с данными геофизических исследований в скважинах (ГИС) применяют скважинную сейсморазведку методом вертикального сейсмического профилирования (ВСП). Данные ВСП имеют до 2 раз более высокую разрешенность сейсмической записи, чем в наземной сейсморазведке, они содержат информацию о процессе формирования сейсмического волнового поля в геологической среде, зависимости времени регистрации сейсмических волн от скорости их распространения и глубины залегания основных стратиграфических границ. По данным ВСП и ГИС могут быть определены прогнозные физические параметры отложений, включая интервалы ниже забоя скважины. К недостаткам ВСП относят неустранимые погрешности при компенсации амплитудных искажений, связанных с различием углов отражающих и преломляющих границ, и невозможность достаточного ослабления кратных и других волн-помех. Для получения более детального сейсмического изображения геологического разреза в околоскважинном пространстве применяют многоазимутальные и многоуровневые модификации ВСП, гораздо реже полные системы 3Д ВСП [11, 12]. Заметим, что несмотря на известные достижения метода ВСП, при интерпретации данных наземной сейсморазведки и геологическом

моделировании резервуаров УВ из данных ВСП в основном используют информацию о сейсмических скоростях и отбивках глубин опорных границ.

Наряду с сейсморазведкой методом отраженных волн (МОВ) определенные перспективы связывают с многоволновой сейсморазведкой, включающей регистрацию и анализ обменных, преломленных, рефрагированных, дифрагированных (рассеянных), дуплексных типов сейсмических волн, которые в конкретных сейсмогеологических условиях могут нести полезную информацию о геологическом строении среды и прогнозируемых физических параметрах отложений. Широкого применения эти методы сейсморазведки не получили, хотя в публикациях приводятся отдельные положительные результаты исследований [6, 8, 9, 13, 14].

Многолетние результаты исследований в области разведки и доразведки месторождений УВ, несмотря на известный прогресс в современных методах и технологиях сбора, обработки и геологической интерпретации сейсмоданных, выявили некоторые закономерности в уменьшении количества открытий новых месторождений в комплексах отложений с доказанной нефтегазоносностью и снижении объемов добычи нефти. Это связывают с сокращением фонда перспективных структур в нефтегазоносных комплексах отложений, увеличением объемов разведки месторождений УВ в малоизученных территориях и акваториях с более сложными природно-географическими и геологическими условиями, с усложнением задач выявления перспективных структур и объектов в глубоко залегающих комплексах отложений, а также при поиске ловушек неструктурного типа и др. [5, 15, 16-19].

При формировании геологических и гидродинамических моделей резервуаров УВ для геометризации резервуаров и определения прогнозных параметров коллекторов и покрышек используют данные сейсморазведки и их корреляционные связи с данными ГИС. В процессе доразведки месторождений УВ и детального изучения строения резервуаров УВ продолжают наблюдаться заметные отличия между результатами бурения новых эксплуатационных скважин и проектными показателями добычи и прогнозными физическими параметрами в действующих геологических и гидродинамических моделях резервуаров, на основе которых определяют схемы разработки месторождений. Даже на выработанных месторождениях объемный метод подсчета запасов не обеспечивает требуемую для надежного проектирования точность локализации остаточных запасов нефти. К наиболее значимым факторам относят ошибки, допущенные при определении начальных геологических и извлекаемых запасов по данным сейсморазведки, глубокого бурения и добычных показателей [4, 5, 7, 9, 10, 20]. Отметим, что для согласования фактической истории разработки УВ с результатами симуляционного моделирования выполняют подбор корректирующих коэффициентов к основным параметрам гидродинамических моделей резервуаров УВ. При этом малоизученным остается вопрос выяснения причин несоответствия между скорректированными значениями прогнозных параметров в действующих моделях резервуаров и фактическими параметрами резервуаров УВ, определенных по скважинным и добычным данным [5, 20].

Для повышения качества полевых сейсмоданных в последние годы начал применяться новый (пятый) технологический уровень полевой 3Д сейсморазведки. Эти полевые технологии характеризуются: точечным возбуждением и регистрацией упругих колебаний, широким диапазоном частот, полной азимутальностью, высокой

плотностью наблюдений (миллионы трасс на квадратный километр), высокой производительностью (тысячи виброточек в сутки) и почти непрерывной регистрацией сейсмоданных. Регистрация полного волнового поля, включая помехи, с высокой пространственной плотностью и широким динамическим диапазоном записи на современных сейсмостанциях, позволяет эффективно подавить в процессе обработки сейсмоданных все или многие виды помех, получить более высокое отношение Сигна/Помеха (С/П) и более достоверные результаты сейсмической интерпретации. Высокоплотная 3Д сейсмосьемка в определенной мере расширяет возможности сейсморазведки при расчете сейсмических атрибутов, динамической интерпретации и инверсии. Однако, предел разрешающей способности данных наземной сейсморазведки 3Д и качества сейсмических атрибутов пока не были достигнуты при выполнении самых высокоплотных работ [21, 22].

В данной статье рассмотрены физические возможности современной наземной сейсморазведки и основные факторы, ограничивающие область решения целевых геологических задач исследований на этапах разведки и доразведки месторождений УВ. Обсуждается зависимость детальности и достоверности результатов решения предельно сложных кинематических и динамических задач исследований от: (1) качества полевых сейсмоданных; (2) соответствия базовых математических моделей технологий обработки и интерпретации реальному строению изучаемой срезы; (3) достигнутых количественных оценок Сигнал/Помеха и вертикальной разрешающей способности сейсмической записи, полученных при применении общепринятых методик и технологий сейсморазведки МОГТ [6, 9, 10, 21-25]. Отмечено, что при постановке целевых геологических задач исследований в новых проектах наземной сейсморазведки методом ОГТ желательно учитывать практические возможности и ограничения стандартных методик и технологий сейсморазведки в конкретных геологических и природно-географических условиях. Приведены практические примеры повышения эффективности и результативности сейсморазведочных исследований, полученные с применением специальных технологий полевой сейсмосьемки и обработки сейсмоданных.

Недропользователи редко принимают во внимание то, что эффективность и рентабельность всего нефтяного проекта во многом зависит от степени детальности и достоверности геолого-геофизической информации об особенностях строения геологического разреза и резервуаров УВ. Что для решения все более сложных целевых геологических задач исследований, необходимо дополнить общепринятый состав геологоразведочных работ наиболее эффективными сейсморазведочными методиками и технологиями, широкое внедрение которых сдерживается из-за их относительной дороговизны. Хотя очевидно, что повышение информативности и достоверности результатов сейсморазведки и, на этой основе, смежных видов геолого-геофизических исследований многократно окупают общие затраты на основных этапах нефтяных операций, при этом также будут снижены риски на этапах разведочного и эксплуатационного бурения и разработке месторождений УВ [5, 10, 20]. Недоучет важности изучения причин недостаточной точности и достоверности общепринятых геолого-геофизических разведочных методик и технологий в конкретных сейсмогеологических условиях, отсутствие обоснованного выбора наиболее эффективных и информативных видов геологоразведочных исследований – все это приводит к сокращению, в первую очередь, геологоразведочных проектов и специалистов в периоды нефтяных кризисов.

ФАКТОРЫ, ОГРАНИЧИВАЮЩИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

Известно, что далеко не все геологические задачи исследований могут быть корректно решены по причине неединственности решения обратных кинематических и динамических задач сейсморазведки, что следует из фундаментальных теоретических положений сейсмического метода. Основные трудности связаны со сложностью строения геологического разреза, малыми толщинами продуктивных слоев, большими глубинами их залегания и слабой контрастностью геофизических параметров ловушек и резервуаров УВ относительно вмещающих отложений и пр. [6, 8, 9, 13, 26, 27 и др.]. Неоднозначность обратных задач зависит как от физически обоснованных возможностей и ограничений применяемой методики или технологии сейсморазведки, так и от степени соответствия базовых математических моделей в технологиях обработки и интерпретации сейсмоданных реальному строению геологической среды. Оценка достоверности решения обратных задач сейсморазведки обычно выполняется сравнением модельных (теоретических) решений с реальными данными. При этом требуется учесть априорную информацию об изучаемой среде, объеме и качестве имеющихся экспериментальных данных, состояние программного обеспечения и технических средств обработки и интерпретации сейсморазведочных и реперных скважинных данных [14, 27, 28 и др.].

Решение структурно-тектонических задач сейсморазведки выполняется на основе прослеживания и картирования опорных отражающих горизонтов и тектонических нарушений. Опорные горизонты характеризуют протяженные границы раздела между основными стратиграфическими комплексами отложений. Технологии «динамического анализа» сейсмических записей предназначены для решения задач прогнозирования вещественного состава отложений и фильтрационно-емкостных свойств ловушек УВ на основе совместной интерпретации данных ГИС и сейсмических атрибутов, информативность которых полностью зависит от соотношения Сигнал/Помеха и разрешающей способности сейсморазведки. Следует отметить, что целевые продуктивные слои и ловушки УВ, находящиеся внутри толщ терригенных или терригенно-карбонатных отложений, освещаются «второстепенными» энергетически слабыми отраженными волнами (отражающими площадками), что существенным образом уменьшает эффективность и результативность технологий сейсмогеологической интерпретации.

В работе [23] отмечено, что достоверность результатов решения «динамических» задач сейсморазведки зависит от следующих факторов: «(1) качества сейсмических материалов, (2) сложности геологического объекта и (3) величины аномального эффекта, т.е. от соотношения ожидаемой полезной аномалии некоторого параметра к погрешности его определения. Попытка прогноза будет оправданной только в том случае, если ожидаемая аномалия (сейсмического атрибута) будет заметно выше погрешности. В районах, где корреляция сейсмических отражений вызывает трудности, мала вероятность успешного прогноза вещественного состава. Очевидно, что решение задач оценки вещественного состава возможно только там, где качество сейсмических материалов или, другими словами, соотношение Сигнал/Помеха (С/П) достаточно велико. В зависимости от характера решаемой задачи потребуется обеспечить соотношение С/П от 5 до 50».

Анализ реальных и модельных волновых полей в разных сейсмогеологических условиях осадочных бассейнов показал на присутствие мешающих факторов и при-

чин, которые приводят к искажению кинематических и динамических параметров отраженных волн при регистрации и обработке сейсмических сигналов [25, 29]:

- 1) «Ограничения разрешающей способности сейсморазведки из-за конечных размеров приемной расстановки и ширины (частотного) спектра сигнала;
- 2) Интерференционные отражения возникают в слоистой неоднородной осадочной толще, где толщина (продуктивного) слоя на порядок меньше длины волны;
- 3) Нестабильность условий возбуждения и приема сигналов, а также влияние изменчивой по толщине приповерхностной зоны малых скоростей;
- 4) Наличие неоднородностей в покрывающей и вмещающей осадочной толще, которые искривляют фронты волн, проходящих через неоднородности, вызывают неупругое поглощение и рассеяние энергии сигналов;
- 5) Фокусировка и расфокусировка отраженных волн из-за локальной кривизны отражающих и преломляющих границ;
- 6) Влияние разномасштабных глубинных тектонических нарушений, зон трещиноватости, каверно- и карстообразования, напряженного состояния горных пород, что влияет на эффекты анизотропии;
- 7) Влияние волновых полей регулярных волн-помех, близких по кинематическим характеристикам к анализируемым отражениям, включая обменные, дифрагированные и другие типы волн;
- 8) Искажения, возникающие в процедурах обработки записей на ЭВМ, включая растяжение сигналов при вводе кинематических поправок, погрешности: определения скоростей ОГТ, определения формы сигнала и расчета углов подхода волн к поверхности наблюдения».

Приведенные выше факторы в разной мере оказывают искажающее влияние на кинематические и динамические характеристики сейсмических сигналов, по отдельности или в различных комбинациях они показывают насколько сложной и проблемной является задача их учета или компенсации в различных сейсмогеологических условиях. Искажающее влияние некоторых факторов может быть учтено с высокой точностью, части факторов – приближенно, а таких факторов как обменные и частично-кратные волны, тонкослоистость и многофазность реальной среды вообще не поддаются коррекции или корректируются с невысокой точностью [29].

К объективным ограничениям разрешающей способности сейсморазведки следует отнести физику распространения (среднечастотных) сейсмических волн в неоднородной геологической среде, в процессе которого происходит затухание доминирующих частот сейсмических сигналов, при этом высокочастотные составляющие частотного спектра сигналов быстрее затухают, поглощаются и рассеиваются, т.е. они имеют относительно небольшую глубину проникания в среду [6, 8, 13, 14].

Известно, что эффективность любого метода изучения природных физических явлений зависит от степени соответствия базовой математической модели этого метода реальной изучаемой физической среде и наблюдаемым физическим явлениям. В рассматриваемом случае эффективность и результативность сейсморазведки будут зависеть от степени соответствия базовых математических моделей в методах (технологиях, процедурах) обработки и интерпретации сейсмоданных строению изучаемой геологической среды и характеристикам сейсмического волнового поля [26]. Следовательно, точность и достоверность решения структурно-тектонических

и «динамических» задач сейсморазведки зависят от меры влияния указанных выше факторов на характеристики сейсмической записи, как эти влияния были учтены в базовых математических моделях среды и реализованы в применяемых программных технологиях обработки и интерпретации сейсмоданных.

Напомним, что в основе широко применяемого сейсморазведочного метода ОГТ лежит простая математическая модель среды с плоскими субгоризонтальными границами раздела, положительным вертикальным градиентом средней скорости распространения сейсмических волн и упрощенной гиперболической формой фронта (годографа) отраженной волны (Модель ОГТ или модель средних скоростей). Целевые задачи изучения средней и глубокой частей разреза могут стать проблематичными из-за недостаточного изучения особенностей строения верхней части разреза (ВЧР), где также выявляют залежи УВ. Контрастные неоднородности и криволинейные преломляющие границы в ВЧР могут стать причиной больших искажений в кинематических и динамических характеристиках поля отраженных волн. Нестандартной и сложно решаемой является задача обработки сейсмоданных, зарегистрированных в условиях сильно пересеченного рельефа местности, т.к. базовый метод ОГТ разработан для плоской поверхности наблюдений (линии приведения). Из-за особенностей сейсмического поля отраженных волн и применяемых алгоритмов ввода кинематических поправок, в процессе суммирования сейсмограмм ОГТ и выполнения временной и глубинной миграций до суммирования применяют процедуру Мьютинг для обрезания искаженной части сейсмических записей. Т.о. в интервале ВЧР кратность суммирования ОГТ изменяется от 1 до проектной кратности наблюдений на глубинах до 1,5-3,0 км, в зависимости от максимальных удалений взрыв-прием в полевых системах наблюдений, в результате не может быть обеспечено приемлемое качество изображения в верхней части разреза. Другими осложняющими факторами, ограничивающими возможности метода ОГТ в условиях сложнопостроенного геологического разреза, являются криволинейные и большие углы наклона границ раздела, тектонические разломы, анизотропия физических параметров, различного рода неоднородности, а также при сложном составе и переменных характеристиках интерференционного сейсмического волнового поля.

Для повышения эффективности сейсморазведки для условий сложнопостроенных сред была разработана технология глубинной миграции до суммирования (PSDM), выполняющих фокусирование и миграцию поля отраженных волн на основе результатов численного сейсмического моделирования для пластовой глубинно-скоростной модели среды. Отметим, что качество сейсмического изображения реальной геологической среды на результатах PSDM существенным образом зависит от адекватности сформированной глубинно-скоростной модели (Модель PSDM) строению изучаемой среды [10, 30, 31, 32, 33]. Получился замкнутый круг, когда целевой задачей по результатам PSDM должны определить строение геологического разреза, а в качестве входных данных PSDM необходимо определить оптимальные параметры Модели PSDM для этой изучаемой среды. При относительно простом строении геологического разреза начальное приближение Модели PSDM, с достаточной степенью достоверности, может быть сформировано по результатам обработки МОГТ и скважинных данных, дальнейшее уточнение параметров Модели PSDM выполнится в процессе итеративной обработки PSDM. По мере усложнения

строения геологического разреза на результатах МОГТ будут отсутствовать отражения от крутонаклонных и криволинейных отражающих и преломляющих границ раздела, как следствие, использование неоптимальной Модели PSDM не обеспечит получение достоверного сейсмического изображения среды на разрезах или кубах PSDM. Каким образом и на основе каких критериев можно будет учесть указанное противоречие будет рассмотрено в Части II данной статьи.

К основным причинам неоднозначности решения обратных «динамических» задач сейсморазведки следует отнести различие между базовой математической моделью в технологиях сейсмогеологической интерпретации и реальным строением геологического разреза, а также низкие оценки С/П и вертикальной разрешенности сейсмической записи. Например, известный метод «AVO-анализа» предназначен для прогнозирования коллекторских свойств и нефтегазоносности природных резервуаров, на основе изучения по сейсмическим записям поведение коэффициентов (амплитуд) отражения при изменении углов и азимутов падения волн на границы слоев [34]. Расчет коэффициентов отражения выполняется для простейшей модели среды и падении плоской волны на границу двух полупространств, где форма границы определяется приближенно. Данное обстоятельство объясняет достаточно высокую эффективность «AVO-анализа» в относительно простых сейсмогеологических условиях и причину заметного ухудшения эффективности и достоверности результатов «AVO-анализа», по мере усложнения строения среды и росте влияния различных искажающих факторов.

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЗАПИСИ

Визуальные оценки качества сейсмического изображения изучаемой среды являются достаточно субъективными, они зависят от опыта, квалификации, сложившейся практики обработки и интерпретации 2Д/3Д сейсмоданных. Редко учитывается неоднозначность обратных задач сейсморазведки и возможность получения альтернативных вариантов сейсмических изображений на результативных разрезах и кубах, варьируя параметрами обработки сейсмоданных. Как следствие, могут быть получены альтернативные варианты сейсмогеологической интерпретации. В процессе обработки зарегистрированных сейсмических записей геофизик формирует сейсмическое изображение среды, с учетом существующих представлений о геологическом строении района исследований и характеристик волнового поля по результатам предыдущих сейсморазведочных работ. Выбор параметров обработки выполняется на основе визуальной оценки качества выделения целевых опорных отражений или по локальным максимумам функций отклика в разных процедурах обработки. При выборе оптимальных параметров обработки и варианта сейсмического изображения желательно привлекать количественные оценки – соотношение Сигнал/Помеха, амплитудно-частотные характеристики, вертикальную разрешенность сейсмической записи и др.

Отметим, что выбранные параметры обработки могут содержать допустимые погрешности, которые при визуальной оценке не влияют на качество прослеживания опорных горизонтов, но которые могут оказывать заметное влияние на значения

атрибутов сейсмических сигналов. Если геофизики, выполняющие обработку сейсмоданных, допускают возможность получения альтернативных вариантов сейсмических изображений, то геологи-интерпретаторы часто принимают в качестве единственно возможного полученный вариант сейсмического изображения среды. Отдельные коллективы применяют интегрированный процесс обработки и интерпретации данных сейсморазведки и ГИС, т.е. также анализируют альтернативные варианты обработки и интерпретации, что требует дополнительных затрат времени и средств. В результате повышется достоверность результатов сейсморазведочных исследований.

Оценка Сигнал/Помеха. Известны разные алгоритмы расчета количественных оценок соотношения Сигнал/Помеха (С/П) и что понимать под Сигналом и Помехой на сейсмической записи, которые требуют отдельного обсуждения. В данной статье приведены оценки С/П, рассчитанные с использованием ПО «Paradigm Geophysical». Сравним качество сейсмических изображений на вариантах мигрированных кубов, которые были получены по: общепринятой технологии временной миграции до суммирования (PSTM) по сейсмограммам ОГТ, временной и глубинной миграции до суммирования (PSDM), где в качестве входных данных были использованы улучшенные сейсмограммы МФ, сформированные по технологии Мультифокусинг (МФ) [35, 36, 37]. На рисунке 1 представлены сечения кубов в интервалах мезозойского и подсолевого палеозойского комплексов отложений в Прикаспийской впадине, количественные оценки С/П определялись в окнах (выделены красным цветом), которые включают опорные отражающие горизонты и прилегающие второстепенные отражения, и можно рассмотреть их соответствие визуальной оценке качества прослеживания этих отражений.

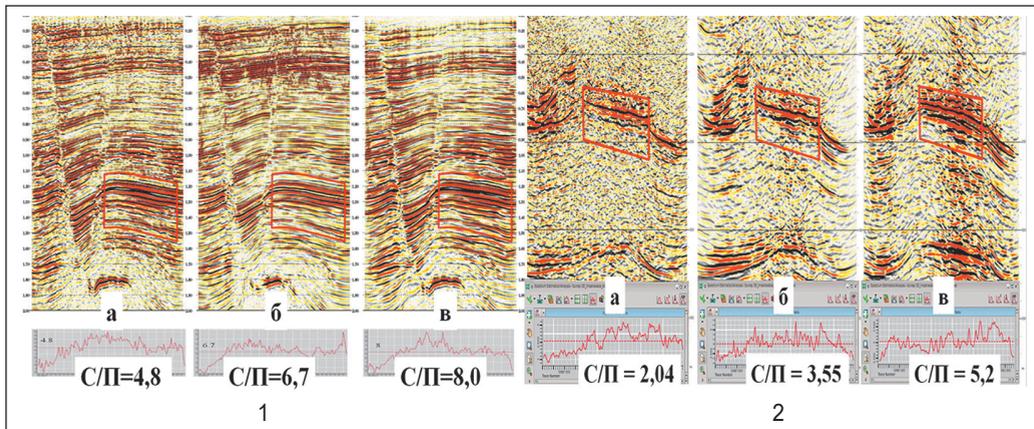


Рисунок 1 – Сравнение оценок Сигнал/Помеха по сечениям кубов:
а) ОГТ+PSTM, б) МФ+PSTM, в) МФ+ PSDM (во временной области);
окна анализа С/П в комплексах отложений: 1) мезозоя, 2) подсолевого палеозоя

Использование улучшенных сейсмограмм МФ существенно улучшило качество сейсмического изображения на кубах PSTM (рисунок 1, б) и PSDM (рисунок 1, в) по сравнению с кубом PSTM по сейсмограммам ОГТ (рисунок 1, а). При этом значения средних оценок С/П по кубу МФ+PSTM увеличились в 1,4 раза в интервале

юрского комплекса и в 1,74 раза в интервале подсолевого палеозойского комплекса. А по кубу PSDM (рисунки 1, в) оценки С/П увеличились в 1,67 раза и в 2,55 раза, соответственно для юрского и палеозойского комплексов отложений, в сравнении со стандартным кубом ОГТ+PSTM (рисунки 1, а). Это связано с тем, что субгоризонтальные отложения мезозойского комплекса (рисунки 1, 1) достаточно хорошо соответствуют Модели ОГТ, а технология PSDM обеспечивает более лучшее фокусирование отраженных сигналов от подсолевых палеозойских границ (рисунки 1, 2) в условиях развитой солянокупольной тектоники. Отметим, что количественные оценки С/П хорошо согласуются с визуальными оценками качества прослеживания отражений в рассматриваемых окнах, которые обычно ухудшаются по мере увеличения глубины залегания целевых комплексов отложений и сложности строения разреза.

Принято считать, что результаты среднечастотной сейсморазведки обеспечивают решение структурно-тектонических задач с высокой или удовлетворительной точностью, когда по опорным отражающим горизонтам средние оценки С/П более 1,5-2,0. На значения оценок С/П, рассчитанных в окнах терригенных мезозойских (рисунки 1, 1) и терригенно-карбонатных палеозойских (рисунки 1, 2) отложений, существенное влияние оказывают ярко выраженные опорные отражающие горизонты. По визуальной оценке качества прослеживания «второстепенных» отражений, характеризующих строение продуктивных слоев, значения оценок С/П будут меньше 1,5-2,0 до полной потери непрерывности прослеживания этих отражений. При этом длина отраженных волн в несколько раз больше толщины изучаемых продуктивных слоев, что не обеспечивает требуемой вертикальной разрешающей способности сейсморазведки.

Вертикальная разрешающая способность сейсмической записи. Теоретически считается, что вертикальная разрешающая способность примерно равна $1/8 - 1/4$ длины сейсмической волны [8, 13, 38]. При простом строении разреза и небольших глубинах могут быть выделены и более близко лежащие границы раздела, но при влиянии различных мешающих факторов разрешающая способность будет только снижаться. На рисунке 2 сравниваются длины сейсмических сигналов для наземной и скважинной сейсморазведки и акустического каротажа на фоне обнажения карбонатного рифа (условно при глубине залегания ~4000 м), на котором видны слои, осложненные тектоническими воздействиями и перерывами осадконакопления. Наглядно показаны различия в разрешающей способности наземных и скважинных сейсмических методов, определяющие возможность изучения детального строения геологических объектов.

При низкой разрешающей способности сейсмической записи и недостаточном соотношении С/П, измеряемые вариации сейсмических атрибутов будут много меньше влияния изменчивости физических параметров в целевых продуктивных слоях на характеристики регистрируемых полезных сейсмических сигналов. Это во многом объясняет причины различий между прогнозными физическими параметрами коллекторов, определенных по сейсмической записи, и скважинными данными ГИС и керна. На Ковыктинском месторождении при прогнозировании различных петрофизических параметров и емкостных свойств тонкослоистого (газоносного) разреза по сейсмическим данным и ГИС было отмечено, что «соотношение толщин

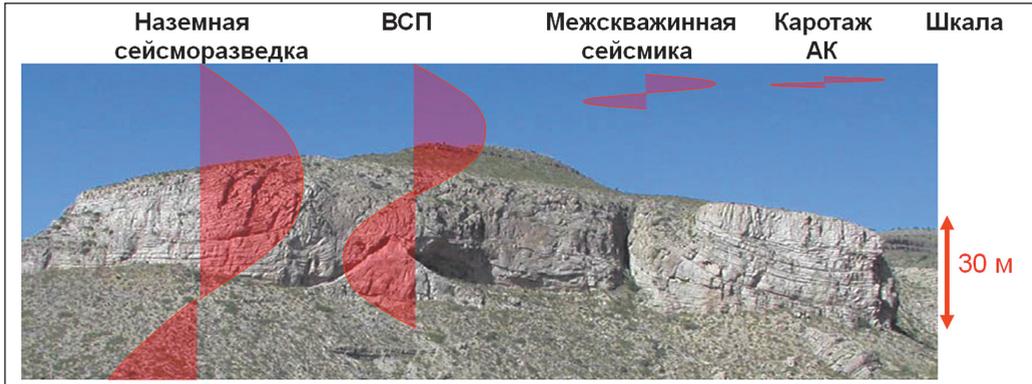


Рисунок 2 – Сравнение разрешающей способности наземной сейсморазведки и скважинных сейсмических исследований (из материалов «КРО b.v.»)

однородных слоев не превышает 1:10 длины отраженного сигнала, формирующегося в интервале близко расположенных слоев с различными петрофизическими характеристиками. Поэтому при относительно небольших глубинах и преобладающей частоте 40-50 Гц на временных разрезах было невозможно определить эффективные мощности и емкости отдельных продуктивных слоев, которые могут изменяться в десятки раз, а относительные изменения амплитуд сейсмических аномалий не превышают 50%» [7].

Рассмотрим численный пример, демонстрирующий сложность выявления внутри толщи подсолевого комплекса карбонатно-терригенных отложений карбонатной ловушки УВ и определения по сейсмической записи изменений параметра плотности в карбонатном коллекторе и вмещающих отложениях. На мигрированных кубах, полученных по стандартной обработки ОГТ (рисунок 1, 2, а) и по улучшенным сейсмограммам МФ (рисунок 1, 2, в), средние оценки С/П в окнах, включающих опорный подсолевой отражающий горизонт П1, соответственно равны 2,02 и 5,2, что соответствует уровню волн-помех ~33% и ~16%. При параметре плотности 2% во вмещающих отложениях и 10% в карбонатной ловушке относительные значения коэффициента отражения сигнала будут изменяться до 20%. Ожидаемая карбонатная ловушка «освещается» в интервале энергетически слабых отраженных волн, для которых оценки С/П будут менее 1 при уровне волн-помех более 50%, т.к. расчетный коэффициент отражения от ловушки на порядок меньше, чем для опорного горизонта П1. Полученные численные оценки показывают, что при низких оценках С/П и недостаточной вертикальной разрешающей способности будет проблематично выявить на сейсмической записи слабо контрастную карбонатную ловушку.

Рассмотрение различных искажающих факторов необходимо для учета их влияния и обоснования реальных возможностей сейсморазведки при решении поставленных геологических задач в конкретных сейсмогеологических условиях. Применение наиболее эффективных методик и технологий обеспечит повышение качества сейсмических данных, на основе повышения соотношения Сигнал/Помеха и разрешающей способности сейсморазведки, и, в первую очередь, решение структурно-тектонических задач разведки, включая повышение детальности геометризации

резервуаров на этапе доразведки месторождений УВ. В отношении «динамических» задач, предназначенных для прогнозирования вещественного состава отложений и параметров резервуаров УВ отметим, что получение более достоверных результатов сейсмогеологической интерпретации следует ожидать в относительно простых геологических условиях, при небольших глубинах залегания ловушек УВ, высоком качестве сейсмических записей и достаточном количестве скважинных данных ГИС и ВСП. При этом могут быть минимизированы существующие неопределенности в действующих геологических и гидродинамических моделях резервуаров.

В заключении части I данной статьи отметим следующее:

1) эффективность и результативность сейсморазведочных технологий существенным образом зависят от степени соответствия базовых математических моделей в методах (технологиях, процедурах) обработки и интерпретации сейсмоданных строению изучаемой геологической среды и характеристикам сейсмического волнового поля;

2) достигнутые количественные оценки Сигнал/Помеха и вертикальной разрешающей способности сейсмической записи во многом определяют круг решаемых геологических задач в разных сейсмогеологических условиях;

3) современные технологии наземной среднечастотной сейсморазведки в основном обеспечивают решение структурно-тектонических задач с высокой степенью точности и достоверности. В большинстве случаев достоверность решения «динамических» задач сейсморазведки продолжает оставаться проблематичной;

4) в части II данной статьи будут рассмотрены практические примеры повышения эффективности и результативности наземной сейсморазведки, при применении инновационных технологий полевой сейсмосьемки и обработки сейсмоданных .

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Кунин Н.Я., Милетенко Н.В., Садыров М.С. Латеральная изменчивость скорости на площади Каратюбе – основной источник погрешности сейсмических структурных построений по подсолевым горизонтам. – М., 1978. – С. 23-29. [Kunin N.YA., Miletenko N.V., Sadyrov M.S. Lateral'naya izmenchivost' skorosti na ploshchadi Karatyube – osnovnoj istochnik pogreshnosti sejsmicheskikh strukturnykh postroenij po podsolevym gorizontam. – М., 1978. – S. 23-29.].
- 2 Кунин Н.Я. Подготовка структур к глубокому бурению для поисков залежей нефти и газа. – М.:Недра, 1981. – 304 с. [Kunin N.YA. Podgotovka struktur k glubokomu bureniyu dlya poiskov zalezhej nefi i gaza. – М.:Nedra, 1981. – 304 s.].
- 3 Пилифосов В.М., Огнев А.О. Сейсморазведка методом отраженных волн с восточной части Прикаспийской впадины. – Алма-Ата:Наука, 1975. – 108 с. [Pilifosov V.M., Ognev A.O. Sejsmorazvedka metodom otrazhennykh voln s vostochnoj chasti Prikaspijskoj vpadiny. – Alma-Ata:Nauka, 1975. – 108 s.].
- 4 Мясоедов Д., Ампилов Ю., Корчагин О., Муллин П., Воцалевский В., Копылов М., Пашков В., Skorobogatov B., Малиновская О. Об атрибутом анализе в сейсморазведке // Oil & Gas Journal Russia. – 2015. – С. 48-52. [Myasoedov D., Ampilov Yu., Korchagin O., Mullin P., Vocalevskij V., Kopylov M., Pashkov V., Skorobogatov V., Malinovskaya O. Ob atributnom analize v sejsmorazvedke // Oil & Gas Journal Russia. – 2015. – С. 48-52].

- 5 Муслимов Р., Михайлов В., Волков Ю. О точности прогноза технологических показателей разработки нефтяных месторождений // Oil & Gas Journal Russia. – 2015. – С. 62-69. [Muslimov R., Mihajlov V., Volkov YU. O tochnosti prognoza tekhnologicheskikh pokazatelej razrabotki neftyanyh mestorozhdenij // Oil & Gas Journal Russia. – 2015. – С. 62-69.]
- 6 Кондратьев О.К. Физические возможности и ограничения разведочных методов нефтяной геофизики // Геофизика. – 1997. – №3. – С. 3-17. [Kondrat'ev O.K. Fizicheskie vozmozhnosti i ogranicheniya razvedochnyh metodov neftyanoj geofiziki // Geofizika. – 1997. – №3. – S. 3-17.]
- 7 Барышев Л.А. О физической обоснованности определения коллекторских свойств парфеновского горизонта на Ковыктинском месторождении // Технологии сейсморазведки. – 2005. – № 3. – С. 76-82. [Baryshev L.A. O fizicheskoy obosnovannosti opredeleniya kollektorskih svojstv parfenovskogo gorizonta na Kovyktinskome mestorozhdenii // Tekhnologii sejsmorazvedki. – 2005. – № 3. – С. 76-82.]
- 8 Шерифф Р., Гелдарт Л. Сейсморазведка. – М.: Мир, 1987. – 448 с. [Sheriff R., Geldart L. Sejsmorazvedka. – М.: Mir, 1987. – 448 s.]
- 9 Ампилов Ю.П. Сейсмическая интерпретация: опыт и проблемы. – М.: Геоинформмарк, 2004. – 286 с. [Ampilov Yu.P. Sejsmicheskaya interpretaciya: opyt i problemy. – М.: Geoinformmark, 2004. – 286 s.]
- 10 Ампилов Ю.П. От сейсмической интерпретации к моделированию и оценке месторождений нефти и газа. – М.: Издательство «Спектр», 2008. – 384 с. [Ampilov Yu.P. Ot sejsmicheskoy interpretacii k modelirovaniyu i ocenke mestorozhdenij nefti i gaza. – М.: Izdatel'stvo «Spektr», 2008. – 384 s.]
- 11 Гальперин Е.И. Вертикальное сейсмическое профилирование. – М.: Недра, 1971. – 264 с. [Gal'perin E.I. Vertikal'noe sejsmicheskoe profilirovanie. – М.: Nedra, 1971. – 264 s.]
- 12 Табаков А.А. Трехмерные системы наблюдений и модель – базированная обработка в сейсморазведке – ответ на вызовы нефтяной промышленности XXI века // Технологии сейсморазведки. – 2006. – № 2. – С. 4–7. [Tabakov A.A. Trekhmernye sistemy nablyudenij i model' – bazirovannaya obrabotka v sejsmorazvedke – otvet na vyzovy neftyanoj promyshlennosti XXI veka // Tekhnologii sejsmorazvedki. – 2006. – № 2. – С. 4–7.]
- 13 Сейсморазведка. Справочник геофизика / Под ред. И.И. Гурвича, В.П. Номоконова. М.: Недра, 1981. – 464 с. [Sejsmorazvedka. Spravochnik geofizika / Pod red. I.I. Gurvicha, V.P. Nomokonova. М.: Nedra, 1981. – 464 s.]
- 14 Пузырев Н.Н. Методы и объекты сейсмических исследований. Введение в общую сейсмологию. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1977. – 301 с. [Puzyrev N.N. Metody i ob"ekty sejsmicheskikh issledovanij. Vvedenie v obshchuyu sejsmologiyu. – Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, NIC OIGGM, 1977. – 301 s.]
- 15 Турков О.С. Каспийский регион – идеальный полигон для решения проблем генезиса нефти и газа // Сборник «Нефтегазоносные бассейны Казахстана и перспективы их освоения». – Алматы: КОНГ, 2015. – С. 37-43. [Turkov O.S. Kaspijskij region – ideal'nyj poligon dlya resheniya problem genezisa nefti i gaza // Sbornik «Neftegazonosnye bassejny Kazahstana i perspektivy ih osvoeniya». – Almaty: KONG, 2015. – S. 37-43.]
- 16 Исказиев А.О., Ажгалиев Д.К., Каримов С.Г. К новым горизонтам подсолевого Прикаспия // Сборник «Нефтегазоносные бассейны Казахстана и перспективы их освоения». – Алматы: КОНГ, 2015. – С. 60-69. [Iskaziev A.O., Azhgaliev D.K., Karimov S.G. K novym gorizontam podsolevogo Prikaspiya // Sbornik «Neftegazonosnye bassejny Kazahstana i perspektivy ih osvoeniya». – Almaty: KONG, 2015. –S. 60-69.]

- 17 Надиров Н.К., Трохименко М.С. Прикаспийская впадина: Инновационная методика оптимального выбора локальных объектов для поиска углеводородного сырья в надсолевом комплексе // Сборник «Нефтегазоносные бассейны Казахстана и перспективы их освоения». – Алматы: КОНГ, 2015. – С. 154-164. [Nadirov N.K., Trohimenko M.S. Prikaspijskaya vpadina: Innovacionnaya metodika optimal'nogo vybora lokal'nyh ob"ektov dlya poiska uglevodorodnogo syr'ya v nadsolevom komplekse // Sbornik «Neftegazonosnye bassejny Kazahstana i perspektivy ih osvoeniya». – Almaty: KONG, 2015. – S. 154-164.]
- 18 Ескожа Б.А. Изучение межкупольных пространств и прибортовых осложнений мультд может стать солидным подспорьем в наращивании нефтегазового потенциала Прикаспийской солянокупольной области // Сборник «Нефтегазоносные бассейны Казахстана и перспективы их освоения». – Алматы: КОНГ, 2015. – С. 147-153. [Eskozha B.A. Izuchenie mezhkupol'nyh prostranstv i pribortovyh oslozhnenij mul'd mozhet stat' solidnym podspor'em v narashchivanii neftegazovogo potenciala Prikaspijskoj solyanokupol'noj oblasti // Sbornik «Neftegazonosnye bassejny Kazahstana i perspektivy ih osvoeniya». – Almaty: KONG, 2015. – S. 147-153.]
- 19 Волож Ю.А., Быкадоров В.А., Антипов М.П. и др. Типы высокоемких нефтегазо-локализирующих объектов подсолевого разреза Прикаспийской впадины // Нефть и газ. – 2018. – №5. – С. 26-46. [Volozh YU.A., Bykadorov V.A., Antipov M.P. i dr. Tipy vysokoemkih neftegazolokalizuyushchih ob"ektov podsolevogo razreza Prikaspijskoj vpadiny // Neft' i gaz. – 2018. – №5. – S. 26-46.]
- 20 Корчагин О., Старобогатов В., Воцалевский В., Воронов М., Бенько С., Токарева О., Артюнов С., Пашков В., Ампилов Ю., Муллин П. О комплексировании геофизических методов разведки при поиске залежей углеводородов // Oil & Gas Journal. – 2015. – С. 30-35. [Korchagin O., Starobogatov V., Vocalevskij V., Voronov M., Ben'ko S., Tokareva O., Artyunov S., Pashkov V., Ampilov YU., Mullin P. O kompleksirovanii geofizicheskikh metodov razvedki pri poiske zalezhej uglevodorodov // Oil & Gas Journal. – 2015. – S. 30-35.]
- 21 Череповский А.В. Качество и количество вибросейсмических данных и соотношение сигнал/помеха // Технологии сейсморазведки. – 2015. – № 1. – С. 68-75. [Cherepovskij A.V. Kachestvo i kolichestvo vibrosejsmicheskikh dannyh i sootnoshenie signal/pomekha // Tekhnologii sejsmorazvedki. – 2015. – № 1. – S. 68-75.]
- 22 Череповский А.В. Миллион каналов и миллиард трасс в наземной сейсморазведке: актуально или нет? // Геофизика. – 2020. – № 2. – С. 22-26. [Cherepovskij A.V. Million kanalov i milliard trass v nazemnoj sejsmorazvedke: aktual'no ili net? // Geofizika. – 2020. – № 2. – S. 22-26.]
- 23 Гогоненков Г.Н. Прогнозирование геологического разреза по сейсмическим данным // Геология нефти и газа. – 1981. – № 1. – С. 48-55. [Gogonenkov G.N. Prognozirovaniye geologicheskogo razreza po sejsmicheskim dannym // Geologiya nefti i gaza. – 1981. – № 1. – S. 48-55.]
- 24 Левянт В.Б., Ампилов Ю.П., Глоговский В.М., Колесов В.В., Коростышевский М.Б., Птецов С.Н. Методические рекомендации по использованию данных сейсморазведки (2Д, 3Д) для подсчета запасов нефти и газа. – М., 2006. – 40 с. [Levyant V.B., Ampilov Yu.P., Glogovskij V.M., Kolesov V.V., Korostyshevskij M.B., Ptecov S.N. Metodicheskie rekomendacii po ispol'zovaniyu dannyh sejsmorazvedki (2D, 3D) dlya podscheta zapasov nefti i gaza. – M., 2006. – 40 s.]
- 25 Птецов С.Н. Анализ волновых полей для прогнозирования геологического разреза. – М.: Недра, 1989. – 135 с. [Ptetsov S.N. Analiz volnovykh polej dlya prognozirovaniya geologicheskogo razreza. – M.: Nedra, 1989. – 135 s.]

- 26 Алексеев А.С. Актуальные задачи сейсморазведки и пути их решения // Вестник АН СССР. – 1980. – №7. – С. 19-28. [Aleksseev A.S. Aktual'nye zadachi sejsmorazvedki i puti ih resheniya // Vestnik AN SSSR. – 1980. – №7. – S. 19-28.].
- 27 Гольдин С.В. Интерпретация данных сейсмического метода отраженных волн. – М.: Недра, 1979. – 344 с. [Gol'din S.V. Interpretaciya dannyh sejsmicheskogo metoda otrazhennyh voln. – M.: Nedra, 1979. – 344 s.].
- 28 Митрофанов Г.М. Совмещение теоретических решений с реальными сейсмическими наблюдениями // Технологии сейсморазведки. – 2016. – №2. – С.19-31. [Mitrofanov G.M. Sovmeshchenie teoreticheskikh reshenij s real'nymi sejsmicheskimi nablyudenyami // Tekhnologii sejsmorazvedki. – 2016. – №2. – S.19-31.].
- 29 Бляс Э.А. Линеаризированный подход к определению импедансов продольных и поперечных волн по сейсмограммам отраженных волн (AVO-инверсия) // Технологии сейсморазведки. – 2005. – № 1. – С. 5-15. [Blyas E.A. Linearizirovannyj podhod k opredeleniyu impedansov prodol'nyh i poperechnyh voln po sejsmogrammam otrazhennyh voln (AVO-inversiya) // Tekhnologii sejsmorazvedki. – 2005. – № 1. – S. 5-15.].
- 30 Коростышевский М.Б., Сахаров А.Б., Смнева Д.А., Хайретдинова Е.М. Некоторые аспекты совместного использования данных глубинной миграции до суммирования и бурения // Технологии сейсморазведки. – 2005. – № 1. – С. 52-56. [Korostyshevskij M.B., Saharov A.B., Smneva D.A., Hajretdinova E.M. Nekotorye aspekty sovmestnogo ispol'zovaniya dannyh glubinnoj migracii do summirovaniya i bureniya // Tekhnologii sejsmorazvedki. – 2005. – № 1. – S. 52-56.].
- 31 Тяпкина А.Н., Тяпкин Ю.К., Окрепкий А.И. Адекватная скоростная модель – основа эффективного построения сейсмических изображений при картировании ловушек углеводородов, связанных с соляными куполами // Геофизический журнал. – 2015. – Т. 37. – №1. – 2015. С. 147-164. [Tyapkina A.N., Tyapkin YU.K., Okrepkij A.I. Adekvatnaya skorostnaya model' – osnova effektivnogo postroeniya sejsmicheskikh izobrazhenij pri kartirovanii lovushek uglevodorodov, svyazannyh s solyanymi kupolami // Geofizicheskij zhurnal. – 2015. – T. 37. – №1. – 2015. S. 147-164.].
- 32 Коростышевский М.Б., Исенов С.М. О возможности повышения эффективности сейсморазведки при изучении подсолевых отложений // Известия АН КазССР. Серия геологическая. – 1982. – № 4. С. 58-63. [Korostyshevskij M.B., Isenov S.M. O vozmozhnosti povysheniya effektivnosti sejsmorazvedki pri izuchenii podsolevyh otlozhenij // Izvestiya AN KazSSR. Seriya geologicheskaya. – 1982. – № 4. S. 58-63.].
- 33 Исенов С.М. Особенности обработки данных сейсморазведки способом общей точки отражения для пластовой модели среды // Известия АО КазССР. Серия геологическая. – 1984. – № 4. – С. 75-82. [Isenov S.M. Osobennosti obrabotki dannyh sejsmorazvedki sposobom obshchej toчки otrazheniya dlya plastovoj modeli sredy // Izvestiya AO KazSSR. Seriya geologicheskaya. – 1984. – № 4. – S. 75-82.].
- 34 Фред Дж. Хилтерман. Интерпретация амплитуд в сейсморазведке. – Тверь: ООО «Издательство ГЕРС», 2010. – 256 с. [Hilterman F.J. Fred Dzh. Hilterman. Interpretaciya amplitud v sejsmorazvedke. – Tver': ООО «Izdatel'stvo GERS», 2010. – 256 s.].
- 35 Исказиев К.О., Адилбеков К.А., Исенов С.М. Повышение качества сейсмического изображения при изучении глубоких палеозойских отложений // Нефть и газ. – 2018. – №1. – С. 52-64. [Iskaziev K.O., Adilbekov K.A., Isenov S.M. Povyshenie kachestva sejsmicheskogo izobrazheniya pri izuchenii glubokih paleozojskikh otlozhenij // Neft' i gaz. – 2018. – №1. – S. 52-64.].
- 36 Исенов С.М. Геотехнологии Мультифокусинг и Дифракционный Мультифокусинг – новый уровень решения геологических задач // Материалы совещания

ООО «Газпром геологоразведка»: Развитие минерально-сырьевой базы газонефтедобычи в Восточной Сибири. – Красноярск, 2013. – С. 114-121. [Issenov S.M. Geotekhnologii Mul'tifokusing i Difrakcionnyj Mul'tifokusing – novyj uroven' resheniya geologicheskikh zadach // Materialy soveshchaniya ООО «Gazprom geologorazvedka»: Razvitie mineral'no-syr'evoj bazy gazoneftedobychi v Vostochnoj Sibiri. – Krasnoyarsk, 2013. – S. 114-121.].

- 37 Исенов С.М., Кузнецова О.В., Караулов А.В., Пельман Д. Технологии: Мультифокусинг и Дифракционный Мультифокусинг – новые перспективы детального изучения подсольных карбонатных резервуаров в Прикаспийской впадине // Нефтесервис. – 2014. – С. 32-34. [Issenov S.M., Kuznecova O.V., Karaulov A.V., Pel'man D. Tekhnologii: Mul'tifokusing i Difrakcionnyj Mul'tifokusing – novye perspektivy detal'nogo izucheniya podsolevyh karbonatnyh rezervuarov v Prikaspijskoj vpadine // Nefteservis. – 2014. – S. 32-34.].
- 38 Шерифф Р.Е., Грегори А.П., Вейл П.Р., Митчем Р.М. и др. Сейсмическая стратиграфия. – М.: Мир, 1982. – 846 с. [Sheriff R.E., Gregori A.P., Vejl P.R., Mitchem R.M. i dr. Sejsmicheskaya stratigrafiya. – M.: Mir, 1982. – 846 s].