

УДК 550.83:551.3

СЕЙСМОФАЦИАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ПРОДУКТИВНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮРЫ ПЕСЦОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В.Н. Устинова, Н.Н. Стариков

Томский политехнический университет

E-mail: ustinovavn@tpu.ru

Сейсмофациальное моделирование на Песцовом нефтегазовом месторождении выполнено по результатам пространственной сейсморазведки с использованием материалов геофизических исследований скважин и данных исследования керна. Сейсмические структурные и литологические модели позволили уточнить фациальную природу коллекторов юрских отложений, мало изученных и перспективно нефтегазоносных на месторождении. По материалам сейсмогеологического моделирования прослежены контуры палеорусловых отложений, являющиеся на месторождении высокодебитными коллекторами. Тип фаций продуктивных отложений уточнен по данным литофациальных исследований по керну скважин.

Ключевые слова:

Сейсмоморфоструктурные карты, сейсмофациальные модели, сейсмофации, энергии отражений сейсмических волн, литофации.

Key words:

Seismic morphological maps, seismic facies model, seismic facies, seismic wave reflection energy, lithofacies.

Песцовое нефтегазоконденсатное месторождение – одно из крупнейших в составе Большого Уренгоя. На месторождении выявлены продуктивные залежи углеводородов (УВ) в пластах в широком стратиграфическом диапазоне: от плинсбаха до сеномана. В настоящее время территория Песцово-Ен-Яхинского нефтегазоносного района, включающая месторождение, практически полностью покрыта 2D и 3D сейсмическими съемками. В свде структуры забурено 39 поисковых и разведочных скважин. Исследования авторов посвящены проблемам литолого-фациальной интерпретации юрско-меловых комплексов, изучению воз-

можностей сейсморазведки при анализе пространственной изменчивости типов фаций, изучению возможности картирования продуктивных литофаций юры по сейсмическим параметрам и морфологическим признакам проявления в палеорельефе. Методика сейсмолитофациальных реконструкций разрабатывается авторами в течение ряда лет [1–3], привлечение сейсмолитофациальных построений к диагностике типа фаций показало хорошие результаты при прогнозе высокоёмких зон коллекторов на ряде месторождений в центральной и юго-восточной частях Западно-Сибирской плиты (ЗСП) [2, 3]. В настоящей работе при сейсмофа-

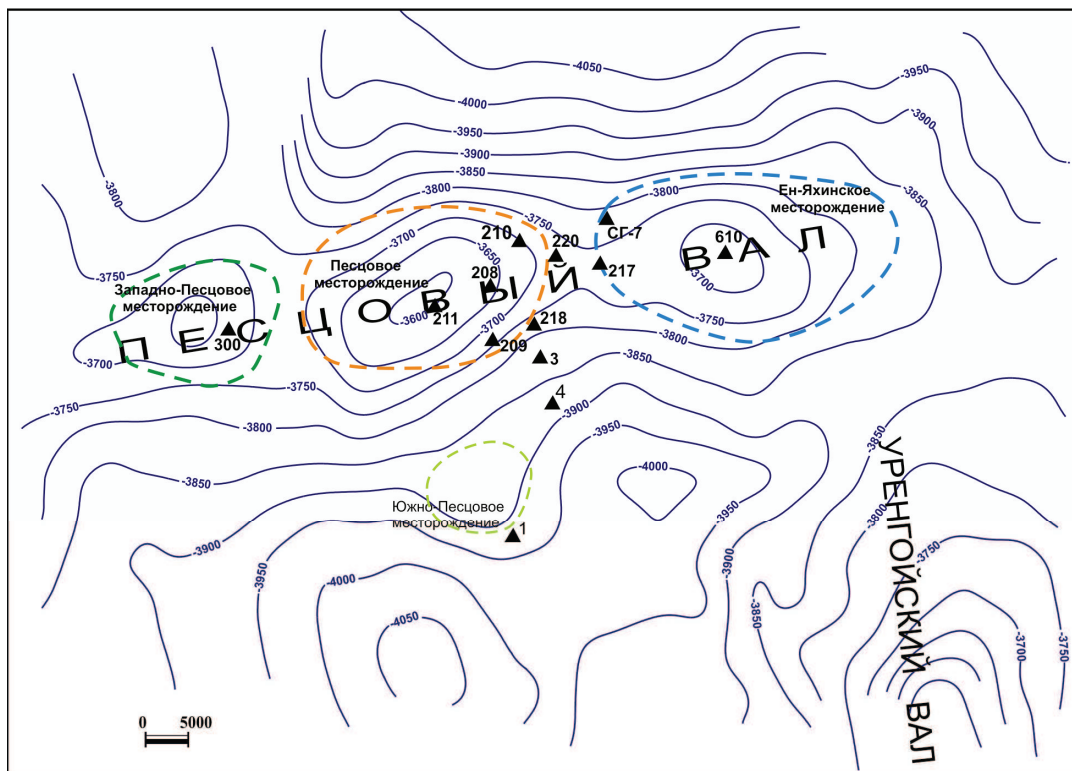


Рис. 1. Тектоническая схема Песцового вала по кровле юрских отложений

циальных реконструкциях и анализе сейсмofаций применялись сейсмические исследования разных лет на Песцовом месторождении с плотностью съемки 0,3...0,6 на км² площади. Анализ кернового материала проведён по 20 скважинам месторождения, изучены и описаны 1547 шлифов керна из продуктивных интервалов, в том числе 397 из юрских отложений. По результатам изучения керна в юрских отложениях выполнено ранжирование типов литофаций.

Тектоническая схема месторождения по кровле юрских отложений, построенная по материалам сейсморазведки разных лет (ООО Уренгойгазпром), представлена на рис. 1. На значительной территории, где залежи УВ по некоторым горизонтам юры и мела объединяются, расположены три площади – Песцовая, Западно-Песцовая и Ен-Яхинская. Продуктивны в разрезе юры и мела в основном песчаники.

Для юры и мела в продуктивных отложениях реконструируются по материалам сейсморазведки и ГИС (с учётом анализа кернового материала) морские и прибрежно-морские обстановки осадконакопления. Песчаные тела формировались от горизонта к горизонту в различных фациальных условиях. Их местоположение на своде структурного поднятия видоизменялось – менялась форма поднятия и расположение коллекторов и латеральных экранов. В ходе анализа структурных планов и сейсмических разрезов (примеры приведены на рис. 1–4) установлено, что местоположение каждого пласта имеет свою преимущественную локализацию и пространственные параметры. Изменение геометрии поднятия можно наблюдать на одном из сейсмических разрезов (рис. 2). Наложённые на сейсморазрез кривые электрического каротажа (ПС и КС по скважинам 224, 27 и 4, рис. 2) показывают изменчивость электрофаций юрских (интервал времён 2600...2700 мс) и меловых (интервал времён 2300...2600 мс) отложений. Интерпретация каротажных данных позволяет сказать, что отложения юры существенно более глинистые.

Сейсмо- и литофациальные построения выполнялись с привлечением геологических реконструкций прошлых лет [4–6]. Геологоразведочные работы на нефть и газ на Песцовом нефтегазоконденсатном месторождении начаты в 1973 г. По результатам сейсморазведки выявлено локальное поднятие (рис. 1), в сводовой части поднятия пробурена первая скважина глубиной 3100 м. В последующие 25 лет на месторождении открыты и разрабатывались залежи газа и газоконденсата в сеномане и неокме. Залежи УВ в нижнемеловых отложениях Песцового месторождения открыты в 1974 г. [6]. Песцово-Ен-Яхинское месторождение многопластовое, нефтегазоносно в основном в меловых пластах БУ₁₀, БУ₉, БУ₈ (в структуре которых выделяется сложная система пропластков: БУ₈²; БУ₈³; БУ₉¹; БУ₉²; БУ₁₀¹; БУ₁₀^{2а}), БУ₁₃–БУ₁₁, в ачимовских отложениях – АчБУ₁₂ и АчБУ₁₁ (АчБУ₁₁²), Ач₃, Ач₄, в юрском комплексе.

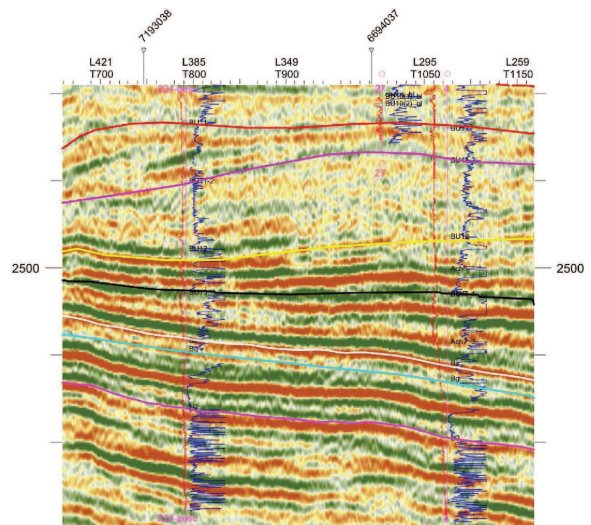


Рис. 2. Один из сейсмoproфилей Песцовой площади, вкрест простираения локального поднятия. Длина профиля 4 км. Фрагмент временного разреза (вертикального среза 3D сейсморазведки) через скважины 224, 27 и 4 в южной части месторождения

Для Песцовой площади основными исследуемыми пластами являются БУ₈², БУ₈³, БУ₉¹, БУ₉², БУ₁₀¹, БУ₁₀^{2а}. Максимум продуктивности обнаруживается в пластах БУ₈²–БУ₁₀², АчБУ₁₀²–АчБУ₁₃, Ю₂ [4, 6]. Для нефтегазоносных горизонтов по данным сейсморазведки и ГИС построены кубы литологии пластов (рис. 3), которые получены по материалам электрофациальной и сеймофациальной интерпретации 2D и 3D данных. По результатам параметрического моделирования построены кубы пористости, проницаемости, насыщенности коллекторов пластов. Модели мощности пластов АчБУ₁₀²–АчБУ₁₃ построены с учетом результатов анализа временных толщин сейсмокомплексов. Песчаники пласта БУ₉² характеризуются как сейсмofации дельтового комплекса.

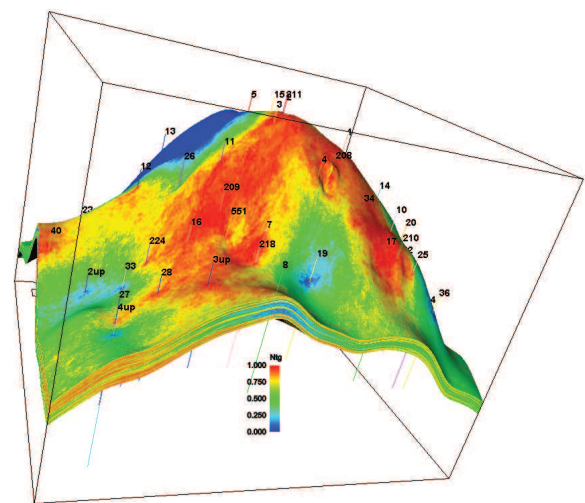


Рис. 3. Фрагмент куба песчанистости (от 0 до 1, по цветовой шкале) пласта БУ₉² Песцового месторождения. Материалы ООО «Уренгойгазпром»

Согласно тектонической схеме (рис. 1) Песцовое месторождение находится в пределах структуры второго порядка – Песцового вала, представляющего собой вытянутую в субширотном направлении приподнятую зону протяженностью 100 км, при ширине до 35 км [6], осложненную локальными поднятиями третьего порядка – Западно-Песцовым, Песцовым и Ен-Яхинским. Сенноманская залежь Песцовой площади входит в состав единой газовой залежи Большого Уренгоя. Залежь УВ Западно-Песцовой площади структурно отделяется от основной залежи Большого Уренгоя. Сенноманская и неокомские залежи Ен-Яхинского месторождения входят частично в общий многопластовый комплекс. Залежи ачимовской толщи и юрские залежи являются общими объектами для Песцового и Ен-Яхинского месторождений.

Сейсмические материалы являются источником структурных построений, сейсмофациальных моделей (рис. 3–5).

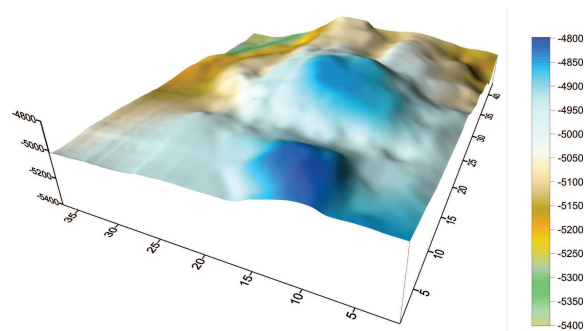


Рис. 4. Модель сейсмической структурной поверхности в кровле пласта Ю₂ Песцового месторождения (шкала глубин – в метрах). В единице горизонтального масштаба – 200 м

Анализ сейсмических структурных карт (модели структурных поверхностей, построенные авторами, представленные на рис. 4, 5) по различным отражающим горизонтам показывает, что Песцовое локальное поднятие прослеживается по всему разрезу осадочного чехла. Наиболее рельефно Песцовое поднятие отображается по нижнеюрским отложениям и поверхности доюрского основания (рис. 4). При исследовании генетических особенностей формирования юрских и меловых продуктивных комплексов данные о фациальном составе отложений были получены разными методами: по результатам электрофациальной интерпретации, сейсмофациального истолкования сейсморопоповерхностей (например, представленных на рис. 4, 5) и карт сейсмических параметров (рис. 6), и по результатам исследования кернового материала.

Выявление участков максимальной продуктивности, локальных нефтегазонасыщенных тел, местоположение и геометрия которых изменяются от пласта к пласту, сильно зависит от правильности определения фациального типа осадка коллектора и тенденций их пространственного распространения. Уже сейсморопоструктурные модели дают важную информацию о строении среды, так как за-

частую для месторождений ЗСП устанавливается связь между приращениями рельефа и мощностью песчаных коллекторов в подстилающих отложениях [2, 3, 7, 8]. Для Песцового месторождения 3D модели сейсмокомплексов и литосейсмофациальные модели (рис. 3), модели поверхностей отражения (рис. 4, 5) построены для осадочных образований сеномана, неокома, ачимовской толщи и средней юры. На представленных сейсморопологических моделях (рис. 3–5) изменение в рельефе палеоповерхности (смещение свода поднятия от юры к мелу в север-восточном направлении) проявляется и в латеральном смещении мощностей продуктивных комплексов соответствующих отложений.

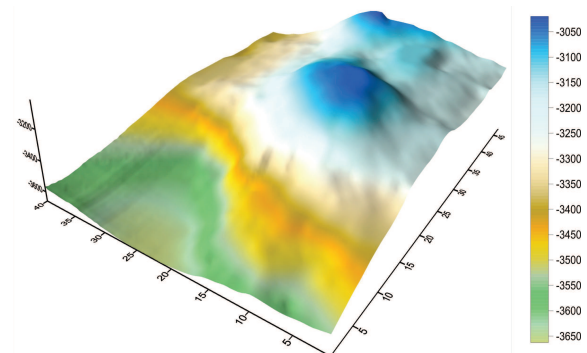


Рис. 5. Модель сейсмической структурной поверхности в низах мела в кровле пласта БУ₁₀ Песцового месторождения (шкала глубин – в метрах). В единице горизонтального масштаба – 200 м

Методами сейсморопофациального анализа, электрофациального моделирования на Песцовом месторождении изучены особенности формирования, пространственного распространения, латерального выклинивания и фациального замещения основных продуктивных комплексов. Эти методы дают возможность установить сложную картину пространственной локализации продуктивных коллекторов, локальных участков нефтегазонасыщения, их морфогенетическую проявленность и изменчивость от горизонта к горизонту [1–3, 7]. Для юрских продуктивных комплексов морфология рельефа поверхности (рис. 4) существенно осложнена морфологией выступов фундамента. Для идентификации сейсмофаций и выявления участков повышенной мощности коллекторов в пласте Ю₂ дополнительно привлекались аномалии сейсмических параметров отражений. Так, в юрских отложениях месторождения выявлены аномалии энергий отражений (рис. 6), величин интервальной скорости, в которых интенсивными экстремумами отмечаются узкие извилистые тела, сейсмофации шнуркового типа: в виде протяжённых полос. Такая сейсмофация может характеризоваться как палеодельтовая русловая.

Геологические данные по продуктивным комплексам (бурение, ГИС) подтверждают, что продуктивные отложения пространственно неоднородны [4, 6], нефтегазонасыщенные отложения до-

полняют друг друга по латерали и разрезу. Изменив фациальный состав коллекторов. В валанжинских залежах это прибрежно-морские (дельтовые, баровые тела, валы и осадки склоновых комплексов), в ачимовских комплексах – осадки континентального склона, каньонов, дистальных конусов выноса, формировавшие обширные песчаные тела. В юрских комплексах – это тела меньшей мощности и латерального распространения.

Модель сейсмического параметра

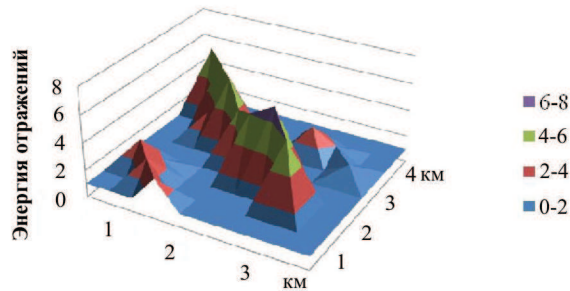


Рис. 6. Модель энергии отражений по отражающему горизонту малышевского комплекса в пределах центрального купола Песцового локального поднятия. Энергии отражений – в условных единицах. Модель для фрагмента структурной карты 3597х4879 м в районе скв. 208, 210

Среднеюрские отложения на месторождении характеризуются весьма широким спектром состава и условий образования. Устойчивая связь положительных форм палеорельефа с повышенными мощностями песчаных тел, а энергий отражений и величин интервальной скорости – с участками нефтегазонасыщенных пород (рис. 3) говорит о возможности применения сейсморазведки в качестве достоверного источника фациальной информации.

Электрофациальными и литофациальными исследованиями ядерного материала в породах среднеюрской части разреза [9] установлены следующие группы фаций: *заливно-лагунного побережья; группа дельтовых фаций; фаций отложений открытого подвижного мелководья.*

В региональной стратиграфической схеме, принятой в Новосибирске для ниже-среднеюрских отложений Западной Сибири, территория исследований – Песцовая площадь, относится к Уренгойскому структурно-фациальному району, входящему в Обь-Тазовскую фациальную область. Обь-Тазовская фациальная область представлена преимущественно прибрежно-морскими отложениями с участием дельтовых и континентальных фаций [5].

Изученные среднеюрские отложения [9] относятся к тюменской свите. Тюменская свита (малышевский горизонт) представлена переслаиванием темно-серых глин, глинистых песчаников, алевролитов с буроватым оттенком, отмечаются биотурбированные прослои, пирит.

Песчаные пласты по результатам палеонтологических исследований [9] здесь индексируются как Ю₂–Ю₄. Стратиграфический объем малышевского

горизонта – верхи верхнего байоса – до нижней половины верхнего бата. Перекрывается тюменская свита на исследуемой территории отложениями абалакской свиты васюганского горизонта. Вверх по разрезу наблюдается постепенный переход от дельтовых фаций к фациям подвижного мелководья.

Тип фации, определённый по результатам сейсмофациальных исследований (например, рис. 6), уточнялся по результатам литологических и минералогических методов анализа по образцам керна. С применением корреляционных связей: «кern»–«кern», «кern»–«геофизика», «кern»–«физика пласта», «кern»–«сейсморазведка» для юрских отложений удалось установить однородность структуры коллектора, небольшие величины вариаций пористости и проницаемости в продуктивных ячеях коллекторов, а значит близкий тип фаций для нефтенасыщенных резервуаров в однообразных отложениях (таблица).

Таблица. Емкостные характеристики коллекторов и особенности их проявления в сейсмоданных

Песцовое месторождение						
№ скважины	$K_{п.л.}$ отн. ед.	H , м	$K_{п.тр.}$ отн. ед.	$E_{отр.}$ усл. ед.	$T_{инт.}$, мс	$K_{п.кар.}$ %
211, 17, 210		24	0,27	0,3	230	19,2
15, 218, 20, 24		22	0,31	0,27	245	17,6
26, 224	0,16	16		0,42	270	15,9
12	0,20	15		0,45	281	18,8
551		19	0,3	0,73	264	21,1

Результаты исследований мощности (H , м), пористости коллекторов ($K_{п.л.}$, отн. ед.), в том числе в карбонатизированных зонах ($K_{п.кар.}$, %), и её изменчивости в трещинных участках коллекторов ($K_{п.тр.}$, отн. ед.), а также особенностей проявления величин эффективных параметров продуктивного пласта Ю₂ в энергии сейсмических отражений ($E_{отр.}$, усл. ед.) по перекрывающим песчаный коллектор горизонтам (рис. 6) и в интервальном времени ($T_{инт.}$, мс) представлены в таблице. Значения величин пористости существенно возрастают в трещинных зонах. Этим участкам обычно соответствуют повышенные мощности песчаных отложений коллектора. Некоторые понижения величин параметров энергий сейсмических отражений связаны с продуктивностью коллекторов [8]. Уменьшение интервального времени, вероятно, обусловлено наличием аномалий скорости в нефтегазовых комплексах.

По результатам исследования керна (10 скважин) песчаный пласт Ю₄ слагают отложения дельтовых рукавов и внутридельтовых заливов. Литологически пласт представлен неравномерным переслаиванием песчаников, аргиллитов, алевролитов. Породы имеют горизонтально-косослоистую, волнистую, прерывистую, линзовидную слоистость, обусловленную намывами глинистого материала. Мощность песчаного пласта выдержана и практически не изменяется, составляя в среднем 25...28 м.

Песчаный пласт Ю₃, представленный отложениями внутридельтовых заливов, прирусловых валов и осадками малоподвижного мелководья, сложен преимущественно серыми, светло-серыми в основном мелкозернистыми песчаниками и алевропесчаниками, часто карбонатизированными, с ещё меньшей долей алевролитов и аргиллитов. В существенно песчаных пропластках для образцов керна характерен запах УВ. Мощность пласта не выдержана и изменяется от 35 до 50 м.

Тюменская свита на месторождении представлена пластом Ю₂. Пласт по результатам исследования керна материала (8 скважин) слагают осадки подвижного мелководья. Постепенный переход к более удаленным от берега фациям, а так же наблюдаемое уменьшение размерности отложений к кровле пласта, вероятно, может свидетельствовать о происшедшей на данной территории трансгрессии.

Пласт имеет большую мощность порядка 40...45 м. Особенностью пласта является высокая песчаность, с небольшой долей алевролитов и аргиллитов, и тяготеющее к кровле пласта наличие глинистых разностей. Отмечается интенсивная карбонатизация песчаников. Характерной чертой является наличие по всему разрезу пласта Ю₂ запаха УВ в песчаных породах.

Исходя из анализа разрезов, моделей структурных поверхностей, сейсмofаций и вещественного состава по результатам исследования керна материала, можно предположить, что в пределах рассматриваемой территории в среднеюрское время продолжала существовать палеорека, протекавшая в северо-восточном направлении, и в ее пределах можно ожидать породы с улучшенными коллекторскими свойствами.

С точки зрения выявления залежей УВ в среднеюрском комплексе наибольший интерес представляют песчаные пласты тюменской свиты Ю₂, Ю₄, сформировавшиеся в переходных условиях от континентального к мелководно-морскому режиму осадконакопления и отличающиеся от нижележащих пластов лучшими коллекторскими свойствами и повышенными эффективными толщинами.

Дальнейшие исследования особенностей геологического строения месторождения и характера его нефтегазонасыщения требуют решения ряда взаимосвязанных и сложных вопросов [10], среди которых – геолого-тектоническое строение разновозрастных комплексов, характер литолого-фациального замещения продуктивных пластов, фациальный облик песчаных коллекторов, син- и постдиagenетические преобразования в песчаниках. Комплексные сейсмогеологические исследования позволяют получить пространственные модели нефтегазонасыщенных комплексов.

Выводы

Сейсморазведка в комплексе с геологическими исследованиями в скважинах позволяет решать ряд сложных задач идентификации и пространственного распространения песчаных фаций нефтегазонасыщенных отложений. Сейсмofациальная интерпретация наряду с электрофациальным анализом предоставляет важный материал для определения типа песчаной фации и её пространственной локализации. Генетическая принадлежность литотипов песчаных пород, определённая локально в скважинах по результатам анализа керна материала, устанавливается в сейсмоморфоповерхностях и аномалиях сейсмических параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Устинова В.Н. Сейсмические данные на этапе разведки нефтяных и газовых месторождений // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307. – № 1. – С. 67–72.
2. Устинова В.Н., Зиборов С.С., Гаврилов С.Н., Горкальцев А.А., Филимонова А.И., Бойло О.И. Геологоразведочные работы на Двуреченском месторождении, решение задач картирования песчаных фаций и выделение зон высокоёмких коллекторов // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. – № 1. – С. 27–33.
3. Устинова В.Н., Устинов В.Г., Данилов И.В., Горкальцев А.А., Филимонова А.И. Сейсмоморфологический анализ при прогнозе нефтегазонасыщенности на Первомайском месторождении нефти // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2004. – № 6. – С. 44–48.
4. Мстиславская Л.П., Павлинич М.Ф., Филиппов В.П. Основы нефтегазового производства. – М.: Изд-во Нефть и газ, 2008. – 276 с.
5. Решение VI Межведомственного стратиграфического совещания по рассмотрению и принятию уточненных стратиграфических схем мезозойских отложений Западной Сибири. – Новосибирск, 2003. – Новосибирск: СНИИГиМС, 2004. – 114 с.
6. Grace J.D., Hart G.F. Urengoy gas field – U.S.S.R., West Siberian Basin, Tyumen District // AAPG Special Volumes. Volume TR: Structural Traps III: Tectonic Fold and Fault Traps, 1990. – P. 309–335.
7. Устинова В.Н. Морфологическая интерпретация сейсмических поверхностей // Отечественная геология. – 2005. – № 6. – С. 23–27.
8. Устинова В.Н., Устинов В.Г. Тектонически-напряжённые зоны нефтегазонасыщенных структур и их изучение по данным сейсморазведки // Геофизика. – 2004. – № 1. – С. 13–18.
9. Стариков Н.Н. Литолого-фациальные особенности среднеюрских отложений на примере Песцового месторождения (Ямало-Ненецкий автономный округ) // Геология в развивающемся мире: Матер. Междунар. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Пермь: Изд-во ПГУ, 2011. – С. 204–206.
10. Сулейманов Р.С., Маринин В.И., Зайчиков Г.М. Перспективы развития ресурсной базы Уренгойского нефтегазонасыщенного комплекса // Вестник ассоциации буровых подрядчиков. – 2007. – № 4. – С. 10–16.

Поступила 26.01.2013 г.