УДК (550.834.05+550.8.011):553.981(571.1-17)

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ОБРАЗЫ КРУПНЫХ ГАЗОВЫХ ЗАЛЕЖЕЙ В АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНАХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ И НА ШЕЛЬФЕ КАРСКОГО МОРЯ

В. А. Конторович^{1,2}, Е. С. Сурикова^{1,2}, Д. В. Аюнова¹, С. М. Гусева¹

¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН; ² Национальный исследовательский Новосибирский государственный университет; Новосибирск, Россия

Работа выполнена на базе комплексной интерпретации материалов сейсморазведки, геофизических исследований скважин, результатов испытаний и петрофизических исследований и посвящена газоносности апт-альб-сеноманских отложений в арктических регионах Западной Сибири и на шельфе Карского моря. В качестве эталонных объектов рассмотрены месторождения Надым-Пурской, Ямальской, Гыданской и Южно-Карской нефтегазоносных областей Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. По результатам исследований сформулированы сейсмогеологические критерии прогноза газоносности сеноманских и апт-альбских резервуаров. Показано, что массивные сеноманские газовые залежи отображаются в волновых сейсмических полях: 1) наличием на временных разрезах отражающих горизонтов, формирующихся на газоводяных контактах, и падением амплитудных характеристик приуроченного к кровле сеномана отражающего горизонта Г; 2) увеличением значений временной мощности, понижением интервальных скоростей и уменьшением амплитудно-энергетических характеристик сейсмической записи в апт-сеноманском мегакомплексе. Апт-альбские пластовые газовые залежи отображаются на временных разрезах резким увеличением амплитуд сейсмической записи, формируя в волновых полях аномалии «яркого пятна».

Ключевые слова: Западная Сибирь, Карское море, временной разрез, сейсмогеологический комплекс, осадочный комплекс, отражающий горизонт, сейсмическая аномалия, «яркое пятно».

SEISMIC IMAGES OF LARGE GAS ACCUMULATIONS IN ARCTIC REGIONS OF WESTERN SIBERIA AND ON THE SHELF OF THE KARA SEA

V. A. Kontorovich^{1,2}, E. A. Surikova^{1,2}, D. V. Ayunova¹, S. M. Guseva¹

¹A.A.Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics; ² National Research Novosibirsk State University; Novosibirsk, Russia

The work performed on the basis of the integrated interpretation of seismic survey, geophysical well logging, test results and petrophysical studies is devoted to the gas presence of the Aptian-Albian-Cenomanian sediments in the Arctic regions of Western Siberia and on the shelf of the Kara Sea. Fields of the Nadym-Pur, Yamal, Gydan and South-Kara petroleum regions (PR) of the Western Siberian petroleum province are considered as reference objects. Seismic and geological criteria for the gas presence prediction of the Senomanian and Aptian-Albian reservoirs are formulated based on the results of the research. It is shown that massive Cenomanian gas accumulations are imaged in wave seismic fields by: 1) the presence of reflective horizons forming on gas-water contacts at reflection-time sections and the decline in the amplitude characteristics of the G reflecting horizon, confined to the Cenomanian top; 2) the increase in the values of the seismic dataset in the Aptian-Cenomanian megacomplex. The Aptian-Albian sheet gas accumulations are displayed at reflection-time sections by a sharp increase in the amplitudes of the seismic record, forming the "bright spot" anomalies in the wave fields.

Keywords: Western Siberia, Kara Sea, reflection-time section, seismic sequence, depositional sequence, reflecting horizon, seismic anomaly, "bright spot".

DOI 10.20403/2078-0575-2018-4-41-48

Северные и арктические районы Западной Сибири, охватывающие Ямало-Ненецкий автономный округ (ЯНАО), и южная часть акватории Карского моря представляют собой один из крупнейших в мире газоносных регионов. В плане нефтегазогеологического районирования на этой территории выделено пять нефтегазоносных областей (НГО): Надым-Пурская, Пур-Тазовская, Ямальская, Гыданская и Южно-Карская (рис. 1).

Основные запасы газа на севере Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции (НГП) контролируются высокоамплитудными антиклинальными структурами и сконцентрированы в аптальб-сеноманском осадочном мегакомплексе [5, 6]. В разрезе апт-сеномана выделяются два регионально газоносных макрорезервуара — сеноманский и апт-альбский, которые в кровле перекрыты трансгрессивными глинистыми пачками, играющими роль региональных флюидоупоров для залежей углеводородов (УВ).

В Надым-Пурском междуречье открыты такие уникальные газовые гиганты, как Медвежье, Уренгойское, Ямбургское, Ямсовейское и другие месторождения. На этой территории внутри апт-альб-

№ 4(36) ♦ 2018 -



Рис. 1. Схема нефтегазогеологического районирования северных районов Западной Сибири

Границы: 1 – Западно-Сибирской плиты, 2 – Западно-Сибирской НГП, 3 – НГО; месторождения: 4 – нефтяные, 5 – нефтегазовые, 6 – газонефтяные, 7 – нефтегазоконденсатные, 8 – газоконденсатные, 9 – газовые

сеноманского комплекса отсутствуют регионально развитые флюидоупоры. На месторождениях региона более 90 % запасов газа сконцентрировано в сеноманском песчаном горизонте ПК₁, который перекрыт мощным глинистым туронским региональным флюидоупором (кузнецовская свита). Сеноманские залежи являются массивными и контролируются крупными высокоамплитудными антиклинальными структурами. Существенно более мелкие залежи газа, конденсата и нефти локализованы в апт-альбских, неокомских и средне-верхнеюрских песчаных пластах.

На крайнем севере Западной Сибири и в южной части Карского моря в разрезе апт-альбсеноманского мегакоплекса развит мощный ханты-мансийский (яронгский) флюидоупор, залегающий в низах альба. Это предопределило, что на месторождениях Ямальской, Гыданской и Южно-Карской НГО при наличии традиционных сеноманских залежей основные запасы газа сконцентрированы в аптских песчаных пластах группы ТП под указанным флюидоупором [2] на Харасавэйском, Бованенковском, Южно-Тамбейском, Нурминском, Арктическом, Среднеямальском, Ленинградском и других месторождениях. Аптские газовые залежи, как правило, многопластовые, локализованы в серии близко расположенных, гидродинамически не связанных песчаных пластов в верхней части танопчинской свиты; по типу залежи пластово-сводовые.

Сеноманские и аптские залежи различаются не только по строению, но и по составу сконцентрированного в них газа: сеноманские содержат исключительно сухой газ – метан, плотность которого по воздуху составляет 0,554; аптские – жирный газ, плотность которого 1,03–2,97.

Сейсмогеологические критерии газоносности сеноманских отложений

На севере Западной Сибири апт-сеноманский мегакомплекс на временных сейсмических разрезах ограничен отражающими горизонтами (ОГ) М и Г, приуроченными к кровле нейтинской пачки (кровля неокома) и подошве кузнецовской свиты (кровля сеномана) соответственно [4, 7]. Залегающий ниже по разрезу неокомский (берриас-нижнеаптский) осадочный мегакомплекс в кровле контролируется горизонтом М, в подошве – формирующимся на кровле юры отражающим горизонтом Б.

Физическая природа отражающего горизонта ГВК

На севере Западной Сибири на крупных поднятиях, к которым приурочены уникальные сеноманские залежи, на временных разрезах часто выделяются газоводяные контакты (ГВК): на контакте газо- и водонасыщенных песчаников горизонта ПК₁ формируется интенсивная отраженная волна. На таких объектах под антиклинальными структурами, выделяемыми в рельефе отражающего горизонта Г, фиксируются локально развитые отражающие сейсмические горизонты, которые в направлении склонов поднятий сливаются с горизонтом Г. ОГ, приуроченные к ГВК, как правило, прослеживаются квазигоризонтально или имеют выпуклую вниз форму.

На рис. 2 приведены сейсмогеологические разрезы по профилям, пересекающим Юбилейное и Ямсовейское месторождения в Надым-Пурском междуречье и Крузенштернское и Ленинградское – в Ямальской и Южно-Карской НГО соответственно. На разрезах отчетливо прослеживаются ОГ, связанные с ГВК.

Отраженные сейсмические волны формируются на границах сред, характеризующихся различными физическими свойствами. Для формирования отраженных волн определяющими являются такие характеристики пород, как плотность и скорость распространения в них продольных сейсмических волн. Произведение этих параметров определяет акустическую жесткость среды, а перепады акустических жесткостей на геологических границах – коэффициенты отражения и, как следствие, энергетический уровень формирующихся на них сейсмических ских горизонтов.

Разрез сеноманского комплекса и входящего в его состав продуктивного горизонта ПК₁ представлен переслаивающимися алевролитами, аргиллитами и песчаниками с преобладанием последних. Песчаные пласты горизонта ПК₁ – хорошие коллек-





1 – основные отражающие сейсмические горизонты (Б – баженовская свита и ее аналоги, М – кошайская пачка алымской свиты и ее аналоги, Г – подошва кузнецовской свиты); 2 – сейсмогеологические мегакомплексы (J – юрский, K₁ – берриас-нижнеаптский, K₁₋₂ – апт-сеноманский, K₂ – турон-маастрихтский, KZ – кайнозойский); 3 – связанный с ГВК отражающий горизонт

торы с коэффициентами пористости 30–35 %. Разделяющие их алеврито-глинистые пачки, с одной стороны, характеризуются низкими фильтрационно-емкостными свойствами, с другой – не являются надежными флюидоупорами. Этим предопределяется, что сеноманские газовые залежи по типу массивные, водоплавающие.

Анализ данных акустического каротажа по месторождениям севера Западной Сибири показал, что разрез сеномана в целом акустически дифференцирован слабо: перепады скоростей продольных сейсмических волн на границах между различными литологическими разностями, как правило, не превышают 100–150 м/с. В то же время наличие ОГ на уровне ГВК свидетельствует о том, что на данной границе происходит перепад акустических жесткостей пород. При этом ОГ, формирующийся на ГВК, не изохронен и в пределах структуры «рассекает»



Рис. 3. Зависимости временных мощностей (ΔТ) турон-кайнозойского (а) и апт-сеноманского (б) мегакомплексов от их толщин (ΔН) (Надым-Пурское междуречье)

разновозрастные пласты, входящие в состав единого продуктивного горизонта.

Из опубликованных материалов известно, что в терригенных породах на глубинах до 1–1,5 км скорости продольных сейсмических волн в водо- и газонасыщенных коллекторах различаются на 15-25 % [1]. Выполненный в ИНГГ СО РАН анализ результатов испытаний и материалов ГИС по ряду месторождений севера Западной Сибири показал, что характер насыщения песчаных пластов групп ТП, ХМ и ПК, выделяемых в разрезе апт-альб-сеноманского комплекса, существенно влияет на акустические характеристики пород: в зависимости от глубины залегания скорости распространения продольных сейсмических волн в газонасыщенных пластах составляют 2100-3000 м/с, в водонасыщенных – 2500–3800 м/с [3]. В среднем перепад скоростей на границе газо- и водонасыщенных песчаников составляет около 500-600 м/с. Аналогично ведут себя и плотности: плотность метана в стандартных условиях 0,00072 г/см³, сеноманской воды – 1,01–1,03 г/см³.

Синхронное уменьшение скоростей и плотностей газонасыщенной части разреза приводит к резкому перепаду акустических жесткостей на ГВК и является причиной формирования на этой физической границе интенсивной отраженной волны.

Следует отметить, что не все сеноманские газовые залежи порождают на временных разрезах отражающие горизонты, связанные с ГВК. Это может быть связано как с качеством сейсмического материала, так и с небольшой высотой залежей и ограниченной разрешающей способностью сейсморазведки.

Интервальные скорости

Поскольку газонасыщенные интервалы сеноманского разреза характеризуются пониженными скоростями распространения продольных сейсмических волн, то при достаточно большой высоте залежи этот фактор будет приводить к уменьшению интервальных скоростей (V_{инт}) и, как следствие, к увеличению временной мощности (ΔТ) всего апт-сеноманского сейсмогеологического мегакомплекса.

На рис. З приведены построенные по скважинам Медвежьего, Юбилейного и Ямсовейского месторождений (Надым-Пурское междуречье) зависимости значений временной мощности (ΔT) от геологической мощности (ΔН) для турон-кайнозойского и апт-альб-сеноманского мегакомплексов. В турон-кайнозойском комплексе, залегающем в верхней части осадочного чехла и не содержащем газовые залежи, фиксируется нормальное для Западной Сибири распределение: в направлении депрессионных зон по мере увеличения толщины мегакомплекса (глубины залегания кузнецовской свиты) увеличиваются времена наблюдения отражающего горизонта Г. В апт-сеномане зависимость обратная, что обусловлено исключительно падением скоростей в газонасыщенной части разреза.

Эффект падения скоростей отражается и в палеореконструкциях. На временных сейсмических палеоразрезах, выравненных по горизонту Г, крупным антиклинальным структурам, которые контролируют сеноманские газовые залежи, в палеорельефах горизонтов М и Б отвечают локальные депрессии, формирование которых связано не с геологическим строением объектов, а исключительно с падением скоростей распространения продольных сейсмических волн в сеноманских газовых залежах.

Динамические характеристики сейсмической записи

1. Уменьшение плотностей и скоростей распространения продольных сейсмических волн приводит к понижению акустической жесткости всего газонасыщенного слоя и, как следствие, к изменению коэффициентов отражения не только на его подошве, но и на кровле (на границе между кузнецовским флюидоупором и сеноманским резервуаром). Отражающий горизонт Г, контролирующий кровлю сеномана, формируется на подошве глин кузнецовской свиты, скорости распространения продольных сейсмических волн в которой составляют около 2000 м/с. Поскольку в газонасыщенной толще акустическая жесткость падает, то в зоне развития залежи на границе «флюидоупор – резервуар» умень-



Рис. 4. Сейсмические образы сеноманских газовых залежей

1 — основные отражающие сейсмические горизонты (А — подошва осадочного чехла, Б — баженовская свита и ее аналоги, М — кошайская пачка алымской свиты и ее аналоги, Г — подошва кузнецовской свиты); 2 — сейсмогеологические мегакомплексы (РZ — палеозойский, J — юрский, K₁ — берриас-нижнеаптский, K₁₋₂ — апт-сеноманский, K₂ — турон-маастрихтский, KZ — кайнозойский); 3 — связанный с ГВК отражающий горизонт; 4 — «яркое пятно»

шается коэффициент отражения и, как следствие, энергия отраженной волны.

2. Уже было отмечено, что заполненные газом сеноманские резервуары характеризуются пониженными скоростями и плотностями. Одновременно газонасыщенные толщи пород обладают повышенной поглощающей способностью. Проходя через газонасыщенную часть разреза, сейсмические волны существенно теряют энергию, что приводит к падению амплитудных характеристик волновых полей внутри всего апт-альб-сеноманского мегакомплекса и в нижележащих неокомских и юрских отложениях.

Выделенные особенности сейсмической записи фиксируются на многих месторождениях севера Западной Сибири и на шельфе Карского моря. В качестве примера на рис. 4 приведены временны́е разрезы по профилям, пересекающим расположенные соответственно в Ямальской и Южно-Карской НГО месторождения Крузенштернское и Победа. Анализ этих разрезов позволяет сделать следующие выводы:

• Крупные сеноманские газовые залежи контролируются контрастными поднятиями (амплитуды 120–150 м), выделенными в рельефе горизонта Г, под которыми на сейсмических разрезах четко фиксируются квазигоризонтальные ОГ, формирующиеся на ГВК. • На временных разрезах под сеноманскими газовыми залежами рельефы нижезалегающих неокомских и апт-альбских ОГ выполаживаются и структуры становятся менее контрастными, что свидетельствует о падении интервальных скоростей в апт-альб-сеноманской части разреза.

• На временном разрезе по профилю, пересекающему месторождение Победа, под сеноманской газовой залежью существенно уменьшаются энергетические характеристики волновых полей: фиксируется столбообразное падение амплитуд сейсмической записи по всему разрезу.

Сейсмогеологические критерии газоносности апт-альбских отложений

Принципиально иначе на характер волнового поля влияют газовые залежи в песчаных пластах апт-альбских отложений, с которыми связаны основные запасы газа в Гыданской, Ямальской и Южно-Карской НГО (крайний север Западно-Сибирской НГП). В этих регионах апт-альбские песчаные пласты, содержащие значительные запасы газа, контролируются флюидоупорами, не обладающими аномальными акустическими характеристиками, и, как следствие, реперные сейсмические горизонты на них не формируются.

Как было отмечено, в Западно-Сибирской НГП апт-альб-сеноманский комплекс, сложенный песча-

<u>N</u>⁰ 4(36) ♦ 2018



Рис. 5. Сейсмические образы апт-альбских газовых залежей Южно-Тамбейского и Солетско-Ханавейского месторождений

1 — основные отражающие сейсмические горизонты (Б — баженовская свита и ее аналоги, М — кошайская пачка алымской свиты и ее аналоги, Г — подошва кузнецовской свиты, С — ганькинская свита); 2 — сейсмогеологические мегакомплексы (Ј — юрский, К₁ — берриас-нижнеаптский, К₁₋₂ — аптсеноманский, К₂ — турон-маастрихтский, КZ — кайнозойский); З — «яркое пятно»



Рис. 6. Сейсмогеологические разрезы по профилям Ленинградского месторождения Усл. обозн. см. на рис. 4

никами, алевролитами и аргиллитами, отличается слабой акустической дифференциацией. Распространенный в северной части ЯНАО и в южной части Карского моря ханты-мансийский флюидоупор также характеризуется скоростями распространения продольных сейсмических волн, сопоставимыми с таковыми вмещающих пород, и реперный отражающий горизонт на нем не формируется.

В условиях слабой акустической дифференциации аномальными акустическими характеристиками в этой части разреза обладают только маломощные известковистые песчаники, которым свойственны аномально высокие скорости распространения продольных сейсмических волн, и низкоскоростные газонасыщенные песчаные пласты. Анализ данных акустического каротажа показал, что в продуктивных скважинах, где апт-альбские пласты газонасыщенные, они характеризуются аномально низкими (2200-2400 м/с) скоростями распространения продольных сейсмических волн; в скважинах, вскрывших водонасыщенные песчаники, эти пласты по акустическим характеристикам не отличаются от перекрывающих и подстилающих отложений, скорости в которых составляют 2800–3000 м/с. Таким образом, в кровле и подошве апт-альбских газонасыщенных песчаников происходят существенные скачки акустических жесткостей, что предопределяет формирование на этих границах энергетически выраженных отраженных волн и формирует на временны́х разрезах сейсмические аномалии, получившие название «яркое пятно». Результаты математического моделирования волновых полей показали, что в случае, когда мощность обладающего аномально низкими акустическими характеристиками газонасыщенного песчаника превышает 15-20 м, происходит резонансное суммирование волн от его кровли и подошвы. Это, в свою очередь, приводит к увеличению энергии интерференционного сигнала и порождает на временных разрезах эффект «яркого пятна»: на разрезах выше отражающего горизонта М, приуроченного к нейтинской пачке, выделяются локально развитые высокоамплитудные аномалии сейсмической записи [4, 7]. Этот эффект еще более усиливается в случае многопластовых залежей, когда формирование интерференционной волны происходит на серии близкорасположенных газонасыщенных песчаников.

В качестве примера на рис. 5 приведены временные разрезы, пересекающие Южно-Тамбейское и Солетско-Ханавейское месторождения, расположенные в Ямальской и Гыданской НГО соответственно. На этих разрезах в апт-альбской части четко фиксируются сейсмические аномалии, характеризующие газовые залежи.

На Крузенштернском и Ленинградском месторождениях также открыты апт-альбские газовые залежи, отраженные в волновых полях в виде аномалии «яркого пятна» (см. рис. 2). Аномалии «яркого пятна» достаточно надежно картируются по площади. Это позволяет по результатам интерпретации сейсмических данных выделять контуры газовых залежей. В качестве примера на рис. 6 приведены два временных разреза по профилям, пересекающим расположенное в акватории Карского моря Ленинградское месторождение, на которых выделение сейсмических аномалий не вызывает затруднений. Расчет амплитудных характеристик сейсмической записи в интервале продуктивных пластов позволяет оконтуривать газовые залежи. При этом необходимо иметь в виду, что в случае многопластовых залежей, сконцентрированных в близкорасположенных пластах, этот контур будет носить интегральный характер.

№ 4(36) **◆** 2018

Выводы

Настоящая работа посвящена разработке сейсмогеологических критериев газоносности апт-сеноманских отложений севера Западной Сибири. Исследования выполнялись на базе комплексного научного анализа материалов сейсморазведки, ГИС, результатов испытаний и литолого-петрофизических исследований.

Результаты проведенных исследований дали возможность определить серию сейсмогеологичских критериев, позволяющих осуществлять прогноз газовых залежей в апт-сеноманских отложениях севера Западной Сибири.

Сеноманские массивные газовые залежи отображаются в волновых сейсмических полях:

 – наличием в рельефе отражающего горизонта Гантиклинальных структур, в основании которых на временных разрезах выделяются отражающие горизонты, приуроченные к газоводяным контактам;

– увеличением значений временной мощности (ΔT) и понижением интервальных (V_{инт}) скоростей распространения продольных сейсмических волн в апт-альб-сеноманском мегакомпексе;

 падением амплитудных характеристик приуроченного к кровле сеноманского резервуара отражающего горизонта Г и уменьшением амплитудноэнергетических характеристик сейсмической записи внутри всего апт-сеноманского мегакомплекса.

Апт-альбские пластовые газовые залежи отображаются на временных разрезах резким увеличением амплитуд сейсмической записи и формированием сейсмической аномалии «яркого пятна».

Работа выполнена в рамках проектов НИР ИНГГ СО РАН при финансовой поддержке РФФИ Ресурсы Арктики, проект 18–05–70105.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондарев В. И. Сейсморазведка. – Екатеринбург: УГГУ, 2007. – 690 с.

2. **Геологическое** строение и нефтегазоносность региональных резервуаров юры и мела в Карско-Ямальском регионе и прогноз распределения № 4(36) ♦ 2018 –

в них ресурсов углеводородов / В. А. Казаненков, С. В. Ершов, С. В. Рыжкова и др. // Геология нефти и газа. – 2014. – № 1. – С. 27–49.

3. Губин И. А. Влияние литологии и характера насыщения на акустические свойства апт-сеноманских пластов на примере Геофизического месторождения // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. ХІ Междунар. науч. конгр. (г. Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.): Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология»: сб. матер. в 3 т. Т. 1. – Новосибирск: СГУГиТ, 2015. – С. 33–37.

4. История тектонического развития арктических территорий и акваторий Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции / В. А. Конторович, Д. В. Аюнова, И. А. Губин и др. // Геология и геофизика. – 2017. – Т. 58, № 3–4. – С. 423–444.

5. Нестеров И. И., Салманов Ф. К., Шпильман К. А. Нефтяные и газовые месторождения Западной Сибири – М.: Недра, 1971. – 463 с.

6. **Особенности** геологического строения и разработки уникальных залежей газа крайнего севера Западной Сибири / О. М. Ермилов, Ю. Н. Карогодин, А. Э. Конторович и др. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. – 140 с.

7. Сейсмостратиграфия, история формирования и газоносность структур Надым-Пурского междуречья / В. А. Конторович, Д. В. Аюнова, И. А. Губин и др. // Геология и геофизика. – 2016. – Т. 57, № 8. – С. 1583–1595.

REFERENCES

1. Bondarev V.I. *Seismorazvedka* [Seismic survey]. Yekaterinburg, UGGU Publ., 2007. 690 p. (In Russ.).

2. Kazanenkov V.A., Yershov S.V., Ryzhkova S.V., et al. [Geological structure and petroleum potential of

the Jurassic and Cretaceous regional reservoirs in the Kara-Yamal region and prediction of the hydrocarbon resources distribution]. *Geologiya nefti i gaza – Oil and Gas Geology*, 2014, no. 1., pp. 27–29. (In Russ.).

3. Gubin I.A. [Influence of lithology and saturation behavior on acoustic properties of Aptian-Senomanian reservoirs by the example of geophysical field]. *Materialy* 11th *mezhdunar. nauchnoy konferentsii "Nedropol'zovaniye. Gornoye delo. Napravleniya i technologii poiska, razvedki i razrabotki mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh.Geoekologiya* [Proc. 11th Int. Sc. Conf. Interekspo GEO-Sibir-2015 "Subsurface management. Mining. Directions and technologies of search, prospecting and development of mineral depos*its.* Geoecology"]. Novosibirsk, 2015, vol. 1, pp. 33–37. (In Russ.).

4. Kontorovich V.A., Ayunova D.V., Gubin I.A., et al. Tectonic evolution of the Arctic onshore and offshore regions of the West Siberian petroleum province. *Russian Geology and Geophysics*, 2017, vol. 58., no. 3–4, pp. 343–361.

5. Nesterov I.I., Salmanov F.K., Shpilman K.A. *Nef-tyanye i gazovye mestorozhdeniya Zapadnoy Sibiri* [Oil and gas fields of Western Siberia]. Moscow, Nedra Publ., 1971. 463 p. (In Russ.).

6. Yermilov O.M., Karagodin Yu.N., Kontorovich A.E., et al. Osobennosti geologicheskogo stroeniya i razrabotki unikal'nykh zalezhey gaza Kraynego Severa Zapadnoy Sibiri [Features of geological structure and development of unique gas accumulations of the Western Siberia Far North. Novosibirsk, SB RAS Publ., 2004. 140 p. (In Russ.).

7. Kontorovich V.A., Ayunova D.V., Gubin I.A., et al. Seismic stratigraphy, formation history and gas potential of the Nadym-Pur interfluve area (West Siberia). *Russian Geology and Geophysics*, 2016, vol. 57, issue 8, pp. 1248–1258.

> © В. А. Конторович, Е. С. Сурикова, Д. В. Аюнова, С. М. Гусева, 2018