

СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ГАЗОНОСНОСТИ АПТ-АЛЬБ-СЕНОМАНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ (на примере Юбилейного месторождения)

В.А. Конторович^{1,2}, Е.С. Сурикова¹, Д.В. Аюнова^{1,2}

¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия

²Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2, Россия

В работе, выполненной на базе комплексной интерпретации материалов сейсморазведки, ГИС, результатов испытаний и петрофизических исследований, обоснованы сейсмогеологические критерии прогноза газоносности апт-альб-сеноманских отложений Западной Сибири. В качестве эталонного объекта выступало расположенное в Надым-Пурском междуречье Юбилейное нефтегазоконденсатное месторождение, на котором уникальная газовая залежь сконцентрирована в сеноманском горизонте ПК₁, и продуктивен альбский песчаный пласт ПК₁₈. По результатам исследований сформулированы сейсмогеологические критерии прогноза газоносности.

Массивные сеноманские газовые залежи отображаются в волновых сейсмических полях:

- наличием на временных разрезах отражающих горизонтов, формирующихся на газодляных контактах, и падением амплитудных характеристик приуроченного к кровле сеномана отражающего горизонта Г;
- увеличением значений временной мощности (Δt), понижением интервальных скоростей (v_{int}) и уменьшением амплитудно-энергетических характеристик сейсмической записи в апт-альб-сеноманском мегакомплексе.

Апт-альбские пластовые газовые залежи отображаются в волновых полях резким увеличением амплитуд сейсмической записи, формируя на временных разрезах аномалии «яркого пятна».

Сейсморазведка, прогноз нефтегазоносности, газовая залежь, «яркое пятно», динамические параметры сейсмической записи, Западная Сибирь.

SEISMOGEOLOGICAL CRITERIA FOR THE GAS POTENTIAL OF APTIAN–CENOMANIAN SEDIMENTS IN THE NORTH OF WEST SIBERIA (by the example of the Yubileinoe field)

V.A. Kontorovich, E.S. Surikova, and D.V. Ayunova

Seismogeological criteria for the gas potential of the Aptian–Cenomanian sediments of West Siberia are substantiated. The research was carried out by the method of integrated interpretation of seismic materials, well logs, well test results, and petrophysical studies. As a reference object we used the Yubileinoe oil and gas condensate field located in the Nadym–Pur interfluvium, in which a unique gas deposit is concentrated in the Cenomanian reservoir PK₁ and the Albian sand bed PK₁₈. Based on the research results, seismogeologic criteria for gas prediction have been formulated.

Massive Cenomanian gas pools are displayed in wave seismic fields by: (1) the presence of reflectors formed at the gas–water contacts in time sections and a decrease in the amplitude parameters of the reflector G confined to the roof of Cenomanian sequence; (2) an increase in the time thickness (Δt), a decrease in the interval velocities (v_{int}), and a decrease in the amplitude–energy parameters of a seismic record in the Aptian–Cenomanian sequence.

Aptian–Albian sheet gas pools are displayed in the wave fields by a drastic increase in the amplitudes of a seismic record, forming «bright spot» anomalies in the time sections.

Seismic exploration, petroleum prediction, gas pool, «bright spot», dynamic parameters of a seismic record, West Siberia

ВВЕДЕНИЕ

Северные и арктические районы Западной Сибири являются крупнейшим в мире газоносным регионом. Основные запасы газа на севере Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции сконцентрированы в апт-альб-сеноманском комплексе пород [Казаринов, 1965; Нестеров и др., 1971; Геология..., 1975; Ермилов и др., 2004].

© В.А. Конторович[✉], Е.С. Сурикова, Д.В. Аюнова, 2019

[✉]e-mail: KontorovichVA@ippg.sbras.ru

DOI: 10.15372/GiG2019077

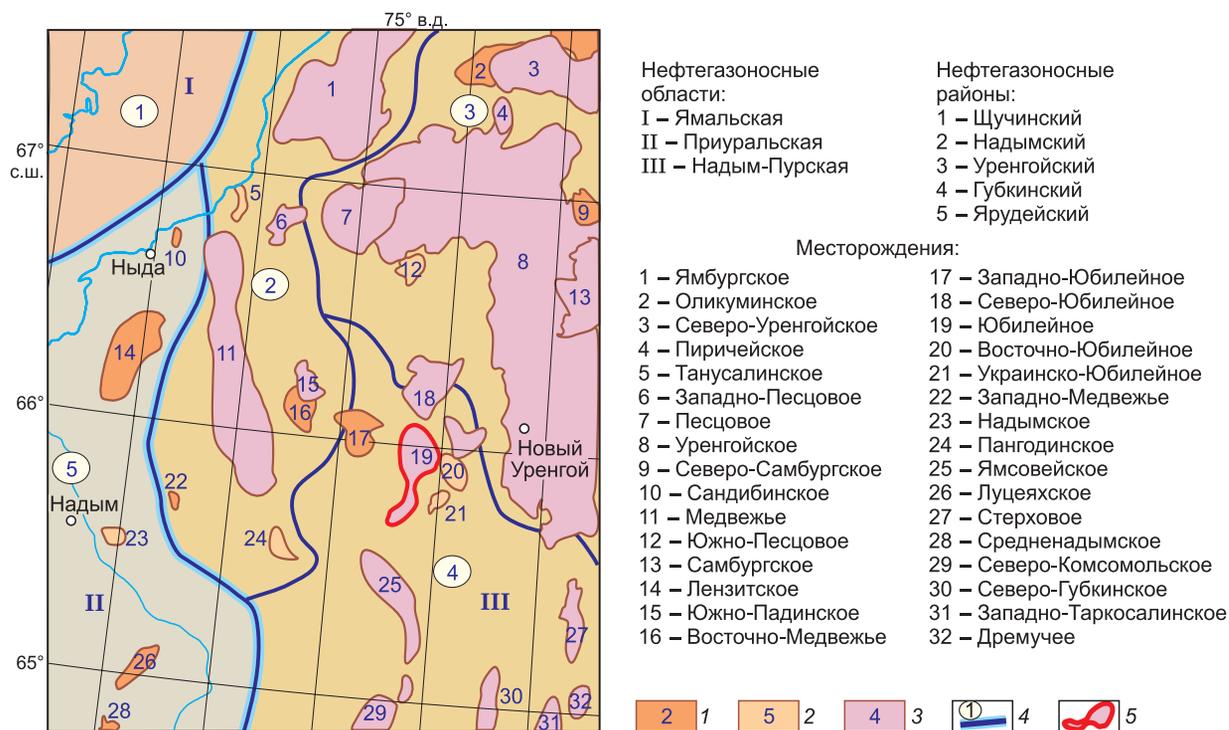


Рис. 1. Фрагмент схемы нефтегазогеологического районирования Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции (Надым-Пурское междуречье).

Месторождения: 1 — нефтяные, 2 — газовые и газоконденсатные, 3 — нефтегазоконденсатные; 4 — нефтегазоносные области и районы; 5 — Юбилейное месторождение.

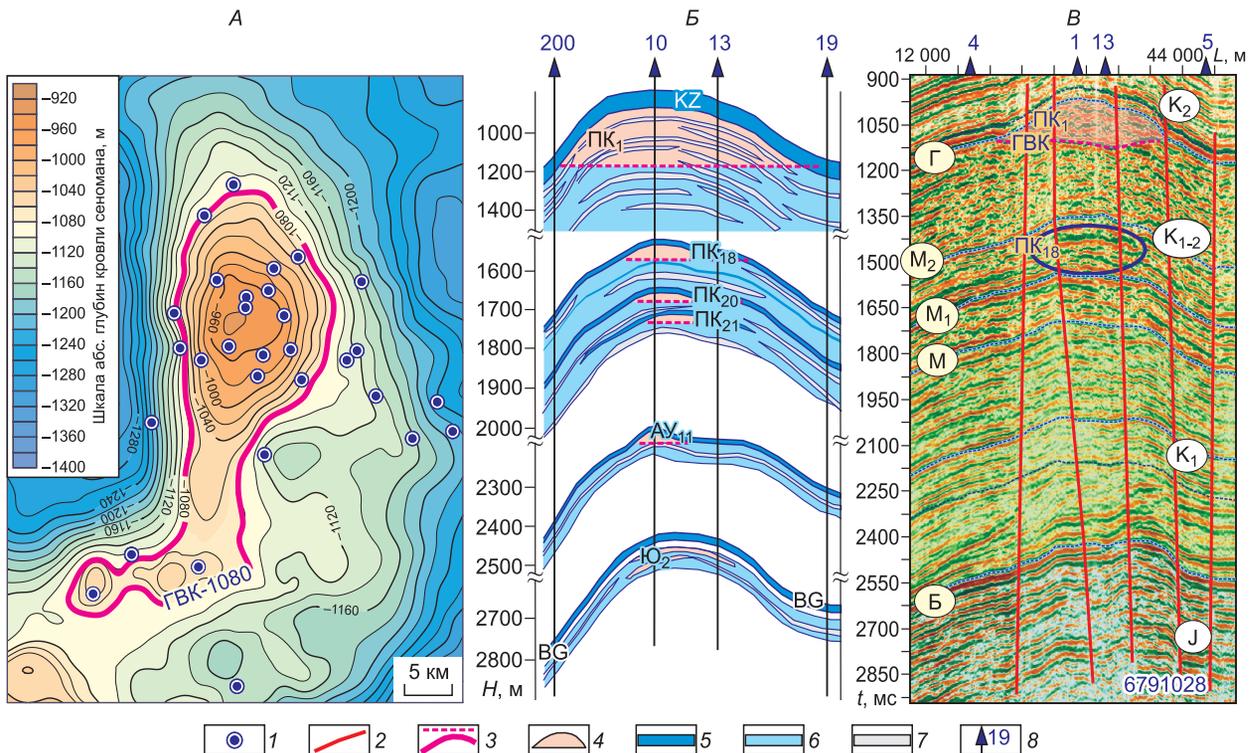


Рис. 2. Структурная карта по кровле сеномана (А), геологический (Б) и сейсмический (В) разрезы (Юбилейное месторождение).

1 — скважины, 2 — разломы, 3 — газоделяющие контакты, 4 — залежи УВ, 5 — флюидоупоры, 6 — водонасыщенные песчаники, 7 — непроницаемые пропластки, 8 — скважина и ее номер.

Рассматриваемое в работе уникальное по запасам Юбилейное нефтегазоконденсатное месторождение расположено в Губкинском нефтегазоносном районе (НГР) Надым-Пурской нефтегазоносной области (НГО), в пределах которой открыты такие гигантские газовые месторождения, как Медвежье, Уренгойское, Ямбургское и Ямсовейское (рис. 1).

В этом регионе основные газовые залежи сконцентрированы в сеноманском песчаном горизонте ПК₁, залегающем под мощным глинистым туронским региональным флюидоупором (кузнецовская свита), к которому приурочен один из наиболее надежных в Западной Сибири сейсмических реперов — отражающий горизонт Г. Сеноманские залежи являются массивными и контролируются крупными высокоамплитудными структурами. Более мелкие залежи газа, конденсата и нефти локализованы в апт-альбских, неокомских и средневерхнеюрских песчаных пластах. Именно такая ситуация имеет место на Юбилейном месторождении, которое выступает в качестве объекта исследований.

Уникальное по запасам газа Юбилейное нефтегазоконденсатное месторождение открыто в 1969 г. поисковой скважиной № 1, в которой из сеноманского горизонта ПК₁ получен фонтан газа дебитом 1182.5 тыс. м³/сут. В настоящее время на месторождении открыто семь залежей углеводородов (УВ): 1 залежь в сеномане — горизонт ПК₁; 3 залежи в апт-альбе — пласты ПК₁₈, ПК₂₀, ПК₂₁; 2 залежи в неокоме — пласты АУ₁₁, БУ_{8/0}; 1 залежь в средней юре — горизонт Ю₂ (рис. 2). Основные запасы газа, составляющие 92 % суммарных начальных запасов, сконцентрированы в горизонте ПК₁, на долю среднеюрско-альбских отложений приходится 8 % суммарных запасов [Нестеров и др., 1971; Ермилов и др., 2004; Конторович и др., 2016].

Залежь горизонта ПК₁ Юбилейного месторождения контролируется относительно крупной антиклинальной структурой, площадь которой в рельефе кровли сеномана составляет 523 км², амплитуда — 153 м (см. рис. 1). По состоянию на 2015 г. накопленная добыча газа на месторождении составила более 300 млрд м³, остаточные запасы превышают 200 млрд м³.

Юбилейное месторождение достаточно хорошо изучено современной сейсморазведкой МОГТ и глубоким бурением и может рассматриваться в качестве эталонного для разработки сейсмогеологических критериев выделения газовых залежей в апт-альб-сеноманском комплексе пород на севере Западной Сибири.

СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ГАЗОНОСНОСТИ СЕНОМАНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ

На севере Западной Сибири апт-альб-сеноманский мегакомплекс, с которым связано подавляющее большинство газовых залежей, на временных сейсмических разрезах ограничен отражающими го-

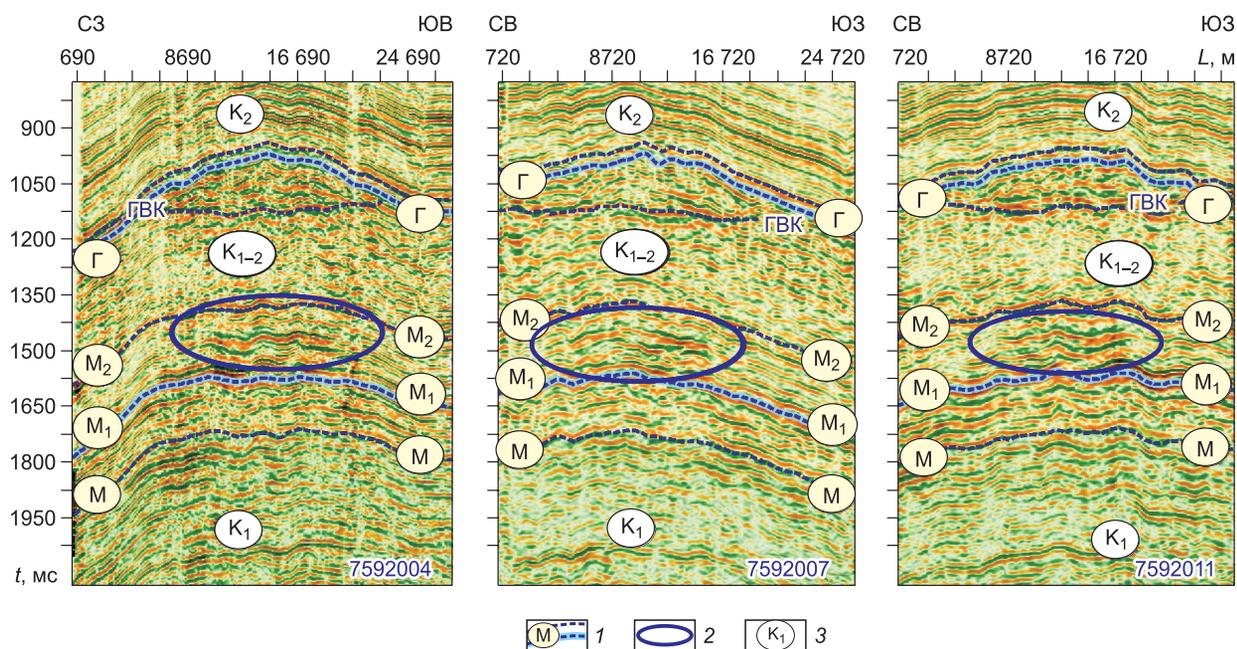


Рис. 3. Сейсмогеологическая характеристика апт-альб-сеноманских газовых залежей (Юбилейное месторождение).

1 — отражающие горизонты (М — нейтинская пачка; М₁, М₂ — глинистые пачка в верхах апта—низах альба; Г — подошва кузнецовской свиты), 2 — сейсмическая аномалия «яркое пятно», 3 — сейсмогеологические комплексы (К₁ — берриас-нижнеаптский, К₁₋₂ — апт-альб-сеноманский, К₂ — турон-кайнозойский).

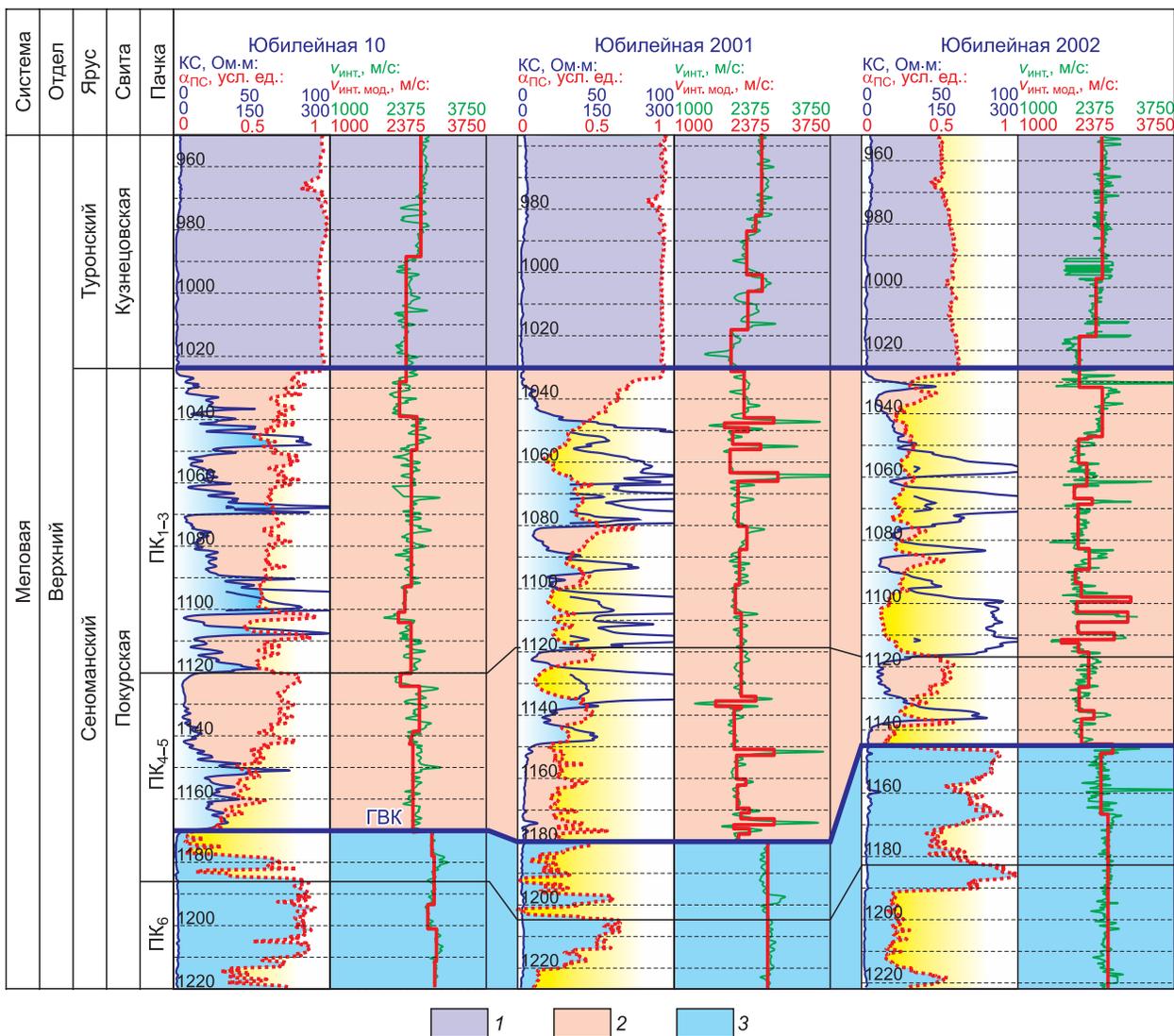


Рис. 4. Корреляционная схема сеноманских отложений Юбилейного месторождения.

1 — кузнецовский флюидоупор, 2 — газонасыщенная часть разреза, 3 — водонасыщенная часть разреза.

ризонтами М и Г, приуроченными соответственно к кровле нейтинской пачки (кровля неокома) и к подошве кузнецовской свиты (кровля сеномана) [Конторович, 2009; Конторович и др., 2016, 2017].

В этом регионе на крупных поднятиях, контролирующих 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. Отражающие горизонты, приуроченные к ГВК, как правило, прослеживаются квазигоризонтально или имеют выпуклую вниз форму. Именно такая волновая картина фиксируется на Юбилейном месторождении (см. рис. 2, 3).

Физическая природа отражающего горизонта ГВК. Отраженные сейсмические волны формируются на границах сред, характеризующихся различными физическими свойствами. Для сейсмологии 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 отражающих сейсмических горизонтов.

Разрез сеноманского комплекса и входящего в его состав продуктивного горизонта ПК₁ представлен переслаивающимися алевролитами, аргиллитами и песчаниками с преобладанием последних (рис. 4). Алевроглинистые пачки, разделяющие песчаные пласты, с одной стороны, характеризуются

низкими коллекторскими свойствами, с другой, — не являются флюидоупорами. Фильтрационно-емкостные характеристики песчаных пластов, входящих в состав единого сеноманского резервуара, также неоднородны: хорошие коллекторы с коэффициентами пористости 30 % и более часто замещаются по латерали алевритистыми разностями. Эти обстоятельства предопределили тот факт, что сеноманские газовые залежи по типу являются массивными, водоплавающими. На Юбилейном месторождении средние значения пористости газонасыщенных песчаников горизонта ПК₁ составляют 32 %; ГВК сеноманской залежи совпадают с оконтуривающей изогипсой структуры, выделенной по отражающему горизонту Г, и проведен на абсолютной отметке –1080 м; высота залежи составляет 153 м (см. рис. 1).

Наличие отражающего горизонта на уровне ГВК свидетельствует о том, что на этой границе происходит перепад акустических жесткостей пород. При этом отражающий горизонт, формирующийся на ГВК, не изохронен и «рассекает» в пределах структуры разновозрастные пласты, входящие в состав единого продуктивного горизонта ПК₁.

Анализ данных акустического каротажа показал, что разрез сеномана акустически дифференцирован слабо — перепады скоростей продольных сейсмических волн на границах между различными литологическими разностями, как правило, не превышают 100—150 м/с. Учитывая, что литологический состав пород, залегающих выше и ниже ГВК, идентичен, очевидно, что в данном случае перепад акустических жесткостей на ГВК может быть связан только с характером насыщения коллекторов — с сеноманской газовой залежью.

Пластовые скорости и плотности. Из опубликованных материалов известно, что в терригенных породах на глубинах до 1.0—1.5 км скорости продольных сейсмических волн в водо- и газонасыщенных коллекторах отличаются на 15—25 % [Бондарев, 2007]. 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: скорости распространения продольных сейсмических волн в газонасыщенных пластах составляют 2100—3000 м/с, в водонасыщенных пластах — 2500—3800 м/с [Губин, 2015]. В среднем перепад скоростей на границе газо- и водонасыщенных песчаников составляет порядка 500—600 м/с. Об этом свидетельствуют и данные акустического каротажа, проведенного в скважинах Надым-Пурского междуречья.

Анализ литолого-акустических разрезов продуктивных скважин Юбилейного месторождения позволяет сделать вывод о том, что в газонасыщенной части разреза интервальная скорость составляет 2200—2300 м/с, в водонасыщенной — 2800—2900 м/с. При этом граница между газо- и водонасыщенными песчаниками достаточно надежно выделяется на диаграммах акустического каротажа (см. рис. 4).

Аналогичным образом ведут себя и плотности. Плотность метана составляет 0.00072 г/см³, сеноманской воды — 1.01—1.03 г/см³. Это обстоятельство предопределяет тот факт, что плотности высокотемпературных водонасыщенных песчаников горизонта ПК₁ существенно выше, чем газонасыщенных.

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 ограниченной разрешающей способностью сейсморазведки. ГВК на временных разрезах будет находить отражение только в случае, когда высота сеноманской залежи достаточно велика, и волны, отраженные от ее кровли и подошвы, не накладываются друг на друга. При незначительной толщине газонасыщенной толщи будет происходить интерференция этих сигналов, что может оказать влияние на амплитудно-энергетические характеристики и форму записи горизонта Г, но не приведет к формированию ярко выраженного отражающего горизонта, приуроченного к ГВК.

Существует еще одна причина отсутствия на временных разрезах отражающего горизонта, связанного с ГВК. Юбилейное месторождение расположено в Надым-Пурском междуречье, и в непосредственной близости от него находятся Медвежье и Ямсовейское месторождения, на которых в сеномане также сконцентрированы уникальные газовые залежи. На Ямсовейском месторождении, как и на Юбилейном, на временных разрезах связанный с ГВК отражающий горизонт надежно выделяется, а на наиболее крупном Медвежьем — отсутствует (рис. 5).

Объясняется это тем, что анализируемая в работе сейсмика отработана главным образом в первой половине 1990-х годов. Юбилейное и Ямсовейское месторождения введены в разработку в 1992 и 1997 гг. соответственно и на временных сейсмических разрезах находят отражение исходные, неискаженные процессами разработки залежи. Сеноманская залежь Медвежьего месторождения разрабатывается с 1973 г., к моменту проведения сейсморазведочных работ была сильно обводнена и искажена в процессе эксплуатации, поэтому не находит отражения в волновых сейсмических полях.

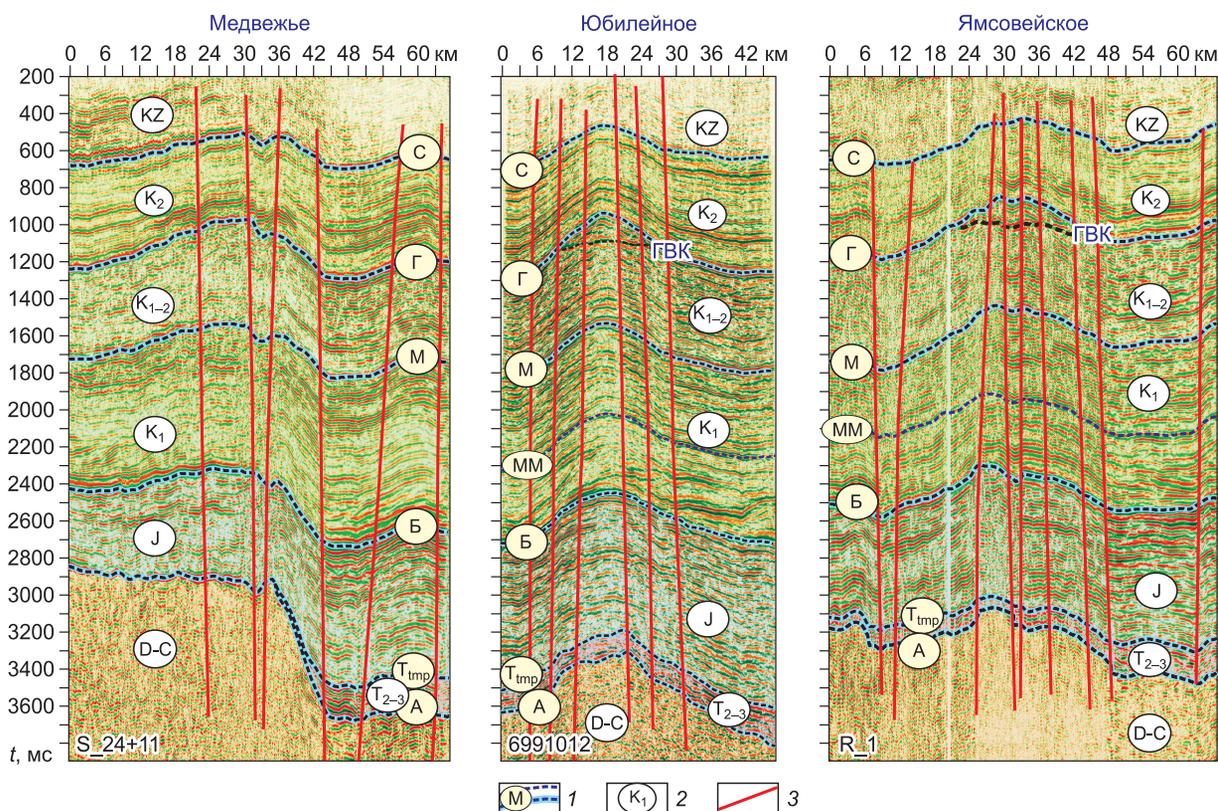


Рис. 5. Сейсмогеологические разрезы по профилям s_24+11 (Медвежье месторождение), 6991012 (Юбилейное месторождение) и R_1 (Ямсовейское месторождение).

1 — отражающие горизонты (А — подошва осадочного комплекса, T_{imp} — кровля тампейской серии триаса, Б — кровля баженновской свиты, М — кровля нейтинской пачки, Г — подошва кузнецовской свиты, С — кровля ганькинской свиты), 2 — сейсмогеологические комплексы (D-C — девон-каменноугольный, T_{2-3} — триасовый, J — юрский, K_1 — берриас-нижнеаптский, K_{1-2} — апт-альб-сеноманский, K_2 — турон-кайнозойский), 3 — разрывные тектонические нарушения.

В целом результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод, что наличие на временных разрезах под выделяемыми в рельефе отражающего горизонта Г антиклинальными структурами квазигоризонтальных локально развитых отражающих сейсмических горизонтов, которые в направлении склонов поднятий сливаются с горизонтом Г, является абсолютно надежным прогностическим критерием выделения газовых залежей в сеноманском комплексе пород. При этом наличие отражающих горизонтов, приуроченных к кровле и подошве залежи, позволяет по сейсмическим данным оценить зону ее распространения и высоту.

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, увеличению временной мощности (Δt) всего апт-альб-сеноманского сейсмогеологического мегакомплекса, ограниченного на временных разрезах отражающими горизонтами Г (подошва кузнецовской свиты) в кровле и М (кровля нейтинской пачки) в подошве.

На рисунке 6 приведены построенные по скважинам Надым-Пурского междуречья (Юбилейное, Медвежье и Ямсовейское месторождения) зависимости значений Δt от ΔH для турон-кайнозойского и апт-альб-сеноманского мегакомплексов. В залегающем в верхней части осадочного чехла турон-кайнозойском комплексе 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-альб-сеномане имеет место обратная зависимость, обусловленная исключительно падением скоростей в газонасыщенной части разреза.

Результаты проведенных исследований показали, что контур сеноманской залежи Юбилейного месторождения характеризуется повышенными (более 860—870 мс) значениями $\Delta t(M-G)$ между отражающими горизонтами М и Г, и пониженными (менее 2150—2200 м/с) значениями $v_{инт}$ (рис. 7).

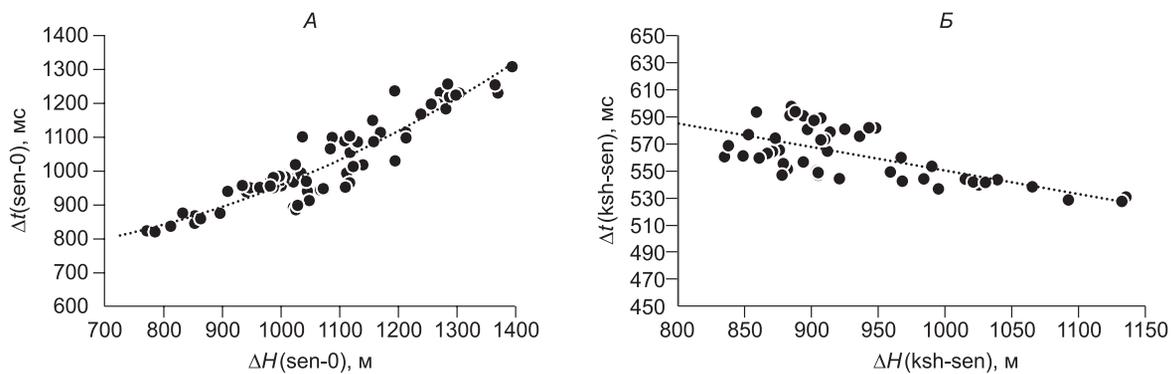


Рис. 6. Зависимости временных мощностей (Δt) турон-кайнозойского (А) и апт-альб-сеноманского (Б) мегакомплексов от их толщин (Надым-Пурское междуречье).

Эффект падения скоростей находит отражение и при палеорекострукциях. На временных сейсмических палеоразрезах, выравненных по горизонту Г, крупным антиклинальным структурам, контролирующим 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 (см. рис. 7).

Таким образом, наличие зон увеличенных значений временной мощности между отражающими горизонтами М и Г и пониженных значений интервальных скоростей апт-альб-сеноманского мегакомплекса, в плане отвечающих высокоамплитудным структурам, выделенным в рельефе кровли сеномана, также является надежным прогнозным критерием выделения сеноманских газовых залежей.

Динамические характеристики сейсмической записи. Уменьшение плотностей и скоростей распространения продольных сейсмических волн приводит к понижению акустической жесткости всего газонасыщенного слоя и к изменению коэффициентов отражения не только на его подошве, но и на его 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 порядка 2000 м/с. Поскольку в газонасыщенной толще акустическая жесткость падает, то в зоне развития залежи на границе флюидоупор—резервуар происходит уменьшение коэффициента отражения и как следствие энергии отраженной волны. На рисунке 8, А приведена карта распределения средних амплитуд сейсмической записи в интервале $-5...+10$ мс относительно горизонта Г, рассчитанная по сейсмическим данным, на которую вынесены контур сеноманской залежи Юбилейного месторождения. Анализ этих материалов позволяет отметить, что контуру залежи отвечают пониженные (менее 8000 усл. ед.) амплитуды отражающего горизонта Г.

Выше 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 в амплитуде, и в ряде случаев под газовой залежью формируется столбообразная зона пониженных энергий сейсмической записи, и на временных разрезах практически не прослеживаются нижележащие отражающие горизонты. В Надым-Пурском междуречье такая волновая картина фиксируется на временных разрезах, пересекающих наиболее контрастное Ямсовейское поднятие, в пределах которого высота сеноманской залежи превышает 200 м. На Юбилейном месторождении нижнемеловые и юрские отражающие сейсмические горизонты прослеживаются вполне кондиционно, но в то же время эффект поглощения сейсмической энергии находит отражение в распределении средних значений амплитуд волновых полей внутри всего апт-альб-сеноманского мегакомплекса (см. рис. 8, Б).

По результатам динамического анализа можно сделать вывод, что сеноманским газовым залежам в плане отвечают зоны пониженных значений амплитуд отражающего горизонта Г и средних значений амплитуд волновых полей внутри всего апт-альб-сеноманского мегакомплекса, контролируемого горизонтами М и Г.

Результаты проведенных исследований дают возможность сформулировать серию сейсмогеологических критериев, позволяющих осуществлять прогноз сеноманских газовых залежей:

- наличие в рельефе отражающего горизонта Г антиклинальных структур, в пределах которых на временных разрезах выделяются отражающие горизонты, приуроченные к газоводяным контактам;

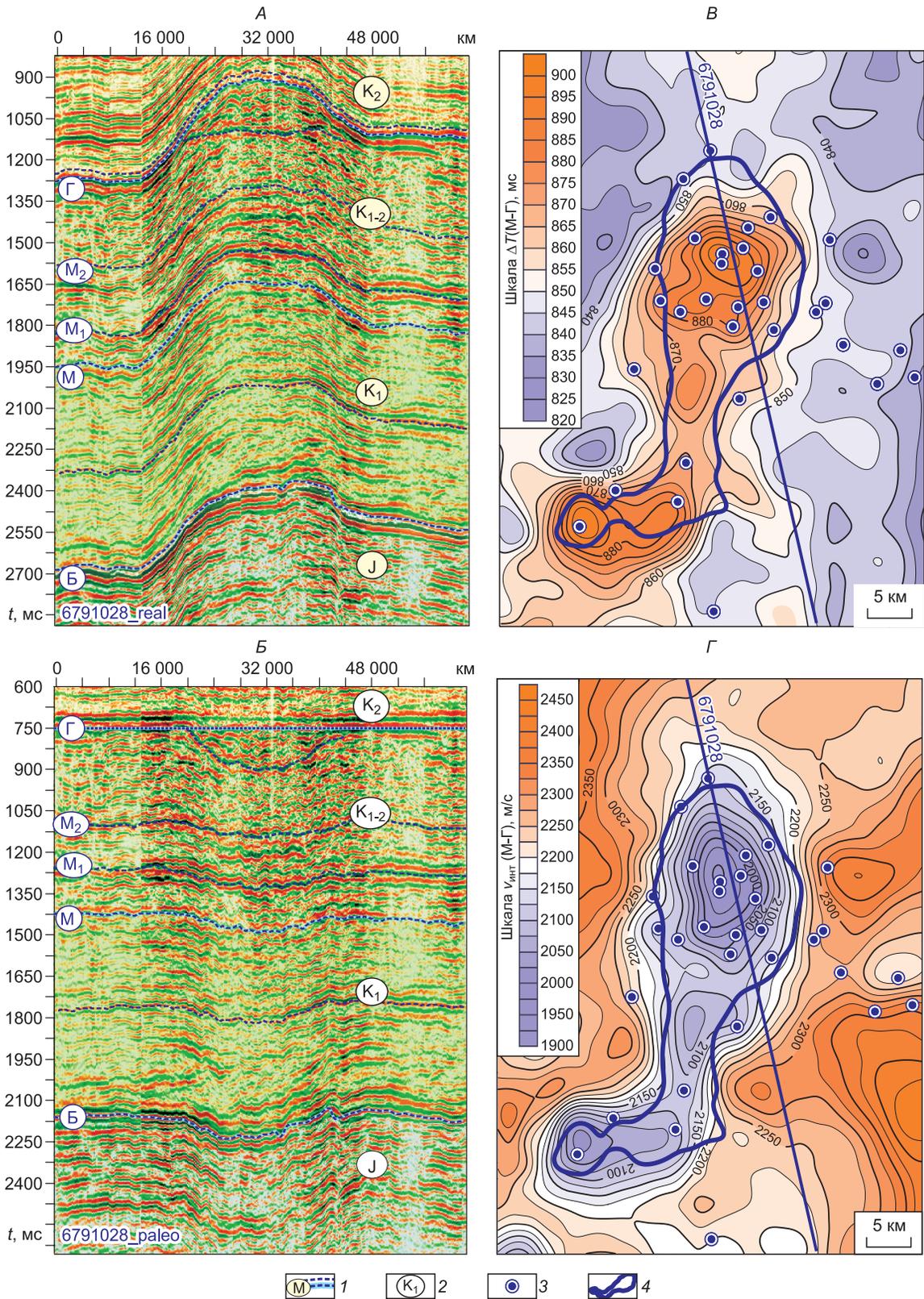


Рис. 7. Современный временной разрез (А), палеоразрез, выравненный по горизонту Г (Б), карты значений Δt между отражающими горизонтами М и Г (В) и карта интервальных скоростей апт-альб-сеноманского мегакомплекса (Г) (Юбилейное месторождение).

1 — отражающие горизонты, 2 — сейсмогеологические комплексы, 3 — скважины, 4 — контур сеноманской залежи.

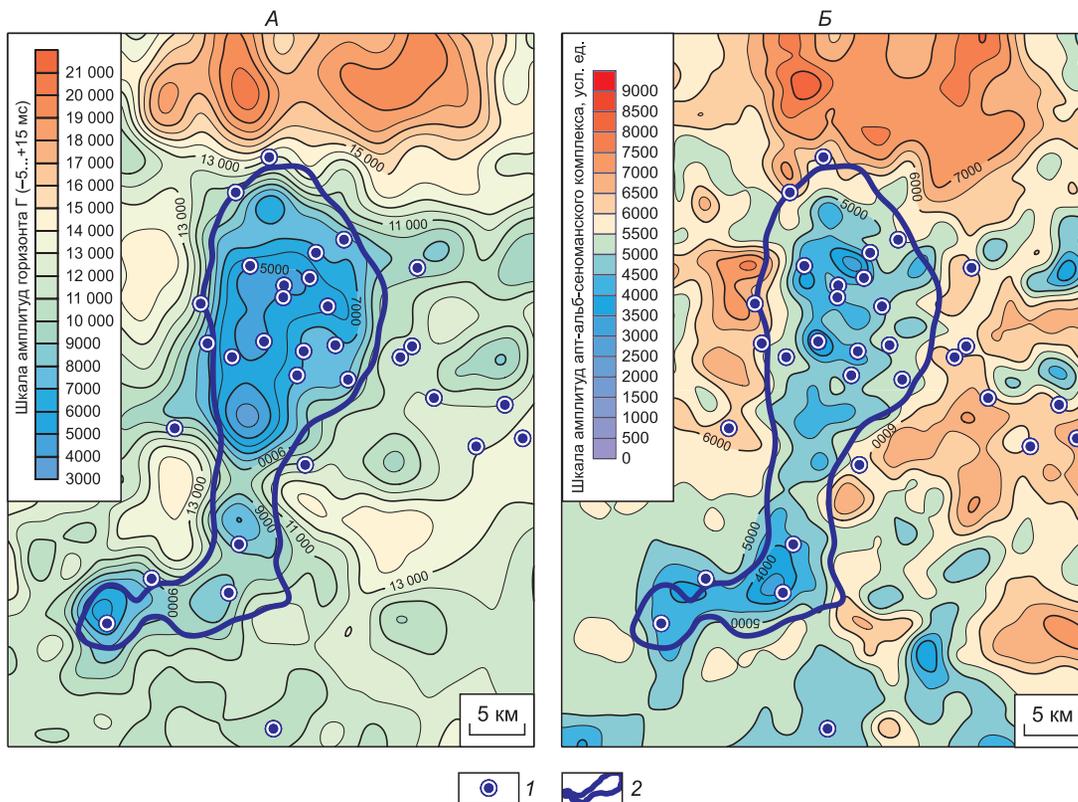


Рис. 8. Карты амплитуд отражающего горизонта Γ (-5...+15 мс) (А) и средних амплитуд волновых полей апт-альб-сеноманского комплекса (Б).

1 — скважины, 2 — контур сеноманской залежи.

- увеличение значений временной мощности (Δt) между реперными отражающими горизонтами М и Γ и понижение интервальных скоростей ($v_{\text{инт}}$) распространения продольных сейсмических волн внутри всего апт-альб-сеноманского мегакомплекса в зонах, отвечающих в плане антиклинальным структурам, выделенным в рельефе кровли сеномана;
- падение на поднятиях амплитудных характеристик приуроченного к кровле сеноманского резервуара отражающего горизонта Γ и уменьшение амплитудно-энергетических характеристик сейсмической записи внутри всего апт-альб-сеноманского мегакомплекса.

В качестве иллюстрации вышеизложенных выводов на рис. 9 приведены построенные по скважинам Медвежьего, Юбилейного и Ямсовейского месторождений зависимости высот сеноманских газовых залежей от средней амплитуды отражающего горизонта Γ в интервале -5...+10 мс и от интервальных

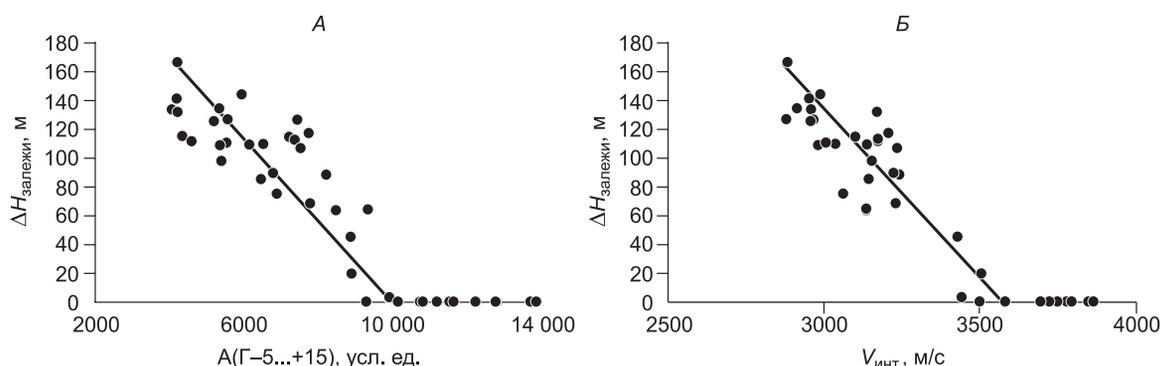


Рис. 9. Зависимости высот сеноманских газовых залежей от средних амплитуд в интервале горизонта Γ (-5...+10 мс) (А) и интервальных скоростей апт-альб-сеноманского комплекса (Б) для месторождений Надым-Пурского междуречья.

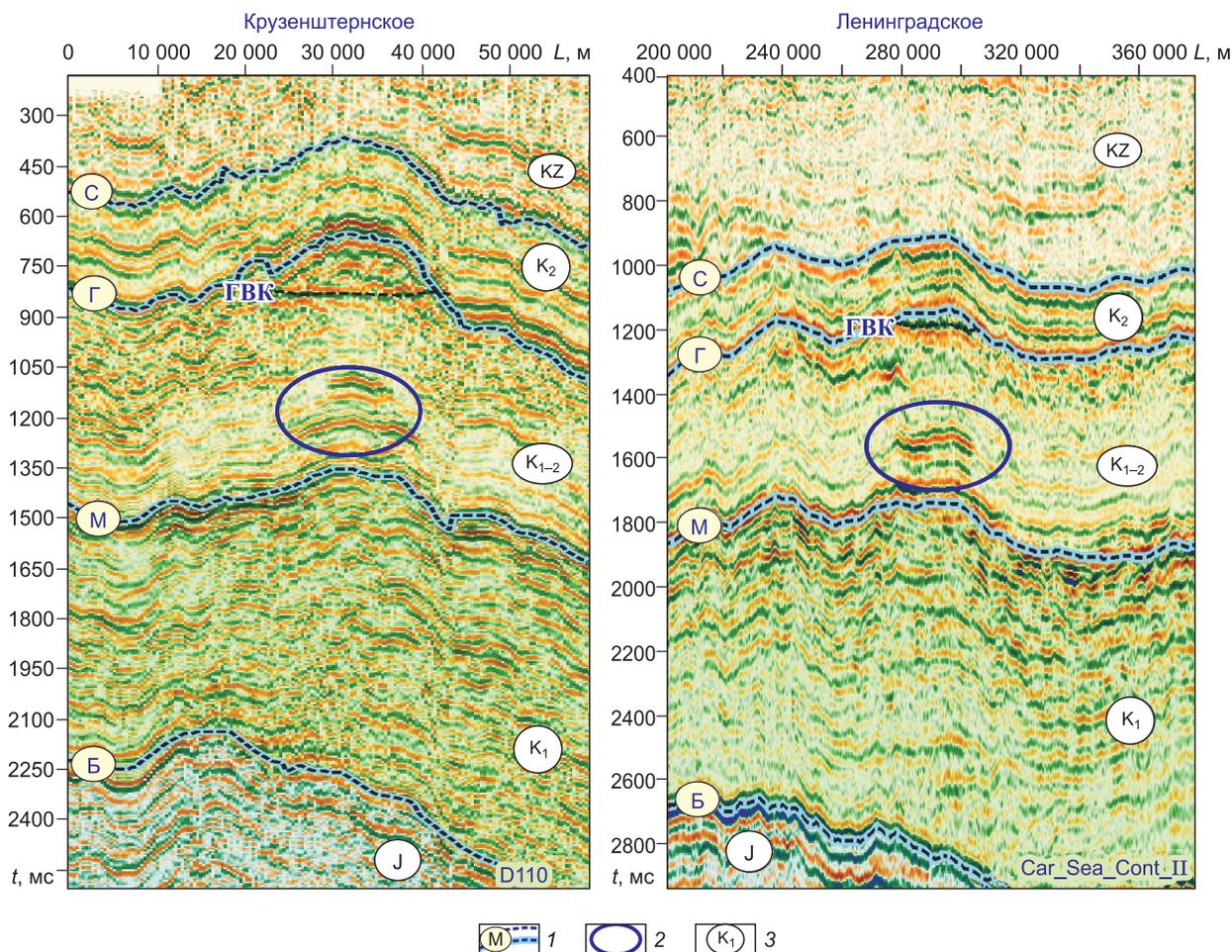


Рис. 10. Фрагменты сейсмогеологических разрезов по профилям D110 и Car_Sea_Cont_II.

1 — отражающие горизонты (Б — кровля баженовской свиты, М — нейтинская пачка, Г — подошва кузнецовской свиты, С — ганькинская свита), 2 — сейсмическая аномалия «яркое пятно», 3 — сейсмогеологические комплексы (J — юрский, K₁ — берриас-нижнеаптский, K₁₋₂ — апт-альб-сеноманский, K₂ — турон-маастрихтский, KZ — кайнозойский).

ных скоростей распространения сейсмических волн в апт-альб-сеноманском комплексе пород. Анализ этих материалов позволяет констатировать, что на исследуемой территории увеличение высот сеноманских газовых залежей ($\Delta H_{\text{залежи}}$) сопровождается уменьшением интервальных скоростей в апт-альб-сеноманской части разреза и падением амплитуд отражающего горизонта Г.

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 расположенных к северу от исследуемой территории Гыданской, Ямальской и Южно-Карской НГО [Казаненков, 2014]. В этих регионах песчаные пласты групп ХМ и ТП, содержащие значительные запасы газа, на временных разрезах могут отображаться резким увеличением амплитуд сейсмической записи — «ярким пятном» [Конторович и др., 2016, 2017]. В качестве примера на рис. 10 приведены временные разрезы, пересекающие Крузенштернское и Ленинградское месторождения, расположенные соответственно в Ямальской и Южно-Карской НГО. На разрезах выше отражающего горизонта М, приуроченного к нейтинской пачке, залегающей в основании апт-альб-сеноманского мегакомплекса, выделяются локально развитые высокоамплитудные аномалии сейсмической записи, характеризующие газовые залежи.

В Надым-Пурском междуречье отсутствие в разрезе апт-альб-сеноманского мегакомплекса регионально развитых флюидоупоров предопределило существенно меньшие перспективы апт-альбских отложений. В этом регионе апт-альбские залежи имеют локальное распространение, приурочены к незначительным по толщине песчаным пластам и часто не находят отражения в волновых сейсмических полях.

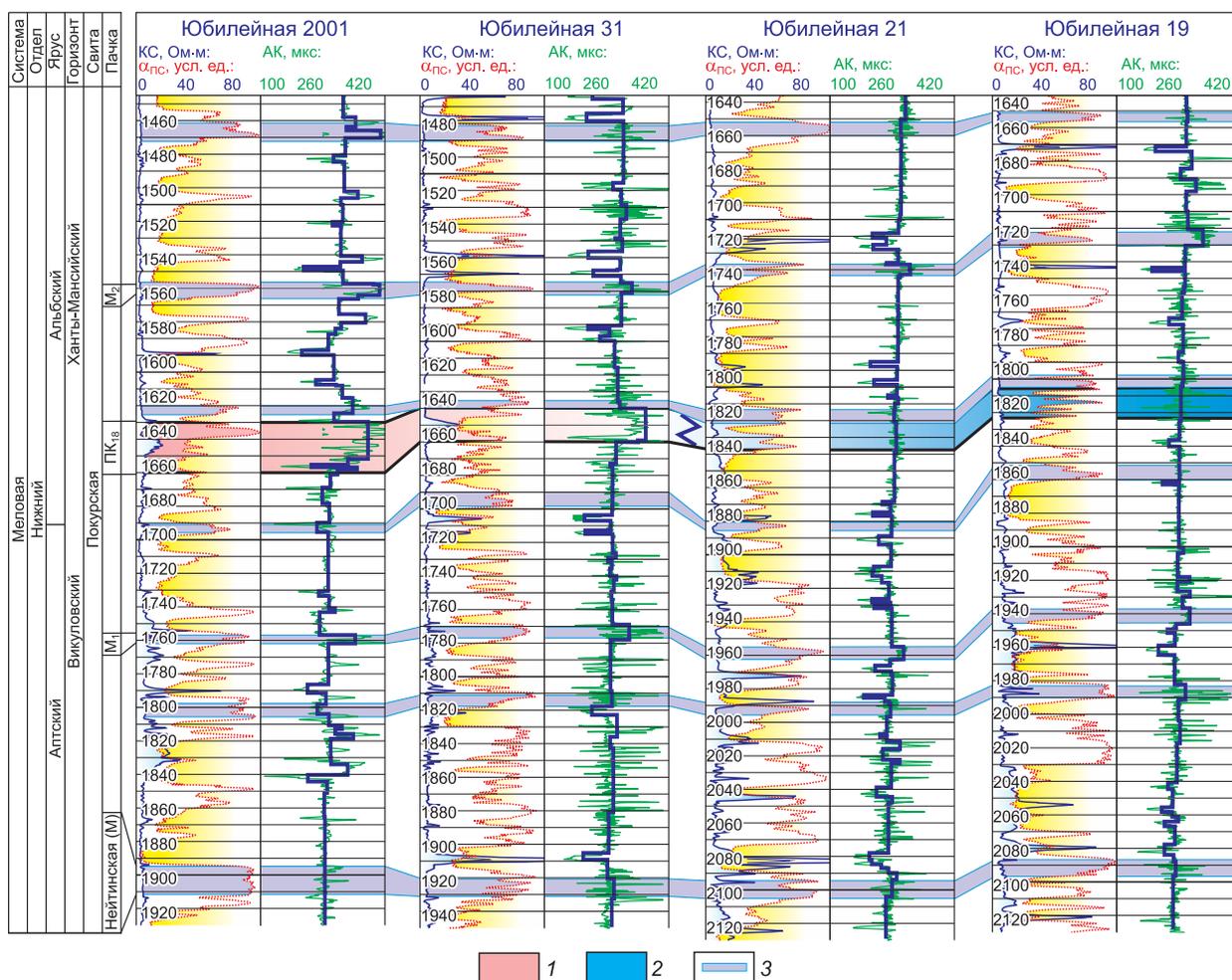


Рис. 11. Корреляционная схема апт-альбских отложений по скважинам Юбилейной площади.

1 — газонасыщенный песчаник, 2 — водонасыщенный песчаник, 3 — глинистые прослои.

На Юбилейном месторождении вторая по запасам залежь, содержащая более 25 млрд м³ газа (5 % суммарных начальных запасов газа всего Юбилейного месторождения) сконцентрирована в пласте ПК₁₈. Залежь пласта ПК₁₈ находится на абсолютной глубине 1560—1650 м и является наиболее крупной среди апт-альбских залежей Надым-Пурского междуречья.

Выше было отмечено, что в Надымском НГР апт-альбский-сеноманский комплекс, сложенный песчаниками, алевролитами и аргиллитами, характеризуется слабой акустической дифференциацией и не содержит региональных флюидоупоров. Выделяемые в этой части разреза глинистые пачки достоверно поддаются корреляции на отдельных локальных площадях, но имеют незначительные толщины, редко превышающие 10—15 м, и далеко не всегда являются флюидоупорами. На Юбилейном месторождении продуктивный песчаный пласт ПК₁₈ перекрыт 7—10-метровой глинистой пачкой (рис. 11).

В условиях слабой акустической дифференциации апт-альбских отложений аномальными акустическими свойствами в этой части разреза обладают только маломощные известковистые песчаники, характеризующиеся аномально высокими скоростями распространения продольных сейсмических волн, и относительно мощные низкоскоростные газонасыщенные песчаные пласты. Анализ данных акустического каротажа по скважинам Юбилейного месторождения позволяет отметить, что в скважинах 2001 и 31, где пласт ПК₁₈ газонасыщен, он характеризуется аномально низкими скоростями распространения продольных сейсмических волн; в скважинах 19 и 21, которые расположены за контуром залежи, пласт по акустическим свойствам не отличается от перекрывающих и подстилающих отложений (см. рис.11). Толщина продуктивной части в скважинах 2001 и 31 составляет соответственно 30 и 20 м.

Проведенный анализ свидетельствует, что на кровле и подошве апт-альбских газонасыщенных песчаников происходят скачки акустических жесткостей — фоновые значения скоростей в этой части

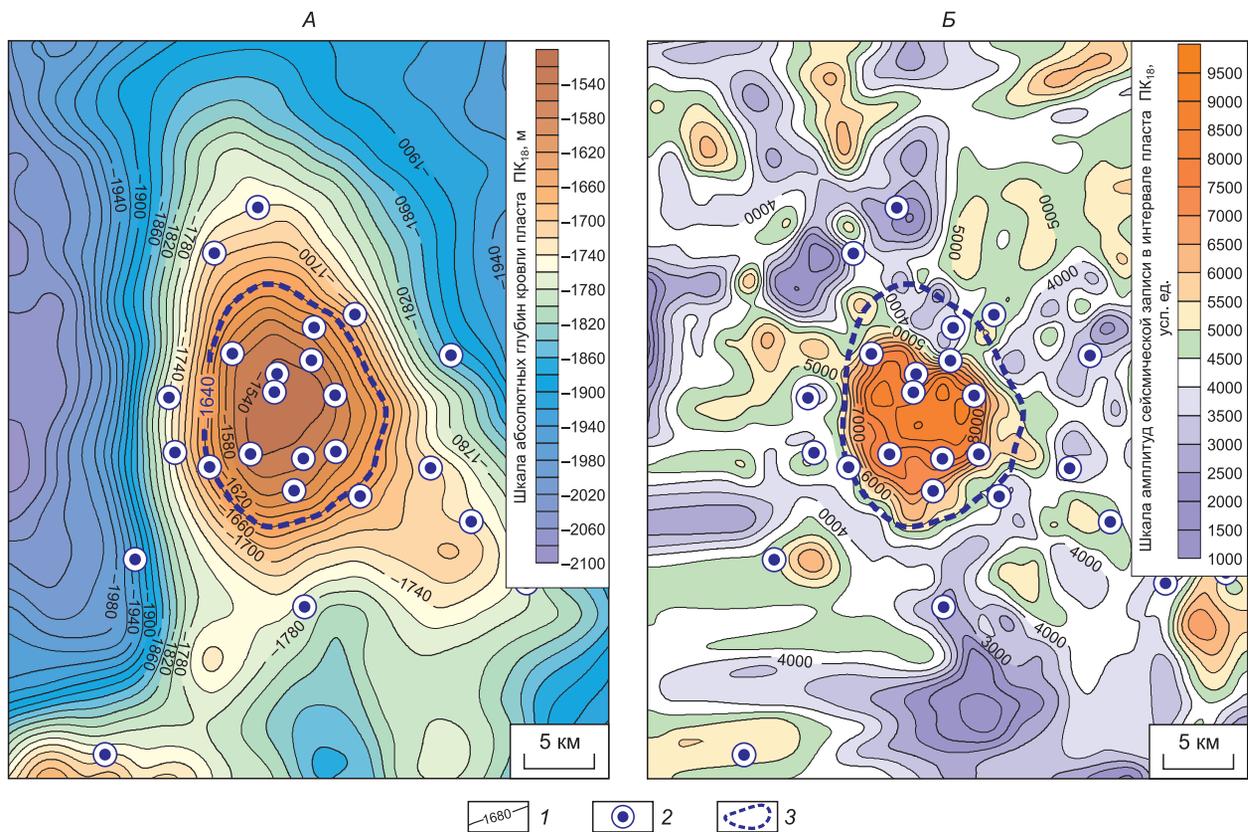


Рис. 12. Структурная карта по кровле пласта ПК₁₈ (А) и карта амплитуд сейсмической записи в интервале продуктивного пласта ПК₁₈ (Б).

1 — изогипсы кровли пласта ПК₁₈, 2 — скважины, 3 — ГВК залежи пласта ПК₁₈.

разреза составляют 2800—3000 м/с, в газонасыщенных песчаниках 2200—2400 м/с. Результаты математического моделирования волновых полей показали, что в случае, когда мощность обладающего аномально низкими акустическими характеристиками газонасыщенного песчаника составляет 25—30 м, происходит резонансное суммирование волн от его кровли и подошвы — вторая фаза волны от кровли синфазно суммируется с первой фазой волны от подошвы, что приводит к увеличению энергии интерференционного сигнала и порождает на временных разрезах эффект «яркого пятна».

Анализ сейсмических материалов позволил выделить на временных разрезах в интервале залегания продуктивного пласта ПК₁₈ локальную зону увеличения амплитудно-энергетических характеристик сейсмической записи, которая достаточно надежно прослеживается по площади (см. рис. 3). Хотя по своей контрастности эти аномалии, безусловно, не сопоставимы с аномалиями Гыданской и Ямальской НГО, природа их абсолютно одинакова и связана с формированием отраженных сейсмических волн на газонасыщенных песчаных пластах, характеризующихся аномально низкими акустическими свойствами. Следует также отметить, что в Ямальской, Гыданской и Южно-Карской НГО эффект «яркого пятна» также фиксируются далеко не на всех месторождениях.

В результате расчетов средних по модулю амплитуд волновых полей в интервале пласта ПК₁₈ на Юбилейной площади выделена зона повышенных энергетических характеристик сейсмической записи и околнурена газовая залежь, которая развита в своде Юбилейного поднятия, ГВК с учетом результатов испытаний проведен на абсолютной отметке –1640 м (рис. 12).

Подводя итог этой части исследований, сформулируем основные выводы.

1. В Надым-Пурском междуречье апт-альбские газовые залежи являются пластовыми, существенно уступают сеноманским по запасам и высоте и менее надежно выделяются по сейсмическим данным.

2. Значительные по толщине (более 15 м) газонасыщенные апт-альбские песчаники отображаются на временных разрезах положительными аномалиями амплитудных характеристик сейсмической записи, получившими название эффекта «яркого пятна».

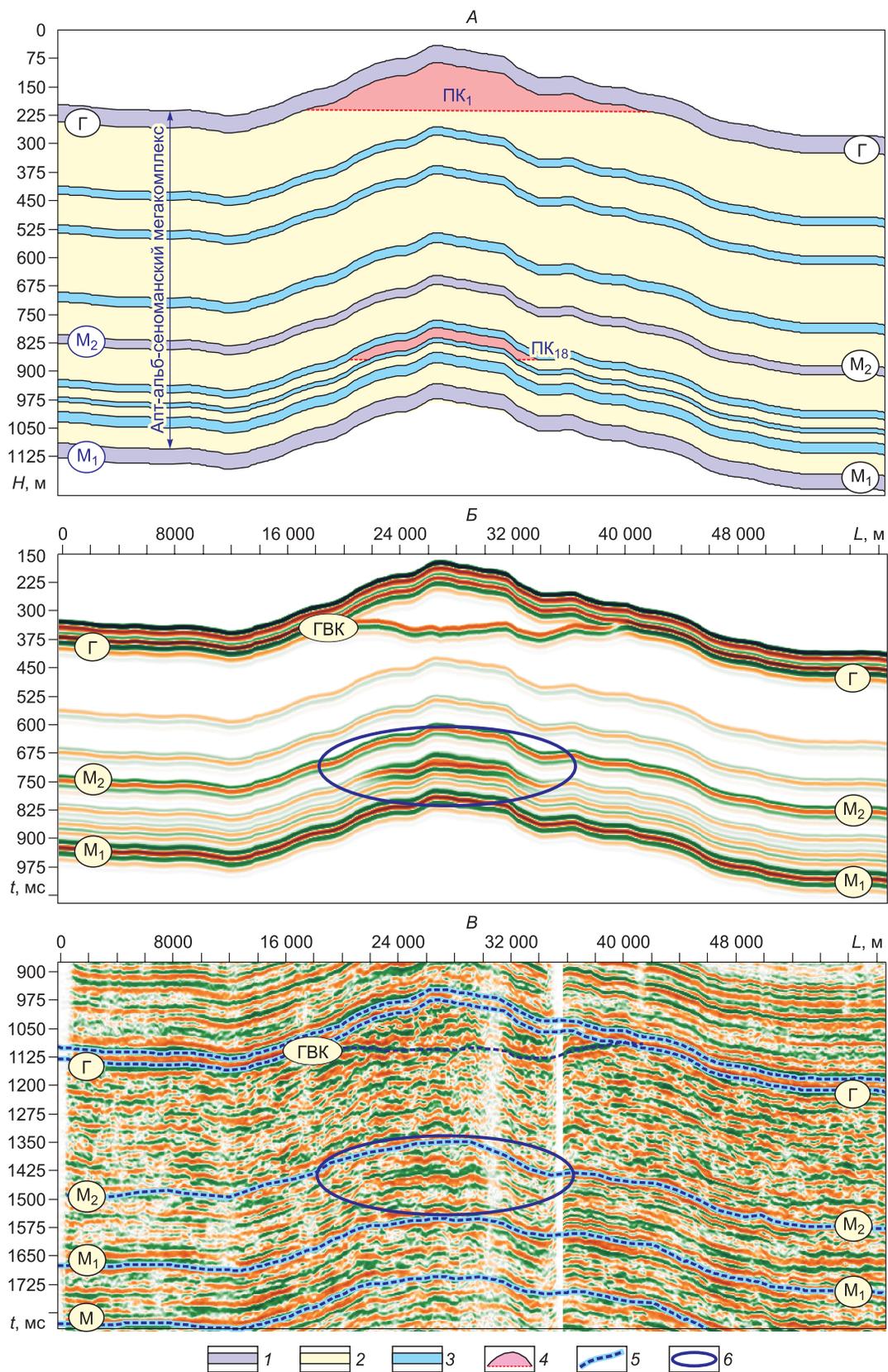


Рис. 13. Математическое моделирование волновых полей.

A — геологическая модель, *Б* — синтетический временной разрез, *В* — реальный временной разрез. 1 — пакки, к которым приурочены сейсмические горизонты; 2 — песчаные горизонты; 3 — глинистые пакки; 4 — залежи УВ; 5 — отражающие горизонты; 6 — сейсмическая аномалия «яркое пятно».

Сформулированные в работе сейсмогеологические критерии прогноза газовых залежей в апт-альбских и сеноманских резервуарах надежно подтверждаются результатами двумерного математического моделирования волновых полей.

На рисунке 13, А приведена геологическая модель апт-альб-сеноманских отложений вдоль линии профиля S_13-29, пересекающего Юбилейное месторождение в северо-западном направлении. Расчет синтетического волнового поля по литолого-акустической модели, построенной с учетом физических свойств газо- и водонасыщенных песчаников, показал, что на газоводяном контакте массивной сеноманской залежи происходит формирование интенсивной отраженной волны, а на уровне пласта ПК₁₈ в зоне газонасыщения амплитуды волновых полей резко возрастают и формируется «яркое пятно». Аналогичные сейсмические аномалии надежно выделяются и на реальном временном разрезе по профилю S_13-29 (см. рис. 13, В).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящая работа посвящена разработке сейсмогеологических критериев газоносности апт-альб-сеноманских отложений севера Западной Сибири. В качестве объекта исследований выступало расположенное в Надым-Пурском междуречье Юбилейное месторождение, которое можно рассматривать в качестве эталонного. Исследования выполнялись на базе комплексной интерпретации материалов сейсморазведки и ГИС с привлечением результатов петрофизических исследований и испытаний пластов.

Выбор Юбилейного месторождения в качестве эталонного определялся тем, что на этом объекте открыта уникальная газовая залежь в сеноманском горизонте ПК₁ и самая крупная в аптских отложениях Надым-Пурского междуречья газовая залежь в песчаном пласте ПК₁₈; месторождение обеспечено современной сейсморазведкой МОГТ и хорошо изучено глубоким бурением.

При проведении исследований также детально анализировались материалы по расположенным в этом регионе Медвежьему и Ямсовейскому месторождениям и рассматривались временные разрезы по более северным районам Западной Сибири и акватории Карского моря.

Результаты проведенных исследований позволили определить серию сейсмогеологических критериев, позволяющих осуществлять прогноз газовых залежей в апт-альб-сеноманских отложениях севера Западной Сибири.

Сеноманские газовые залежи отображаются в волновых сейсмических полях:

- наличием в рельефе отражающего горизонта Г антиклинальных структур, в основании которых на временных разрезах выделяются отражающие горизонты, приуроченные к газоводяным контактам;
- увеличением значений Δt (временной мощности) и понижением интервальных ($v_{\text{инт}}$) скоростей распространения продольных сейсмических волн в апт-альб-сеноманском мегакомплексе;
- падением амплитудных характеристик приуроченного к кровле сеноманского резервуара отражающего горизонта Г и уменьшением амплитудно-энергетических характеристик сейсмической записи внутри всего апт-альб-сеноманского мегакомплекса.

Апт-альбские пластовые газовые залежи отображаются на временных разрезах резким увеличением амплитуд сейсмической записи, формируя эффект «яркого пятна».

Работа выполнена в рамках проектов НИР ИНГГ СО РАН (IX.13.1.4) при поддержке РФФИ и «Ресурсы Арктики», грант 18-05-70105.

ЛИТЕРАТУРА

Бондарев В.И. Сейсморазведка. Екатеринбург, УГГУ, 2007, 690 с.

Геология нефти и газа Западной Сибири / Под ред. А.Э. Конторовича, И.И. Нестерова, Ф.К. Салманова, В.С. Суркова, А.А. Трофимука, Ю.Г. Эрвье. М., Недра, 1975, 679 с.

Губин И.А. Влияние литологии и характера насыщения на акустические свойства апт-сеноманских пластов на примере геофизического месторождения // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. Т. 1. XI 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. материалов в 3 т. 2015, с. 33—37.

Ермилов О.М., Карогодин Ю.Н., Конторович А.Э., Тер-Саакян Ю.Г., Агалаков С.Е., Беляев С.Ю., Борисова Л.С., Букреева Г.Ф., Бурштейн Л.М., Гордеев В.Н., Дмитрук В.В., Жилина И.В., Конторович В.А., Красавчиков В.О., Супруненко О.И., Чупова И.М., Фурсенко Е.А. Особенности геологического строения и разработки уникальных залежей газа крайнего севера Западной Сибири. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2004, 140 с.

Казаненков В.А., Ершов С.В., Рыжкова С.В., Борисов Е.В., Пономарева Е.В., Попова Н.И., Шапорина М.Н. Геологическое строение и нефтегазоносность региональных резервуаров юры и мела

в Карско-Ямальском регионе и прогноз распределения в них ресурсов углеводородов // Геология нефти и газа, 2014, № 1, с. 27—49.

Казаринов В.П. Этажи нефтегазоносности в мезозойских осадках Западной Сибири // Проблемы сибирской нефти. Новосибирск, Изд-во СО АН СССР, 1963, с. 46—57.

Конторович В.А. Мезозойско-кайнозойская тектоника и нефтегазоносность Западной Сибири // Геология и геофизика, 2009, т. 50 (4), с. 461—474.

Конторович В.А., Аюнова Д.В., Губин И.А., Ершов С.В., Калинин А.Ю., Калинина Л.М., Кананов М.С., Соловьев М.В., Сурикова Е.С., Шестакова Н.И. Сейсмостратиграфия, история формирования и газоносность структур Надым-Пурского междуречья // Геология и геофизика, 2016, т. 57 (8), с. 1583—1595.

Конторович В.А., Аюнова Д.В., Губин И.А., Калинин А.Ю., Калинина Л.М., Конторович А.Э., Малышев Н.А., Скворцов М.Б., Соловьев М.В., Сурикова Е.С. История тектонического развития арктических территорий и акваторий Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции // Геология и геофизика, 2017, т. 58 (3—4), с. 423—444.

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

*Рекомендована к печати 25 апреля 2018 г.
В.А. Каширцевым*

*Поступила в редакцию
6 апреля 2018 г.*