



ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛОКАЛЬНОГО ПРОГНОЗА ФЛЮИДОНАПОРНЫХ СИСТЕМ С АНОМАЛЬНО ВЫСОКИМ ПЛАСТОВЫМ ДАВЛЕНИЕМ В КАРБОНАТНЫХ ПРИРОДНЫХ РЕЗЕРВУАРАХ КЕМБРИЯ КОВЫКТИНСКОГО ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

А. Г. Вахромеев^{1,5}, И. В. Горлов², Н. В. Мисюркеева^{1,4}, С. А. Сверкунов¹, Ю. К. Ланкин³,
А. С. Смирнов²

¹Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия; ²Газпром геологоразведка, Тюмень, Россия; ³Иркутскгеофизика, Иркутск, Россия; ⁴Иркутское электроразведочное предприятие, Иркутск, Россия; ⁵Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Актуальность локального прогноза систем с аномально высоким пластовым давлением (АВПД) predetermined развертыванием буровых работ на газонасыщенные песчаники парфеновского горизонта венда, залегающие гипсометрически ниже. Представления о закономерностях формирования и локализации залежей предельно насыщенных рассолов с АВПД в контурах Ковыктинского газоконденсатного месторождения, которое находится в зоне влияния Орлингской надвиговой системы, сформулированы на основе анализа шарьяжно-надвиговой модели геологического строения природных резервуаров галогенно-карбонатной гидрогеологической формации кембрия в восточной части Ангаро-Ленского артезианского бассейна. Структурно-гидрогеологические представления заложены в основу физико-геологической модели геолого-геофизического прогноза флюидных систем, залежей рассолов и УВ с аномальными барическими характеристиками.

Ключевые слова: *концентрированные рассолы, водонапорные системы, карбонатные резервуары кембрия, шарьяжно-надвиговая модель.*

HYDROGEOLOGICAL FUNDAMENTALS OF LOCAL FORECAST OF FLUID PRESSURE SYSTEMS WITH AHRP IN CARBONATE NATURAL CAMBRIAN RESERVOIRS OF THE KOVYKTINSKOYE GAS CONDENSATE FIELD

A. G. Vakhromeev^{1,5}, I. V. Gorlov², N. V. Misiurkeeva⁴, S. A. Sverkunov¹, Yu. K. Lankin³,
A. S. Smirnov²

¹Institute of the Earth's Crust, SB RAS, Irkutsk, Russia; ²Gazprom geologorazvedka, Tyumen, Russia; ³Irkutskgeofizika, Irkutsk, Russia; ⁴Irkutsk Electroprospecting Company (IERP), Irkutsk, Russia; ⁵Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

The rationale of the Abnormally High Reservoir Pressure systems local forecast is predetermined by the turn of drilling operations on gas-saturated sandstones of the Vendian Parfenovo Horizon, which underlie hip-sometrically. Concepts of the regularities of formation and localization of highly saturated brines with AHRP within the Kovyktinskoye gas condensate field in the Orlinga thrust system zone of influence are formulated on the basis of analysis of the nappe-overthrust model of the halogen-carbonate hydrogeological Cambrian formation geological structure in the eastern Angara-Lena artesian basin. Structural and hydrogeological representations are laid in the basis of the physical-geological model of the geological and geophysical forecast of fluid systems, accumulations of brines and HCs with anomalous baric characteristics.

Keywords: *concentrated brines, water drive systems, carbonate Cambrian reservoirs, nappe-overthrust model.*

DOI 10.20403/2078-0575-2018-4-49-59

Уже в 1990-х гг. геологи и гидрогеологи пришли к выводу, что важнейшую роль в формировании аномально высокого пластового давления (АВПД) водонапорных горизонтов межсолевых природных резервуаров (ПР) играет соляная тектоника [3–5, 8, 10, 14, 17, 19, 24 и мн. др.]. По генетической классификации причин формирования АВПД флюидных систем применительно к Сибирской платформе эти процессы отнесены авторами к литогенетическим, т. е. «АВПД генерируют процессы, происходящие в породах самого чехла», и к эндогенно-энергетическим, где предполагается генерирование АВПД-явления «действием энергии глубоких недр (тепловой или механической)» [26].

Разработано несколько геодинамических (тектонифизических) моделей формирования соляной

тектоники в осадочном чехле юга – юго-востока Сибирского кратона [1–6, 8–11, 13, 15, 21, 29 и др.]. Для средней (кембрийской) части разреза осадочного чехла восточного борта Сибирской платформы характерна линейная и брахиформная складчатость, которую на первом этапе изучали на локальных участках [13], а позже объединили в единую модель фронта линейной складчатости Байкало-Патомского надвигового пояса [3, 8, 10, 17, 20, 21, 26–28]. Площадь, на которой проявлены структуры «отраженной» складчатости, огромна – 1200×(300–400) км.

Гигантское Ковыктинское газоконденсатное месторождение (КГКМ) разведано в восточной части Ангаро-Ленской ступени и одноименного артезианского бассейна. В настоящее время это один из наиболее изученных объектов (сейсморазведкой МОГТ

2D, 3D, электроразведкой ЗСБ, бурением более 70 скважин) [2, 5, 12, 22]. Уже в 1980-х гг. здесь были установлены явления соляной тектоники в виде дисгармоничной складчатости в ангарских и усольских солях (рис. 1), а также наличие высоконапорной гидродинамической системы «концентрированные рассолы – газ» в межсолевых карбонатных пластах коллекторах этих свит. Современное геологическое строение КГКМ и сопредельных территорий, опре-

деленное по результатам комплексных геофизических исследований, позволяет уверенно выделить в разрезе осадочного чехла два структурно-тектонических яруса (рис. 2), сформированных шарьяжно-надвиговой и блоковой тектоникой в зоне влияния краевого шва юга Сибирской платформы [3–5, 15–17, 20, 21, 25, 28 и др.]. Породы докембрия западной части месторождения, «спаянные» с кристаллическим фундаментом, слагают слабо

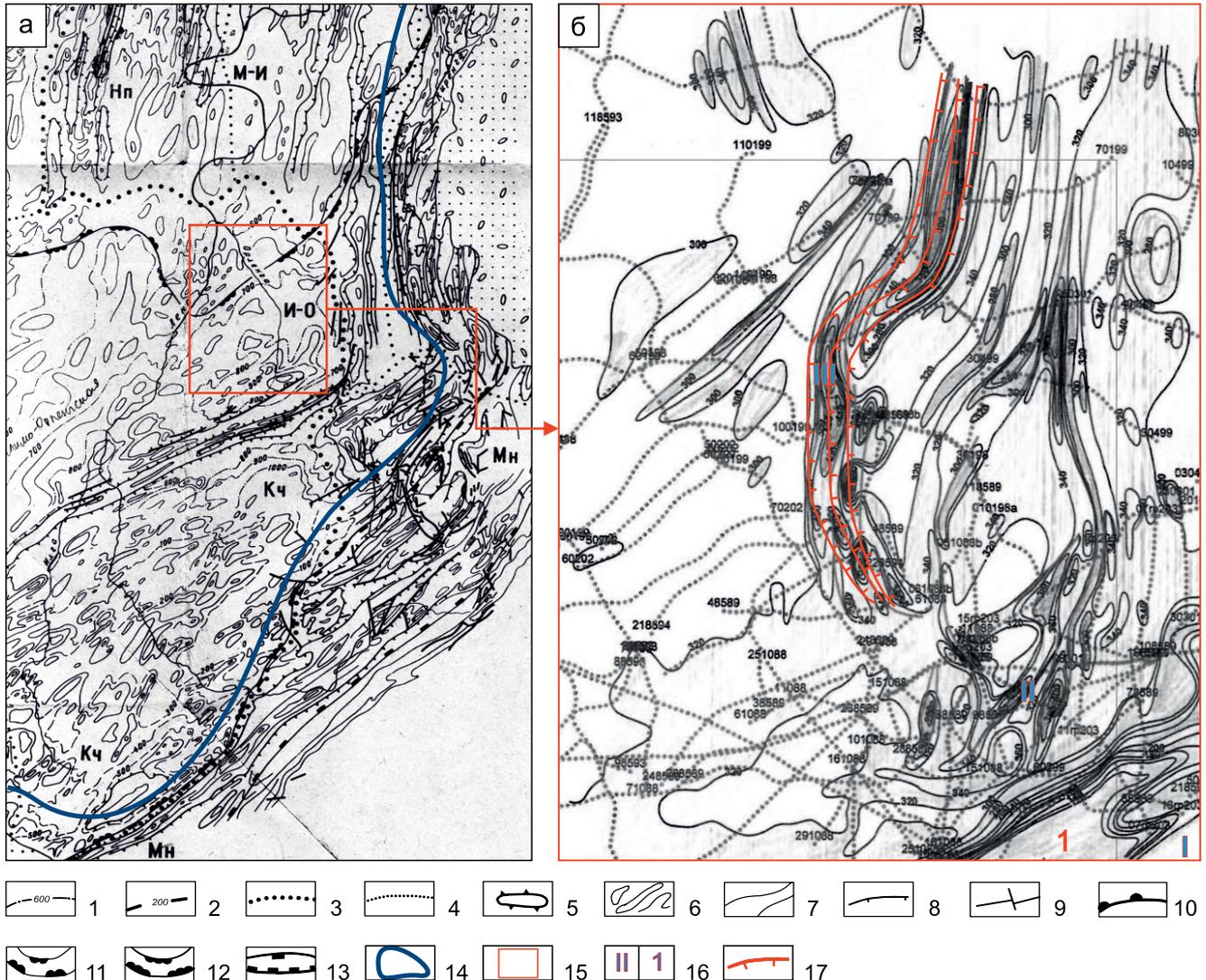


Рис. 1. Позиция Коввыктинского ГКМ на схеме складчатости осадочного чехла юга Сибирской платформы по [8] (а) с детализацией картины линейной аллохтонной складчатости (б) на структурной карте центрального блока КГКМ по отражающему горизонту N_3 (кровля нижнеангарской подсвиты нижнего кембрия, бильчирский горизонт) (по [5] с дополнениями)

1, 2 – стратоезогипсы: 1 – по кровле нижнеустьютской подсвиты раннего ордовика, 2 – по подошве верхоленской свиты среднего – позднего кембрия; 3, 4 – границы: 3 – областей линейной и брахиформной складчатости, 4 – зон складок (Ан – Ангарская, И-К – Илимско-Катангская, И-О – Илимско-Орлингская, Кч – Качугская, Кг – Киренгская, Мн – Манзурская, М-И – Марковско-Ичерская, Нп – Непская, Ок – Окинская); 5–7 – контуры: 5 – антиклинальных складок, амплитуда которых превышает 100 м, 6 – пологих брахиантиклиналей, антиклиналей и полуантиклиналей (структурных носов), 7 – моноклиналей; 8, 9 – разрывные нарушения: 8 – преимущественно взбросо-надвигового типа (бергштрихами показано направление падений плоскостей сместителей), 9 – с неустановленным падением поверхностей; 10–12 – районы распространения структур с галитовыми ядрами: 10 – преимущественно ангарскими, 11 – ангарско-усольскими, 12 – усольскими; 13 – район распространения структур с предполагаемыми гипсоангидритовыми ядрами; 14 – контур Ангаро-Ленского месторождения высоконапорных промышленных рассолов по [6]; 15 – центральный блок КГКМ и отражение Верхнеленского поднятия в виргациях складчатости; 16 – валы (I – Жигаловский, II – Большеириньский, III – Орлингский) и Бурунгино-Береинский прогиб (1); 17 – система надвиговых дислокаций в осевой части рамповой Большеириньской аллохтонной антиклинали (вала)



дислоцированный автохтон с моноклинальным залеганием литологических границ основных толщ. На востоке, по данным В. С. Суркова (2002), отложения венда несогласно перекрывают авлакогенные толщи рифея Предбайкальского перикратонного прогиба. Верхний ярус (аллохтон) имеет весьма сложное строение, детальное изучение которого еще предстоит. Соляная тектоника – линейная складчатость, надвиги и послонные срывы – установлены на уровнях от усольской до литвинцевской свиты нижнего кембрия. Эти базовые черты геологического строения осадочного чехла в пределах КГКМ закономерно отражаются в строении природных резервуаров, венда, венд-кембрия, кембрия (см. рис. 2), которые вмещают залежи УВ и промышленных рассолов, выявленные глубоким бурением [2–5, 12, 21 и др.]. Территория центрального блока месторождения (см. рис. 1, а) с юга ограничена Жигаловским валом, с востока рассечена Хандинским и Орлингским валами, в центральной части Большеиринским (северо-западного простирания), а на уровне трех основных соленосных толщ нижнего кембрия сорвана и смята с образованием линейной складчатости аллохтонного типа [6, 20, 21]. Смятие, виргации линейных складок [6, 21, 27, 29] (см. рис. 1) и послонные срывы (см. рис. 2) сформированы под тангенциальным воздействием Байкало-Патомского фронта [3, 10, 20, 21, 25, 26, 28, 29].

В настоящее время на КГКМ активно готовят к вводу в промышленную разработку основную залежь природного газа (парфеновский горизонт чорской свиты венда). Аллохтонное строение осадочного чехла в пределах месторождения предопределяет весьма сложное горно-геологическое бурение разведочных и эксплуатационных скважин в интервале глубин галогенно-карбонатной толщи кембрия [1, 2, 4, 5, 7, 9, 11, 12]. В этих условиях выход на локальный прогноз флюидонапорных систем с АВПД – ключевая задача безопасного бурения залегающих ниже (на глубинах около 3400–3500 м) газопродуктивных горизонтов терригенного венда. Поиск геологически и технологически обоснованных алгоритмов локального прогноза флюидонасыщенных зон с АВПД, особенно зон транзитной фильтрации [2, 9] с аномальной проницаемостью, обеспечивающих фонтанные дебиты до 5000–7000 м³/сут, – крайне важная гидрогеологическая задача. Представляется [2, 7, 14], что при формировании априорной физико-геологической модели локального прогноза необходимо опираться на структурно-гидрогеологическую модель межсолевых трещинных пластов-коллекторов, вмещающих высоконапорную пластовую флюидную систему как объект прогноза. Но у данной сложной и комплексной проблемы есть и другая сторона. Нарботка прогнозно-поискового комплекса локальных зон и участков на основе комплексирования данных дистанционных методов, бурения и геопромыслового сопровождения – это решение задачи цикла

поисков и разведки промышленных рассолов как химического сырья, самостоятельного полезного ископаемого. Предельно насыщенные рассолы природных резервуаров кембрия юга Сибирской платформы – это уникальная по концентрациям ценных элементов поликомпонентная «жидкая руда» для получения лития, рубидия, цезия, брома, йода, калия, магния [2, 3 и др.].

Геолого-структурные условия галогенно-карбонатной толщи нижнего кембрия весьма осложнены (рис. 3), что ранее было установлено сейсморазведочными работами МОГТ 2D [2, 4, 5], а ныне закартировано по данным МОГТ 3D [12, 22]. На КГКМ по геопромысловым данным глубокого бурения выявлены три крупных (по размерам в плане) «поля» с локализацией флюидонапорных систем (концентрированные рассолы – рапа, рапа с газом). Два из них находятся в центральном блоке месторождения [5, 22], третье – на южной периферии, в пределах Южно-Ковыктинской площади [11].

При обобщении результатов исследований объектов с АВПД было установлено [2, 4, 5, 22], что главное «поле» (область с высокодебитными фонтанными притоками рассолов), которое в центральном блоке месторождения вскрыто семью глубокими скважинами, ограничено Большеиринским валом с запада и Орлингским – с востока, системой разрывных нарушений сдвигового типа с юго-юга запада (см. рис. 1, 3).

Зоны развития вторичных высокопроницаемых флюидонасыщенных коллекторов выявлены по данным бурения скважин и площадных геофизических методов (сейсморазведка 2D, МОГТ, обработка и интерпретация сейсмологических данных по методике [31] комплексной сейсмической декомпозиции – Complex Seismic Decomposition (CSD), ЗСБ, гравиразведка) и увязаны с аллохтонным (восточным) крылом Большеиринского вала [2, 5, 7, 11, 27]. Сопоставление геоструктурных построений, выполненных на основе гравиразведочных и сейсморазведочных данных в комплексе с методом ЗСБ, показало, что скважины с фонтанными притоками рассолов и АВПД пробурены в пределах «наложенных» структурных форм, выделяемых по данным МОГТ [2, 4, 5, 24] на восточном надвинутом крыле аллохтонной антиклинали (см. рис. 2) и в пределах сопряженной с ним линейной синклинали структуры [2, 5, 11].

Во второй области развития АВПД в межсолевых карбонатных коллекторах нижнего кембрия не зафиксировано фонтанных рапопроявлений. Но в скважинах достаточно широко выражено смятие обсадных колонн в этом интервале геологического разреза чехла. В отличие от традиционных представлений о смятии под воздействием подвижных (текучих) солей, на КГКМ и сопредельных площадях глубокого бурения доказано смятие обсадных колонн под воздействием АВПД рассолонапорных систем [2, 7, 9]. Значения аномального пластового

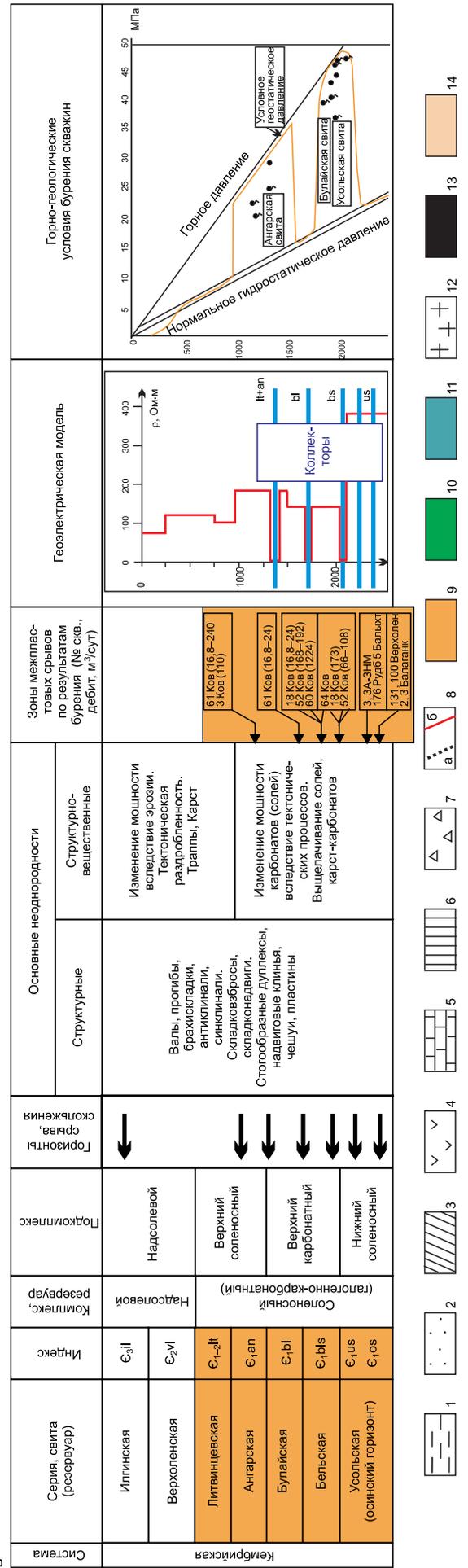
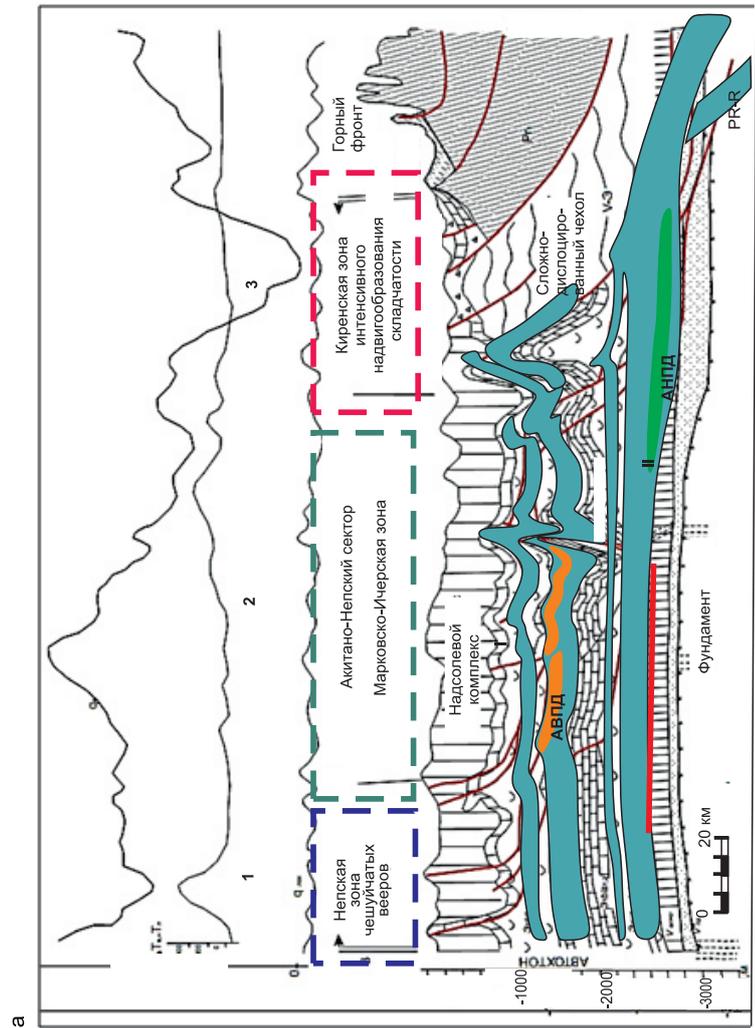
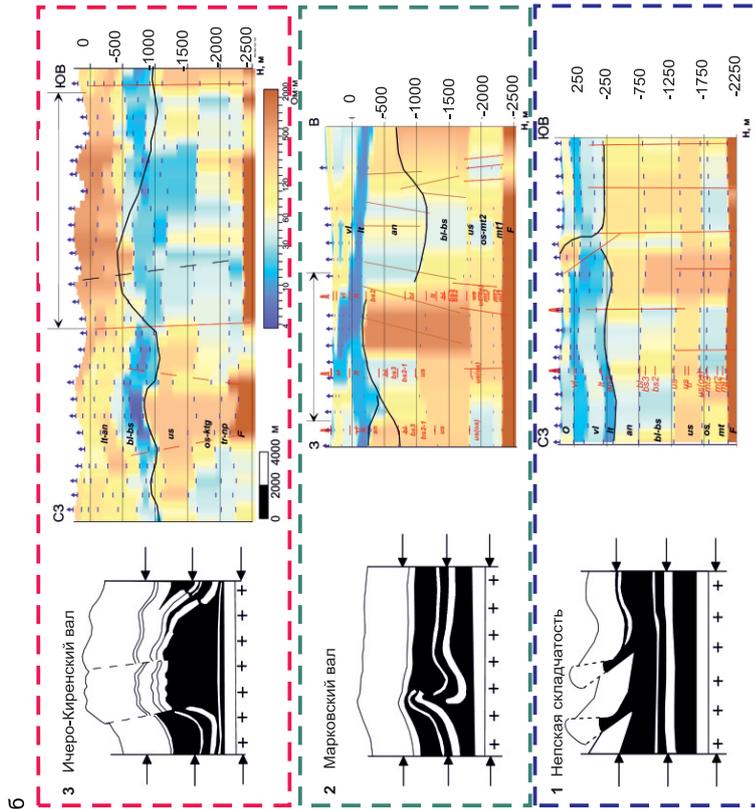


Рис. 2. Выделение двух структурных ярусов, разделенных поверхностью детачмента: а – по А. В. Сметанину [28], геологическое по М. А. Дубровину [8]; б – геоэлектрический разрез складчатых форм соленосной формации (по О. В. Токаревой, 2012); в – основные уровни срыва аллохтона (детачмент) в галогенно-карбонатной толще природного мегарезервуара кембрия (по А. В. Сметанину [28] с дополнением по [2, 21])

1 – песчаники, алевролиты, аргиллиты, глинистые сланцы; 2 – полимиктовые песчаники; 3 – песчаники, доломиты, известняки, ангидриты; 4 – каменная соль, доломиты, известняки; 5 – доломиты, известняки; 6 – красноцветные алевролиты, мергели, аргиллиты и песчаники; 7 – карбонатные брекчии в зонах гипергенеза; 8 – разломы: а – в фундаменте, б – предполагаемые в осадочном чехле; зоны: 9 – АВПД, 10 – АНПД; 11 – карбонатные горизонты; 12 – соли; 13 – фундамент; 14 – уровни срыва аллохтона в сопоставлении с геологическим разрезом природного мегарезервуара кембрия, геоэлектрическим разрезом, интервалами фонтанных притоков рапы и градиентами пластового давления флюидных систем в межселевых пластах-коллекторах [2, 9, 21]

давления здесь минимальны и соответствуют горизонтальной составляющей горного давления [19].

Новый этап изучения флюидонапорных систем с АВПД на КГКМ прямо связан [12, 22] с программой ГРП ПАО «ГАЗПРОМ», которая реализуется с 2011 г. Бурением еще одной скважины подтверждено распространение на восток контура *Орлингской флюидонапорной системы с АВПД в межселевых коллекторах галогенно-карбонатной гидрогеологической формации кембрия*. По результатам интерпретации

сейсмического куба 3D МОГТ модель геологического строения межселевых карбонатных пластов-коллекторов существенно уточнена. Подчеркнем, что эти данные дополняют изложенные в работе [20] представления о шарьяжно-надвиговом строении Предпатомского регионального прогиба (ПРП). Серьезным вкладом в изучение Ньюско-Джербинской впадины стали геодинамические реконструкции [3, 5, 6, 18–21, 29] и реализованная научной школой А. В. Мигурского методика сбалансированных раз-

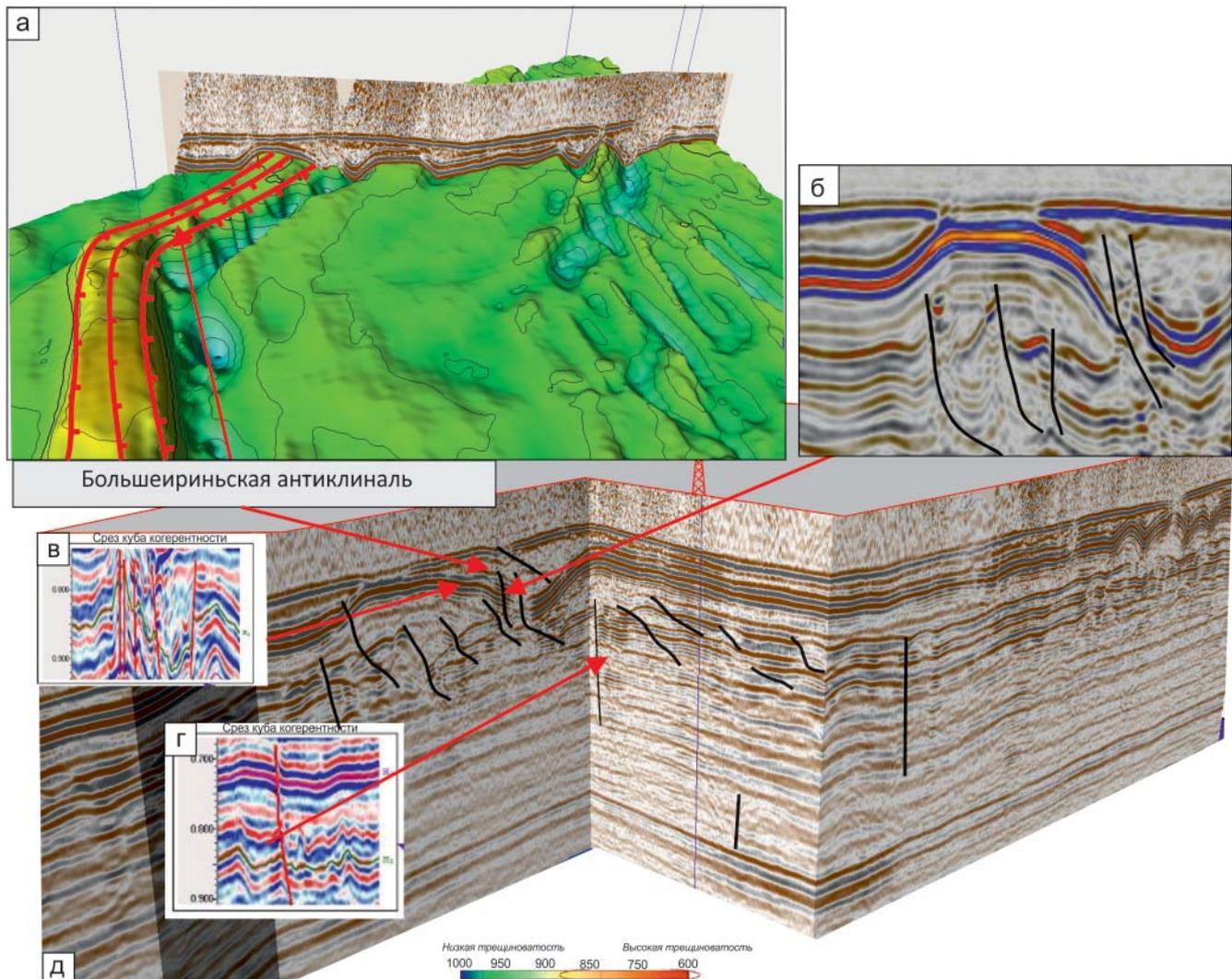


Рис. 3. Большеиринская антиклиналь (вал) как западное фронтальное ограничение Орлингской надвиговой системы (аллохтона): а – в изометрии по данным интерпретации сейсмического куба с 3D МОГТ; б – фрагмент складки в разрезе по данным сейсморазведки; в – в объемной модели надвиговой пластины, с учетом трехмерной (3D) инверсии данных ЗСБ [12, 27]; детализация участков структурно-тектонического осложнения в галогенно-карбонатной толще: г – дизъюнктивные, д – пликвативные с мелкой дисгармоничной складчатостью

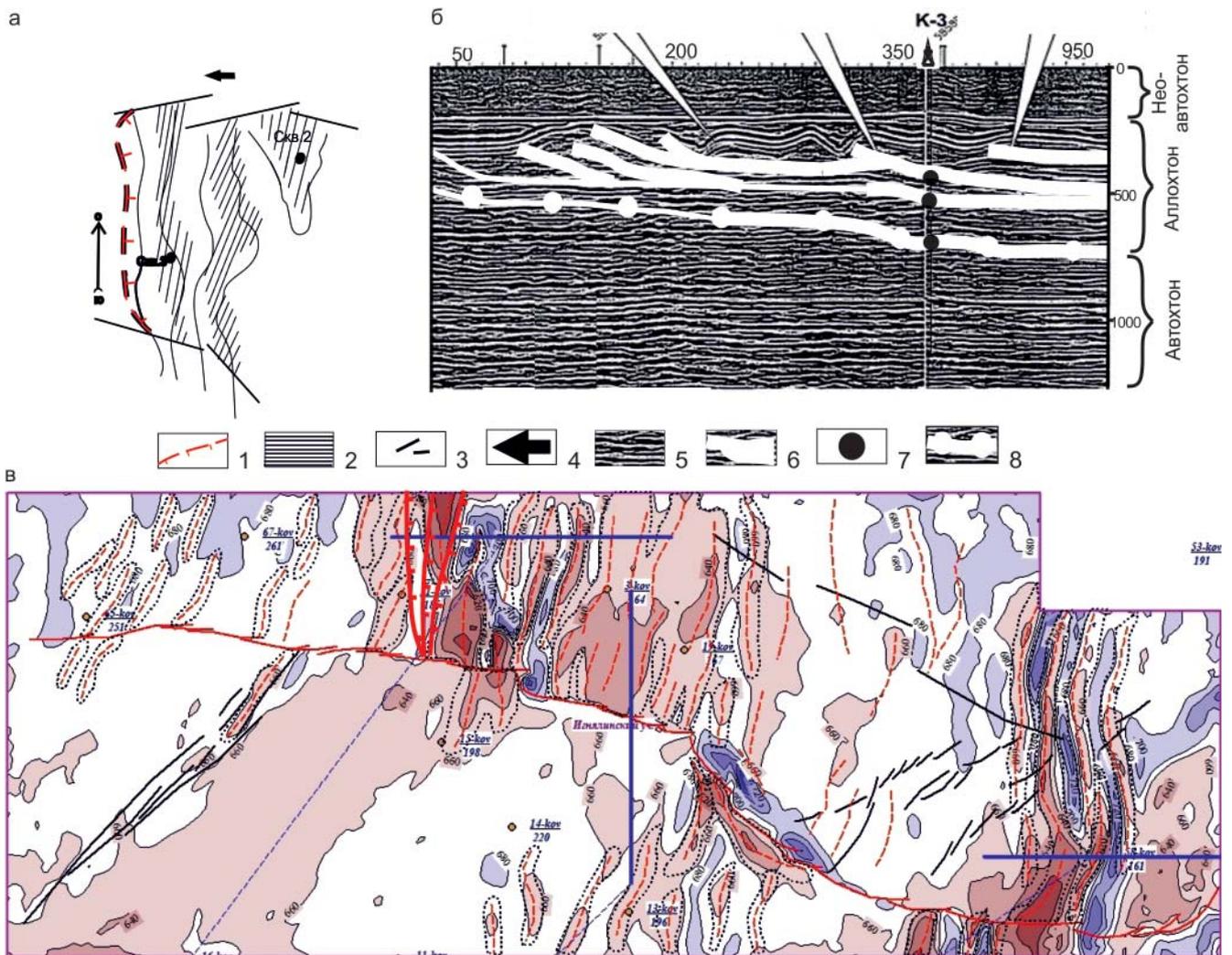


Рис. 4. Модельное представление Орлингской надвиговой системы (аллохтона): а – фрагмент надвиговой пластины в плане, б – на временном разрезе сейсморазведкой МОГТ 2D, в – южное ограничение по сейсморазведке 3D – левосторонний сдвиг [12], в области влияния которой сформирована Орлингская флюидонапорная система с АВПД в межслоевых коллекторах галогенно-карбонатной гидрогеологической формации кембрия

1 – система надвиговых дислокаций в осевой части рамповой Большеириной аллохтонной антиклинали (вала); 2 – флюидонасыщенный коллектор по данным ЗСБ; 3 – субвертикальные разломные зоны; 4 – направление смещения надвиговой пластины (аллохтона); 5 – отражающие горизонты чехла; 6 – зоны межпластовых срывов; 7 – интервал фонтанного проявления флюида; 8 – детачмент

резов [15, 16 и др.]. Развитие надвигов и сопряженных нарушений в Березовской впадине рассмотрено в работах [21, 24].

Анализ данных сейсмического куба 3D МОГТ по КГКМ впервые позволил исследовать соляную тектонику в толще нижнего кембрия с высокой степенью детальности [12]. В поле Орлингской структуры (см. рис. 3, 4, б, в) по кровлям солевых пластов в ангарской и усольской свитах выявлена малоамплитудная дисгармоничная складчатость (рис. 5). Интенсивность ее развития в рассматриваемом блоке существенно выше, чем за его пределами. Эта поверхность представлена как сложная область влияния детачмента, в объеме которой карбонатные пропластки ангарской и усольской свит смяты и раздроблены в процессе движения и поэтапного формирования внутреннего строения аллохтонной пластины.

Роль фронтального ограничения аллохтонной пластины (или Орлингской надвиговой системы [2, 5]) играет Большеириный вал. Это западная фронтальная геоструктурная и одновременно гидродинамическая граница *Ковыктинской (Орлингской) флюидонапорной (природный газ, рассолы) системы природного мегарезервуара кембрия* (см. рис. 1, 3). Детальный анализ секущих сейсмогеологических разрезов приводит нас к модели активной подвижной средней части соленосной толщи кембрия, в которой последовательно сформирована (см. рис. 3, 4) сложная надвиговая система – «дуплекс» с тыловым падением чешуй [6]. Верхние части литвинцевской, верхоленской свит и толщи ордовика играют роль неоавтохтона (см. рис. 3, 4, б). Трехмерная модель рассматриваемого объекта, учитывающая сокращение подвижного интервала разреза галогенно-карбонатной толщи, показана на рис. 4, а, б. Развитие

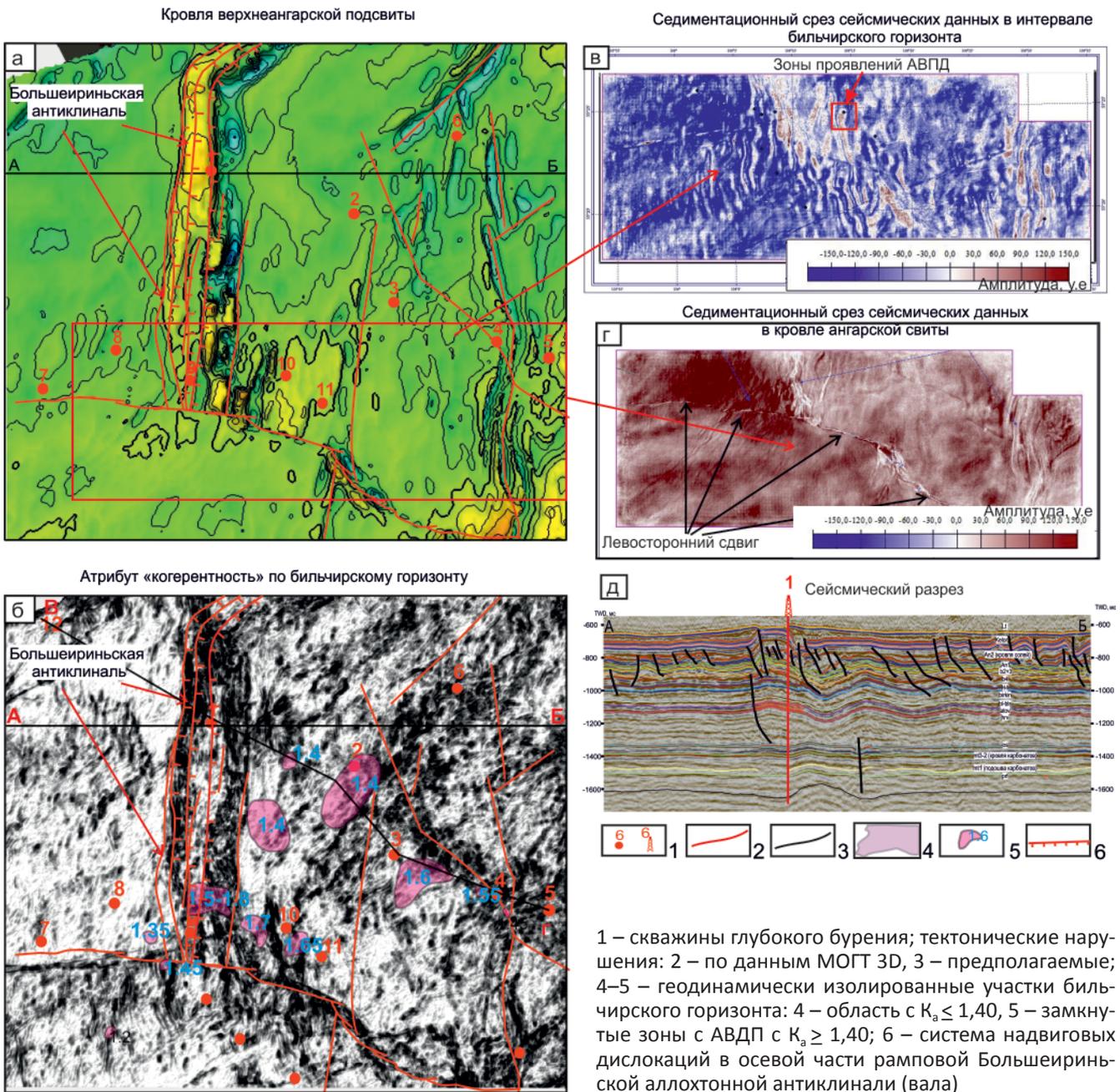


Рис. 5. Зональный прогноз распределения водонапорной системы (предельно насыщенные рассолы) с АВДП в трещинных коллекторах бильчирского горизонта в detachmentе Орлингской надвиговой пластины (Е. В. Демидова, НПК «ГЕОСЕРВИС», 2003): Орлингская флюидонапорная система с карбонатной гидрогеологической формацией кембрия по данным структурных построений на основе сейсморазведки 3D в сопоставлении с интерпретацией 2D по методике CSD данных бурения и геопромысловых исследований (центральный блок КГКМ, по [2, 5] с дополнением нашими данными): а – контуры надвиговой пластины, ограниченной Большеиринским валом; б – поле АВДП флюидной системы в бильчирском горизонте по CSD; в – дисгармоничная складчатость по данным 3D МОГТ; г – сейсмогеологический разрез по линии А–Б; д – сейсмический разрез

отдельного надвига в процессе миграции складчатости [3, 6] предполагает формирование поверхности срыва, смещение по ней пластины и «затухание» при релаксации блоковых напряжений. Причем новый надвиг развивался по новой плоскости срыва по отношению к предыдущей [6]. Срыв и перемещение надвиговых пластин дуплекса сопровождалось формированием парагенезисов разрывов. На итоговой карте (см. рис. 4, в) хорошо проявлена зона левостороннего сдвига в левом дизъюнктивном ограничении пластины, сопоставляемая с трасси-

ровкой Илимского разлома [25]. Сопоставление современных структурных построений с материалами прошлых лет позволяет подтвердить, что Орлингская надвиговая структура – южная часть («крыло») крупной Марковско-Ичерской зоны срывов [26, 28] и области «веерного расхождения крупных линейных аллохтонных складок» [2, 5] в направлении на северо-запад – север из южного узла этой структуры.

Известно, что процессы шарьирования и надвигообразования сопровождаются активным участием флюидных систем в этих геотектонических



преобразованиях [1–3, 5, 14, 18, 19, 21, 31, 32]. Гидрогеологические механизмы «участия» рассолов трактуются по-разному: от роли смазки в основании пластины надвига до роли жидкости гидроразрыва, обеспечивающей аномальным давлением развитие зоны разуплотнения в жестких (доломиты) и по контакту жестких и мягких (соли) пород. Флюидная система с АВПД (рассолы, газ) закономерно локализована в зонах разуплотнения межсолевого трещинного карбонатного коллектора [4, 5, 7, 9, 21, 22, 25], вскрываемых каждой глубокой скважиной (см. рис. 4, 5), что было спрогнозировано по методике 2D CSD, по данным электроразведки ЗСБ и подтверждено бурением скважин.

Выводы

Актуальность локального прогноза распределения в разрезе кембрия флюидных АВПД-систем предопределена развертыванием буровых работ ПАО «Газпром» на газонасыщенных песчаниках парфеновского горизонта чорской свиты венда, залегающих гипсометрически ниже. Субгоризонтальные и наклонные трещинные природные резервуары в межсолевых карбонатных пластах-коллекторах нижнего кембрия, вмещающие флюидонапорные системы с АВПД, близким по значениям к горному, сформированы в поле тангенциальных напряжений Байкало-Патомского надвигового пояса [2, 3, 19–21, 26, 28 и др.]. Сформулирована гипотеза участия концентрированных рассолов в качестве жидкости гидроразрыва [2, 19, 18, 32] как составной части гидравлического, геодинамического механизма, эволюции галогенно-карбонатной толщи кембрия в процессе шарьирования осадочного чехла. Залежи концентрированных рассолов с АВПД, вскрытые наиболее высокодебитными скважинами в центральном блоке КГКМ, локализованы в контуре крупной Орлингской надвиговой пластины, в аллохтоне. Надвиговая система имеет сложное дуплексное внутреннее строение трещинного мегарезервуара кембрия. К настоящему времени по данным сейсморазведки МОГТ 2D, 3D и электроразведки методом ЗСБ с интерпретацией данных на основе комбинированного подхода 1D и 3D существенно уточнены ее внутреннее геологическое строение и гидрогеологическая структура [2–5, 7, 12, 21–23].

Гидрогеологическое строение сложного природного мегарезервуара нижнего кембрия характеризуется напряженностью массива осадочных горных пород и гидродинамического барического поля флюидных систем – промышленных рассолов и природного газа. Здесь в межсолевых трещинных коллекторах галогенно-карбонатной гидрогеологической формации кембрия сформирована Орлингская флюидонапорная система с АВПД. Предложенная модель Орлингской надвиговой пластины, по сути, определяет комплекс факторов, осложняющих горно-геологические условия бурения и крепления

глубоких скважин на КГКМ. Детализация внутреннего строения рассмотренной надвиговой системы, фронтально ограниченной с запада Большеириньской аллохтонной антиклиналью, тектонофизическое моделирование геодинамического поля напряжений в целевых горизонтах осадочной толщи кембрия – следующие шаги к локальному прогнозу флюидных АВПД-систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белонин М. Д., Славин В. И., Чилингар Д. В. Аномально высокие пластовые давления. Происхождение, прогноз, проблемы освоения залежей углеводородов / под ред. д. г.-м. н. Н. С. Окновой. – СПб.: Недра, 2005. – 324 с.
2. Вахромеев А. Г. Закономерности формирования и локализации месторождений промышленных рассолов в карбонатных каверново-трещинных резервуарах кембрия юга Сибирской платформы. – Иркутск: ИРНТУ, 2015. – 248 с.
3. Вахромеев А. Г., Сизых В. А. Роль шарьяжно-надвиговой тектоники в формировании аномально-высоких пластовых давлений и промышленных металлоносных рассолов Сибирской платформы // Докл. РАН. – 2006. – № 2. – С. 1–5.
4. Вахромеев А. Г., Хохлов Г. А. Перспективы прогноза зон рапопроявлений в Верхоленском (Жигаловском) газоносном районе Иркутской области // Особенности технологии проводки и заканчивания скважин в Восточной Сибири и Якутии. – Новосибирск; Иркутск: СНИИГГиМС, ВостСибНИИГГиМС, 1988. – С. 140–142.
5. Вахромеев А. Г., Мышевский Н. В., Хохлов Г. А. Аномально-высокие пластовые давления как фактор, осложняющий освоение углеводородных месторождений Восточной Сибири // Матер. Всерос. совещ. «Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии: фундаментальный и прикладной аспекты». Вып. 5. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2006. – С. 98–119.
6. Гайдук В. В., Прокопьев А. В. Методы изучения складчато-надвиговых поясов. – Новосибирск: Наука, 1999. – 160 с.
7. Горно-геологические условия бурения рапопроявляющих зон с аномально высоким пластовым давлением в природных резервуарах кембрия на Ковыктинском газоконденсатном месторождении / А. Г. Вахромеев, С. А. Сверкунов, А. И. Ильин и др. // Изв. Сибирского отд-ния секции наук о Земле РАЕН. – 2016. – № 2 (55). – С. 74–87.
8. Дубровин М. А. Соляная тектоника Верхленской впадины Сибирской платформы. – Новосибирск: Наука, 1979. – 96 с.
9. Заливин В. Г., Вахромеев А. Г. Аварийные ситуации в бурении на нефть и газ: учеб. пособие. – М.: Инфра-Инженерия, 2018. – 508 с.
10. Замараев С. М. Краевые структуры южной части Сибирской платформы. – М.: Наука, 1967. – 247 с.



11. **Ильин А. И., Вахромеев А. Г.** Forecast Conditions for the Drilling of Deep Wells by Transient Electromagnetic Soundings on Kovykta Field // 6th Saint Petersburg International Conference Exhibition-Geoscience: Making the most of the Earth's resources. Saint Petersburg, Russia, 7–11 April 2014. – Точка доступа: <http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=74305>.
12. **Интеграция** геолого-геофизических данных – путь к созданию достоверной модели Ковыктинского газоконденсатного месторождения / А. С. Смирнов, И. В. Горлов, Н. Н. Яицкий и др. // Геология нефти и газа. – 2016. – № 2. – С. 56–66.
13. **Кононов А. И.** Генетические типы локальных структур Иркутского амфитеатра // Геологическое строение и нефтегазоносность Иркутского амфитеатра. – М.: Гостоптехиздат, 1960.
14. **Кучерук Е. В., Люстих Т. Е.** Прогнозирование и оценка аномальных пластовых давлений по материалам геофизических исследований // ВИНТИ. Итоги науки и техники. Сер. «Геологические и геохимические методы поисков полезных ископаемых. Методы разведки и оценка месторождений. Разведочная и промысловая геофизика». – 1986. – Т. 7. – С. 70–115.
15. **Ларионова Т. И.** Палинспастические реконструкции складчато-надвиговых дислокаций Ньюско-Джербинской впадины – перспективных объектов нефтегазопроисловых работ // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2011. – № 12. – С. 23–25.
16. **Ларионова Т. И.** Признаки перспективности участков скопления углеводородов в аллохтоне складчато-надвиговых территорий // Геология, тектоника, металлогения Северо-Азиатского кратона: матер. Всерос. науч. конф. Т. 1. – Якутск: Изд-во СВФУ, 2011. – С. 59–62.
17. **Тектоника** центральной части Непского свода / А. В. Малых, С. М. Замараев, Г. В. Рязанов, Н. К. Гелетий. – Новосибирск: Наука, 1987. – 81 с.
18. **Мигурский А. В.** Масштабные латеральные перемещения пород и флюидов на Сибирской платформе // Геология и минеральные ресурсы Сибири. – 2010. – № 1. – С. 53–57.
19. **Мигурский А. В., Старосельцев В. С.** Зоны разломов – естественные насосы природных флюидов // Отечественная геология. – 2000. – № 1. – С. 56–59.
20. **Мигурский А. В., Старосельцев В. С.** Нефтегазогеологическое районирование авто- и аллохтона на юге Сибирской платформы // Современные проблемы шарьяжно-надвиговой тектоники. – Уфа, 1997. – С. 67–69.
21. **Модели** строения и количественная оценка перспектив нефтегазоносности региональных резервуаров нефти и газа Предпатомского регионального прогиба (Сибирская платформа) / под ред. Г. Г. Шемина. – Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2017. – 560 с.
22. **Новые** газоперспективные объекты в кембрийских отложениях Ковыктинского ГКМ / И. В. Горлов, А. С. Смирнов, С. Ф. Игнатъев и др. // GeoBaikal 2016. – Иркутск, 2016. – Точка доступа: <http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=86386>.
23. **Опыт** 3D моделирования сигналов становления электромагнитного поля в условиях осадочного чехла юга Сибирской платформы / И. К. Семинский, И. В. Буддо, Л. В. Суров, Ю. А. Агафонов // Вестн. ИргТУ. – 2012. – Вып. 65. – С. 49–53.
24. **Петров М. М., Александров А. Р., Сивцев А. И.** Надвиговые дислокации в Березовской впадине // Нефтегазовое дело. – 2012. – № 4. – С. 502–513. – Точка доступа: http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/PetrovMM/PetrovMM_2.pdf.
25. **Прогноз** рапопроявлений в Бухаро-Хивинской области / И. В. Кушниров, В. Н. Пашковский, Э. Ю. Бегметов и др. // Геология нефтяных и газовых месторождений Западного и Южного Узбекистана. Вып. 6. – Ташкент, 1972. – С. 118–132.
26. **Сизых В. И., Лобанов М. П., Синцов А. В.** Проблемные вопросы нефтегазоносности Сибирской платформы в связи с покровным строением // Вестн. ГеоИГУ. Геология и минерагения юга Сибири. – 2005. – Вып. 4. – С. 62–66.
27. **Славин В. И., Брук Л. М.** Основные гипотезы происхождения АВПД и их классификация // Изучение геологического разреза и прогнозирование АВПД. – Л.: ВНИГРИ, 1987. – 145 с.
28. **Сметанин А. В.** Опыт динамической интерпретации гравитационных аномалий. – Иркутск, 2000. – 85 с.
29. **Старосельцев В. С.** Актуальные проблемы тектоники нефтегазоперспективных регионов. – Новосибирск: Наука, 2008. – 212 с.
30. **Харахинов В. В., Шленкин С. И.** Трещинные резервуары нефти и газа. – М.: Научный мир, 2015. – 284 с.
31. **Complex Seismic Decomposition – Theoretical Aspect** / G. M. Mitrofanov, H. B. Helle, V. P. Kovaliev, A. G. Madatov // Complex seismic decomposition – theoretical aspects. In 55-th EAEG Meeting. – 1993. – Available at: <http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=11948>.
32. **Hubbert M. K., Rubey W. W.** Role of Fluid Pressure in Mechanics of Overthrust Faulting: I. Mechanics of Fluid-Filled Porous Solids and its Application to Overthrust faulting // Geol. Soc. Amer. Bull. – 1959. – Vol. 70, no. 2. – P. 115–166.

REFERENCES

1. Belonin M.D., Slavin V.I., Chilingar D.V.; ed. N.S.Oknova. *Anomal'no vysokie plastovye davleniya. Proiskhozhdenie, prognoz, problem osvoeniya zalezhey uglevodorodov* [Abnormally high reservoir pressures. Origin, forecast, problems of hydrocarbon accumulations development]. St. Petersburg, Nedra Publ., 2005. 324 p. (In Russ.).



2. Vakhromeev A.G. *Zakonomernosti formirovaniya i lokalizatsii mestorozhdeniy promyshlennykh ras-solov v karbonatnykh kavernovo-treshchinnykh rezervuarakh kembriya yuga Sibirskoy platformy* [Regularities of industrial brine deposits formation and localization in Cambrian carbonate cavernous fractured reservoirs of the southern Siberian Platform]. Irkutsk, IRNITU Publ., 2015. 248 p. (In Russ.).
3. Vakhromeev A.G., Sizykh V.A. [Role of nappe-overthrust tectonics in the formation of abnormally high reservoir pressures and industrial metal-bearing brines of the Siberian Platform]. *Doklady RAN – RAS Proceedings*, 2006, no. 2, pp. 1–5. (In Russ.).
4. Vakhromeev A.G., Khokhlov G.A. [Forecast prospects of brine manifestation zones in the Upper Lena (Zhigalovo) gas-bearing area of the Irkutsk region]. *Osobennosti tekhnologii provodki i zakachivaniya skvazhin v Vostochnoi Sibiri i Yakutii* [Features of well drilling and injection technology in Eastern Siberia and Yakutia]. Novosibirsk, Irkutsk, SNIIGGiMS, VostSibNIIGGiMS Publ., 1988, pp. 140–142. (In Russ.).
5. Vakhromeev A.G., Myshevskiy N.V., Khokhlov G.A. [Abnormally high reservoir pressures as a factor complicating the development of hydrocarbon fields in Eastern Siberia]. *Mater. Vseros. soveschaniya "Sovremennaya geodinamika i opasnye prirodnye protsessy v Tsentral'noi Azii: fundamental'nyi i prikladnoi aspekty* [Proc. of All-Russian Meeting "Modern geodynamics and hazardous natural processes in the Central Asia: fundamental and applied aspects"]. Irkutsk, IZK SB RAS Publ., 2006, vol. 5, pp. 98–119. (In Russ.).
6. Gayduk V.V., Prokopyev A.V. *Metody izucheniya skladchato-nadvigovykh pojasov* [Methods of studying the fold-thrust belts]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1999. 160 p. (In Russ.).
7. Vakhromeev A.G., Sverkunov S.A., Ilyin A.I., Pospeev A.V., Gorlov I.V. [Mining and geological conditions of drilling of brine manifestation zones with abnormally high reservoir pressure in natural Cambrian reservoirs within the Kovyktinskoye gas condensate field]. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektzii nauk o Zemle RAEN – Proceedings of the Siberian Branch of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences*, 2016, no. 2 (55), pp. 74–87. (In Russ.).
8. Dubrovin M.A. *Solyanaya tektonika Verkhne-Lenskoy vpadiny Sibirskoy Platformy* [Salinedome tectonics of the Upper Lena depression of the Siberian Platform]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1979. 95 p. (In Russ.).
9. Zalivin V.G., Vakhromeev A.G. *Avariynye situatsii v bureanii na neft' i gaz* [Contingency situations in drilling for oil and gas]. Moscow, Infra-Ingeneriya Publishing House, 2018. 508 p. (In Russ.).
10. Zamaraev S.M. *Kraevye struktury yuzhnoy chaste Sibirskoy Platformy* [Margin structures of the southern Siberian Platform]. Moscow, Nauka Publ., 1967. 247 p. (In Russ.).
11. Ilyin A.I., Vakhromeev A.G. Forecast Conditions for the Drilling of Deep Wells by Transient Electromagnetic Soundings on Kovykta Field. *6th Saint Petersburg International Conference Exhibition-Geoscience: Making the most of the Earth's resources*. Saint Petersburg, Russia, 7–11 April 2014. Available at: <http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=74305>.
12. Smirnov A.S., Gorlov I.V., Yaitsky N.N., et al. Integration of geological-geophysical data is a way to design an accurate model of the Kovykta gas condensate field. *Geologiya nefti i gaza – Oil and Gas Geology*, 2016, no. 2, p. 56–66. (In Russ.).
13. Kononov A.I. [Genetic types of local structures of the Irkutsk amphitheatre] *Geologicheskoe stroenie i neftegazonosnost' Irkutskogo amfiteatra* [Geological structure and petroleum potential]. Moscow, Gostoptekhizdat Publ., 1960. (In Russ.).
14. Kucheruk E.V., Lyustikh T.E. [Prediction and estimation of abnormal formation pressures based on the data of geophysical studies]. *VINITI. Itogi nauki i tekhniki. Seriya "Geologicheskie i geokhimicheskie metody poiskov poleznykh iskopaemykh. Metody razvedki i otsenka mestorozhdeniy. Razvedochnaya i promyslovaya geofizika"* [ARISTI RAS. Results of science and technology. Series "Geological and geochemical methods of mineral exploration. Methods of exploration and evaluation of deposits. Exploratory and oilfield geophysics"]. Moscow, 1986, vol. 7, pp. 70–115. (In Russ.).
15. Larionova T.I. [Palinspatic reconstructions of folded-thrust dislocations of the Nyuya-Dzherba depression as promising objects of petroleum exploration]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy* [Geology, geophysics and oil and gas fields development], 2011, no. 12, pp. 23–25. (In Russ.).
16. Larionova T.I. [Features of prospectivity of hydrocarbon clusters in allochthon of folded-thrust territories]. *Materialy Vserossiyskoy naychn.konf. "Geologiya, tektonika, metallogeniya Severo-Aziatskogo kratona* [Proc. of All-Russian Scientific Conference "Geology, tectonics, metallogeny of the North-Asian craton". Vol. 1]. Yakutsk, SVFU Publ., 2011, pp. 59–62. (In Russ.).
17. Malykh A.V., Zamaraev S.M., Ryazanov G.V., Gelety N.K. *Tektonika tsentral'noy chasti Nepskogo svoda* [Tektonics of the central Nepa arch]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1987. 81 p. (In Russ.).
18. Migursky A.V. [Large-scale lateral rock and fluid displacements within the Siberian Platform]. *Geologiya i mineral'nye resursy Sibiri – Geology and Mineral Resources of Siberia*, 2010, no. 1, pp. 53–57. (In Russ.).
19. Migursky A.V., Staroseltsev V.S. Fault zones as natural pumps of natural fluids. *Otechestvennaya geologiya*, 2000, no. 1, pp. 56–59. (In Russ.).
20. Migurskiy A.V., Staroseltsev V.S. [Geological petroleum zoning of auto- and allochthon in the south of the Siberian Platform]. *Sovremennye problemy shar'yazhno-nadvigovoy tektoniki* [Current issues of nappe-overthrust tectonics]. Ufa, 1997, pp. 67–69. (In Russ.).



21. Shemin G. G., ed. *Modeli stroeniya i kolichestvennaya otsenka perspektiv neftegazonosnosti regional'nykh rezervuarov nefti i gaza Predpatomskogo regional'nogo progiba (Sibirskaya platforma)* [Structure models and quantitative evaluation of petroleum potential of regional oil and gas reservoirs of the Predpatom regional trough (Siberian Platform)]. Novosibirsk, GEO Publ., 2017. 560 p. (In Russ.).
22. Gorlov I.V., Smirnov A.S., Ignatyev S.F., et al. [New gas-promising reservoirs in Cambrian deposits of the Kovykta gas condensate field]. *Mater. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. "GeoBaykal 2016"* [Proc. of the International Scientific-Research Conference "GeoBai-kal 2016"], Irkutsk, 2016. Available at: <http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=86386>. (In Russ.).
23. Seminsky I.K., Buddo I.V., Surov L.V., Agafo-nov Yu.A. [Experience of 3D modelling of the formation of an electromagnetic field in a sedimentary cover of the south of the Siberian Platform]. *Vestnik IrGTU*, 2012, issue 65, pp. 49–53. (In Russ.).
24. Petrov M.M., Alexandrov A.R., Sivtsev A.I. [Thrust dislocations in the Berezovka depression.] *Neftegazovoe delo*, 2012, no. 4, pp. 502–513. Available at: http://www.ogbus.ru/files/ogbus/authors/PetrovMM/PetrovMM_2.pdf. (In Russ.).
25. Kushnirov I.V., Pashkovsky V.N., Begmetov E.Yu., et al. [Prediction of brine manifestations in the Bukhara-Khiva region]. *Geologiya neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy* [Proc. Geology of oil and gas fields of the Western and Southern Uzbekistan]. Tashkent, 1972, vol. 6., pp. 118–132. (In Russ.).
26. Sizykh V.I., Lobanov M.P., Sintsov A.V. [Prob-lematic issues of petroleum potential of the Siberian Platform in connection with cover structure]. *Geologiya i minerageniya yuga Sibiri. Vestnik GeolGU* [Geology and minerageny of the South of Siberia. Bulletin GeolSU]. Irkutsk, University Publ., 2005, vol. 4, pp.62–66. (In Russ.).
27. Slavin V.I., Bruk L.M. [Principal hypotheses of AHRP origin and their classification]. *Izucheniye geologicheskogo razreza i prognozirovaniye AVPD* [Study of geological section and AHRP prediction]. Leningrad, VNIGRI Publ., 1987. 145 p. (In Russ.).
28. Smetanin A.V. *Opyt dinamicheskoy interpre-tatsii gravitatsionnykh anomalii* [Experience of gravity anomaly dynamic interpretation]. Irkutsk, 2000. 85 p.
29. Staroseltsev V.S. *Aktual'nye problemy tektoniki neftegazoperspektivnykh regionov* [Topical issues of tectonics of promising petroleum regions]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2008. 212 p. (In Russ.).
30. Kharakhinov V.V., Shlenkin S.I. *Treshchinnye rezervuary nefti i gaza* [Fracture reservoirs of oil and gas]. Moscow, Nauchnyy mir Publ., 2015. 284 p. (In Russ.).
31. Mitrofanov G.M., Helle H.B., Kovaliev V.P., Ma-datov A.G. Complex Seismic Decomposition – Theoretical Aspect. In 55-th EAEG Meeting, 1993. Available at: <http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=11948>.
32. Hubbert M.K., Rubey W.W. Role of Fluid Pres-sure in Mechanics of Overthrust Faulting: I. Mechanics of Fluid-Filled Porous Solids and its Application to Over-thrust faulting. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 1959, vol. 70, no. 2, pp. 115–166.

© А. Г. Вахромеев, И. В. Горлов, Н. В. Мисюркеева, С. А. Сверкунов, Ю. К. Ланкин, А. С. Смирнов, 2018