

УДК 551.72

DOI 10.47148/0016-7894-2024-6-15-30

Симбиоз кольцевых инверсионных структур и соляных криптодиапиров на севере Западно-Сибирского бассейна

© 2024 г. | К.О. Соборнов

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт» (ФГБУ «ВНИГНИ»), Москва, Россия; Sobornov@vnigni.ru

Поступила 19.06.2024 г.

Доработана 30.06.2024 г.

Принята к печати 20.09.2024 г.

Ключевые слова: *Западно-Сибирский бассейн; кольцевые инверсионные структуры; соляные криптодиапиры; геодинамика; месторождения нефти и газа; сейсморазведка.*

Аннотация: Кольцевые инверсионные структуры являются феноменом геологического строения северных районов Западно-Сибирского бассейна. Они включают синклинали, сложенные юрскими отложениями, перекрытые пологими поднятиями мелового возраста. Интерпретация сейсмических данных показывает, что эти дисгармоничные структуры, вероятно, возникли за счет роста соляных диапиров в палеозойских отложениях. Симбиоз кольцевых инверсионных структур и криптодиапиров определялся стадийным ростом соляных поднятий, что согласуется с геодинамическим контекстом развития Западно-Сибирского бассейна. Высокорельефные синклинальные элементы инверсионных структур, сложенные преимущественно юрскими отложениями, вероятно, возникли в условиях сводового растяжения над быстрорастущими криптодиапирами. Последующее образование куполообразных поднятий, сложенных отложениями мелового возраста, интерпретируется как результат новой фазы умеренного роста соляных поднятий в позднем кайнозое. Эта фаза ограниченного роста диапиров модифицировала синклинали, но не привела к их расформированию. Приуроченность кольцевых инверсионных структур к криптодиапирам в палеозойских отложениях создавала благоприятные условия для формирования крупных многозалежных месторождений нефти и газа. Доюрские отложения могут являться источником дополнительных объемов углеводородов для залежей в юрско-меловом чехле.

Для цитирования: Соборнов К.О. Симбиоз кольцевых инверсионных структур и соляных криптодиапиров на севере Западно-Сибирского бассейна // Геология нефти и газа. – 2024. – № 6. – С. 15–30. DOI: 10.47148/0016-7894-2024-6-15-30.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность В.А. Балдину (АО Башнефтегеофизика), И.П. Короткову (ГСД), А.М. Никишину (МГУ) за плодотворные дискуссии, касающиеся различных аспектов сейсмической интерпретации и геологии Западной Сибири. Автор благодарит ООО «Северо-Уральская нефтегазовая компания» за техническую поддержку при выполнении исследования.

Symbiosis of ring inversion structures and salt cryptodiapirs in the north of the West Siberian basin

© 2024 | К.О. Sobornov

All-Russian Scientific-Research Geological Oil Institute (VNIGNI), Moscow, Russia; Sobornov@vnigni.ru

Received 19.06.2024

Revised 30.06.2024

Accepted for publication 20.09.2024

Key words: *West Siberian basin; ring inversion structures; salt cryptodiapirs; geodynamics; oil and gas fields; seismic surveying.*

Abstract: Ring inversion structures are a phenomenon of geological structure of the northern regions of the West Siberian Basin. They include synclines in Jurassic sediments overlain by subtle uplifts in Cretaceous sediments. Interpretation of seismic data shows that these disharmonic structures probably resulted from salt diapir growth in Paleozoic sediments. The symbiosis of ring inversion structures and cryptodiapirs was determined by the staged growth of salt structures, which is consistent with the geodynamic context of the West Siberian Basin development. The high-relief synclinal elements of the inversion structures, which are composed predominantly of Jurassic deposits, were probably formed under conditions of crestral stretching above the rapidly growing cryptodiapirs. The subsequent formation of swells composed of Cretaceous deposits is interpreted as the result of a new phase of salt diapir' moderate growth in the Late Cenozoic. This phase of limited diapir growth modified the synclines but did not result in their elimination. The confinement of ring inversion structures to cryptodiapirs in the Paleozoic sediments was favorable for the formation of large multiplay oil and gas fields. Pre-Jurassic deposits could be a source of additional hydrocarbon amount for accumulations in the Jurassic-Cretaceous sedimentary cover.

For citation: Sobornov K.O. Symbiosis of ring inversion structures and salt cryptodiapirs in the north of the West Siberian basin. *Geologiya nefi i gaza*. 2024;(6):15–30. DOI: 10.47148/0016-7894-2024-6-15-30. In Russ.

Acknowledgments. The author is deeply indebted to V.A. Baldin (AO Bashneftegeofizika, Ufa, Russia), I.P. Korotkov (GDS, Moscow, Russia), A.M. Nikishin (MSU, Moscow, Russia) for fruitful discussions concerning various aspects of seismic interpretation and geology of Western Siberia. The author is also appreciating Severo-Uralskaya Oil and Gas Company LLC for technical support of the research.

Введение

Северная часть Западно-Сибирского бассейна является районом крупнейшего сосредоточения нефтегазовых запасов. Активное освоение этих запасов ведется с 1960-х гг. Здесь разведаны уникальные месторождения, разработка которых обеспечивает львиную долю добычи газа в России (рис. 1). В пределах этого региона выполнены разносторонние геолого-геофизическое исследования, пробурено несколько тысяч глубоких скважин. Интерпретации накопленных данных посвящены работы специалистов ведущих научно-исследовательских организаций ([1–4] и др.).

К настоящему времени достаточно детально исследовано строение юрско-меловых отложений, с которыми связаны основные запасы нефти и газа. Существенно меньше изучено строение глубокозалегающих доюрских отложений, которые также могут обладать значительным нефтегазовым потенциалом. Несмотря на наличие большого объема накопленной геолого-геофизической информации, характеризующей северную часть Западно-Сибирского бассейна, некоторые черты строения этого региона остаются дискуссионными. К числу таких вопросов относится происхождение своеобразных кольцевых инверсионных структур¹ ([5–10] и др.).

К кольцевым инверсионным структурам относят пологие куполовидные поднятия, сложенные меловыми отложениями, которые подстилаются синклиналими структурами, выраженными в основном в юрских толщах. Диаметр кольцевых структур достигает десятков километров. Нижележащие их синклинали имеют меньшие размеры, но структурно являются более амплитудными, чем перекрывающие антиклинали. Как правило, синклинали нарушены многочисленными крутопадающими разломами. Вверх по разрезу разломов становится значительно меньше. Многие подобные структуры разбурены. В них открыт ряд крупных месторождений нефти и газа. Характерный пример изображения кольцевой инверсионной структуры на сейсмическом разрезе показан на рис. 2.

Эти своеобразные структуры были выявлены в Западной Сибири по данным сейсморазведки в 1980-х гг. ([10] и др.). Первоначально их рассматривали как локальные экзотические объекты, не имеющие существенного значения для понимания регионального геологического строения бассейна. Однако по мере накопления новых данных стало очевидно, что кольцевые инверсионные структуры являются важным элементом строения северных районов Западной Сибири. Анализ происхождения этих структур может позволить лучше разобраться в особенностях нефтегазовости юрско-меловых отложений, а также расширить представления о составе, строении и нефтегазовом потенциале доюрских толщ.

В настоящее время в пределах северной части Западно-Сибирского бассейна и прилегающего участка Енисей-Хатангского прогиба выявлено около 60 таких структур¹ (см. рис. 1) ([5, 7] и др.). С большой вероятностью можно считать, что в ходе дальнейших исследований их число возрастет.

Региональное геологическое строение Западно-Сибирского бассейна

Западно-Сибирский бассейн представляет собой обширную зону погружения (площадь порядка 2,5 млн км²), наложенную на гетерогенное складчатое основание. Оно возникло в позднем палеозое в ходе глобального коллизионного события, в результате которого был образован суперконтинент Пангея ([11, 12] и др.). На территории Северной Евразии в состав нового континентального массива вошли периферические зоны Сибирской платформы, коллаж казахских микроконтинентов, вулканические дуги, задуговые и междуговые бассейны. Урал был одним из крупнейших гетерогенных складчатых сооружений, возникших в это время. В позднем палеозое площадь Урала существенно превышала его современные очертания, так как большая часть его внутреннего океанического сегмента не была погребена под мезозой-кайнозойским плитным чехлом Западной Сибири. На рубеже перми и триаса вновь образованный континентальный массив Пангея испытал крупнейшее магматическое событие, сопровождавшееся массовым излиянием трапповых базальтов с центром в Северной Евразии ([13] и др.). В пределах Западно-Сибирского бассейна и Енисей-Хатангского прогиба это событие сопровождалось растяжением литосферы, что привело к постколлизионному коллапсу обширных окраинно-континентальных складчатых зон. В результате здесь возникли крупные впадины, ставшие в дальнейшем центрами продолжительного термического погружения земной коры в мезозое.

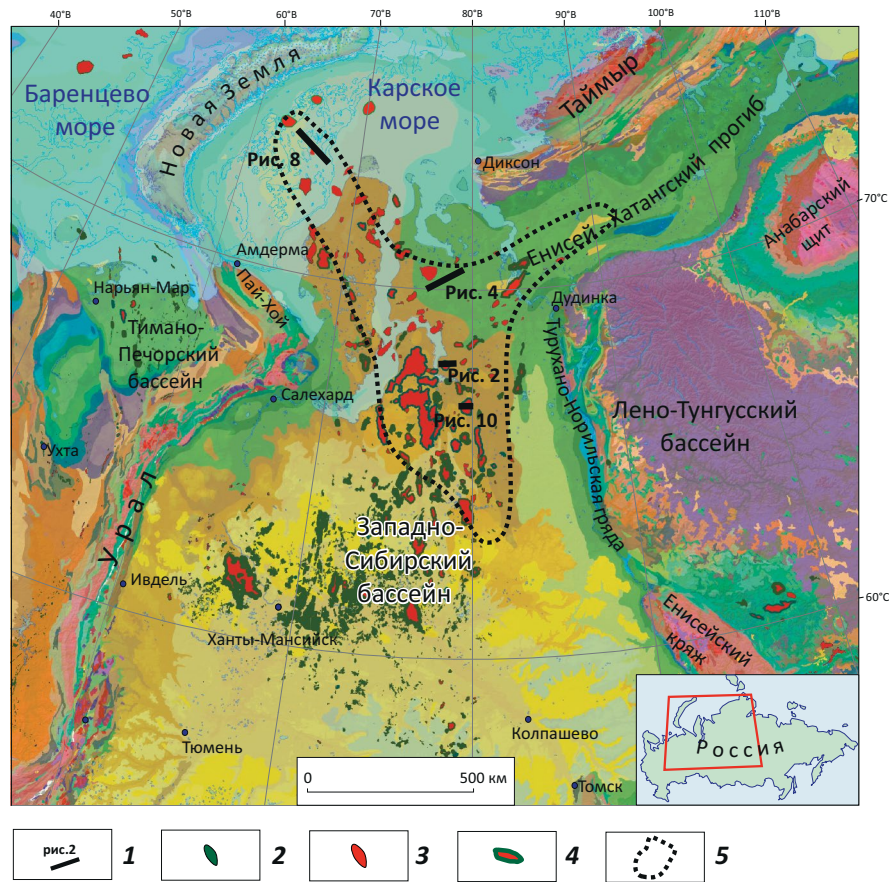
Устойчивое погружение в мезозое – кайнозое периодически прерывалось фазами деформаций в позднем триасе, раннем мелу и конце кайнозоя. В позднем триасе основной причиной деформаций были коллизии в зоне тетической окраины Евразии, а также на Пай-Хое и Таймыре ([11, 12] и др.). В раннем мелу деформации были обусловлены главным образом коллизией в Верхоянье ([13] и др.). Позднекайнозойские деформации коррелируют со складчатостью в Альпийско-Гималайском поясе и с раскрытием Северного Ледовитого океана ([11, 12] и др.). В Западной Сибири эти тектонические события в основном проявились в виде внутриплитных деформаций. Значительная часть этих деформаций была локализована в зонах разломов позднепалеозойского заложения за счет их сдвиговой реактивации ([14] и др.).

Существенное и, вероятно, не в полной мере исследованное значение для структурного развития севера Западной Сибири и формирования нефтегазовых систем имело позднекайнозойское

¹Загоровский Ю.А. Роль флюидодинамических процессов в образовании и размещении залежей углеводородов на севере Западной Сибири: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Тюмень : ТИУ, 2017. – 201 с.

Рис. 1. Обзорная геологическая карта Западно-Сибирского бассейна и прилегающих регионов¹

Fig. 1. Geological map of the West Siberian Basin and adjacent regions. Oil and gas fields, and seismic survey lines across interpreted cryptodiapirs presented in the paper are shown¹



1 — сейсмический разрез; **месторождения (2–4): 2** — нефти, **3** — газа, **4** — газонефтяные и нефтегазовые; **5** — ареал развития кольцевых инверсионных структур

1 — line of seismic section; **fields (2–4): 2** — oil, **3** — gas, **4** — gas and oil and oil and gas; **5** — area of the ring inversion structure occurrence

оледенение ([15] и др.). Трансгрессии и регрессии ледникового покрова, по-видимому, вызвали существенные вертикальные подвижки осадочного выполнения и его эрозию. Промерзание верхней части осадочного чехла привело к гляционным деформациям, адиабатической дегазации пластовых вод, образованию газогидратов и др. Потепление и отступление ледникового покрова в новейшее время способствовали изостатическому подъему на севере бассейна, реактивации разломов, формированию «газовых трубок». Вероятно, неотектоническое поднятие привело к переходу значительной части нефти в залежах, залегающих на небольших глубинах (до 1,5 км), в газообразное состояние за счет ее биодеградации [16].

В схематизированном виде тектоностратиграфия осадочного чехла с основными элементами нефтегазовых систем северной части Западно-Сибирского бассейна показана на рис. 3.

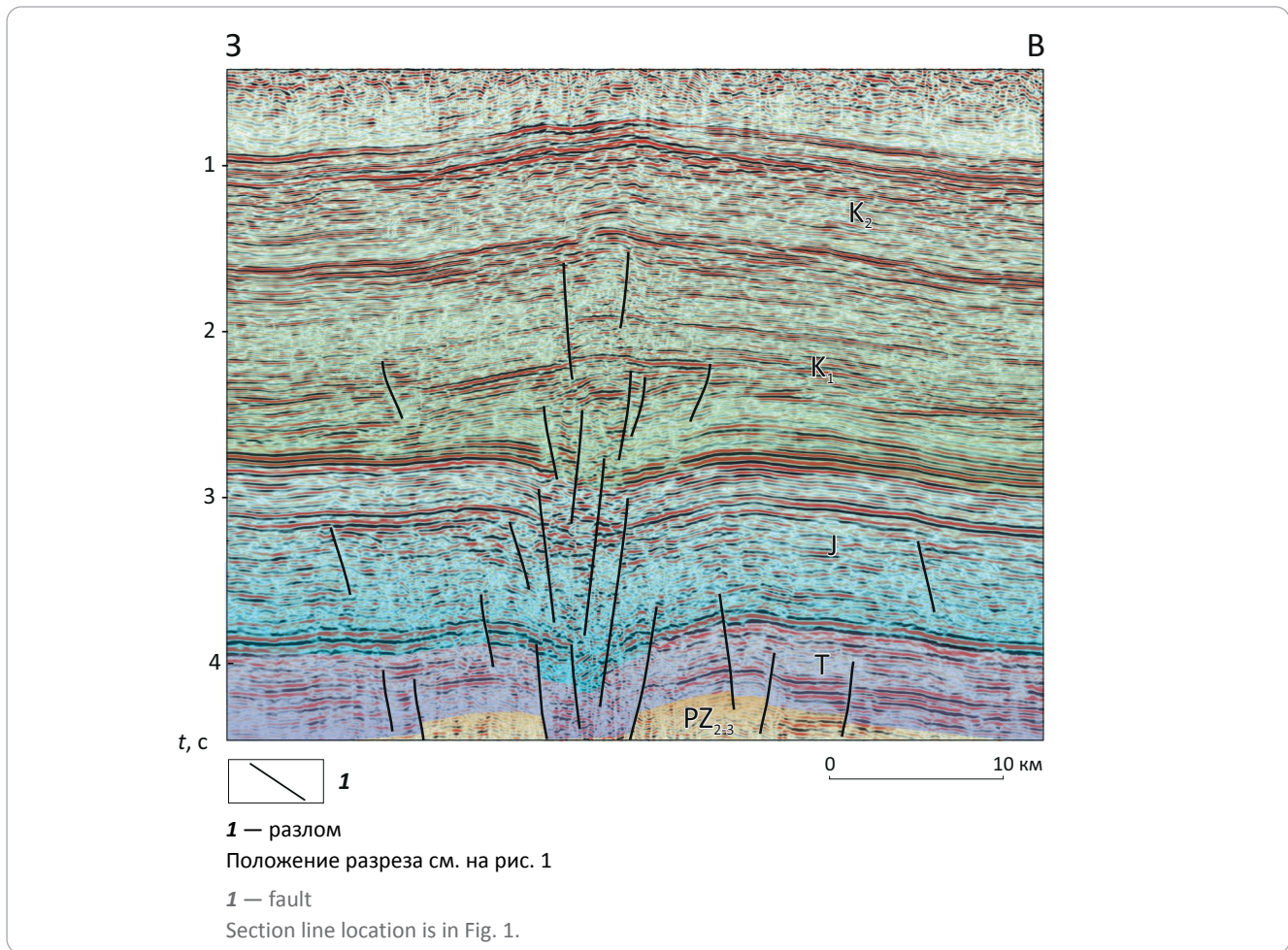
Дююрские отложения вскрыты скважинами преимущественно в периферических частях рассматриваемых бассейнов, где они залегают на доступных для бурения глубинах. Соответственно,

представления о строении и нефтегазоносности дююрского основания в погруженных частях севера Западно-Сибирского бассейна носят гипотетический характер. Они основаны на интерпретации регионального геологического контекста и моделях геодинамической эволюции.

Новым элементом в интерпретируемом строении палеозойских отложений северной части Западно-Сибирского бассейна является предположение о наличии в палеозойском осадочном чехле соляных криптодиапиров. В пользу допустимости предположения о развитии палеозойских криптодиапиров в рассматриваемом районе свидетельствует наличие соляных структур на периферии бассейна. Они установлены в Енисей-Хатангском прогибе, на Таймыре и на юго-востоке Западной Сибири, к западу от Енисейского кряжа, в Красноярском крае и Томской области ([17–19] и др.).

В пользу существования соляных криптодиапиров в северной части Западной Сибири прежде всего свидетельствуют материалы сейсмической интерпретации. Основную ценность представляют данные регионального сейсмического профилиро-

Рис. 2. Интерпретированный временной сейсмический разрез кольцевой инверсионной структуры Находкинского месторождения
Fig. 2. Interpreted seismic time section crossing the ring inversion structure of the Nakhodkinskoye field



вания, освещающего строение осадочного чехла до глубин 10–15 км и более. Они позволяют выделить структурные формы в нижней доюрской части осадочного чехла, которые с большой вероятностью имеют диапировое происхождение. Пример структуры такого рода показан на рис. 4.

В пользу диапировой природы этого поднятия свидетельствуют следующие признаки.

1. Структура изометрична, не имеет выраженной вергентности и линейности, свойственной зонам коллизионной складчатости.

2. Она имеет крупные размеры: высота порядка 5 км по доюрским отложениям, поперечный размер — 50 км.

3. Внутри предполагаемого соляного поднятия нет выраженных протяженных сейсмических осей синфазности (интервал сейсмически прозрачен), что свидетельствует об отсутствии выдержанной слоистости слагающих ее пород. Это согласуется с предположением о формировании поднятия за счет соляного диапиризма.

4. На крыльях структуры выделяются слои роста или галокинетические последовательности, которые фиксируют этапы быстрого роста поднятия.

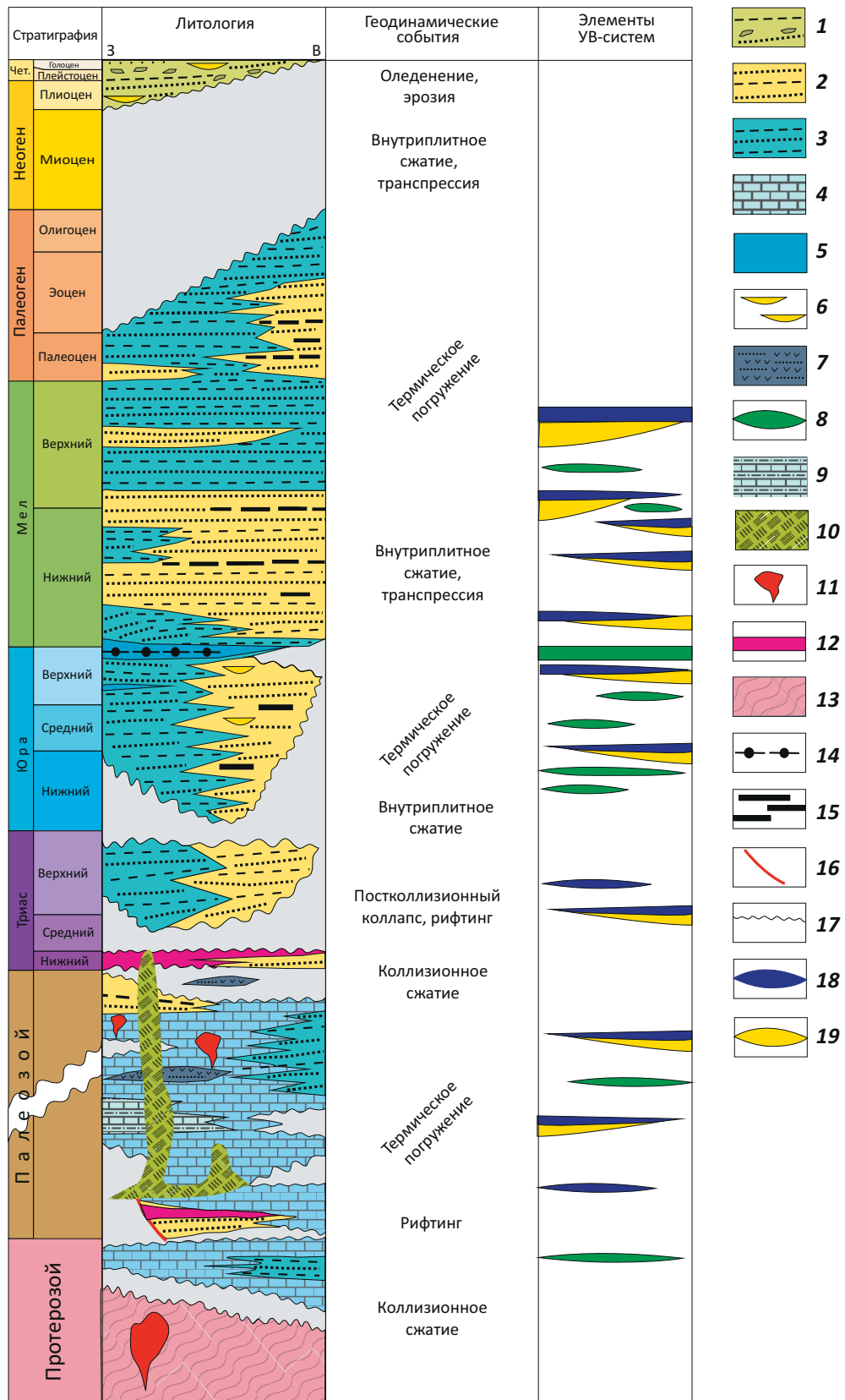
5. Над поднятием прослеживается система радиальных разломов, что типично для диапировых структур.

Эти признаки характерны для соляных криптодиапиров слабодислоцированных внутриплитных бассейнов ([20, 21] и др.). Наличие слоев роста или галокинетических последовательностей в широком стратиграфическом диапазоне, а также радиальных разломов в юрско-меловых отложениях свидетельствует о длительности роста таких структур. Это отличает их от горстовых поднятий, надвиговых складок или внедрений магматических тел. Деформации этих типов, как правило, являются результатом дискретных фаз тектонической активности. Соответственно, им не свойственны слои роста в широком стратиграфическом диапазоне и радиальные системы разломов в перекрывающих толщах, образование которых вызвано продолжительным импульсивным ростом соляных диапиров.

Сейсмическая интерпретация позволяет полагать, что возраст соли является раннепалеозойским. Возможно, что эта соль принадлежит кембрийскому ареалу накопления эвапоритов, который располагается на Сибирской платформе [13]. Альтернативно соль может иметь позднеордовикский возраст, так

Рис. 3. Тектоностратиграфия осадочного чехла и элементы УВ (нефтегазовых) систем северной части Западно-Сибирского бассейна (с использованием данных [1–4] и др.)

Fig. 3. Tectonics and stratigraphy of the sedimentary cover and hydrocarbon system elements in the northern part of the West Siberian Basin (data from [1–4] is used)





Усл. обозначения к рис. 3

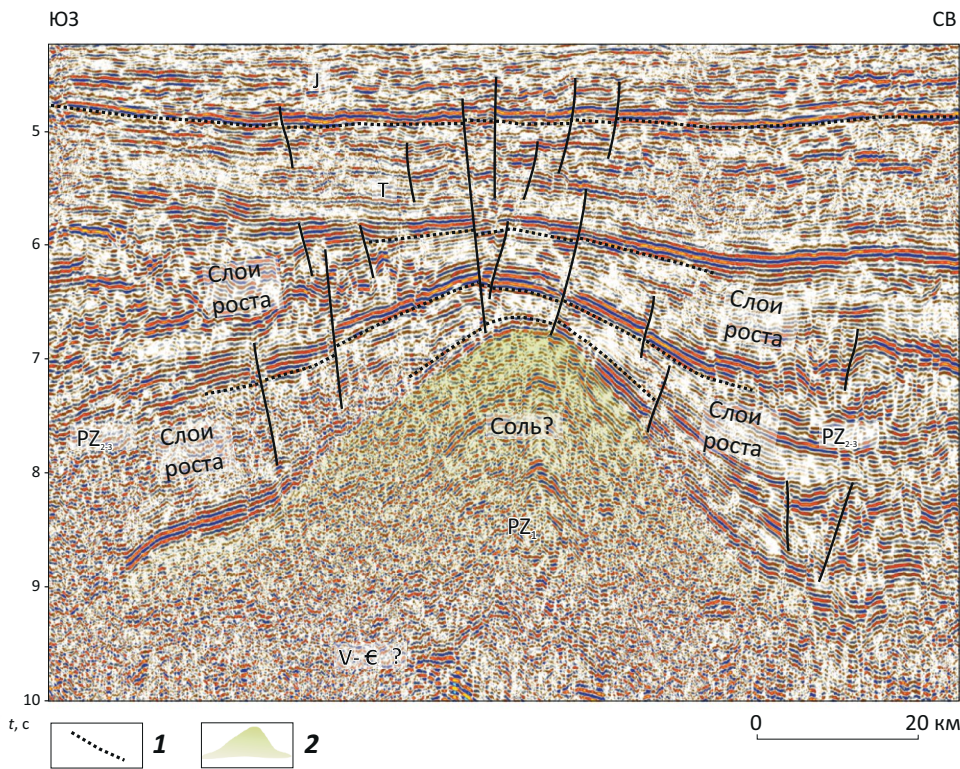
Legend for Fig. 3

Отложения (1–8): 1 — континентальные ледниковые, дельтовые и прибрежно-морские, 2 — преимущественно песчаные мелководные и аллювиальные, 3 — преимущественно глинистые мелководного шельфа, 4 — морские карбонатные, 5 — сланцевые шельфовых впадин, 6 — русловые, 7 — вулканокластические, 8 — нефтегазоматеринские; 9 — переслаивание карбонатных и терригенных отложений; 10 — эвапориты; 11 — гранитные интрузии; 12 — трапповые базальты; 13 — метаморфизованные породы; 14 — битуминозные сланцы (бажениты); 15 — угли; 16 — разлом; 17 — несогласие; 18 — покрышки залежей нефти и газа; 19 — коллекторы нефти и газа

Deposits (1–8): 1 — continental glacial, deltaic, and coastal-marine, 2 — mainly shallow-marine and alluvial sands, 3 — mud-dominated of shallow shelf, 4 — offshore carbonate, 5 — shaly of shelf depressions, 6 — channel, 7 — volcanoclastic, 8 — oil and gas source rocks; 9 — intercalation of carbonate and terrigenous deposits; 10 — evaporates; 11 — granite intrusions, 12 — trap basalts; 13 — metamorphosed rocks; 14 — bituminous shales (Bazhenite); 15 — coal; 16 — fault; 17 — unconformity; 18 — oil and gas pool seals; 19 — oil and gas reservoirs

Рис. 4. Фрагмент временного сейсмического разреза с выделением предполагаемого соляного поднятия в палеозойских отложениях

Fig. 4. Fragment of seismic time section showing the supposed salt uplift in Paleozoic deposits



На крыльях структуры показаны слои роста, соответствующие этапам быстрого роста соляного поднятия.

1 — несогласие, 2 — соль.

Остальные усл. обозначения см. на рис. 2.

Положение разреза см. на рис. 1

Growth layers are shown on the structure flanks, which correspond to phases of a rapid growth of the salt diapir

1 — unconformity, 2 — salt

For other legend items see fig. 2

Position of the section is shown in Fig. 1

как специалисты АО «СМНГ» и ПАО «Роснефть» предполагают присутствие солей этого возраста в Карском море.

Изучение кольцевых структур

Изучению кольцевых инверсионных структур посвящены работы многих исследователей¹ ([5–10] и др.). В последние годы наиболее полное их описание содержится в публикациях специа-

листов ОАО «Башнефтегеофизика»¹ ([5, 6] и др.). В результатах проведенных исследований приведена характеристика морфологии этих структур, исследованных на многих поисково-разведочных площадях и месторождениях с применением современной сейсморазведки, включая высокоинформативные съемки 3D.

На ряде изученных кольцевых структур отмечается значительная изменчивость интервальных

сейсмических скоростей, что в некоторых случаях несколько меняет морфологию во временной и глубинной областях. Определенный вклад в искажение геометрии этих структур вносит газонасыщение, которое создает локальные вариации скоростных параметров вмещающих пород [6, 7]. Вместе с тем эти факторы не устраняют дисгармонии структурных планов, определяющих рассматриваемую инверсию. Основным дискуссионным вопросом является происхождение кольцевых структур.

В настоящее время на тему возникновения кольцевых структур существует несколько гипотез¹ ([5–10] и др.). Одни связывают их происхождение с флюидными потоками из глубинных слоев земной коры и мантии. Другие первопричиной считают дифференциальное уплотнение литологически разнородных отложений. Кроме этого, допускается их образование за счет наложения и комбинирования различных разломных деформаций. Многие гипотезы весьма интересны. Вероятно, упомянутые факторы проявляли себя в различных комбинациях на разных этапах развития рассматриваемого региона. Вместе с тем анализ этих гипотез показывает, что они не дают системного объяснения совокупности наблюдаемых особенностей строения кольцевых структур. Например, непонятно как поток глубинных флюидов создает структурную дисгармонию на различных структурных уровнях. Относительно роли фактора дифференциального уплотнения можно заметить, что остается неясным почему эти структуры имеют кольцевую форму. Логично предположить, что в терригенном разрезе, сложенном преимущественно дельтовыми отложениями, следовало бы ожидать формы, повторяющие русловые песчаные тела, прибрежные бары, конуса выноса и др. Сочетание линейных систем разломов, характерных для Западной Сибири, также затрудняет толкование кольцевой морфологии этих структур. Неясно что может контролировать размещение этих структур, так как они установлены только на севере Западно-Сибирского бассейна и прилегающей части Енисей-Хатангской впадины (см. рис. 1) и неизвестны в центральной и южной частях бассейна.

Некоторые авторы отмечают существенную роль предполагаемого карстования в доюрских отложениях, которое могло повлиять на формирование структурного плана юрско-меловых толщ рассматриваемого региона. Важность этого фактора не вызывает сомнений. Зоны глубинного (гипогенного) карстования установлены во многих регионах мира. Как правило, возникновение таких зон связано с выщелачиванием глубокозалегающих карбонатных и эвапоритовых отложений под воздействием циркулирующих агрессивных пластовых флюидов. Это приводит к доломитизации известняков и растворению солей, а следовательно, к сокращению объема этих пород. В результате над этими зонами формируются мульды проседания. Последние часто имеют округлые изометричные формы (рис. 5).

В центральной части разреза Непской антеклизы в Восточной Сибири выделяется интервал карстования в нижнекембрийских карбонатно-эвапоритовых отложениях (см. рис. 5). Его возникновение, вероятно, связано с миграцией агрессивных флюидов по нижележащим разломам. Над интервалом карстования расположена мульда проседания. В поперечном сечении ее размер составляет около 2 км. В пользу формирования этой мульды за счет глубинного карстования свидетельствует то, что эта мульда выражена по всему разрезу перекрывающих отложений. Это означает, что она возникла после их накопления. Если бы наблюдаемый прогиб возник на раннем этапе формирования осадочного чехла за счет образования грабена, эрозионного вреза или иного конседиментационного процесса, он был бы компенсирован перекрывающими слоями.

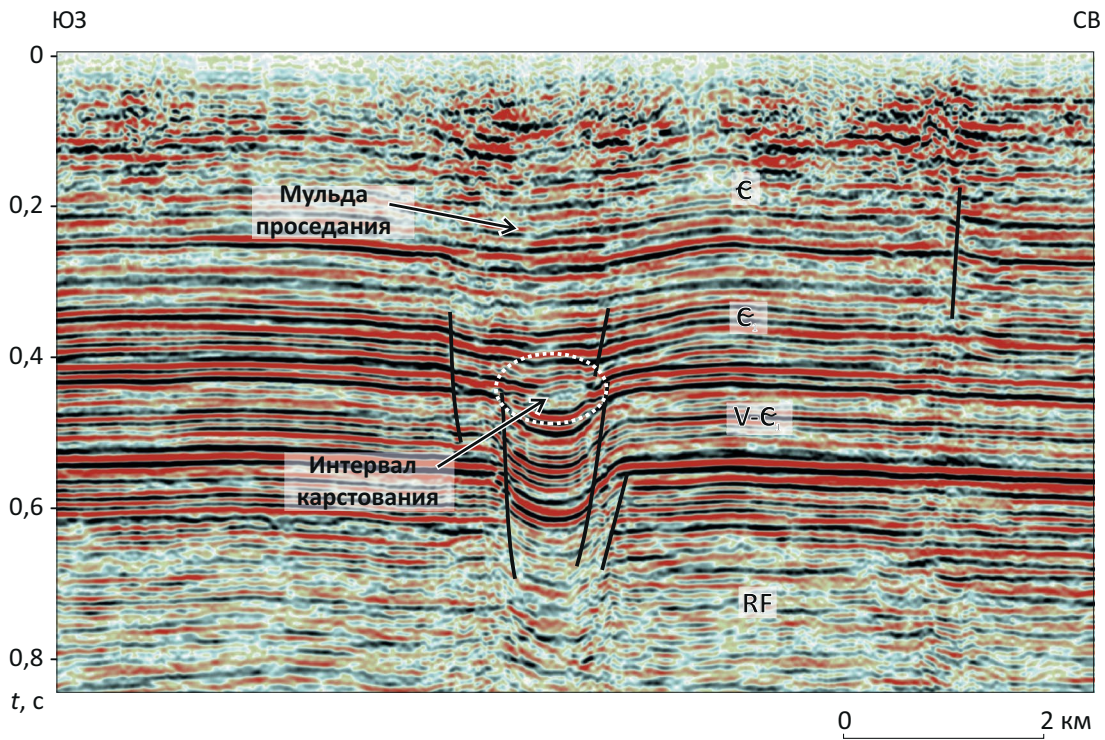
Сходные структуры, связанные с карстованием, известны в Тимано-Печорском и Волго-Уральском бассейнах, Персидском заливе и Западноканадском бассейне, ряде регионов Китая и других районах мира ([21–23] и др.). Вероятно, описанный механизм формирования впадин подходит для объяснения происхождения синклинальных элементов кольцевых структур, однако он не объясняет механизм образования антиклиналей в вышележащих слоях. Кроме этого, в известных примерах провалы над зонами карстования существенно меньше, чем наблюдаемые кольцевые структуры в Западной Сибири. В первом случае диаметр синклиналей измеряется сотнями метров, максимум первыми километрами. В то же время диаметр инверсионных структур составляет десятки километров. Следовательно, фактор глубинного карстования не может объяснить происхождение рассматриваемых инверсионных структур. В определенных условиях он дополняет общую картину структурного развития. Важность этого фактора состоит в том, что с зонами карстования могут быть связаны высокочемкие коллаторские интервалы.

Симбиоз кольцевых инверсионных структур и криптодиапиров

Анализ геологических явлений, способных объяснить происхождение кольцевых инверсионных структур на севере Западно-Сибирского бассейна, приводит к предположению об их вероятной связи с соляными криптодиапирами в доюрском разрезе. Предположение о «соляном следе» в процессе образования кольцевых инверсионных структур может показаться неожиданным. На севере Западно-Сибирского бассейна до настоящего времени не было установлено наличие соляных структур. Очевидной причиной является то обстоятельство, что в этой части бассейна они залегают на больших глубинах. Кроме того, при проведении геолого-разведочных работ основное внимание традиционно уделялось строению юрско-меловых отложений.

Фундаментальным фактором, позволяющим рассматривать соляную тектонику как возможную

Рис. 5. Сейсмический временной профиль Непского свода (Иркутская область)
Fig. 5. Seismic time section across the Nepa Arch (Irkutsk Region)



В нижней части разреза осадочного чехла выделяется зона глубинного выщелачивания, над которой образована мульда проседания.

Усл. обозначения см. на рис. 2

A zone of hypogenic leaching is interpreted in the low part of the sedimentary cover, which is overlain by a sag
 For legend see fig. 2

причину формирования кольцевых инверсионных структур, является способность соляных диапиров импульсивно расти в течение продолжительного времени. Это вызвано инверсией плотности солей и перекрывающих их литифицированных пород, что является движущей силой роста диапиров. При этом в зависимости от геодинамических условий, объема соли, питающей растущий диапир, состава и толщины перекрывающих отложений морфология соляных структур может меняться. Динамика роста диапира, в свою очередь, влияет на условия залегания более молодых толщ, накапливающихся над соляными структурами.

Прежде чем рассмотреть связи предполагаемых криптодиапиров в палеозойских отложениях и кольцевых инверсионных структур на примере севера Западной Сибири, следует кратко упомянуть о морфологии структур, которые возникают в ходе роста соляных диапиров. Во многих случаях они имеют в плане кольцевую форму. В прилегающих к диапиру отложениях отмечаются слои роста или галокинетические последовательности, фиксирующие динамику роста диапиров. В ходе роста диапиров в перекрывающих отложениях часто отмечается формирование радиальных систем разломов и зон прогибания. Последние возникают за счет сво-

дового растяжения над быстрорастущим диапиром. В структурной геологии эти образования называются «сводовыми грабенами» (рис. 6).

Другим процессом, который приводит к образованию прогибов над диапирами, является растворение соли при ее выходе на эрозионную поверхность. В таких местах соль растворяется под воздействием атмосферных осадков или морской воды. На суше в таких условиях часто возникают соляные озера. В результате в кровле диапира образуется прогиб, заполняемый молодыми осадками (рис. 7).

Таким образом, рост соляных диапиров часто сопровождается образованием прогибов в перекрывающих слоях за счет сводового растяжения или растворения соли вблизи эрозионной поверхности. Эти факторы, связанные с соляным диапиризмом, позволяют объяснить наличие синклиналичных структур в основании плитного чехла, выраженных в основном в юрских отложениях. К этому следует добавить, что размер диапиров во многих известных соленосных бассейнах приблизительно соответствует размерам кольцевых инверсионных структур. Диаметр этих структур может достигать десятков километров.

Рис. 6. Ортогональное пересечение двух сейсмических временных профилей 2D в своде диапировой структуры Прикаспийского бассейна

Fig. 6. Normal crossing of two 2D seismic time sections in the salt diapir crestal part, the Caspian Basin

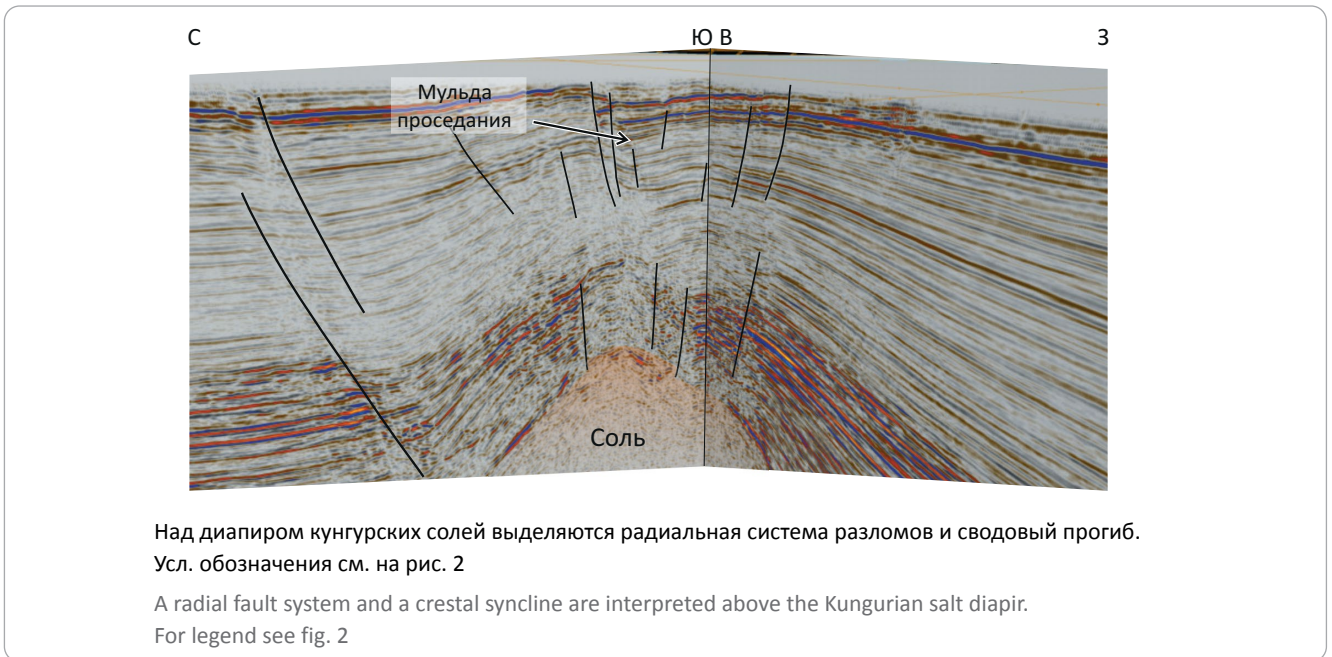
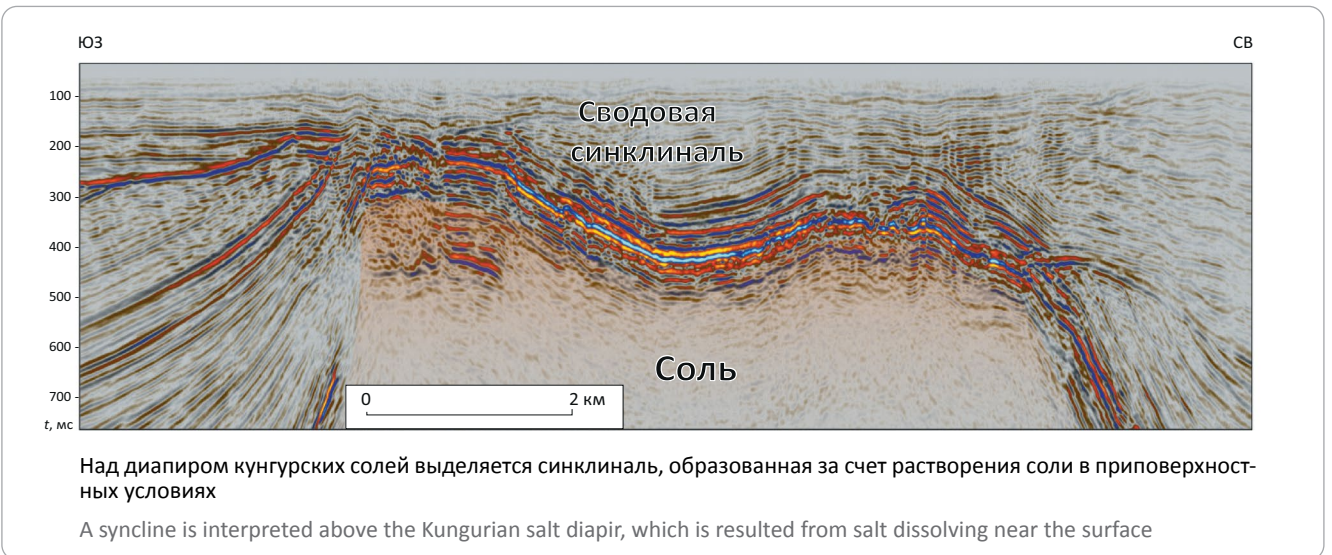


Рис. 7. Сейсмический временной профиль в своде диапировой структуры Прикаспийского бассейна

Fig. 7. Seismic time section in the salt diapir crestal part, the Caspian Basin



Приуроченность кольцевых инверсионных структур к соляным криптодиапирам в палеозойских отложениях можно видеть на некоторых высокоинформативных сейсмических разрезах с большой длиной записи. Особый интерес в этой связи представляют разрезы в акваториальной части бассейна юга Карского моря, где существуют благоприятные сейсмогеологические условия для получения данных высокого качества. Интерпретированный сейсмический разрез с выделением кольцевой инверсионной структуры, расположенной над предполагаемым криптодиапиром, показан на рис. 8.

В пользу соляной диапировой природы поднятия в основании кольцевой инверсионной структуры свидетельствует наличие характерных признаков. К их числу относятся: большая амплитуда поднятия, сейсмическая прозрачность тела диапира, слои роста на ее флангах, система радиальных разломов в перекрывающих отложениях.

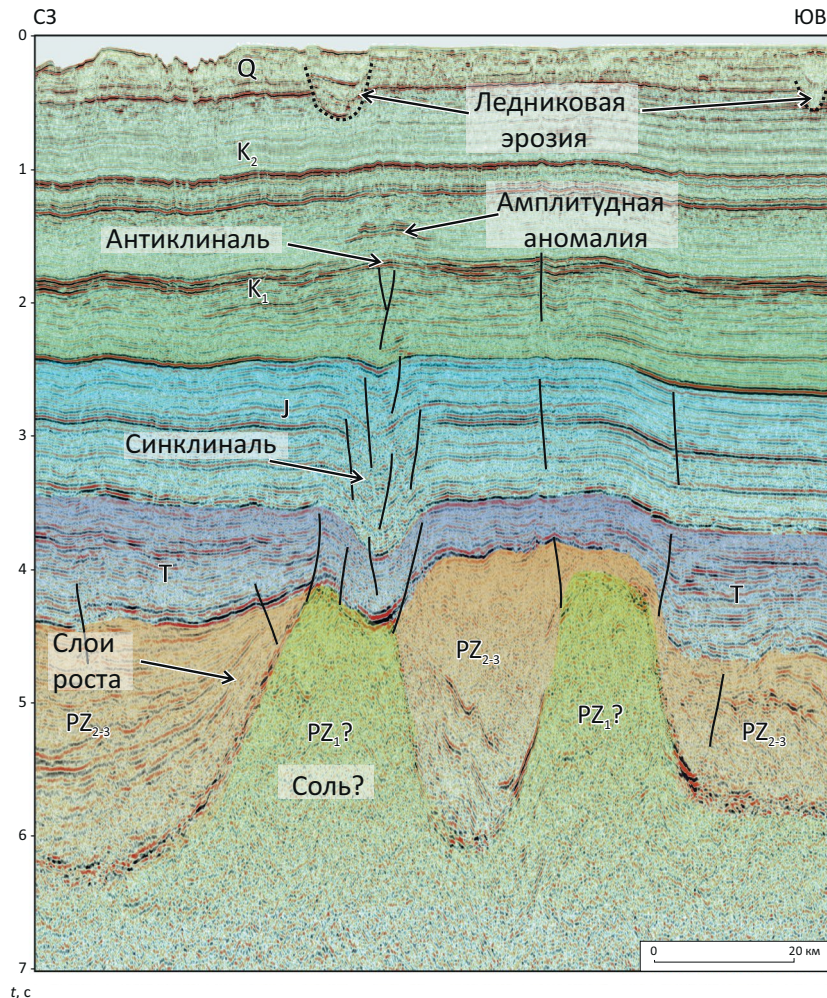
Последовательность формирования кольцевых инверсионных структур

Симбиоз соляных криптодиапиров и кольцевых инверсионных структур в полной мере укла-



Рис. 8. Интерпретированный временной сейсмический разрез, пересекающий кольцевую инверсионную структуру в акваториальном продолжении Западно-Сибирского бассейна в южной части Карского моря

Fig. 8. Interpreted seismic time section crossing the ring inversion structure in the offshore extension of the West Siberian Basin in the southern part of the Kara Sea



В палеозойской части разреза под инверсионной структурой интерпретируется существование соляного криптодиапира.

Усл. обозначения см. на рис. 2, 4.

Положение разреза см. на рис. 1

A salt cryptodiapir in the Paleozoic interval is interpreted below the inversion structure.

For other legend items see fig. 2, 4.

Position of the section is shown in Fig. 1

дывается в представления о поэтапной динамике роста соляных поднятий. Последовательность формирования рассматриваемых кольцевых структур в связи с соляной тектоникой представляется в следующем виде. Возникновение синклинали структур в слоях, перекрывающих диапир, объясняется быстрым ростом диапиров. Прототипом этого процесса может служить пример, показанный на рис. 6. Рост диапиров в конце триаса — начале юры коррелирует с фазой внутриплитных деформаций (см. рис. 2). При этом в вышележащих юрских слоях в условиях локального сводового растяжения возникают радиальные системы разломов. Здесь образуются мульды проседания, компенсированные юрскими отложениями. В миниатюре этот процесс

можно уподобить рифтогенезу, вызванному восходящим потоком магмы. Только в данном случае роль магмы играет соль. Дополнительным фактором локального погружения в юрское время может быть растворение соли там, где диапиры достигали эрозионной поверхности.

Образование более обширного куполовидного поднятия, которое сложено меловыми отложениями, по-видимому, обусловлено дополнительной более поздней фазой роста криптодиапиров. Этот рост, вероятно, начался в раннем мелу и более уверенно проявился в позднем кайнозое. В это время на севере Западной Сибири также отмечались фазы возрождения тектонической активности (см. рис. 2), что оживило рост соляных криптодиапиров.

Это движение наложилось на юрский структурный план и вызвало его изменения. Однако из-за небольшой амплитуды новообразованного поднятия контрастная синклиальная структура по юрским слоям сохранилась под молодым куполом. Сочетание этих фаз роста криптодиапиров согласуется со строением наблюдаемой инверсионной структуры.

Структурная схема на рис. 9 иллюстрирует основные стадии формирования инверсионной кольцевой структуры, которые определяются продолжительными и импульсивными соляными деформациями.

Согласно предлагаемой схеме формирования инверсионной кольцевой структуры над соляным диапиром, выделяются следующие стадии развития.

Стадия 1. В палеозое накапливаются эвапоритовые толщи, они перекрываются более молодыми осадками. По мере погружения плотность перекрывающих отложений постепенно повышается и становится больше плотности подвижных солей, что приводит к зарождению диапировых структур.

Стадия 2. В конце – начале триаса тектоническая активизация ускоряет рост диапиров. В своде высокоамплитудных поднятий возникают зоны растяжения. В их пределах локализуются прогибы. В юрское время эти прогибы компенсируются осадконакоплением.

Стадия 3. В позднем кайнозое оживление роста диапиров под влиянием новых фаз тектонической активизации приводит к формированию куполообразной антиклинали, сложенной меловыми отложениями. Судя по строению известных кольцевых структур, величина этого подъема была меньше, чем глубина погружения на предыдущем этапе в триасе и юре (стадия 2). В результате в нижних горизонтах плитного чехла бассейна сохранилась остаточная синклиальная структура, перекрытая антиклиналью.

Предлагаемый механизм структурного развития кольцевых инверсионных структур над палеозойскими криптодиапирами объясняет наблюдаемую морфологию структуры и полностью укладывается в региональный тектоностратиграфический контекст. Главным фактором развития этих структур был продолжительный импульсивный рост соляных диапиров, который коррелирует с геодинамическими событиями на севере Западной Сибири (см. рис. 2). Допуская проявление данного механизма, можно полагать, что ареал кольцевых инверсионных структур может включать зону распространения соляных криптодиапиров (см. рис. 1). Возможно, она принадлежит части Сибирской платформы, затронутой позднепалеозойской складчатостью и перекрытой мезозойским чехлом [19]. На значительной части этой платформы широко распространены соленосные толщи кембрийского возраста. Вероятно, эти соли могут распространяться в пределах северо-восточной части Западно-Си-

бирского бассейна и в прилегающих районах Енисей-Хатангской впадины.

В определенных условиях сходные структурные формы могут возникать и за счет глиняного диапиризма. Такие структуры имеют широкое распространение в молодых бассейнах, заполненных мощными толщами слабоуплотненных отложений. Они хорошо известны, например, в Южнокаспийской впадине. Однако по отношению к исследуемому району глиняный диапиризм представляется маловероятным. Это связано с тем, что доюрские отложения подверглись позднепалеозойской складчатости и значительному катагенезу. По этой причине трудно предполагать наличие в них высокообводненных глинистых отложений, способных к образованию крупных глиняных диапиров.

Влияние соляных структур на нефтегазоносность

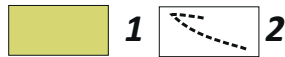
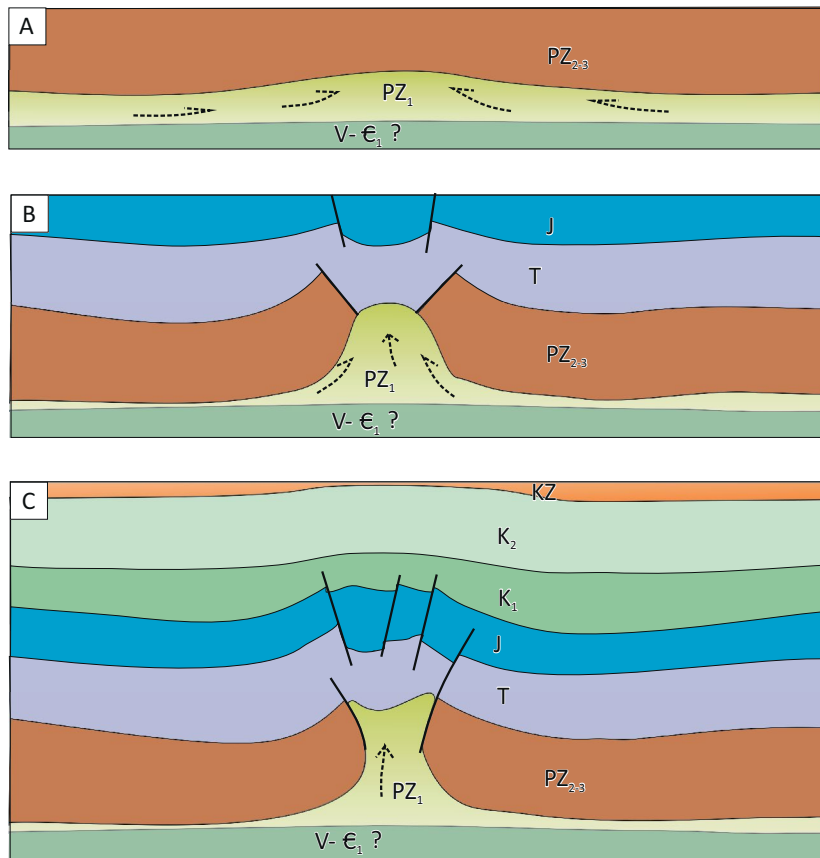
Наличие соляных структур — важный фактор нефтегазоносности многих крупнейших нефтегазоносных бассейнов. Одним из ярких примеров является бассейн Персидского залива, в строении и нефтегазоносности которого соли играют исключительно важную роль ([20, 21, 24] и др.). К одной из особенностей этого бассейна относится широкий глубинный и стратиграфический диапазоны нефтегазоносности.

Влияние солей на развитие нефтегазовых систем имеет множество аспектов. Соляные деформации образуют крупные складки, способные вмещать скопления нефти и газа. Длительный рост соляных структур влияет на фациальные условия осадконакопления в перекрывающих отложениях, контролируя тем самым размещение в них коллекторских горизонтов. Строение соленосных интервалов определяет пути миграции нефти и газа в доюрских отложениях, фокусируя УВ-потоки в зонах примыкания к диапирам и бессолевым мульдам. Относительно высокая теплопроводность способствует локальному прогреву осадочного чехла над соляными поднятиями. Вероятно, что этот фактор влиял на пластовые термобарические условия в зоне кольцевых инверсионных структур, активизировал миграцию нефти и газа, способствовал образованию разломов и «газовых трубок». В то же время в подсолевых отложениях из-за повышенной теплопроводности соли температуры могут сохраняться в умеренном диапазоне, что позволяет залежам нефти и газа не разрушаться даже на больших глубинах.

Приуроченность крупных газовых залежей к кольцевым инверсионным структурам иллюстрирует разрез Заполярного месторождения (рис. 10). Залежам газа в сеноманских отложениях на сейсмическом разрезе отвечает амплитудная аномалия «плоское пятно». В доюрской части разреза под продуктивной антиклиналью интерпретируется высокоамплитудное поднятие, вероятно, связанное с соляным криптодиапиром.



Рис. 9. Схема стадийности формирования инверсионной кольцевой структуры над соляным диапиром
Fig. 9. Scheme of ring inversion structure formation stages above the salt diapir



1 — соль; 2 — направления перемещения мобильных солей.

Остальные усл. обозначения см. на рис. 2

1 — salt; 2 — directions of mobile salt movement.

For other legend items see Fig. 2

Специфическая динамика формирования соляных диапиров могла влиять на пути миграции нефти и газа, фокусируя их потоки. Ареалу предполагаемого развития соляных диапиров на севере Западно-Сибирского бассейна отвечают зоны преимущественной газоносности. Это вполне согласуется с тем, что палеозойские отложения здесь достигли высокой степени термического преобразования. В совокупности с рядом других факторов (состав и динамика прогрева ОБ, биодеградация и др.) это способствовало преимущественному газообразованию на севере Западной Сибири.

Вероятное поступление нефти и газа из палеозойских отложений в зонах диапиров в дополнение к УВ юрско-меловых источников объясняет продуктивность в широком стратиграфическом диапазоне и многозалежность ряда месторождений. Например, на Мессояхском месторождении установлена продуктивность 29 интервалов в юрско-меловом разрезе [25]. Это явно отличает северную часть бассейна от нефтеносных районов Центрального

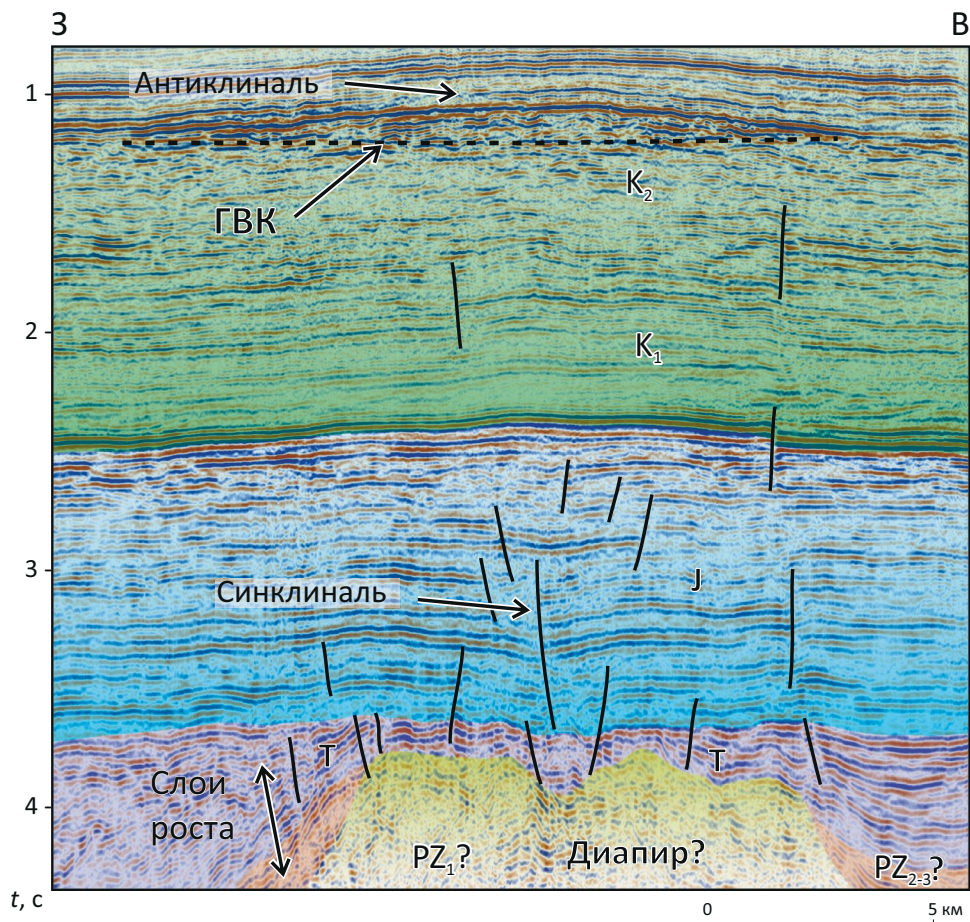
Приобья, в пределах которых залежи заключены в относительно узком стратиграфическом интервале неокома. Доюрские отложения могли быть источником дополнительных объемов УВ для залежей в юрско-меловом чехле. Кроме того, они также могут представлять самостоятельный поисковый интерес, что подтверждается продуктивностью этих отложений на Новопортовском месторождении.

В целом совокупность факторов структурного и нефтегеологического развития кольцевых инверсионных структур позволяет считать их высокоперспективными объектами поисково-разведочных работ, обладающими потенциалом распространения залежей в широком стратиграфическом и глубинном диапазонах.

Заключение

Изучение регионального геологического строения северных районов Западно-Сибирского бассейна позволяет предполагать, что кольцевые инверсионные структуры связаны с соляными

Рис. 10. Интерпретированный временной сейсмический разрез Заполярного месторождения
Fig. 10. Interpreted seismic time section, Zapolyarnoye field



В палеозойской части разреза под инверсионной структурой интерпретируется существование соляного криптодиапира.

Усл. обозначения см. рис. 2, 4.

Положение разреза см. на рис. 1

A salt cryptodiapir in the Paleozoic section interpreted below the inversion structure.

For legend see fig. 2, 4.

Position of the section is shown in Fig. 1

криптодиапирами в палеозойских отложениях. Признаками соляных диапиров являются:

- 1) изометричность этих структур;
- 2) их крупные размеры — высота до 5 км и более, диаметр — несколько десятков километров;
- 3) сейсмическая прозрачность тел диапиров;
- 4) наличие слоев роста на крыльях соляных поднятий;
- 5) радиальные системы разломов в перекрывающих их отложениях.

Симбиоз кольцевых инверсионных структур и криптодиапиров определяется импульсивным ростом соляных поднятий, что согласуется с общим геодинамическим контекстом развития Западно-Сибирского бассейна. Высокоамплитудные синклинали элементы инверсионных структур, представленные преимущественно юрскими отложениями, сформировались в условиях сводового

растяжения при быстром росте криптодиапиров. Последующее появление куполообразных поднятий, сложенных меловыми отложениями, интерпретируется как результат наложенного умеренного роста соляных поднятий в позднем кайнозое. В пределах рассматриваемых структур это молодое восходящее движение привело к изменению формы прогибов, представленных юрскими отложениями, но не вызвало их расформирование. Это определило общее инверсионное строение рассматриваемых структур.

Приуроченность кольцевых инверсионных структур к криптодиапирам в палеозойских отложениях создавало благоприятные условия для формирования многозалежных месторождений нефти и газа. Доюрские отложения могут быть источником дополнительных объемов УВ для залежей в юрско-меловом чехле. Кроме того, они могут представлять самостоятельный поисковый интерес.

Литература

1. Брехунцов А.М., Монастырев Б.В., Нестеров И.И., Skorobogatov V.A. Нефтегазовая геология Западно-Сибирской Арктики. – Тюмень : МНП Геодата, 2020. – 464 с.
2. Бородкин В.Н., Смирнов О.А., Лукашов А.В., Плавник А.Г., Тепляков А.А. Седиментологическая модель меловых отложений полуострова Ямал на базе комплекса геолого-геофизических исследований // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2022. – Т. 17. – № 1. – Режим доступа: http://www.ngtp.ru/rub/2022/6_2022.html (дата обращения: 05.06.2024).
3. Геология и полезные ископаемые России. Т. 2. Западная Сибирь / Под ред. А.Э. Конторовича, В.С. Суркова. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2000. – 477 с.
4. Шеин В.С. Геология и нефтегазоносность России. – М. : ВНИГНИ, 2012. – 848 с.
5. Адиев Я.Р., Гатауллин Р.М. Кольцевые структуры — «газовые трубы» севера Западной Сибири // Геофизика. – 2003. Специальный выпуск к 70-летию «Башнефтегеофизики». – С. 23–33.
6. Балдин В.А., Мунасыпов Н.З., Писецкий В.Б. История изучения инверсионных кольцевых структур в Западной Сибири // Геофизика. – 2023. – № 3. – С. 13–20. DOI: 10.34926/geo.2023.59.93.002.
7. Балдин В.А., Мунасыпов Н.З., Писецкий В.Б. Особенности строения и перспективы нефтегазоносности инверсионных кольцевых структур мезозоя на севере Западной Сибири // Геофизика. – 2023. – № 3. – С. 21–29. DOI: 10.34926/geo.2023.61.96.003.
8. Бембель Р.М., Бембель М.Р., Мегеря В.М. Геосолитонная модель формирования залежей углеводородов на севере Западной Сибири // Геофизика. – 2014. – № 6. – С. 9–17.
9. Бородкин В.Н., Кислухин В.И., Нестеров И.И. (мл.), Федоров Ю.Н. Инверсионные кольцевые структуры как один из критериев локального прогноза нефтегазоносности // Горные ведомости. – 2006. – № 10. – С. 24–39.
10. Гиршгорн Л.Ш. Дисгармоничные поднятия в осадочном чехле севера Западно-Сибирской плиты // Советская геология. – 1987. – № 4. – С. 63–71.
11. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натапов Л.М. Тектоника литосферных плит территории СССР: в 2 кн. – М : Недра, 1990. – 666 с.
12. Соборнов К.О., Якубчук А. Плитотектоническое развитие и формирование бассейнов Северной Евразии // Геология нефти и газа. – 2006. – № 2. – С. 10–18.
13. Никишин А.М., Соборнов К.О., Прокопьев А.В., Фролов С.В. Тектоническая история Сибирской платформы в венде – фанерозое // Вестник Московского университета. – Серия 4. – Геология. – 2010. – № 1. – С. 3–16.
14. Гогоненков Г.Н., Кашик А.С., Тимурзиев А.И. Горизонтальные сдвиги фундамента Западной Сибири // Геология нефти и газа. – 2007. – № 3. – С.3–11.
15. Астахов В.И. Четвертичная гляциотектоника Урало-Сибирского севера // Геология и геофизика. – 2019. – № 12. – С. 1692–1708. DOI: 10.15372/GIG2019136.
16. Milkov A. Methanogenic biodegradation of petroleum in the West Siberian Basin (Russia): Significance for formation of giant Cenomanian gas pools // AAPG Bull. – 2010. – Т. 94. – № 10. – С. 1485–1541.
17. Конторович В.А., Филиппов Ю.Ф. Анализ геолого-геофизических данных с целью уточнения геологического строения, оценки перспектив нефтегазоносности и выработки рекомендаций по лицензированию недр домезозойских комплексов в Предъенисейской зоне Западно-Сибирской равнины. – Новосибирск : ИГНГ СО РАН, 2004. – 289 с.
18. Корнелюк Ю.И., Кочетков Т.П., Емельянцева Т.М. Нордвик-Хатангский нефтеносный район (краткий очерк геологии и нефтеносности). – Недра Арктики. Ленинград : Изд-во Главсевморпути, 1946. – 73 с.
19. Соборнов К.О. Строение соляных диапиров Западно-Сибирского бассейна и Енисей-Хатангского прогиба по сейсмическим данным // Геотектоника. – 2024. – № 5. – В печати.
20. Беленицкая Г.А. Соли Земли: тектонические, кинематические и магматические аспекты геологической истории. М. : Геос, 2020. – 605 с.
21. Jackson M.P.A., Hudec M.R. Salt tectonics: principles and practice. – Cambridge University Press, 2017. – 498 с. DOI: 10.1017/9781139003988.
22. Broughton P.L. Breccia pipe and sinkhole linked fluidized beds and debris flows in the Athabasca Oil Sands: dynamics of evaporite karst collapse-induced fault block collisions // Bulletin of Canadian Petroleum Geology. – 2017. – Т. 65. – № 1. – С. 200–234. DOI: 10.2113/gscpgbull.65.1.200.
23. Sun Q., Cartwright J., Wu S., Chen D. 3D seismic interpretation of dissolution pipes in the South China Sea: Genesis by subsurface, fluid induced collapse // Marine Geology. – 2013. – Т. 337. – С. 171–181. DOI: 10.1016/j.margeo.2013.03.002.
24. Alipour M., Petroleum systems of the Iranian Zagros Fold and Thrust Belt // Results in Earth Sciences. – 2024. – № 2. 100027. DOI: 10.1016/j.rines.2024.100027.
25. Харахинов В.В., Кулишкин Н.М., Шленкин С.И. Мессояхский порог — уникальный нефтегазогеологический объект на севере Сибири // Геология нефти и газа. – 2013. – № 5. – С. 34–48.

References

1. Brekhuntsov A.M., Monastyrsev B.V., Nesterov I.I., Skorobogatov V.A. Neftegazovaya geologiya Zapadno-Sibirskoi Arktiki [Oil and Gas Geology of the West Siberian Arctic]. Tyumen': MNP Geodata, 2020. 464 p.

2. Borodkin V.N., Smirnov O.A., Lukashov A.V., Plavnik A.G., Teplyakov A.A. Sedimentological model of the cretaceous strata of the Yamal peninsula on the basis of composite geological and geophysical investigations. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*. 2022;17(1). – Available at: http://www.ngtp.ru/rub/2022/6_2022.html (accessed: 05.06.2024)
3. *Geology and mineral resources of Russia*. V. 2. West Siberia. In: A.E. Kontorovich, V.S. Surkov, eds. St. Petersburg: VSEGEI; 2000. 477 p.
4. Shein V.S. *Geologiya i neftegazonosnost' Rossii* [Geology and petroleum potential of Russia]. Moscow: VNIGNI; 2006. 774 p. In Russ.
5. Adiev Ya.R., Gataullin R.M. Kol'tsevye struktury — «gazovye trubyy» severa Zapadnoi Sibiri [Ring structures — “gas pipes” of the north of Western Siberia]. *Geofizika*. 2003. Spetsial'nyi vypusk k 70-letiyu «Bashneftegeofiziki». 23–33 pp.
6. Baldin V.A., Munasyrov N.Z., Pisetskii V.B. Istoriya izucheniya inversionnykh kol'tsevykh struktur v Zapadnoi Sibiri [History of the study of inversion ring structures in Western Siberia]. *Geofizika*. 2023;(3):13–20. DOI: 10.34926/geo.2023.59.93.002.
7. Baldin V.A., Munasyrov N.Z., Pisetskii V.B. Structural features and oil and gas potential of mesozoic inversion ring structures in the North of Western Siberia. *Geofizika*. 2023;(3):21–29. DOI: 10.34926/geo.2023.61.96.003.
8. Bembel' R.M., Bembel' M.R., Megerya V.M. Geo-soliton model of hydrocarbon deposits generation in the north of Western Siberia. *Geofizika*. 2014;(6):9–17.
9. Borodkin V.N., Kislukhin V.I., Nesterov I.I. (ml.), Fedorov Yu.N. Inversionnye kol'tsevye struktury kak odin iz kriteriev lokal'nogo prognoza neftegazonosnosti [Inversion ring structures as one of the criteria for local forecast of oil and gas potential]. *Gornye vedomosti*. 2006;(10):24–39.
10. Girshgorn L.Sh. Disgarmonichnye podnyatiya v osadochnom chekhle severa Zapadno-Sibirskoi plity [Disharmonic uplifts in the sedimentary cover of the north of the West Siberian plate]. *Sovetskaya geologiya*. 1987;(4):63–71.
11. Zonenshain L.P., Kuz'min M.I., Natapov L.M. Tektonika litosfernykh plit territorii SSSR [Lithosphere plate tectonics: USSR territory]. Moscow: Nedra; 1990. 666 p. In Russ.
12. Sobornov K.O., Yakubchuk A. Plate-tectonic development and formation of Northern Euroasia basins. *Geologiya nefiti i gaza*. 2006;(2):10–18.
13. Nikishin A.M., Sobornov K.O., Prokop'ev A.V., Frolov S.V. Vendian to phanerozoic tectonic history of the Siberian platform region. *Vestnik Moskovskogo universiteta*. Seriya 4. – Geologiya. 2010;(1):3–16.
14. Gogonenkov G.N., Kashik A.S., Timurziev A.I. Horizontal displacements of West Siberia's basement. *Geologiya nefiti i gaza*. 2007;(3):3–11.
15. Astakhov V.I. Quaternary Glaciotectonics of the Ural-Siberian North. *Geologiya i geofizika*. 2019;(12):1692–1708. DOI: 10.15372/RGG2019136
16. Milkov A. Methanogenic biodegradation of petroleum in the West Siberian Basin (Russia): Significance for formation of giant Cenomanian gas pools. *AAPG Bull.* 2010;94(10): 1485–1541.
17. Kontorovich V.A., Filipov Yu.F. Analiz geologo-geofizicheskikh dannykh s tsel'yu utochneniya geologicheskogo stroeniya, otsenki perspektivn neftegazonosnosti i vyrabotki rekomendatsii po litsenzirovaniyu nedr domezozoiskikh kompleksov v Pred'eniyeiskoi zone Zapadno-Sibirskoi ravniny [Analysis of geological and geophysical data for the purpose of clarifying the geological structure, assessing the potential for oil and gas potential and developing recommendations for licensing the subsoil of pre-Mesozoic complexes in the Pre-Yenisei zone of the West Siberian Plain]. Novosibirsk: IGGG SO RAN, 2004. 289 p.
18. Kornelyuk Yu.I., Kochetkov T.P., Emel'yantsev T.M. Nordvik-Khatangskii neftenosnyi raion (kratkii ocherk geologii i neftenosnosti) [Nordvik-Khatanga oil-bearing region (a brief outline of geology and oil potential)]. Nedra Arktiki. Leningrad : Izd-vo Glavsevmorputi, 1946. 73 p.
19. Sobornov K.O. Structure of salt diapirs of the West Siberian basin and Yenisei-Khatanga trough according to seismic data. *Geotectonics*. 2024;58(5): In press.
20. Belenitskaya G.A. Salts of the earth: tectonic, kinematic and magmatic aspects of geological history. Moscow: Geos, 2020. 605 s
21. Jackson M.P.A., Hudec M.R. Salt tectonics: principles and practice. Cambridge University Press; 2017. 498 p. DOI: 10.1017/9781139003988.
22. Broughton P.L. Breccia pipe and sinkhole linked fluidized beds and debris flows in the Athabasca Oil Sands: dynamics of evaporite karst collapse-induced fault block collisions. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*. 2017;65(1):200–234. DOI: 10.2113/gscpgbull.65.1.200.
23. Sun Q., Cartwright J., Wu S., Chen D. 3D seismic interpretation of dissolution pipes in the South China Sea: Genesis by subsurface, fluid induced collapse. *Marine Geology*. 2013;(337):171–181. DOI: 10.1016/j.margeo.2013.03.002.
24. Alipour M., Petroleum systems of the Iranian Zagros Fold and Thrust Belt. *Results in Earth Sciences*. 2024;(2):100027. DOI: 10.1016/j.rines.2024.100027.
25. Kharakhinov V.V., Kulishkin N.M., Shlenkin S.I. The Messoyakhsky threshold as unique oil and gas geological object in the north of Siberia. *Oil and gas geology*. 2013;(5):34–48.

Информация об авторах**Соборнов Константин Олегович**

Доктор геолого-минералогических наук,
главный научный сотрудник

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский
геологический нефтяной институт»,

105118 Москва, ш. Энтузиастов, д. 36

e-mail: sobornov@vnigni.ru

ORCID ID: 0000-0002-9073-8492

Information about authors**Konstantin O. Sobornov**

Doctor of Geological and Mineralogical Sciences,
Chief researcher

All-Russian Research
Geological Oil institute,

36, sh. Entuziastov, Moscow, 105118, Russia

e-mail: Sobornov@vnigni.ru

ORCID ID: 0000-0002-9073-8492