

УДК 553.982

DOI 10.47148/0016-7894-2025-1-15-36

Роль соляных структур в строении арктических бассейнов Западной Евразии по сейсмическим данным

© 2025 г. | К.О. Соборнов

¹Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт (ВНИГНИ), Москва, Россия; Sobornov@vnigni.ru

Поступила 07.10.2024 г.

Доработана 11.10.2024 г.

Принята к печати 05.03.2025 г.

Ключевые слова: *верхнеордовикские соли; соляные диапиры; Уральский рифтогенез; бассейны Арктики; региональная сейсмозаведка; нефтегазоносность.*

Аннотация: До настоящего времени соляные структуры в арктических бассейнах Западной Евразии рассматривались как разрозненные локальные явления, не имеющие существенного значения для понимания строения этого региона. Интерпретация региональных сейсмических данных показывает, что эвапоритовые толщи в исследуемом регионе широко распространены, а разнообразные соляные деформации являются важным фактором его строения. Накопленные данные о соляных структурах рассмотрены в региональном контексте. Новая интерпретация позволяет предполагать, что формирование соленосных толщ происходило в позднем ордовике в условиях Уральского рифтогенеза. Последующее раскрытие Уральского океана расчленило этот соленосный бассейн на несколько частей, которые впоследствии вошли в состав Тимано-Печорского, Баренцевоморского, Западно-Сибирского бассейнов и Енисей-Хатангского прогиба. На севере Западно-Сибирского бассейна предполагаемые криптодиапиры, по-видимому, способствовали миграции углеводородов из погруженных термически зрелых доюрских отложений в высокопродуктивные юрско-меловые резервуары. Это объясняет преобладание в данном районе газовых залежей, а также особенности распределения зоны высоких пластовых давлений.

Для цитирования: Соборнов К.О. Роль соляных структур в строении арктических бассейнов Западной Евразии по сейсмическим данным // Геология нефти и газа. – 2025. – № 1. – С. 15–36. DOI: 10.47148/0016-7894-2025-1-15-36.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность В.А. Балдину, Г.А. Беленицкой, А.Д. Дзюбло, И.П. Короткову, А.М. Никишину, В.А. Skorobogatov, Д.В. Яковлеву за плодотворные дискуссии, касающиеся различных аспектов сейсмической интерпретации и геологии арктических бассейнов.

The role of salt structures in the architecture of the Arctic basins of Western Eurasia according to seismic data

© 2025 | К.О. Sobornov

¹All-Russian Scientific-Research Geological Oil Institute (VNIGNI), Moscow, Russia; Sobornov@vnigni.ru

Received 07.10.2024

Revised 11.10.2024

Accepted for publication 05.03.2025

Key words: *Upper Ordovician salt; salt diapirs; Uralian rifting; Arctic' basins; regional seismic surveying; petroleum potential.*

Abstract: Until now, salt structures in the Arctic basins of western Eurasia have been considered to be isolated local phenomena. Interpretation of regional seismic data shows that evaporite deposits are widespread in the study area and that versatile salt deformations are an important factor in their structure. The collected data on salt structures have been reviewed in a regional context. The updated interpretation suggests that the formation of evaporites took place in the Late Ordovician under conditions of Uralian rifting. The subsequent opening of the Uralian Ocean divided this salt basin into several parts, which later became part of the Timan-Pechora, Barents, West Siberian and Yenisei-Khatanga basins. A dedicated study of the salt structures can update current knowledge of the structural and sedimentary evolution of the Arctic basins of Western Eurasia and the development of their oil and gas systems.

For citation: Sobornov K.O. The role of salt structures in the architecture of the Arctic basins of Western Eurasia according to seismic data. *Geologiya nefi i gaza*. 2025;(1):15–36. DOI: 10.47148/0016-7894-2025-1-15-36. In Russ.

Acknowledgments. The author is deeply indebted to V.A. Baldin, G.A. Belenitskaya, A.D. Dzyublo, I.P. Korotkov, A.M. Nikishin, V.A. Skorobogatov, and D.V. Yakovlev for fruitful discussions concerning various aspects of seismic interpretation and geology of Arctic basins.

Введение

Орогенические пояса Северного Урала, Пай-Хоя, Новой Земли и п-ова Таймыр образуют складчатую систему сложной конфигурации, которая граничит с Западно-Сибирским, Енисей-Хатангским, Тимано-Печорским и Баренцевоморским бассейна-

ми (рис. 1). С этими бассейнами связаны основные нефтегазовые ресурсы Арктической Евразии ([1] и др.).

Геологическое строение этих бассейнов и прилегающих к ним складчатых сооружений привлекало внимание многих исследователей. Некоторые

результаты геолого-геофизических исследований этих районов суммированы в обобщающих работах [2–9]. Особенностями осадочных бассейнов рассматриваемого региона являются большая мощность осадочного чехла и его широкий стратиграфический диапазон. Это обстоятельство является следствием длительного, многоэтапного структурно-седиментационного развития этих бассейнов, что позволяет выделять в осадочном чехле структурные этажи, различающиеся составом отложений и характером их деформаций.

В настоящее время накоплено много данных, характеризующих состав, строение и нефтегазонасыщенность верхних структурных этажей рассматриваемых осадочных бассейнов. В них сосредоточены основные запасы нефти и газа Западно-Сибирского, Енисей-Хатангского, Тимано-Печорского и Баренцевоморского бассейнов. Представления о строении подстилающих структурных этажей отличаются значительной неопределенностью, что обусловлено их фрагментарной изученностью. Основным источником информации о глубинном строении этих бассейнов являются данные региональных сейсмических исследований и небольшого числа глубоких скважин. Интерпретация этих данных в комплексе с дополнительной геолого-геофизической информацией позволяет установить новые детали их глубинного строения. К их числу относится выявление разнообразных деформаций с участием раннепалеозойских солей.

В Енисей-Хатангском прогибе соляной диапиры был обнаружен в 1930 г. на п-ове Юрунг-Тумус [10]. Позднее в этом районе было открыто нефтяное месторождение Нордвик. В солях этого диапира были выделены обломки пород, содержащих среднедевонскую фауну [10]. Это позволяет заключить, что соли имеют либо такой же, либо более древний возраст. В Тимано-Печорском бассейне соли позднеордовикского возраста были вскрыты в 1976 г. при бурении глубоких скважин на месторождении Кочмес [11]. В естественных обнажениях эвапоритовые толщи были установлены при геологической съемке в пределах Горного Таймыра (рис. 2). Диапиры прорывают в этом районе слои раннедевонских доломитов и известняков тарейской свиты. Электроразведочными работами — магнитотеллурическим зондированием на п-ове Таймыр установлено, что предполагаемым соляным диапирам соответствуют ярко выраженные аномалии высоких сопротивлений [12]. Ордовикские эвапориты описаны при проведении полевых исследований на архипелаге Северная Земля [13].

Данными и бурения и сейсморазведки было установлено широкое распространение позднеордовикских солей в северо-восточных районах Тимано-Печорского бассейна [11]. Интерпретация региональных сейсмических данных показывает многочисленные признаки наличия соляных деформаций на севере Карского моря [3, 13–17], а также в восточной части Печорского моря [18]. В этих

районах прямые определения возраста соленосных отложений отсутствуют, однако материалы сейсмической корреляции и региональной интерпретации позволяют считать, что их возраст наиболее вероятно как позднеордовикский.

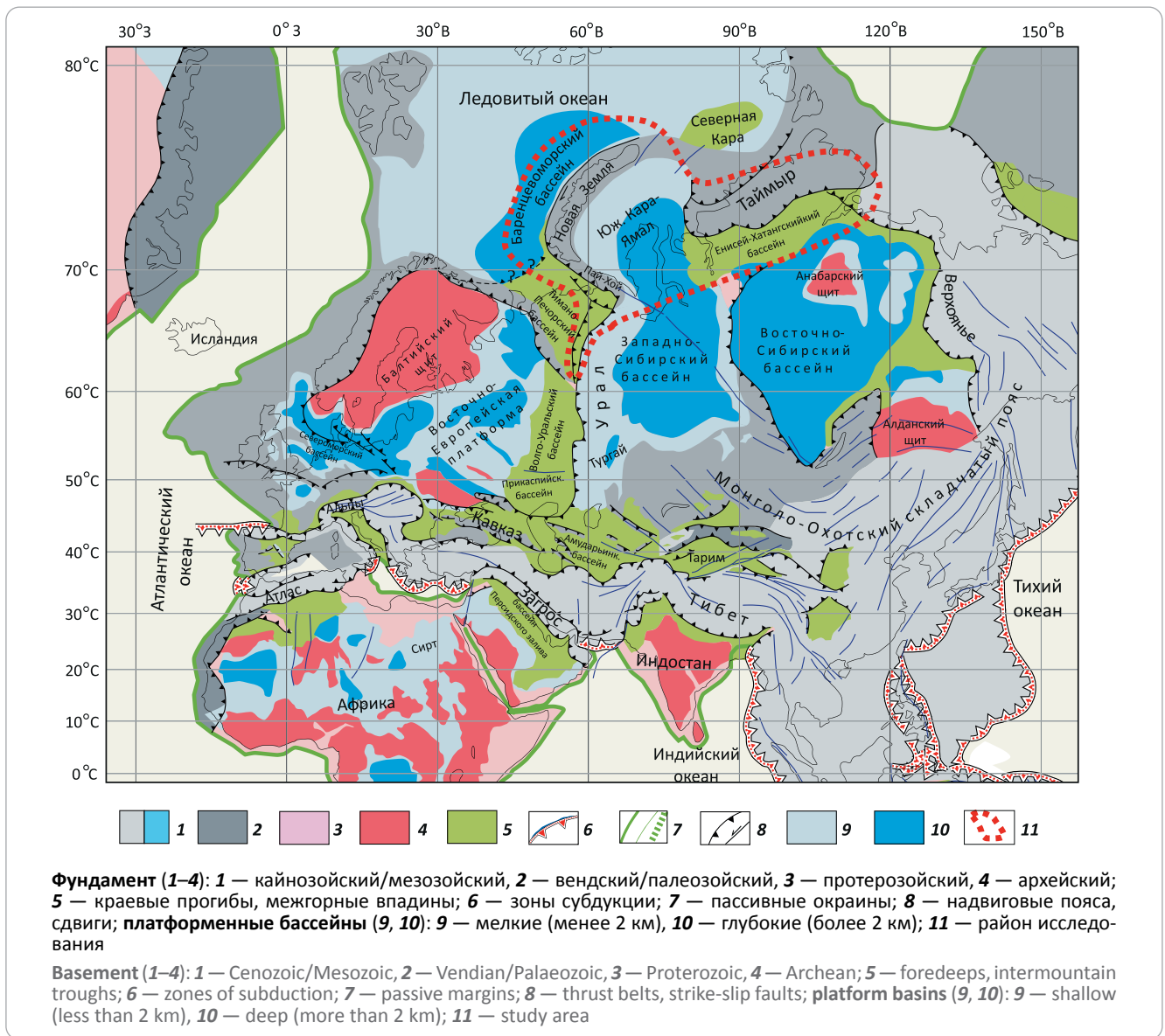
До настоящего времени дислоцированные соляные структуры в арктических бассейнах Западной Евразии рассматривались как разрозненные локальные явления, не имеющие существенного значения для понимания их регионального строения. Между тем появляется все больше свидетельств того, что эвапоритовые толщи в исследуемом регионе широко распространены и, возможно, имеют общее происхождение. Фрагментарность свидетельств о наличии соленосных толщ и неопределенность интерпретации наблюдаемых по данным сейсморазведки структурных форм обуславливают важность их целенаправленного рассмотрения в региональном контексте. Актуализированное понимание строения и формирования соляных структур может существенно модифицировать интерпретацию структурно-седиментационного развития арктических бассейнов Западной Евразии и эволюцию их нефтегазовых систем.

Краткий очерк геологического развития

Строение арктических бассейнов Западной Евразии определяется последовательной сменой геодинамических и климатических условий, определявшихся историей плитно-тектонических взаимодействий. Наиболее неопределенной является тектоностратиграфия палеозойских толщ. С наибольшей полнотой палеозойские отложения исследованы в Тимано-Печорском бассейне, где в этих отложениях обнаружены многочисленные месторождения нефти и газа. Вероятно, что из-за принадлежности к родственным окраинно-континентальным бассейнам Уральского океана развитие Тимано-Печорского бассейна в палеозойское время имеет немало общего с северной частью Западно-Сибирского и Енисей-Хатангского бассейнов. Значительным своеобразием отличается Баренцевоморский бассейн, в состав которого входит многокилометровая толща триасовых отложений. Строение юрско-меловых отложений детально исследовано по материалам северных районов Западно-Сибирского бассейна. В схематическом виде компилятивная тектоностратиграфия арктических бассейнов Западной Евразии представлена на рис. 3. Она отражает в обобщенном виде основные этапы формирования осадочного чехла бассейнов рассматриваемого региона и роль соленосных отложений. Применительно к палеозойским отложениям она в значительной мере основана на представлениях о развитии бассейнов уральских континентальных окраин.

Важнейшим процессом развития арктических бассейнов Западной Евразии в палеозойское время было раскрытие Уральского океана в конце кембрия – начале ордовика [5]. Раннепалеозойский

Рис. 1. Структурная схема Евразии и прилегающих районов с выделением эпикратонных бассейнов, краевых прогибов и межгорных впадин (по [2] с дополнениями)
Fig. 1. Structural scheme of structural zoning of Eurasia and neighbouring regions showing epicratonic basins, foredeeps, and intermountain troughs (according to [2], complemented)



рифтогенез привел к образованию систем впадин, в которых отлагались мощные толщи преимущественно терригенного состава с вулканическими породами. В дальнейшем происходило накопление карбонатных и эвапоритовых отложений. Изучение солей в пределах Тимано-Печорского бассейна свидетельствует о позднеордовикском возрасте соленосных отложений [11]. В дальнейшем океанический спрединг привел к расширению контуров Уральского океана. Рифтовые прогибы трансформировались в бассейны континентальных окраин, которые распространились на обширные прилегающие пространства. В силуре – ранней перми в этих бассейнах преобладала карбонатная седиментация. Развитие осадочных бассейнов эпизодически осложнялось периодами складчатости, которая была вызвана столкновением континентальных окраин с островными дугами и микроконтинентами.

В пермское время сближение Восточно-Европейской и Сибирской платформ привело к полному закрытию Уральского океана и коллизии континентальных плит. Из-за сложной конфигурации взаимодействующих плит процесс коллизионной складчатости включал несколько фаз деформаций, в ходе которых надвиговые пояса формировались вместе с транспрессионными зонами. Итогом позднепалеозойского столкновения плит явилось образование системы складчатых поясов, соседствующих с крупными осадочными бассейнами. В конце перми – начале триаса рассматриваемый регион был затронут внутриплитным плюмовым магматизмом [5, 7].

В триасе складчатые пояса Урало-Таймырской складчатой системы, вероятно, испытали постколлизионный коллапс. Предположительно он был вызван гравитационной нестабильностью крупных

Рис. 2. Обнажение дислоцированных эвапоритов на берегу р. Тарей, Горный Таймыр (фото А.П. Романова)
Fig. 2. Outcrop of contorted evaporates at Tareya River bank, Taymyr (photo by A.P. Romanov)



Размеры обнажения около 2 × 3 м. Положение см. на рис. 4
 The dimensions of the outcrop are 2x3 m. See Fig. 4 for location

коллизонных складчатых сооружений и плюмовым магматизмом. В результате возникла система триасовых впадин в Западной Сибири и Енисей-Хатангском прогибе [5]. Резкое погружение произошло в Баренцевоморском бассейне. Новый значительный эпизод деформаций отмечается в конце триаса. Он вызвал складчатость в пределах северной части Урала, Пай-Хоя, Новой Земли и п-ова Таймыр. Этот эпизод складчатости сопровождался значительными внутриплитными транспрессионными деформациями [17].

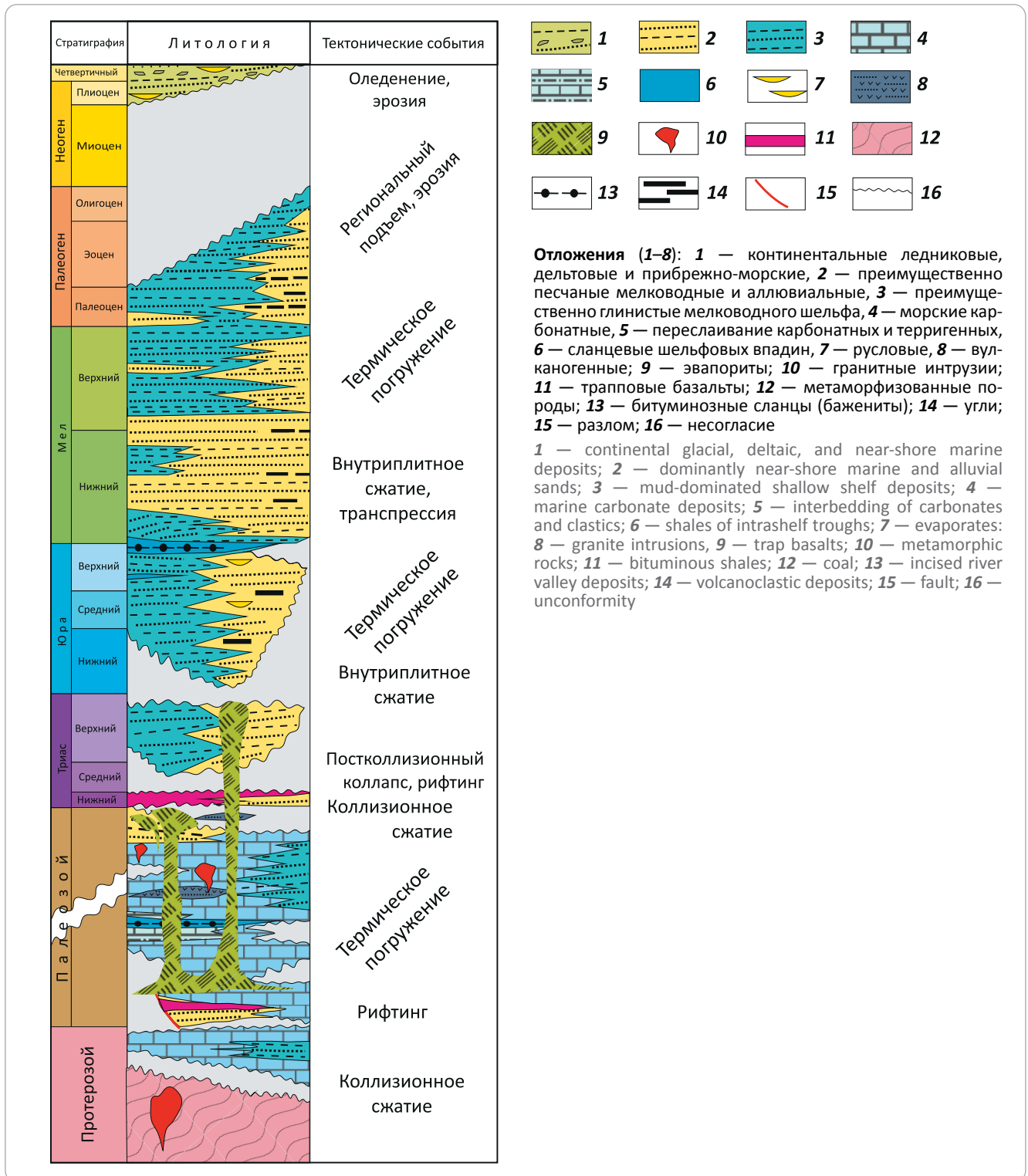
Начиная с юрского времени в пределах арктических бассейнов Западной Евразии произошла обширная трансгрессия. Она охватила Западную Сибирь, Енисей-Хатангский и Баренцевоморский прогибы, превратив их в мелководные эпиплатформенные бассейны. В этих бассейнах накопились юрско-меловые отложения, представленные преимущественно мелководными и прибрежными песчано-глинистыми образованиями, включающими угленосные толщи. Поступление обломочного материала происходило в результате эрозии прилегающих складчатых сооружений и Сибирской плат-

формы. В раннем мелу складчатость в Верхоянье способствовала оживлению эрозии на Сибирской платформе. Это привело к формированию толщ клиноформного строения, широко развитых в пределах Западно-Сибирского и Енисей-Хатангского бассейнов. В палеогене – неогене Северная Евразия испытывала преимущественно восходящие движения. В конце четвертичного времени регион подвергся оледенению. Последующее удаление ледникового покрова привело к поднятию и изменениям состояния флюидалных систем этих бассейнов.

Признаки существования соляных деформаций

Опыт изучения соленосных деформаций в различных нефтегазоносных бассейнах мира показывает большое разнообразие их морфологических типов [19–22]. В платформенных соленосных бассейнах к таким, например, относится Лено-Тунгусский, в котором соленосные пласты небольшой толщины залегают преимущественно субпластово. Деформации в этих пластах представлены в большинстве случаев валобразными поднятиями, локализованными в зонах разломов. В классических

Рис. 3. Схематическая тектоностратиграфия арктических бассейнов Западной Евразии (из [17] с дополнениями)
Fig. 3. Schematic tectonostratigraphy of the Arctic basins of Western Eurasia (from [17] with modification)



соляно-купольных областях, к которым, в частности, относится Прикаспийский бассейн, преобладают изометричные столбообразные диапиры-штоки, высота которых может достигать 10 км и более. Для структурно-асимметричных бассейнов континентальных окраин характерно латеральное перемещение мобильных солей. Оно часто отражает передвижение солей под воздействием силы тяжести в

направлении континентального склона [19, 21]. Для таких бассейнов типично резкое изменение структурных стилей деформаций. В районах, из которых соли уходят, распространены структуры растяжения, а толщина солей сокращена вплоть до полного выклинивания. Одновременно в зонах нагнетания солей преобладают деформации сжатия. Здесь толщина солей резко увеличивается, формируются

соляные валы, грибообразные диапиры, аллохтонные соляные покровы [19, 21]. Наиболее сложные структурные формы свойственны соленосным бассейнам, трансформированным в коллизионные надвиговые пояса [19–22]. Соли в таких районах имеют вид поверхностей расслоения осадочного чехла, а существовавшие до складчатости соляные структуры деформируются, образуя раздавленные диапиры. Соль из этих диапиров часто выжимается на поверхность, образуя соляные глетчеры. В зависимости от климатических условий эти глетчеры полностью или частично растворяются, оставляя соляные брекчи.

В рассматриваемом регионе по сейсмическим данным прослеживаются признаки существования соляных структур различной морфологии. В северо-восточных районах Тимано-Печорского бассейна соли участвуют в строении коллизионных складчатых поясов Урала и Пай-Хоя. На севере Западно-Сибирского бассейна соли формируют преимущественно криптодиапиры в доюрских отложениях. На востоке Баренцевоморской впадины и в Енисей-Хатангском прогибе в основном распространены соляные штоки, которые иногда достигают эрозионной поверхности, а также криптодиапиры. Эта типизация определяет лишь преобладающие морфологические типы деформаций солей и нуждается в уточнении. Она отражает связь соляных деформаций с геодинамическими условиями развития бассейнов. Ниже рассмотрены примеры этих структурных стилей соляных деформаций. Положение сейсмических разрезов и дополнительных данных, иллюстрирующих рассматриваемые соляные структуры, приведено на рис. 4.

Соляные структуры зон коллизионной складчатости

Существование солей в зонах коллизионной складчатости достоверно установлено в пределах Косью-Роговской впадины и гряды Чернышева, а также предполагается в Верхнепечорской и Коротайхинской впадинах Тимано-Печорского бассейна. Различия в степени достоверности выделения соляных структур обусловлены недостаточной изученностью этих районов. Наименее исследованы сложнодислоцированные зоны фронта Уральского пояса надвигов. К числу таких районов относится южная часть Верхнепечорской впадины. Предположение о наличии раннепалеозойских солей в этом районе основывается на существовании системы высокоамплитудных линзовидных структур в нижней части осадочного чехла южного борта этой впадины. Интерпретированный сейсмический разрез этого района показан на рис. 5.

Интерпретация сейсмических данных с использованием геологической информации показывает, что в этом районе осадочный чехол складчатого борта Верхнепечорской впадины расслоен на уровне нижнепалеозойских отложений. Выше лежащие отложения интенсивно дислоцированы, в

то время как подстилающий субстрат залегает монотонально, погружаясь к востоку. В основании складчатого комплекса выделяемые линзовидные тела образуют ядра крупноамплитудных складок. Эти поднятия перекрываются дислоцированными слоями, мощность которых не зависит от вариаций толщин линзовидных тел. Это свидетельствует о вторичном происхождении рассматриваемых линзовидных тел, что дает основание предполагать, что они формировались за счет нагнетания солей в ядра складок в процессе уральской складчатости.

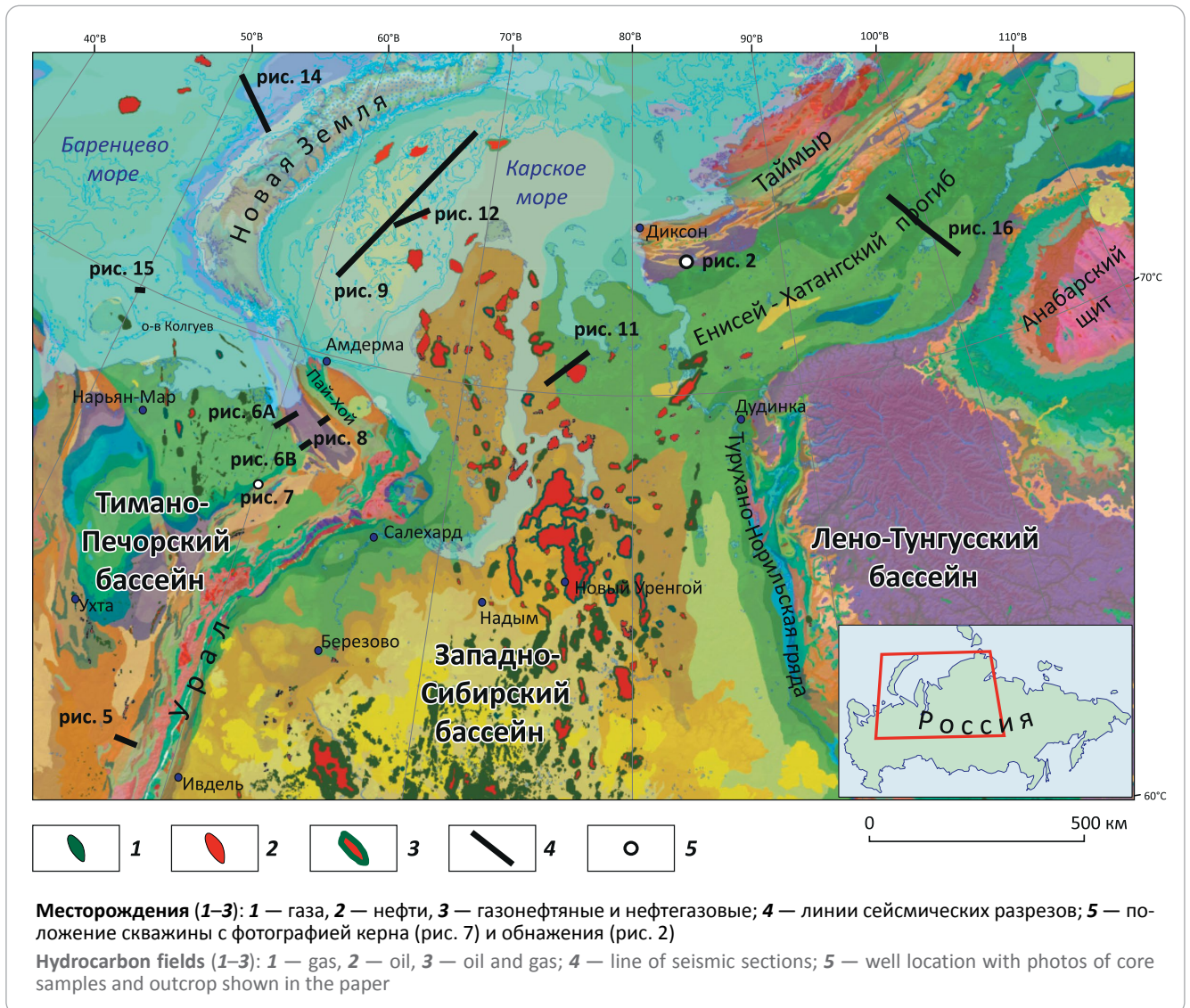
Наличие дислоцированных солей на западном борту Коротайхинской впадины иллюстрируют геологический и сейсмический разрезы на рис. 6. Эти разрезы пересекают зону Талотинского надвига, по которому Коротайхинская впадина сочленяется с платформенной частью Тимано-Печорского бассейна.

Из разрезов следует, что надсолевой чехол Коротайхинской впадины сорван со своего основания по солям верхнего ордовика и перемещен на запад. На интерпретируемом сейсмическом разрезе можно видеть резкие вариации толщин предполагаемых солей, которые компенсируют структурную дисгармонию над- и подсолевых отложений. Линзовидная соляная подушка выделяется перед фронтом Талотинского надвига. Она образует пологое валообразное поднятие в надсолевых отложениях. В палеозой-триасовых отложениях, перекрывающих эту подушку, нет существенных изменений толщин и заметных угловых несогласий, что свидетельствует о том, что образование этого поднятия произошло после накопления этих толщ. Данные сейсморазведки показывают, что его причиной явилось нагнетание соли во время регионального сжатия. Аллохтонные соли интерпретируются также в верхней части фронта Талотинского надвига, где они слагают линзу между триасовыми и юрскими отложениями. Им отвечает интервал прозрачной сейсмической записи. Наблюдаемый характер деформаций позволяет предполагать, что до образования Талотинского надвига в этом районе существовал соляной вал. В условиях тектонического сжатия в позднем триасе находившаяся здесь соль частично была выжата на поверхность и большей частью растворилась, а частично мигрировала к западу в глубинную соляную подушку.

Образцы керна скважин, расположенных в пределах складчатых структур сходного строения на гряде Чернышева, показывают (рис. 7), что соль представляет собой меланж, включающий брекчированные обломки контактирующих вмещающих пород. Это согласуется с предположением о том, что соль выступает в виде поверхностей расслоения осадочного чехла и проявляет высокую мобильность в ходе складчатых деформаций.

Новые высокоинформативные сейсмические данные позволяют выделять в разрезе Коротайхинской впадины протяженные соляные аллохтонные пластины. Их образование связано с деформация-

Рис. 4. Обзорная геологическая карта арктических бассейнов Западной Евразии и прилегающих районов
Fig. 4. Overview geological map of the Arctic basins of West Eurasia and adjacent areas



ми сжатия соляных структур, возникших до коллизионной складчатости. Пример сейсмического изображения такой структуры приведен на рис. 8.

Интерпретация геолого-геофизических данных, характеризующих строение этого района, показывает, что выделяемый соляной аллохтон заключен в толще пермских терригенных синколлизийных отложений. В рассматриваемом сечении протяженность соляного аллохтонного покрова составляет не менее 10 км. Кровля аллохтонной пластины срезана угловым эрозийным несогласием. Это несогласие свидетельствует о том, что образование соляного покрова произошло в пермское время в условиях складчатости за счет выжимания соли из подстилающей эвапоритовой толщи. Структуры сходного строения детально исследованы в глубоководной части Мексиканского залива, а также в других районах, где соли подвергались деформациям сжатия [19, 21].

Криптодиapiroсы Западно-Сибирского бассейна

Изучение строения северных районов Западной Сибири на основе интерпретации региональных сейсмических данных показывает широкое распространение соляных криптодиapiroсов в доюрских отложениях [17, 18]. Пример выделения этих структур по данным сейсморазведки в Южно-Карской впадине показан на рис. 9. В пользу этой гипотезы свидетельствует наличие крупных столбовобразных поднятий, которым отвечает прозрачная сейсмическая запись. Это указывает на отсутствие выдержанной слоистости в слагающих эти поднятия отложениях, что свойственно дислоцированным мобильным солям. Высота предполагаемых криптодиapiroсов может достигать 10 км (3,5 с).

Рассматриваемые поднятия в плане имеют изометричную форму [23]. Они лишены выраженной структурной вергентности, что следовало бы предполагать, если бы они были связаны с колли-

Усл. обозначения к рис. 6

Legend for Fig. 6

A — геологический разрез, B — интерпретированный временной сейсмический разрез.

Положение разреза см. на рис. 4.

Усл. обозначения см. на рис. 5

A — geological section, B — interpreted seismic time line

See Fig. 4 for location.

For other Legend see Fig. 5

Рис. 7. Фотография образцов керна верхнеордовикских меланжированных солей с включениями брекчированных карбонатных пород (скв. 2-Адак, гряда Чернышева, Тимано-Печорский бассейн)

Fig. 7 Photo of core samples of contorted salt with inclusions of brecciated carbonate rocks. 2-Adak well, Chernyshev Swell, Timan-Pechora Basin



Положение скважины см. на рис. 4

See Fig. 4 for location

зионной складчатостью. Над поднятиями развиты радиальные системы разломов, характерные для районов соляной тектоники [19, 21]. Между поднятиями расположены глубокие прогибы-мульды. В зонах прилегания к поднятиям прослеживаются угловые несогласия и происходит резкое искривление слоев, их выклинивание и задиранье вверх (см. рис. 9 В). Подобный характер слоистости в мульдах является важнейшим свидетельством их соляного происхождения. В зонах соляной тектоники эти деформации рассматриваются в качестве галокинетических последовательностей, которые фиксируют динамику роста соляных диапиров [19, 21]. Они выделяются в широком глубинном и стратиграфическом диапазонах, указывая на продолжительный рост соляных поднятий. Высокая контрастность структурного плана в доюрских отложениях отражает перераспределение масс мобильных солей

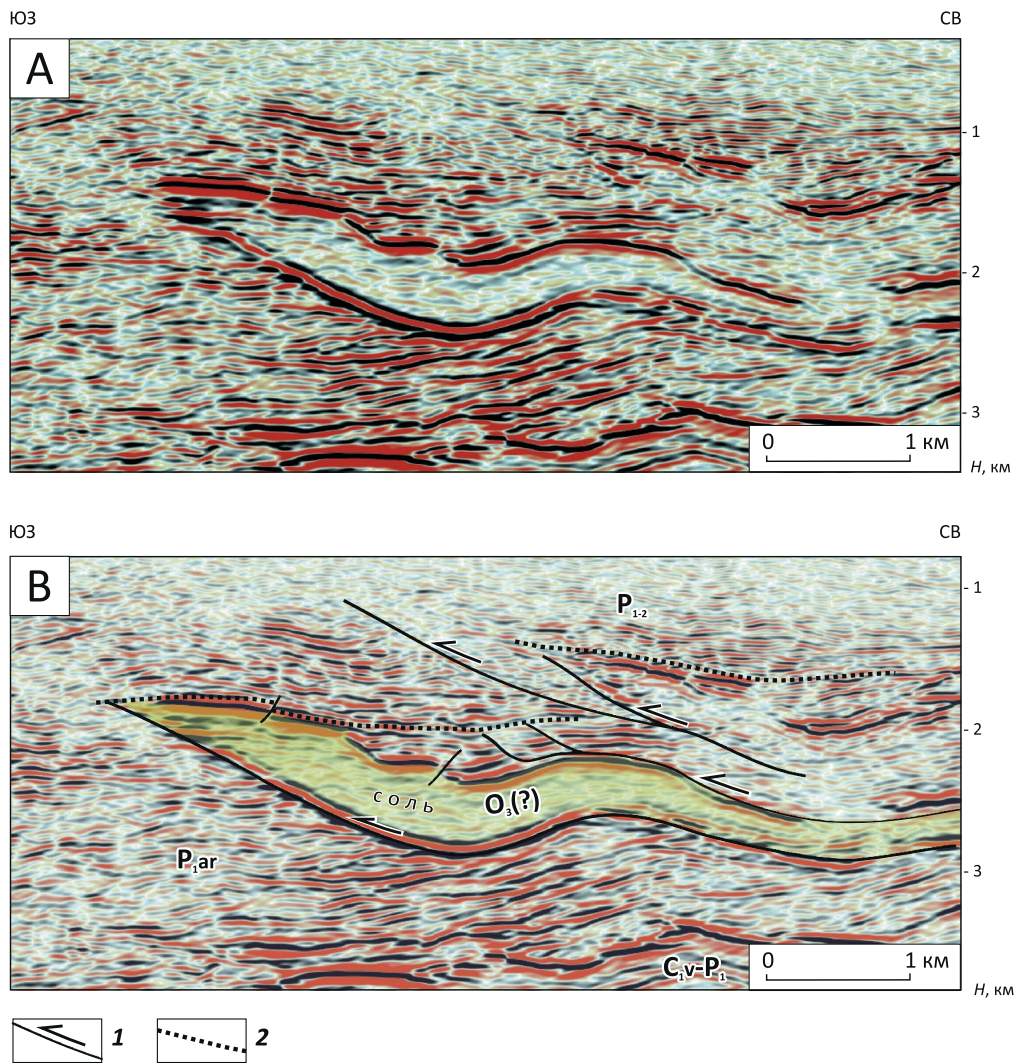
между диапирами и разделяющими их мульдами. Это движение вызвано инверсией плотности солей, являющейся движущей силой восходящего движения диапиров. Кроме сейсмических данных о вероятной диапировой природе выделяемых глубинных структур свидетельствуют также материалы гравиразведки, термометрии, батиметрии [17, 18].

Аналогом наблюдаемых криптодиапиров в доюрских отложениях Южно-Карской впадины могут служить классические примеры соляных структур Прикаспийского бассейна (рис. 10).

Основная причина неопределенности интерпретации диапировых структур в Южно-Карской впадине обусловлена тем, что в ее пределах диапиры залегают на значительно больших глубинах, чем в приведенном примере в Прикаспийской впадине. В Прикаспийском бассейне многочисленные соля-



Рис. 8. Сейсмическое выражение соляных покровов в Коротаихинской впадине
Fig. 8 Seismic imaging of allochthonous salt sheet in the Korotaikha Foredeep Basin



А — сейсмический разрез в глубинной области, В — тот же разрез с геологической интерпретацией.

1 — разлом, **2** — несогласие.

Положение разреза см. на рис. 4

A — deep seismic section. B — the same section with geological interpretation

1 — fault, **2** — unconformity.

See Fig. 4 for location

ные купола часто достигают эрозионной поверхности и вскрыты многочисленными скважинами. В Южно-Карской впадине, как и в других бассейнах рассматриваемого региона, бурение на предполагаемые соляные структуры не проводилось.

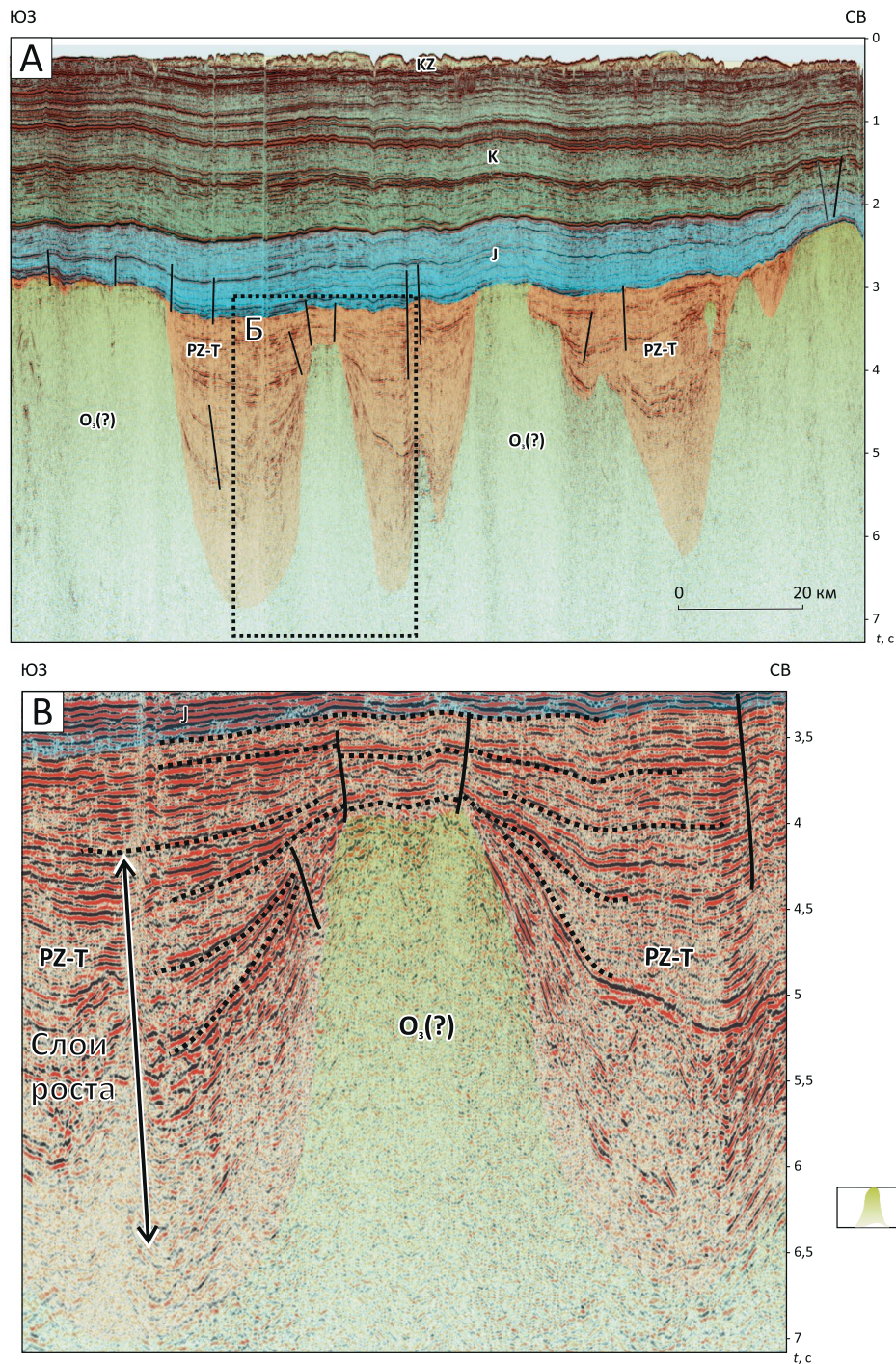
Деформации аналогичного характера широко распространены также в сухопутной части Западно-Сибирского бассейна. Здесь есть основания предполагать распространение соляных криптодиapiroв в доюрских отложениях. Пример сейсмического изображения таких структур на Гыданском полуострове показан на рис. 11. Как можно видеть, в этом районе также выделяются высокоамплитудные структуры, имеющие упоминавшиеся признаки соляных диапиров. Наиболее важными из

них являются ярко выраженные галокинетические последовательности на крыльях столбообразных поднятий — соляных штоков и радиальных систем разломов над ними.

Наличие соляных криптодиapiroв в Западной Сибири объясняет происхождение своеобразных кольцевых инверсионных структур над ними. Их формирование до настоящего времени является предметом дискуссий [24]. С этими структурами связан ряд крупных месторождений нефти и газа (23). Примером может служить Русановское месторождение в Южно-Карской впадине (рис. 12).

На сейсмическом разрезе можно видеть, что антиклиналь в меловых отложениях, с которой свя-

Рис. 9. Структура предполагаемых криптодиапиров в Южно-Карской впадине
 Fig. 9 Structure of interpreted cryptodiapirs in the South Kara Basin



А — интерпретированный сейсмический временной разрез, В — фрагмент разреза А, иллюстрирующий строение криптодиапира и прилегающих отложений.

1 — соль.

Положение разреза см. на рис. 4.

Остальные усл. обозначения см. на рис. 8

A — interpreted seismic time section. B — zoomed part of line A showing structure of the cryptodiapirs and adjacent deposits

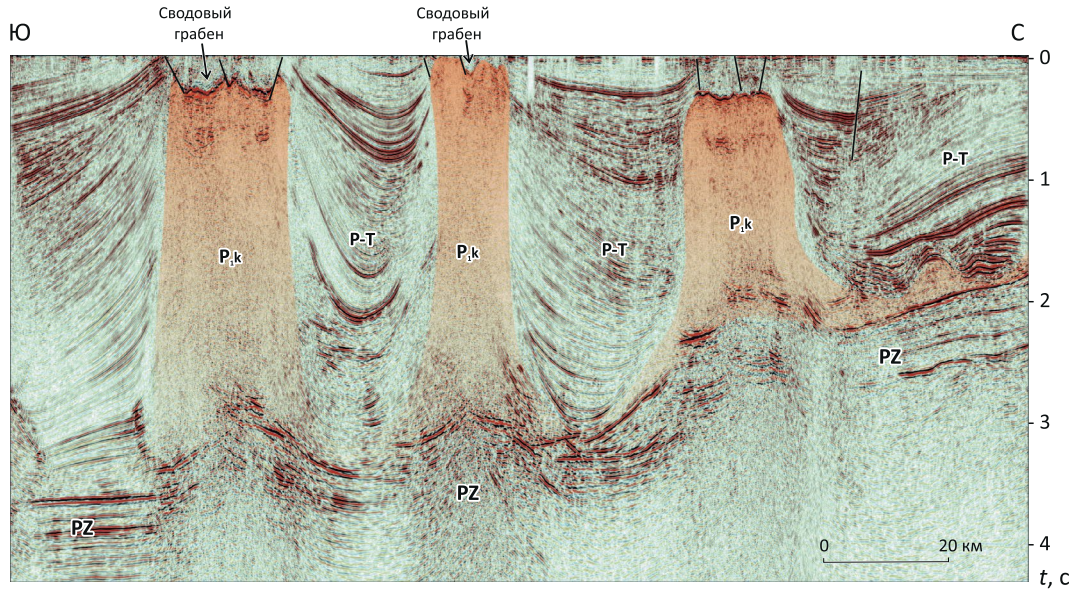
1 — salt.

See Fig. 4 for location.

For other Legend see Fig. 8

Рис. 10. Сейсмический временной разрез северного борта Прикаспийского бассейна, иллюстрирующий строение соляных диапиров и межсолевых мульд

Fig. 10 Seismic time section across the northern margin of the Precaspian Basin showing structure of salt diapirs and minibasins

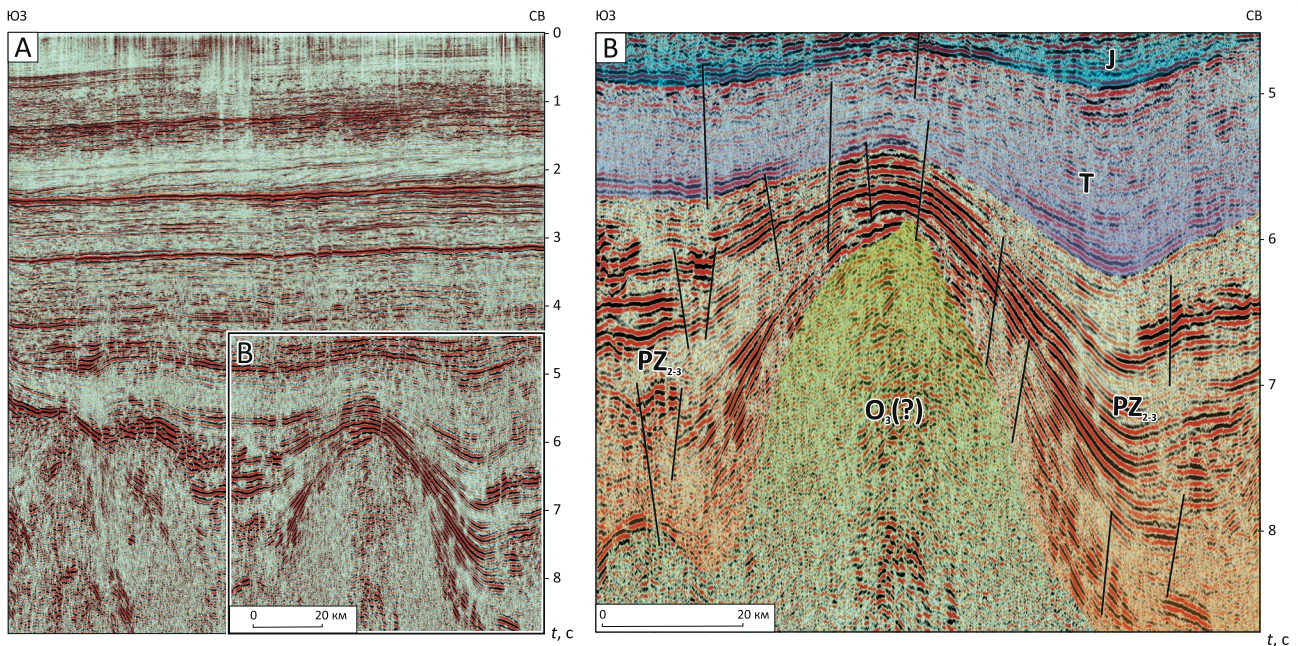


Усл. обозначения см. на рис. 5

For Legend see Fig. 5

Рис. 11. Структура предполагаемых криптодиапиров на Гыданском полуострове

Fig. 11 Structure of interpreted cryptodiapirs at the Gydan Peninsula



A — сейсмический временной разрез, B — фрагмент разреза A, иллюстрирующий строение криптодиапира и прилегающих отложений.

Положение разреза см. на рис. 4.

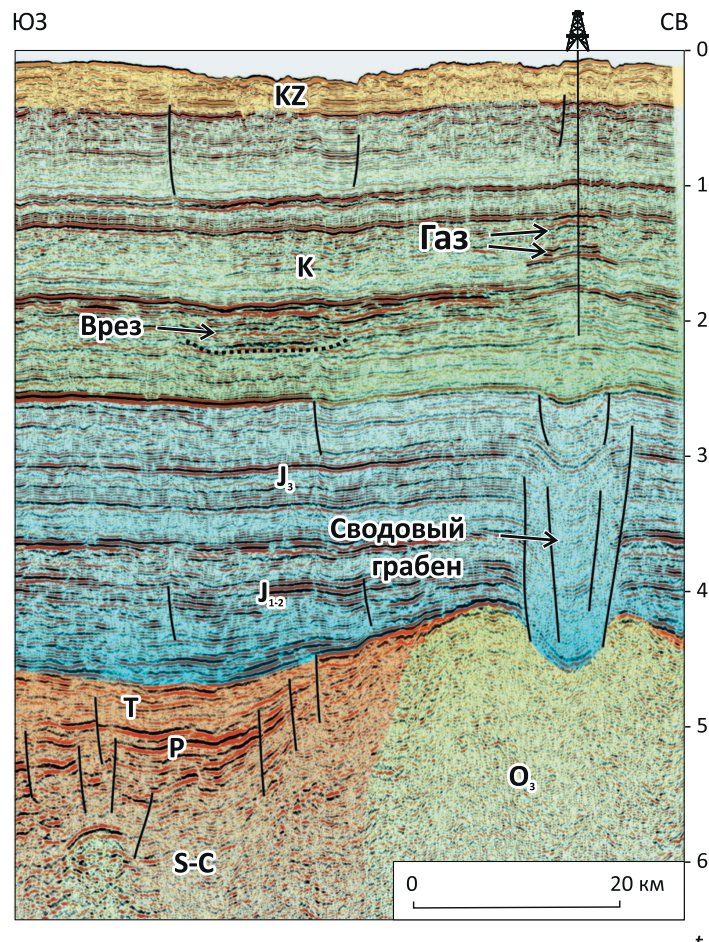
Усл. обозначения см. рис. 8, 9

A — seismic time section. B — zoomed part of line A showing structure of the cryptodiapirs and adjacent deposits

See Fig. 4 for location.

For other Legend items see Fig. 8, 9

Рис. 12. Сейсмический временной разрез Русановского газового месторождения
Fig. 12 Seismic time section through the Rusanov gas field



Положение разреза см. рис. 4.
 Усл. обозначения см. на рис. 6, 8, 9
 See Fig. 4 for location.
 For Legend see Fig. 6, 8, 9

заны крупные залежи газа, подстилается узкой раздробленной синклиналью в юрских слоях. Симбиоз этих деформаций образует кольцевую инверсионную структуру. Ниже выделяется крупный соляной диапир. Происхождение деформаций в юрско-меловых слоях получает простое объяснение за счет роста соляного купола. Дело в том, что при быстром росте соляного поднятия над ним часто возникает характерный сводовый грабен [19]. Дополнительным фактором образования впадины над соляным куполом может быть растворение соли при выходе диапира на поверхность. Эта впадина отчетливо видна в юрских слоях над сводом соляного купола (см. рис. 12). Последующий умеренный рост соляной структуры приводит к образованию обширной антиклинали, которая затрагивает меловую толщу. Небольшая амплитуда поднятия на последнем этапе роста диапира сохраняет юрскую синклиналь. Таким образом, формирование кольцевых инверсионных структур получает простое объяснение за счет роста соляного купола с замедляющейся скоро-

стью [17, 18]. Это в полной мере отвечает условиям структурного развития на севере Западно-Сибирского бассейна. Наглядным примером реальности данного механизма деформаций может служить сейсмический разрез Халганского газового месторождения в Калмыкии (рис. 13).

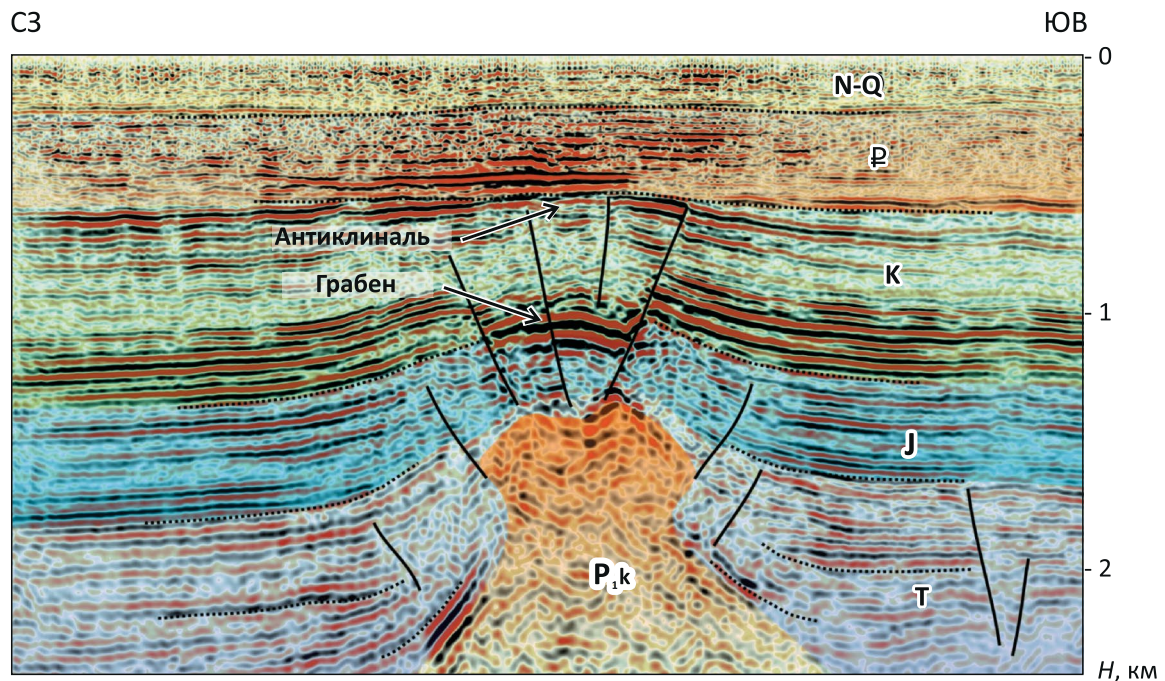
В данном примере хорошо видно, что аналогичная инверсионная структура образована над соляным поднятием, сложенным кунгурской солью. Основное отличие между рассмотренными месторождениями состоит в том, что соль в Южно-Карской впадине находится на большой глубине и до настоящего времени не вскрыта скважинами.

Соляные штоки и криптодиапиры Баренцевоморского бассейна и Енисей-Хатангской впадины

Интерпретация сейсмических данных показывает наличие признаков соляных структур в восточной части Баренцевоморского бассейна. Сейсмический профиль, пересекающий район



Рис. 13. Сейсмический глубинный разрез Халганского газового месторождения (Калмыкия)
Fig. 13 Seismic depth section through the Khalgan gas field (Kalmyk Republic, Precaspian basin)



В юрско-палеоценовых отложениях прослеживается кольцевая инверсионная структура. Ниже расположен шток кунгурской соли, к своду которого приурочен грабен.

1 — соль.

Остальные усл. обозначения см. на рис. 8

The Jurassic-Paleocene section host the ring inversion structure. Below is a stock of the Kungurian salt with a crestal graben.

1 — salt

For other Legend items see Fig. 8

предполагаемого распространения соляных структур в этом бассейне, показан на рис. 14.

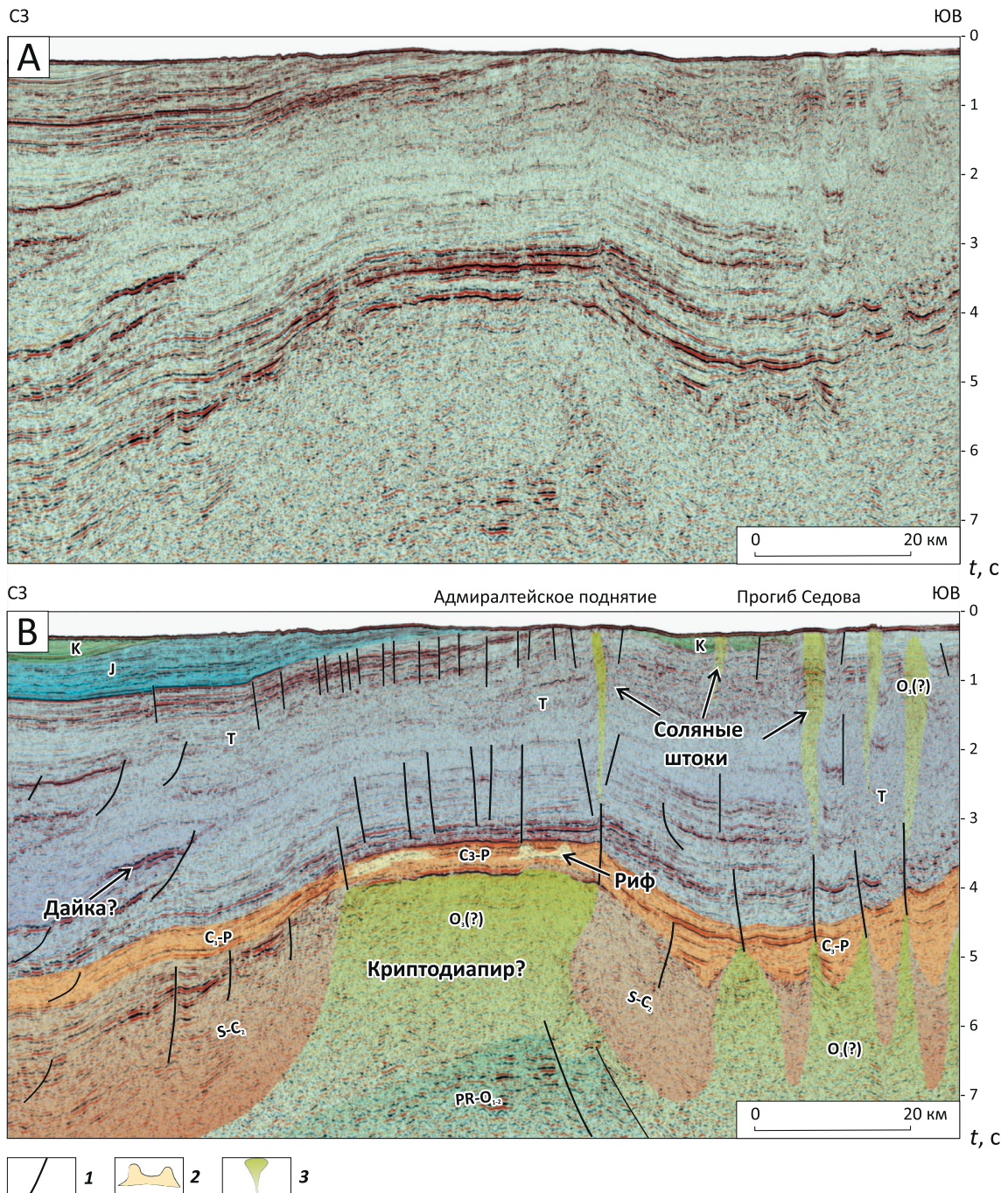
Соляные штоки, прорывающие осадочный чехол и достигающие эрозионной поверхности, выделяются в восточной части профиля в прогибе Седова, который граничит со складчатым сооружением Новой Земли. Их разделяют узкие глубокие мульды. Интересный аргумент в пользу наличия соляных штоков в восточной части Баренцева моря следует из материалов малоуглубинного сейсмоакустического профилирования [25]. На разрезе, полученном этим методом, на дне бассейна выделяется крупная впадина, диаметр которой составляет более 2 км (рис. 15). Учитывая региональный геологический контекст, можно полагать, что эта впадина образована за счет растворения вершины соляного штока, достигшего поверхности дна. Подобные структуры коллапса диапиров установлены в разных соленосных районах мира ([26] и др.). Размеры воронок (покмарков), связанных с дегазацией разреза, как правило, значительно меньше.

Кроме соляных штоков в нижних горизонтах осадочного чехла предполагается существование крупных криптодиапиров. Вероятно, что с крупным криптодиапировым валом может быть связано Адмиралтейское поднятие (см. рис. 14). Это предположение согласуется с сейсмической прозрачностью тела диапира и наличием слоев роста (галокинетических последовательностей) на его склонах. Над кепроком соляного поднятия в нижнепермских отложениях можно предполагать наличие рифов, что находится в соответствии с длительным ростом соляного вала, который влиял на седиментационные обстановки во время накопления перекрывающих отложений. Рост этой структуры продолжался и в новейшее время, что видно из ее выраженности в рельефе морского дна.

Признаки длительного роста Адмиралтейского поднятия противоречат распространенным представлениям о его горстовой природе. Дело в том, что дискретные тектонические события, приводящие к появлению горстов, должны были бы фиксироваться резким угловым несогласием. Такое

Рис. 14. Строение предполагаемых соляных штоков и криптодиапиров Адмиралтейского поднятия и прогиба Седова, Баренцевоморский бассейн

Fig. 14 Structure of interpreted salt stems and cryptodiapirs of the Admiralteysky High and Sedov Trough, Barents Sea Basin



A — сейсмический временной разрез, B — тот же разрез с выделением криптодиапира и соляных штоков.

1 — разлом; 2 — несогласие; 3 — соль.

Положение разреза см. на рис. 4

A — seismic time section, B — the same section with interpretation of cryptodiapirs and salt stems.

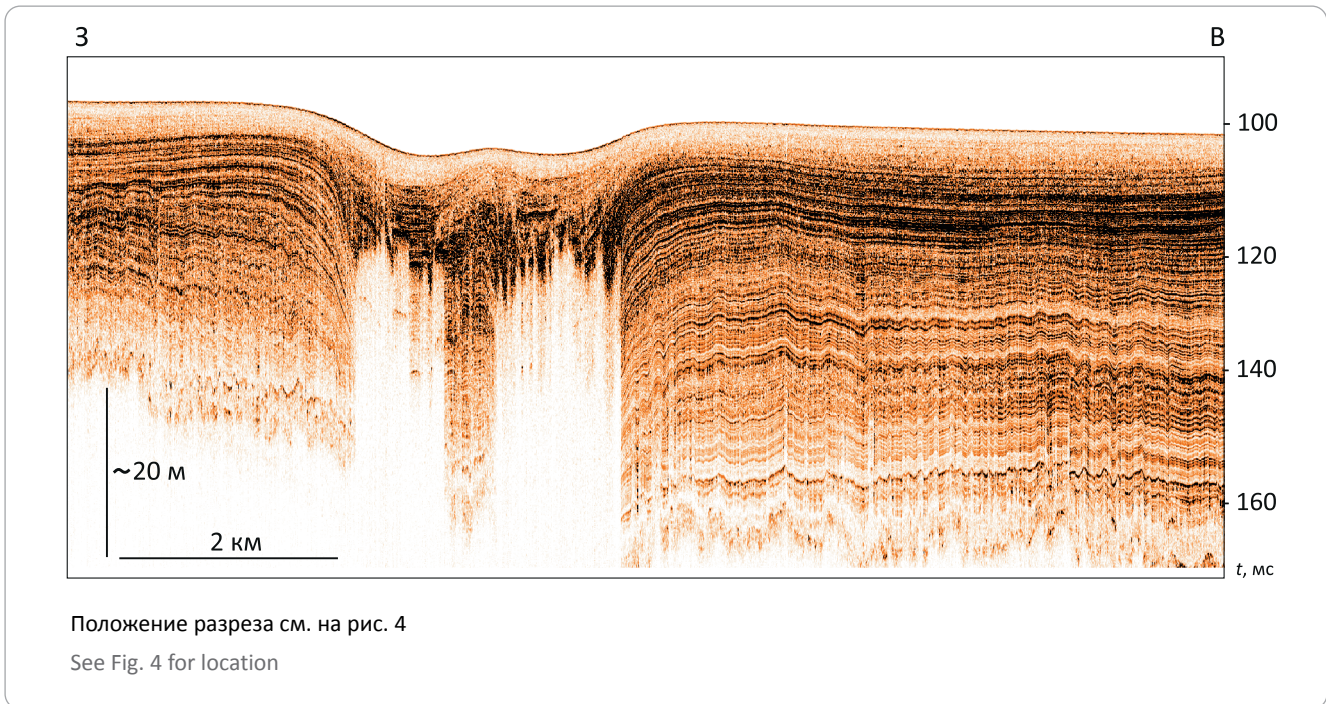
1 — fault, 2 — unconformity, 3 — salt.

See Fig. 4 for location



Рис. 15. Сейсмоакустический малоглубинный разрез зоны предполагаемого коллапса соляного штока, Баренцевоморский бассейн (из [25])

Fig. 15 Shallow seismoacoustic section across area of the stem diapir collapse, the Barents Sea (from [25])



несогласие отражает время тектонической фазы его формирования. В рассматриваемом случае можно наблюдать следы практически непрерывного роста диапира, которое продолжается до настоящего времени, что следует из его выраженности в геоморфологии морского дна.

Другой возможной альтернативной интерпретацией Адмиралтейского поднятия могло быть предположение, согласно которому оно связано с погребенным долгоживущим вулканом. Однако известные примеры подобных структур показывают, что они обычно имеют коническую форму и им соответствуют крупные гравитационные максимумы [27]. Гравитационное поле в этом районе имеет нейтральное слабоотрицательное значение и мало дифференцировано. Кроме того, это поднятие в плане образует линейную структуру, достигающую по простиранию 350 км, и имеет плоскую вершину, что в большей степени соответствует соляному валу.

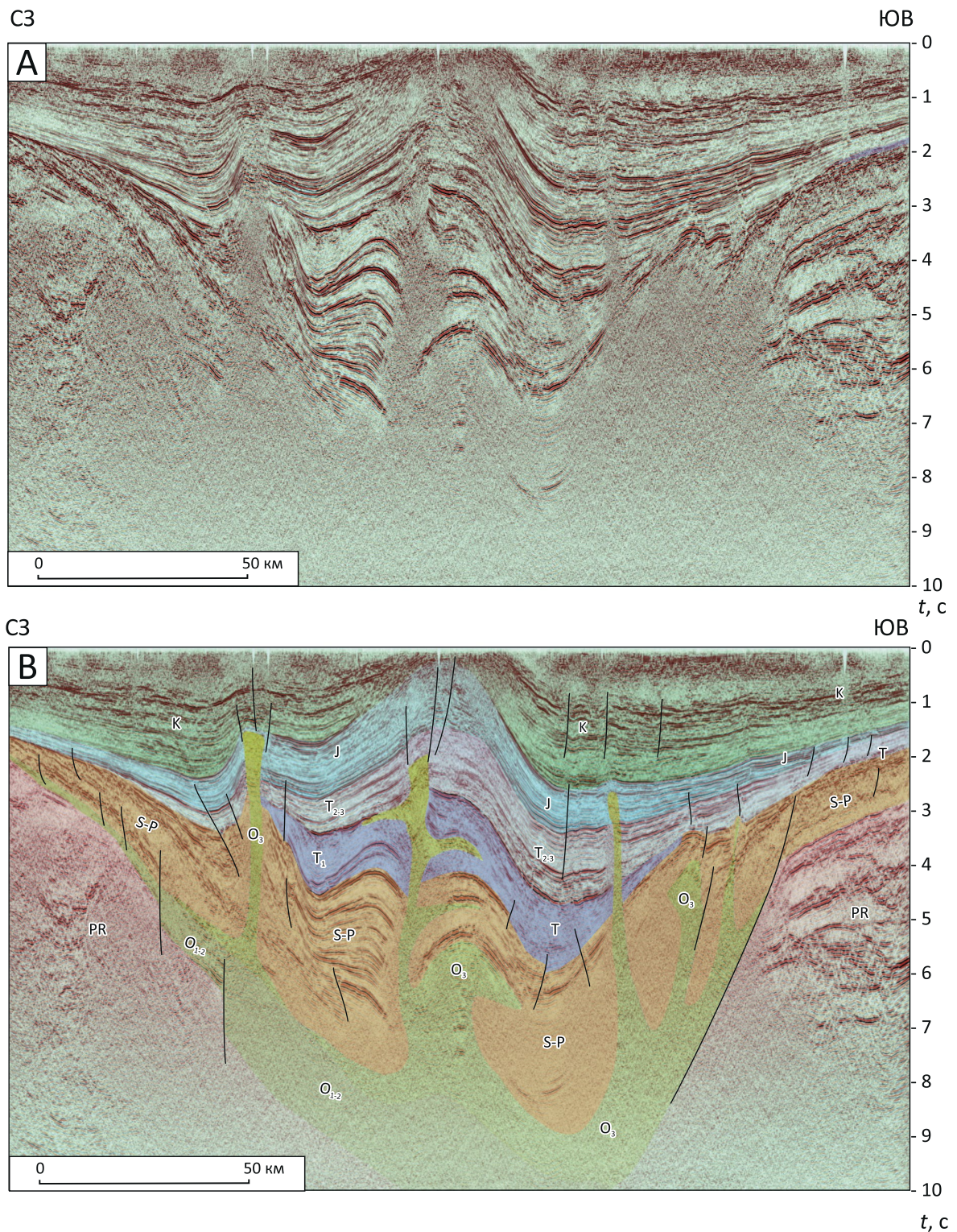
Наличие глубинных криптодиапиров и соляных штоков в Баренцевоморском бассейне, по-видимому, отражает наличие двух этапов ускоренного роста соляных поднятий. Первый имел место в позднем палеозое в условиях растяжения Уральской континентальной окраины. Он привел к формированию криптодиапиров. В ходе второго этапа деформаций произошло образование соляных штоков. Вероятно, это связано со сдвиговыми движениями в зоне сочленения Баренцевоморского бассейна и Новой Земли в конце триаса. Это следует из того, что соляные тела разрывают толщу триасовых отложений.

В Енисей-Хатангском прогибе соляные структуры наиболее отчетливо выражены по сейсмическим данным в акватории Хатангского залива в районе о-ва Бегичев. Новые сейсмические данные показывают распространение соляных структур также и в сухопутной части Енисей-Хатангского прогиба. Интерпретированный сейсмический разрез с выделением соляных диапиров в этом районе показан на рис. 16. Зонам предполагаемого распространения соляных диапиров в этом районе отвечают аномалии высокого электрического сопротивления, установленные по данным магнитотеллурического зондирования.

Согласно данным сейсмической интерпретации, в этом районе диапировые структуры прорывают палеозой-меловые отложения и достигают эрозионной поверхности. С подобной структурой связано нефтяное месторождение Нордвик. Источником соли в данном районе была рифтовая впадина, глубина которой составляет около 15 км (6–7 с). Данные сейсморазведки позволяют предполагать, что соляные структуры развиты восточнее п-ова Таймыр в прилегающей части моря Лаптевых.

Распространение соляных штоков, достигающих эрозионной поверхности в пределах восточной части Баренцевоморского бассейна и Енисей-Хатангской впадины, рассматривается как свидетельство молодой тектонической реактивации этих районов. Неотектонические движения в прилегающих складчатых поясах Новой Земли и п-ова Таймыр транслировали тектонический стресс в прилегающие зоны бассейнов, что привело к мобилизации солей и образованию соляных штоков. Оживление

Рис. 16. Строение зоны развития диапиров в восточной части Енисей-Хатангского прогиба
Fig. 16 Structure of interpreted diapirs in the eastern part of the Enisey-Khatanga Trough



A — сейсмический временной разрез, B — тот же разрез с интерпретацией.

Положение разреза см. на рис. 4.

Усл. обозначения см. на рис. 9

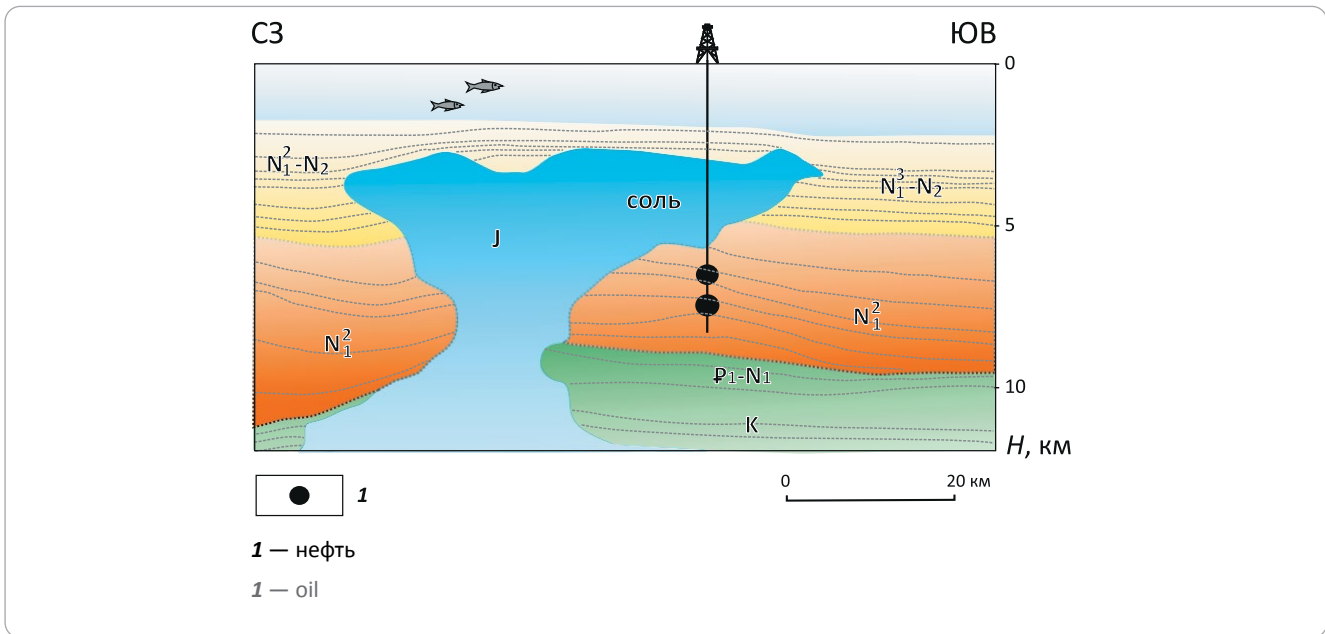
A — seismic time section, B — the same section with interpretation

See Fig. 4 for location.

For Legend see Fig. 9



Рис. 17. Схематический разрез месторождения Тандер-Хорс, Мексиканский залив, США (из [29] с упрощением)
Fig. 17 Cartoon section of the Tunder Horse Field, Gulf of Mexico, the USA. (simplified after [29])



соляной тектоники, вероятно, имело место в новейшее время, что обусловлено удалением ледниковой нагрузки. Это, в частности, объясняет расчлененность поверхности дна в Южно-Карской впадине, которая до этого была подвержена ледниковой пепленизации [28].

Возраст солей

В настоящее время точно определить возраст соленосных отложений на севере Западной Сибири, Южно-Карской впадине и Енисей-Хатангском бассейне невозможно. Сейсмическая интерпретация показывает, что первичные соленосные слои залегают на больших глубинах (до 10–15 км и более). Соляные диапиры прорывают мощные толщи палеозойских отложений. Это, а также позднеордовикский возраст солей в Тимано-Печорском бассейне дают основание полагать, что и в восточной части рассматриваемого района они могут иметь тот же возраст. Их накопление, вероятно, происходило во впадинах единого раннепалеозойского рифтового бассейна. Последующее раскрытие Уральско-го океана расчленило этот соленосный бассейн на несколько частей, которые впоследствии вошли в состав Тимано-Печорского, Баренцевоморского, Западно-Сибирского и Енисей-Хатангского бассейнов. Одним из примеров подобного геодинамического развития может служить аптский соленосный рифтовый бассейн Южной Атлантики, который в результате спрединга океана был разделен на бразильскую и африканскую ветви [19, 21]. Закрытие Уральского океана в позднем палеозое вновь сблизило эти бассейны.

Таким образом, интерпретация региональных сейсмических данных совместно с дополнительными геолого-геофизическими данными показывает,

что в пределах арктических бассейнов Западной Евразии широко распространены соленосные отложения, вероятно, позднеордовикского возраста. Различия в последующем геодинамическом развитии бассейнов привело к образованию разнообразных морфологических типов соляных структур.

Нефтегазоносность соленосных бассейнов

С соленосными бассейнами связана значительная часть мировых запасов нефти и газа. К числу районов с высокой концентрацией запасов нефти и газа относятся бассейны Персидского залива, континентальных окраин Атлантического океана в Бразилии и Африке, Мексиканского залива, Северного моря, Прикаспийской впадины, Средиземного моря, Аму-Дарьинский, Таримский, Сычуаньский и др. [18–21, 29, 30]. Влияние солей на нефтегазоносность многофакторно. Соль представляет собой наиболее эффективную покрывку для залежей нефти и газа. В частности, в Тимано-Печорском бассейне эвапоритовые отложения кунгурского яруса служат покрывкой уникальной газоконденсатной залежи Вуктыльского месторождения [5]. Кроме этого, деформации солей влияют на структурно-седиментационное развитие вмещающих их бассейнов. Продолжительный рост соляных диапиров в значительной мере определял условия седиментации в районах соляной тектоники. Над соляными поднятиями часто формируются карбонатные банки, рифы, оолитовые отмели, которые представляют собой высокоемкие коллекторы. Деформации солей создавали разнообразные типы ловушек в подсолевых, межсолевых и надсолевых отложениях. Структурные условия залегания солей определяют направления миграционных потоков нефти и газа, что способствует формированию высокопро-

дуктивных зон нефтегазонакопления. Высокая теплопроводность солей влияет на термобарические условия в над- и подсольевых отложениях. Это, в частности, обеспечивает существование нефтяных залежей в подсольевых отложениях на аномально больших глубинах (6 км и более).

Несмотря на высокий нефтегазоносный потенциал соленосных бассейнов, их изучение было сопряжено с большими рисками. Дело в том, что геотехнологии, использованные в прошлые десятилетия, как правило не позволяли получать высокоинформативные данные, характеризующие строение зон соляных деформаций. Это обусловлено сложными поверхностными сейсмогеологическими условиями, крутыми углами залегания дислоцированных отложений, большими различиями интервальных сейсмических скоростей солей и вмещающих пород. Эти обстоятельства долгое время затрудняли проведение нефтегазопромысловых работ.

Развитие технологий сбора и обработки геолого-геофизических данных позволило добиться значительных успехов в изучении соленосных районов. Это, а также накопленный опыт изучения соленосных бассейнов в разных районах мира позволяет минимизировать риски геолого-разведочных работ и прогнозировать значительный прирост запасов в этих районах.

Современные геолого-разведочные технологии позволяют делать крупные открытия в условиях, которые в прошлом представлялись нереальными. Иллюстрацией может служить схематический разрез месторождения Тандер-Хорс, которое относится к числу крупнейших в бассейне Мексиканского залива (рис. 17). Высокопродуктивные залежи этого месторождения залегают под покровом аллохтонных солей грибовидного соляного диапира [28].

Уместно заметить, что разрез, приведенный на рис. 8, показывает крупный соляной аллохтон в Коротайхинской впадине, строение которого имеет черты сходства с данным примером.

Изучение глубинного строения арктических бассейнов Западной Евразии с учетом влияния деформаций солей на развитие нефтегазовых систем позволит по-новому оценить их нефтегазоносный потенциал и приоритезировать поисковые объекты.

Заключение

О существовании палеозойских соляных структур в арктических бассейнах Западной Евразии было известно давно. В Тимано-Печорском бас-

сейне и Енисей-Хатангском прогибе соли были вскрыты скважинами многие десятилетия назад. На п-ове Таймыр они обнаружены при проведении геологического картирования и электроразведочных работ. Признаки наличия соляных структур выявлены по данным сейсморазведки в различных частях рассматриваемого региона. Совокупность этих свидетельств, а также интерпретация новых геолого-геофизических данных позволяют полагать, что эвапоритовые толщи в исследуемом регионе широко распространены, а разнообразные соляные деформации являются важным фактором его строения.

Рассмотрение данных о соляных структурах в региональном контексте дает основание полагать, что формирование соленосных толщ происходило в позднем ордовике в условиях Уральского рифтогенеза. Последующее раскрытие Уральского океана расчленило этот соленосный бассейн на несколько частей, которые впоследствии вошли в состав Тимано-Печорского, Баренцевоморского, Западно-Сибирского и Енисей-Хатангского бассейнов.

Различия геодинамических условий развития этих бассейнов проявились в многообразии наблюдаемых соляных структур. В пределах надвиговых зон северо-востока Тимано-Печорского бассейна соли интенсивно дислоцированы. В условиях коллизии соляные диапиры были раздавлены с образованием выжатых аллохтонных покровов, соляных подушек, компенсирующих дисгармоничность над- и подсольевых деформаций. В Южно-Карской впадине и сухопутных районах севера Западной Сибири соли образуют криптодиапиры. Над ними в юрско-меловых отложениях находятся антиклинальные структуры, содержащие крупные запасы нефти и газа. Формирование этих структур, вероятно, в значительной мере контролируется соляной тектоникой. В Енисей-Хатангском прогибе и в зоне сочленения Новой Земли с Баренцевоморским прогибом преобладает развитие соляных штоков, пронизывающих осадочный чехол и достигающих эрозионную поверхность. Этот тип деформаций, вероятно, обусловлен преобладанием сдвиговых деформаций.

Опыт проведения геолого-разведочных работ в различных соленосных бассейнах мира показывает их высокий нефтегазоносный потенциал. Целе направленное изучение соляных структур может модернизировать представления о структурно-седиментационном развитии арктических бассейнов Западной Евразии и эволюции их нефтегазовых систем.

Литература

1. *О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2022 году: Государственный доклад Министерства природных ресурсов и экологии РФ // Федеральное агентство по недропользованию.* – М., 2023. – 640 с.
2. *Bally A.W., Sawyer D., Sinkewich A. Global Tectonic and Basin Maps Albert // Search and Discovery. Article № 30444.* – 2020. – Режим доступа: https://www.searchanddiscovery.com/documents/2020/30444bally/ndx_bally.pdf (дата обращения 12.01.2023).

3. *Брехунцов А.М., Монастырев Б.В., Нестеров И.И., Скоробогатов В.А.* Нефтегазовая геология Западно-Сибирской Арктики. – Тюмень : МНП Геодата, 2020. – 464 с.
4. *Долгунов К.А., Мартиросян В.Н., Васильева Е.А., Сапожников Б.Г.* Структурно-тектонические особенности строения и перспективы нефтегазоносности северной части Баренцево-Карского региона // Геология нефти и газа. – 2011. – № 6. – С. 70–83.
5. *Устьянцев В.Л., Шумейкин С.А., Леончик К.М., Бяков А.А., Агроскина И. В., Князева Ю. В., Маллак Д. А.* Геологическая изученность и прогноз нефтегазоносности недр шельфа арктических морей Российской Федерации // Нефть. Газ. Новации. – 2023. – Т. 269. – № 4. – С. 6–12.
6. *Шейн В.С.* Геология и нефтегазоносность России. – М. : ВНИГНИ, 2012. – 848 с.
7. *Казанин Г.С., Шипилов Э.В., Прищепка О.М., Казанин А.Г., Шкарубо С.И., Шлыкова В.В.* Шельфовые осадочные бассейны Российской Арктики: геология, геоэкология, минерально-сырьевой потенциал. – СПб. : Реноме, 2020. – 544 с. DOI: 10.25990/DHW6-9X41.
8. *Drachev S.S., Malyshev N.A., Nikishin A.M.* Tectonic history and petroleum geology of the Russian Arctic Shelves: An overview // In: B.A. Vining, S.C. Pickering, eds. Proceedings 7th Petroleum Geology Conference. Publisher Geological Society. – 2010. – pp. 591–619. DOI: 10.1144/0070591.
9. *Martins G.* Tectonostratigraphic evolution of the Novaya Zemlya archipelago, Arctic Russia: Challenges, implications, and potential // Earth-Science Reviews. – 2024. – Т. 255. – 104842. DOI: 10.1016/j.earscirev.2024.104842.
10. *Корнелиук Ю.И., Кочетков Т.П., Емельянцев Т.М.* Нордвик-Хатангский нефтеносный район (краткий очерк геологии и нефтеносности). – Недр Арктики. Ленинград : Изд-во Главсевморпути, 1946. – 73 с.
11. *Грунис Е.Б., Ростовщиков В.Б., Богданов Б.П.* Соли ордовика и их роль в особенностях строения и нефтегазоносности северо-востока Тимано-Печорской провинции // Георесурсы. – 2016. – Т. 18. – № 1. – С. 13–23. DOI: 10.18599/grs.18.1.3.
12. *Афанасенков А.П., Яковлев Д.В.* Применение электроразведки при изучении нефтегазоносности северного обрамления Сибирской платформы // Геология и геофизика. – 2018. – № 7. – С. 1032–1052. DOI: 10.15372/GiG20180708.
13. *Lorenz H., Gee D.G., Korago E., Kovaleva G., McClelland W.C., Gilotti J.A., Frei D.* Detrital zircon geochronology of Palaeozoic Novaya Zemlya — a key to understanding the basement of the Barents Shelf // Terra Nova. – 2013. – Т. 25. – № 6. – С. 496–503. DOI: 10.1111/ter.12064.
14. *Никишин В.А.* Эвапоритовые отложения и соляные диапиры прогиба Урванцева на севере Карского моря // Вестник Московского университета. Сер. Геология. – 2012. – № 4. – С. 54–57.
15. *Малышев Н.А., Никишин В.А., Никишин А.М., Обметко В.В., Клецина Л.Н.* Ордовикский эвапоритовый бассейн Урванцева на севере Карского моря // Доклады Российской академии наук. – 2013. – Т. 448. – № 4. – С. 1–4. DOI: 10.7868/S0869565213040221.
16. *Шипилов Э.В.* Соляная тектоника в окраинно-континентальных эвапоритовых бассейнах Арктики // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. – 2018. – № 15. – С. 401–404. DOI: 10.31241/FNS.2018.15.101.
17. *Соборнов К.О.* Строение соляных диапиров Западно-Сибирского бассейна и Енисей-Хатангского прогиба по сейсмическим данным // Геотектоника. – 2024. – № 5. – С. 69–94. DOI: 10.31857/S0016853X24050044.
18. *Соборнов К.О.* Региональная структура, диапиризм солей и нефтегазоносный потенциал акваториальной части Тимано-Печорского бассейна // Научный журнал Российского газового общества. – 2023. – Т. 37. – № 1. – С. 16–29. DOI 10.55557/2412-6497-2023-1-16-29.
19. *Jackson M.P.A., Hudec M.R.* Salt tectonics: principles and practice. – Cambridge University Press, 2017. – 498 с. DOI: 10.1017/9781139003988.
20. *Stewart S.A.* Hormuz salt distribution and influence on structural style in NE Saudi Arabia // Petroleum Geoscience. – 2018. – Т. 24. – № 2. – С. 143–158. DOI: 10.1144/petgeo2017-011.
21. *Беленицкая Г.А.* Соли Земли: тектонические, кинематические и магматические аспекты геологической истории. М. : ГЕОС, 2020. – 605 с.
22. *Соборнов К.О.* Соленосные складчато-надвиговые пояса Северной и Центральной Евразии: строение и нефтегазоносность // Геология нефти и газа. – 2024. – № 5. – С. 45–66. DOI: 10.47148/0016-7894-2024-5-45-66.
23. *Гололобов Ю.Н., Дружинина Е.А., Супруненко О.И.* Конседементационные неоднородности в осадочном чехле прибрежного шельфа Карского моря (по данным региональных сейсмо-, горава- и магниторазведочных работ) // Геофизика. – 2019. – № 3. – С. 2–9.
24. *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.
25. *Соколов С.Ю., Мороз Е.А., Сухих Е.А., Разумовский А.А., Левченко О.В.* Проявления глубинной дегазации в водной толще и верхней части разреза Печорского моря // Георесурсы. – 2019. – Т. 21. – № 4. – С. 68–76. DOI: 10.18599/grs.2019.4.68-76.
26. *Semb P.H.* Possible seismic hydrocarbon indicators in offshore Cyprus and Lebanon // GeoArabia. – 2009. – Т. 14. – № 2. – С. 49–66. DOI: 10.2113/geoarabia140249.
27. *Morley C.K.* 3-D seismic imaging of the plumbing system of the Kora Volcano, Taranaki Basin, New Zealand: The influence of syn-rift structure on shallow igneous intrusion architecture // Geosphere. – 2018. – Т. 14. – № 6. – С. 2533–2584. DOI: 10.1130/GES01645.1.
28. *Астахов В.И.* Четвертичная гляциотектоника Урало-Сибирского севера // Геология и геофизика. – 2019. – Т. 60. – № 12. – С. 1692–1708. DOI: 10.15372/GiG2019136.

29. Weimer P., Matt V., Bouroullec R., Adson J., Lapinski T.G., van den Berg A.A., Roesink J.G. Three-dimensional petroleum systems modeling of the Mensa and Thunder Horse intraslope basins, northern deep-water Gulf of Mexico: A case study // AAPG Bull. – 2017. – Т. 101. – № 7. – С. 1173–1201. DOI: 10.1306/09011608153.
30. Sternbach C.A. Super basin thinking: methods to explore and revitalize the world's greatest petroleum basins // AAPG Bulletin. – 2020. – Т. 104. – № 12. – С. 2463–2506. DOI: 10.1306/09152020073.

References

1. *O sostoyanii i ispol'zovanii mineral'no-syr'evykh resursov Rossiiskoi Federatsii v 2022 godu: Gosudarstvennyi doklad Ministerstvo prirodnnykh resursov i ekologii RF* [On the state and use of mineral resources of the Russian Federation in 2022: State report of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation]. Federal'noe agentstvo po nedropol'zovaniyu. Moscow, 2023. 640 p.
2. Bally A.W., Sawyer D., Sinkewich A. Global Tectonic and Basin Maps Albert. *Search and Discovery*. Article № 30444. 2020. Available at: https://www.searchanddiscovery.com/documents/2020/30444bally/ndx_bally.pdf (accessed on 12.01.2023).
3. Brekhuntsov A.M., Monastirev B.V., Nesterov I.I. Skorobogatov V.A. Neftgazovaya geologiya Zapadno-Sibirskoi Arktiki [Oil and Gas Geology of the West Siberian Arctic]. Tyumen': MNP Geodata, 2020. 464 p.
4. Dolgunov K.A., Martirosyan V.N., Vasilieva E.A., Sapozhnikov B.G. Structural and tectonic peculiarities of structure and prospects of oil and gas potential of the northern part of Barents-Kara region. *Oil and gas geology*. 2011;(6):70–83.
5. Ust'yantsev V.L., Shumeikin S.A., Leonchik K.M., Byakov A.A., Agroskina I. V., Knyazeva Yu. V., Mallak D. A. Geologicheskaya izuchennost' i prognoz neftegazonosnosti nedr shel'fa arkticheskikh morei Rossiiskoi Federatsii [Geological exploration and forecast of oil and gas potential of the subsoil of the Arctic seas shelf of the Russian Federation]. *Neft'. Gaz. Novatsii*. 2023;269(4):6–12.
6. Shein V.S. Geology and petroleum potential of Russia [Geologiya i neftegazonosnost' Rossii]. Moscow: Izd-vo VNIGNI; 2012. 848 p.
7. Kazanin G.S., Shipilov E.V., Prishchepa O.M., Kazanin A.G., Shkarubo S.I., Shlykova V.V. Shel'fovye osadochnye basseiny Rossiiskoi Arktiki: geologiya, geoekologiya, mineral'no-syr'evoi potentsial [Sedimentary shelf basins of Russian Arctic: geology, geoecology, and mineral resource potential]. Saint Petersburg: Renome; 2020. 544 p. DOI: 10.25990/DHW6-9X41. In Russ.
8. Drachev S.S., Malyshev N.A., Nikishin A.M. Tectonic history and petroleum geology of the Russian Arctic Shelves: An overview. *Petroleum In: B.A. Vining, S.C Pickering, eds. Proceedings 7th Petroleum Geology Conference. Publisher Geological Society*. 2010. P. 591-619. DOI: 10.1144/0070591.
9. Martins G. Tectonostratigraphic evolution of the Novaya Zemlya archipelago, Arctic Russia: Challenges, implications, and potential. *Earth-Science Reviews*. 2024;255. 104842. DOI: 10.1016/j.earscirev.2024.104842.
10. 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.
12. Afanasenkov A.P., Yakovlev D.V. Application of electrical prospecting methods to petroleum exploration on the northern margin of the Siberian Platform. *Russian Geology and Geophysics*. 2018;(7):1032–1052. DOI: 10.1016/j.rgg.2018.07.008.
11. Grunis E.B., Rostovshchikov V.B., Bogdanov B.P. Ordovician Salts and Their Role in the Structure and Oil and Gas Potential of the Northeast of the Timan-pechora Province. *Georesources*. 2016;18(1):13–23.
13. Lorenz H., Gee D.G., Korago E., Kovaleva G., McClelland W.C., Gilotti J.A., Frei D. Detrital zircon geochronology of Palaeozoic Novaya Zemlya — a key to understanding the basement of the Barents Shelf. *Terra Nova*. 2013;25(6):496–503. DOI: 10.1111/ter.12064.
14. Nikishin V.A. Evaporate deposits and salt diapirs of the Urvantsev trough on the north Kara sea. *Moscow university geology bulletin*. 2012;(4):54–57. DOI: 10.3103/S0145875212040084.
15. Malyshev N.A., Nikishin V.A., Nikishin A.M., Obmetko V.V., Kleshchina L.N. The ordovician Urvantsev evaporite basin in the northern part of the Kara sea. *Doklady earth sciences*. 2013;448(4):1–4. DOI: DOI: 10.1134/S1028334X13020062.
16. Shipilov E.V. Solyanaya tektonika v okrainno-kontinental'nykh evaporitovykh basseynakh Arktiki [Salt tectonics in continental margin evaporite basins of the Arctic]. Trudy Fersmanovskoi nauchnoi sessii GI KNTs RAN. 2018;(15):401–404. DOI: 10.31241/FNS.2018.15.101.
17. Sobornov K.O. Structure of salt diapirs in the Western Siberian basin and Yenisei-Khatanga trough based on seismic data. *Geotectonics*. 2024;(5):69–94. DOI: 10.31857/S0016853X24050044.
18. Sobornov K.O. Regional structure, salt diapirism and petroleum potential of the offshore part of the Timan-Pechora basin. *Scientific journal of the Russian gas society*. 2023;37(1):16–29. DOI 10.55557/2412-6497-2023-1-16-29. In Russ.
19. Jackson M.P.A., Hudec M.R. Salt tectonics: principles and practice. Cambridge University Press; 2017. 498 p. DOI: 10.1017/9781139003988.
20. Stewart S.A. Hormuz salt distribution and influence on structural style in NE Saudi Arabia. *Petroleum Geoscience*. 2018;24(2):143–158. DOI: 10.1144/petgeo2017-011.
21. Belenitskaya G.A. Soli Zemli: tektonicheskie, kinematicheskie i magmaticheskie aspekty geologicheskoi istorii. Moscow: GEOS, 2020. 605 p.
22. Sobornov K.O. Salt-bearing fold-and-thrust belts of Northern and Central Eurasia: structure and petroleum potential. *Geologiya nef'ti i gaza*. 2024;(5):45–66. DOI: 10.47148/0016-7894-2024-5-45-66. In Russ.
23. Gololobov Yu.N., Druzhinina E.A., Suprunenko O.I. Sin-sedimentary irregularities of the sedimentary cover in the south most Kara sea offshore (on the basis of recent multidisciplinary regional seismic, gravity and magnetic surveys). *Geofizika*. 2019;(3):2–9.

24. Baldin V.A., Munasypov 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.
25. Sokolov S.Yu., Moroz E.A., Sukhikh E.A., Razumovskii A.A., Levchenko O.V. Manifestations of deep degassing into the water column and upper part of the Pechora sea sedimentary section. *Georesources*. 2019;21(4):68–76. DOI: 10.18599/grs.2019.4.68-76.
26. Semb P.H. Possible seismic hydrocarbon indicators in offshore Cyprus and Lebanon. *GeoArabia*. 2009;14(2):49–66. DOI: 10.2113/geoarabia140249.
27. Morley C.K. 3-D seismic imaging of the plumbing system of the Kora Volcano, Taranaki Basin, New Zealand: The influence of syn-rift structure on shallow igneous intrusion architecture. *Geosphere*. 2018;14(6):2533–2584. DOI: 10.1130/GES01645.1
28. Astakhov V.I. Quaternary glaciotectonics of the Ural-Siberian north. *Russian Geology and Geophysics*. 2019;60(12):1353–1367. DOI: 10.15372/RGG2019136.
29. Weimer P., Matt V., Bouroullec R., Adson J., Lapinski T.G., van den Berg AA., Roesink J.G. Three-dimensional petroleum systems modeling of the Mensa and Thunder Horse intraslope basins, northern deep-water Gulf of Mexico: A case study. *AAPG Bull.* 2017;101(7):1173–1201. DOI: 10.1306/09011608153.
30. Sternbach C.A. Super basin thinking: methods to explore and revitalize the world's greatest petroleum basins. *AAPG Bulletin*. 2020;104(12):2463–2506. DOI: 10.1306/09152020073.

Информация об авторе

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 author

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