

Ресурсный потенциал гряды Чернышева (Тимано-Печорский бассейн) в контексте новых данных о строении и продуктивности соленосных надвиговых поясов

К.О. Соборнов

ООО «Северо-Уральская нефтегазовая компания», Москва, Россия
e-mail: ksobornov@yandex.ru

К числу наиболее продуктивных нефтегазоносных районов мира относятся соленосные надвиговые пояса, включая складчатые фланги бассейна Персидского залива, Таримского бассейна (Китай), Терско-Сунженскую зону Восточного Предкавказья и ряд других. Их отличает своеобразие структурных стилей деформаций, крупные размеры залежей, высокие дебиты скважин. К перспективным соленосным надвиговым зонам принадлежит гряда Чернышева, расположенная в предуральской части Тимано-Печорского бассейна. В пределах этого района было пробурено несколько скважин, которые не дали ожидаемых открытий. Анализ результатов работ показал, что основной причиной прошлых неудач являлось несоответствие сложности геологических задач использованным методам исследований. Комплексное изучение района с применением современных геотехнологий, включая сейсморазведку 3D и магнитотеллурическое зондирование, выполненные ООО «Северо-Уральская нефтегазовая компания», позволило существенно изменить представления о строении и нефтегазоносности этого района. Эти работы показали, что высоким нефтегазоносным потенциалом характеризуется зона надвигового сочленения гряды Чернышева и Косью-Роговской впадины. Приоритетный интерес в ее пределах представляет Поварницкое поднятие. Помимо освоения нефтегазовых ресурсов в этом районе возможно развитие сопутствующих производств, связанных с извлечением редкоземельных элементов и металлов из высокоминерализованных вод. Подсолевые резервуары гряды Чернышева могут быть использованы для хранения газа и захоронения CO₂. Комплексное освоение природных ресурсов района Поварницкого поднятия может стать основным драйвером экономического развития северо-восточных районов Республики Коми.

Ключевые слова: соленосные надвиговые пояса, нефть, газ, литий, супербассейн, гряда Чернышева, соляной диапир, поднадвиговая ловушка, сейсморазведка 3D

Для цитирования: Соборнов К.О. (2022). Ресурсный потенциал гряды Чернышева (Тимано-Печорский бассейн) в контексте новых данных о строении и продуктивности соленосных надвиговых поясов. *Георесурсы*, 24(1), с. 36–50. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2022.1.4>

Введение

Добыча нефти и газа в России сталкивается с дефицитом рентабельных запасов нефти. Признаком этого дефицита является то, что только 7 % текущей добычи нефти обеспечивается новыми месторождениями, введенными в разработку не более 5 лет назад (Филимонова и др., 2021). В этих условиях следует ожидать рост запроса на новые запасы нефти, которые могут быть введены в разработку в ближайшие годы. Подобная ситуация складывается не только в России. Происходящая перестройка мировой энергетики повсеместно меняет приоритеты в области геологоразведки. В сложившихся условиях глобальной тенденцией является сосредоточение усилий по приросту запасов нефти и газа в наиболее продуктивных бассейнах. Возросшая важность этих бассейнов явилась причиной использования для их обозначения термина супербассейны (Sternbach, 2020; и др.). Одним из основных признаков отнесения к этой категории является величина накопленной добычи свыше 5 млрд баррелей в нефтяном эквиваленте. Этим критериям отвечают

крупнейшие нефтегазоносные бассейны России, включая Тимано-Печорский.

Помимо повышения нефтеотдачи на старых месторождениях, важным источником прироста запасов в супербассейнах являются новые открытия. Они связаны с выявлением новых поисковых объектов в этих бассейнах. Это стало возможным за счет использования потенциала новых технологий и знаний, что позволяет выявлять «пропущенные» залежи и зоны нефтегазонакопления. Большинство таких возможностей выявляется в зонах сложного геологического строения, которые в прошлом исследовались с применением технических средств и геологических концепций, не отвечающих сложности геологических задач.

В этой связи значительный интерес представляют дислоцированные зоны супербассейнов, в которых распространены соли. Многочисленные месторождения нефти и газа известны в бассейнах Персидского и Мексиканского заливов, Таримского бассейна в Китае, континентальных окраин Атлантического океана в Бразилии, Анголе, Габоне и других районах (Biteau et al., 2014; Duffy et al., 2018; Беленицкая, 2020; и др.). Уникальная продуктивность бассейна Персидского залива может быть в значительной степени обусловлена наличием в его пределах двух

уровней развития солей – солей Ормуз позднедокембрийского возраста и миоценовых солей Фарс (Kendall et al., 2019; и др.). В России ярким походящим примером может служить уникальное месторождение Вуктыл, залежь которого экранирована кунгурскими эвапоритами.

Роль солей в этих районах разнообразна. Они проявляют себя на разных стадиях развития бассейнов и образуют широкий спектр структурных форм. На ранних этапах эволюции соленосных бассейнов диапиризм и преимущественно гравитационные деформации солей влияют на седиментационную зональность. На коллизионной стадии соли часто выступают в роли поверхностей расслоения осадочного чехла. Возникающие при этом пластовые срывы (детачменты) способствуют распространению складчатости на большие расстояния от зон коллизии. Пластичность солей способствует формированию дисгармоничной складчатости, при которой над- и подсолевые отложения дислоцированы по различным структурным планам. Несоответствие этих планов обеспечивается вариациями толщин солей. При выдавливании солей образуются выжатые соляные покровы (глетчеры). Обладая минимальной проницаемостью, соль выступает в качестве региональной покрывки, которая фокусирует миграционные потоки нефти и газа. В зонах развития диапиров и выжатых покровов соль служит покрывкой для залежей нефти и газа. Совокупность свойств солей обуславливают специфические особенности строения и нефтегазоносности связанных с ними складчатых поясов.

Наличие высокоэффективных соляных покрывок обеспечивает возможность образования залежей нефти и газа большой высоты. Это позволяет получать высокие дебиты нефти и газа из таких залежей, которые могут достигать 10 тыс. тонн в сутки и более (Morton, 2015; и др.). Высокие эксплуатационные характеристики этих залежей обеспечивают высокую рентабельность их разработки. Такие месторождения имеют низкий углеродный след за счет сокращения количества необходимых скважин и уменьшения затрат на обустройство промыслов. Выработанные подсолевые резервуары успешно используются для захоронения углекислого газа (Dusseault et al., 2004; и др.). Это является важным элементом построения экологически чистой энергетики. Пластовые воды соленосных бассейнов часто богаты редкоземельными элементами и металлами, в том числе литием. Они могут представлять самостоятельную ценность для разработки (Беленицкая, 2020; Бандалетова и др., 2021; и др.). В под- и межсоляных резервуарах находятся наиболее надежные газовые хранилища.

Широкое распространение сложных структурных форм и неоднородность соляных тел в поясах традиционно создавали значительные сложности для их изучения. Большие углы падения дислоцированных слоев и резкие вариации скоростей препятствовали получению надежных сейсмических данных. В результате точность геологических построений была низка, из-за чего часто бурились сухие скважины. Значительный прогресс в области сбора и обработки сейсмических данных, а также комплексирование с несейсмическими методами (Пальшин и др., 2021; и др.) в последние годы изменили эту ситуацию. Появились возможности точнее визуализировать строение зон соляных деформаций. В результате в этих районах

были сделаны новые крупные открытия (Sternbach, 2020; и др.). Есть все основания полагать, что их будет больше.

Существенный прирост знаний в области изучения соленосных надвиговых поясов позволяет по-новому подойти к интерпретации геологического строения и оценке нефтегазоносного потенциала слабоизученных районов сходного строения. К их числу относится гряда Чернышева, расположенная в предуральской части Тимано-Печорского супербассейна. В статье кратко рассмотрены некоторые особенности строения и нефтегазоносности соленосных надвиговых поясов. Понимание этих особенностей позволяет уменьшить неопределенность геологической интерпретации гряды Чернышева. Кроме этого рассмотрены новые результаты исследований, которые дают основание рассчитывать на возможность открытия новой зоны нефтегазоаккумуляции на гряде Чернышева.

Примеры строения и нефтегазоносности соленосных надвиговых поясов

Ярким примером складчатого пояса, строение которого во многом определяется солями, является Терско-Сунженская зона Восточного Предкавказья. Ее строение иллюстрируется интерпретированным региональным сейсмическим профилем и геологическим разрезом, показанными на рисунке 1. В этой зоне распространены соли титонского яруса верхней юры. Интерпретация региональных сейсмических данных в совокупности с материалами бурения свидетельствует о том, что соли рассматриваемого района явились поверхностью расслоения осадочного чехла. На это указывает несоответствие структурных планов над- и подсолевых отложений. Скольжение надсолевого разреза по эвапоритам способствовало распространению складчатых деформаций далеко на север от антиклинория Большого Кавказа, что привело к образованию Терского и Сунженского хребтов, отделенных от Кавказа слабодислоцированными Чеченской и Осетинской впадинами.

Выжимание солей в ядрах этих антиклинальных зон способствовало образованию высокоамплитудных складок в надсолевых мел-эоценовых отложениях. В них заключены крупные месторождения нефти – Старогрозненское, Октябрьское, Заманкульское, Брагунское и другие. Есть основание рассчитывать на возможность нахождения залежей нефти и газа в подсолевых отложениях Черногорской моноклинали во внутренней части складчатой зоны, а также в меж- и подсолевых отложениях во внешней его части.

Другой яркий пример нефтегазоносного складчатого пояса, строение которого во многом определяется солями, представлен зоной сочленения Таримского бассейна и горной системой Тянь-Шань. Контрастный рельеф и засушливость этого района позволяют хорошо видеть особенности его строения на спутниковых снимках (рис. 2).

Как можно видеть, между предгорьями Тянь-Шаня и антиклинальной зоной Куалитаг расположена обширная впадина Байченг. Ширина этой относительно слабодислоцированной синклинали составляет около 30 км. На рисунке 3 показаны интерпретированный региональный субмеридиональный сейсмический профиль и геологический разрез.

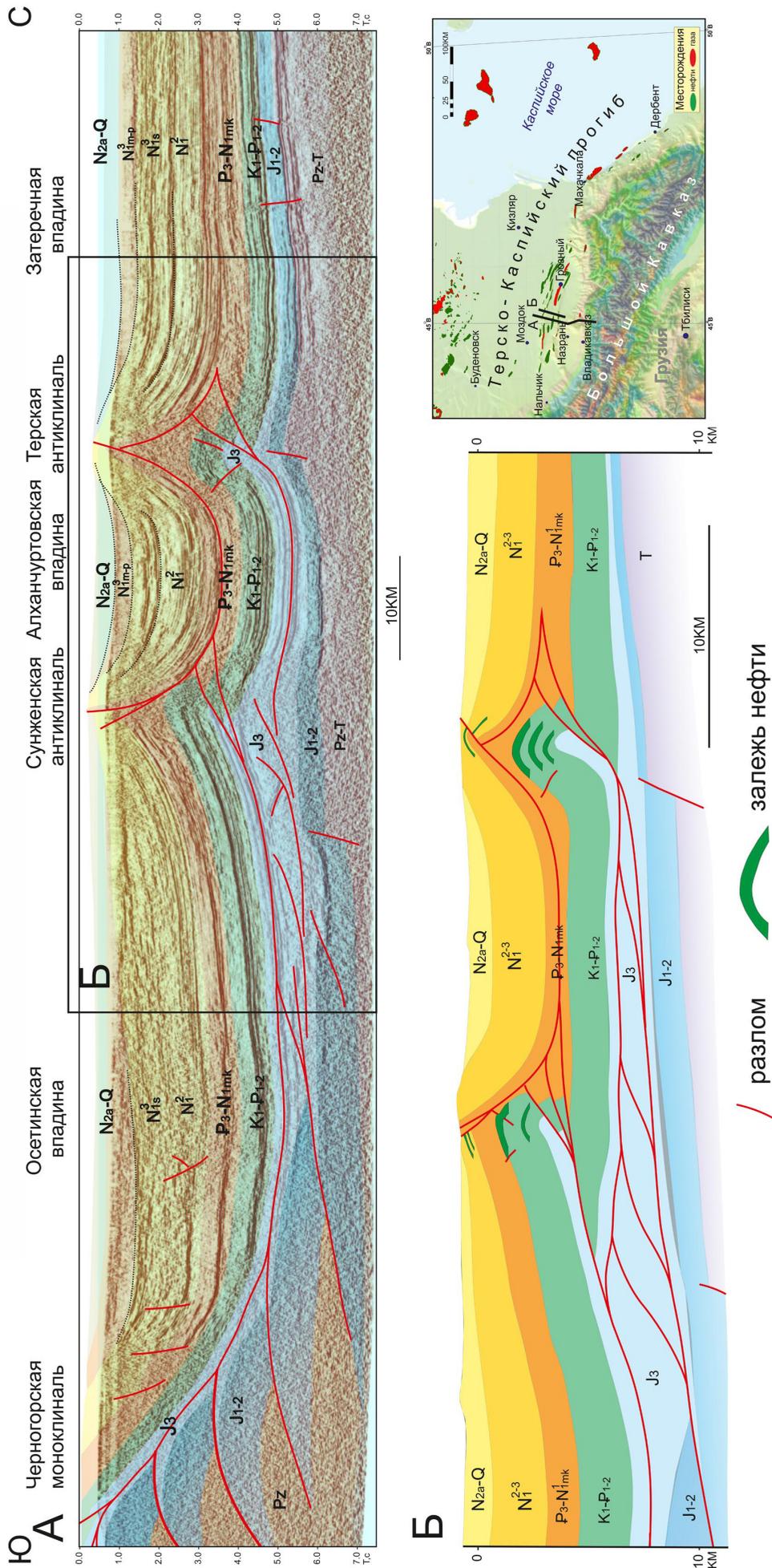


Рис. 1. Интерпретированный региональный разрез Терско-Сунженского сегмента складчато-надвигового пояса южного борта Терско-Каспийского прогиба (Соборнов, 2019).
 Б – Геологический профиль Терской и Сунженской антиклинальных зон. Профиль примерно соответствует части сейсмического профиля, ограниченному рамкой. Показано размещение ос-
 новных залежей нефти. Расчленение осадочного выполнения бассейна происходит по титонским слоям. Положение разрывов с.м. на карте-врезке.



Рис. 2. Спутниковое изображение северного борта Таримского бассейна и горной системы Тянь-Шань. Показаны основные элементы строения складчатого пояса – антиклинальная зона Куалитаг, впадина Байченг, складчатый пояс Кука (earth.google.com).

Антиклинальная зона Куалитаг, расположенная на значительном удалении от зоны передовой складчатости предгорий Тянь-Шаня, представляет собой аналог Терской и Сунженской антиклинальных зон. Расслоение осадочного чехла в этом районе происходило по эоценовыми солями.

Рассматриваемый складчатый пояс на севере Таримского бассейна является одним из центров геологоразведочных работ на нефть и газ в Китае. Здесь, начиная с 2008 г., сделан целый ряд крупных открытий газовых месторождений. В настоящее время газовые ресурсы подсолевых залежей этого района оценивается в 2 трлн м³ (Neng et al., 2021). Основная часть газовых залежей приурочена к подсолевым отложениям мелового возраста складчатого пояса Кука. Глубина их залегания достигает 7 и более км. Примечательно, что из-за дисгармоничного характера складчатости, обусловленного расслоением чехла вдоль эоценовых солей, продуктивные подсолевые складки не отражены в надсолевых отложениях, что препятствовало их обнаружению в прошлом. Залежи в подсолевых отложениях этого района могут рассматриваться как аналоги предполагаемым скоплениям нефти и газа в аналогичных структурных условиях Черногорской моноклинали Восточного Предкавказья (рис. 1).

На удалении от основной группы месторождений находится крупное газовое месторождение Джонки, заключенное в пределах антиклинальной зоны Куалитаг. Это месторождение приурочено к передовой надвиговой структуре южной вергенции, которую перекрывает встречный надвиг в надсолевых отложениях. Совокупность

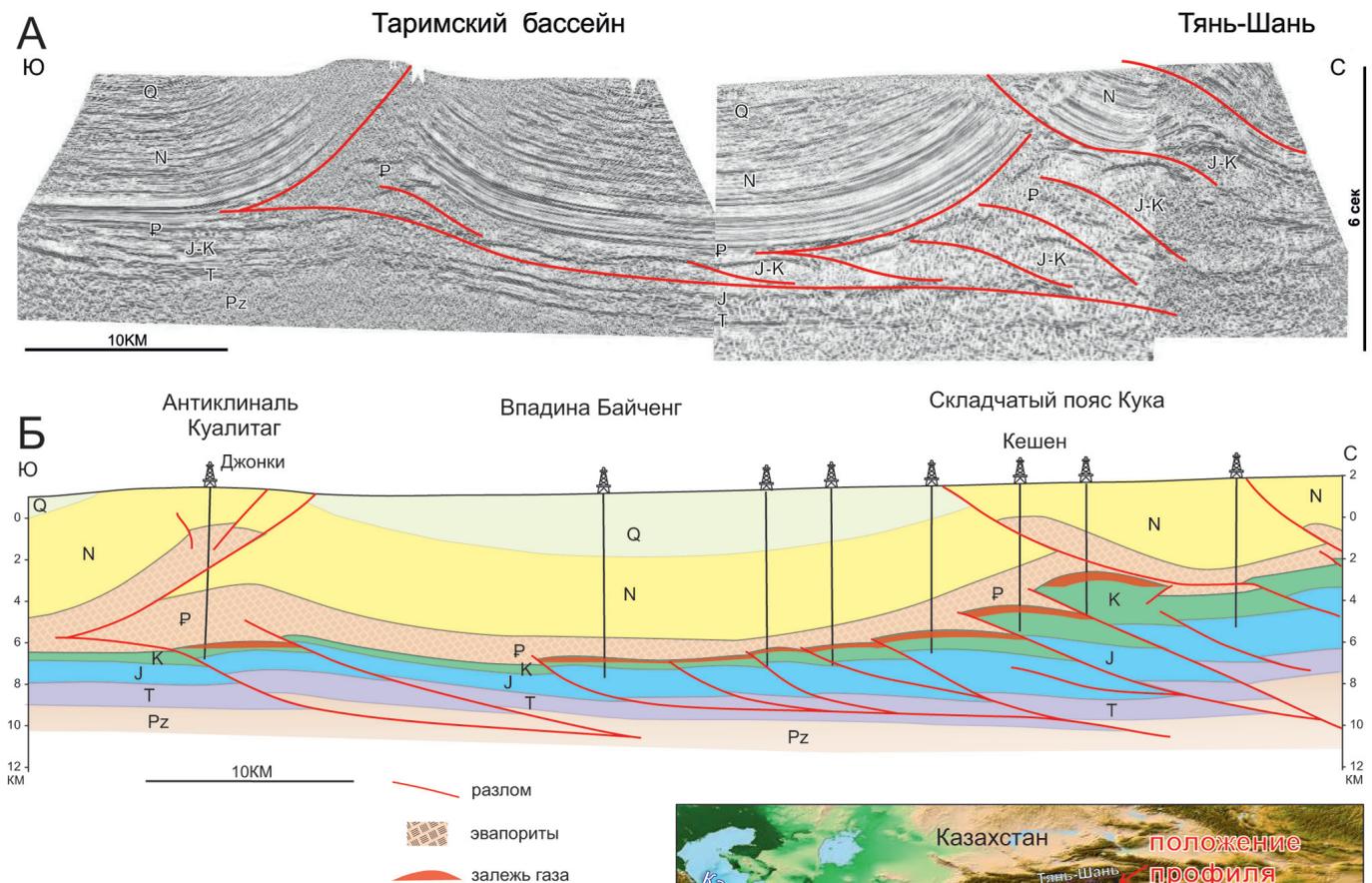


Рис. 3. А – интерпретированный региональный композитный разрез зоны сочленения Таримского бассейна и Тянь-Шаня (Callot et al., 2013 с дополнениями). Б – Геологический разрез субпараллельный сейсмическому разрезу, показывающий размещение залежей газа (Li et al., 2021 с дополнениями). Положение разрезов см. на карте-врезке (Callot et al., 2013 с дополнениями).

встречных разломов образует характерную структуру клиновидного вдвига, расщепляющего осадочный чехол на уровне эоценовых солей.

Приведенные примеры показывают разнообразие структурных стилей деформаций осадочного чехла соленосных надвиговых поясов. Как можно видеть на этих примерах, способность солей транслировать деформации на большое расстояние приводит к формированию контрастных структур в удаленных фронтальных зонах этих поясов. В Восточном Предкавказье это Терская и Сунженская антиклинальные зоны (рис. 1), в Таримском бассейне это антиклинальная зона Куалитаг (рис. 2, 3).

В обоих случаях передовые антиклинальные зоны приурочены к внешней периферии области распространения солей. Формирование соляных диапиров в этих зонах началось до основной складчатости за счет перетока соли по восстанию слоев из приосевых частей прогибов. Это способствовало формированию ловушек до наступления основной фазы миграции нефти и газа, связанной с последующим быстрым погружением предгорных прогибов. В рассмотренных примерах, а также в ряде других районов, в этих зонах концентрируются крупные залежи нефти и газа. Это дает основание с особым вниманием относиться к поисковым объектам, расположенным в сходных структурных условиях.

Соленосный надвиговой пояс

Приполярного Урала: строение и развитие

Основываясь на современных представлениях о строении соленосных надвиговых поясов, можно предположить, что значительным нефтегазоносным потенциалом могут обладать складчатые зоны Приполярного Урала. Особый интерес представляет район гряды Чернышева, расположенной в пределах восточной части Тимано-Печорского супербассейна (рис. 4). Эта структурная зона была выделена в результате работ экспедиции под руководством Ф.Н. Чернышева в 1880-х гг. (Наливкин, 1948). Наиболее полный обзор проведенных в этом районе последующих исследований, посвященных развитию взглядов на его строение и формирование, приведен в работе В.Н. Данилова (Данилов, 2017).

В плане гряда Чернышева образует дугообразную, выпуклую на запад складчатую зону, простирающуюся с юго-запада на северо-восток. Ее протяженность составляет около 320 км при ширине от 15 до 40 км. В ее пределах на поверхности обнажаются дислоцированные верхнеордовикско-пермские отложения (Тимонин, 1975). Гряда Чернышева граничит на востоке с обширной, изометричной Косью-Роговской впадиной Предуралья. Западнее гряды Чернышева располагается Хорейверская депрессия, которая

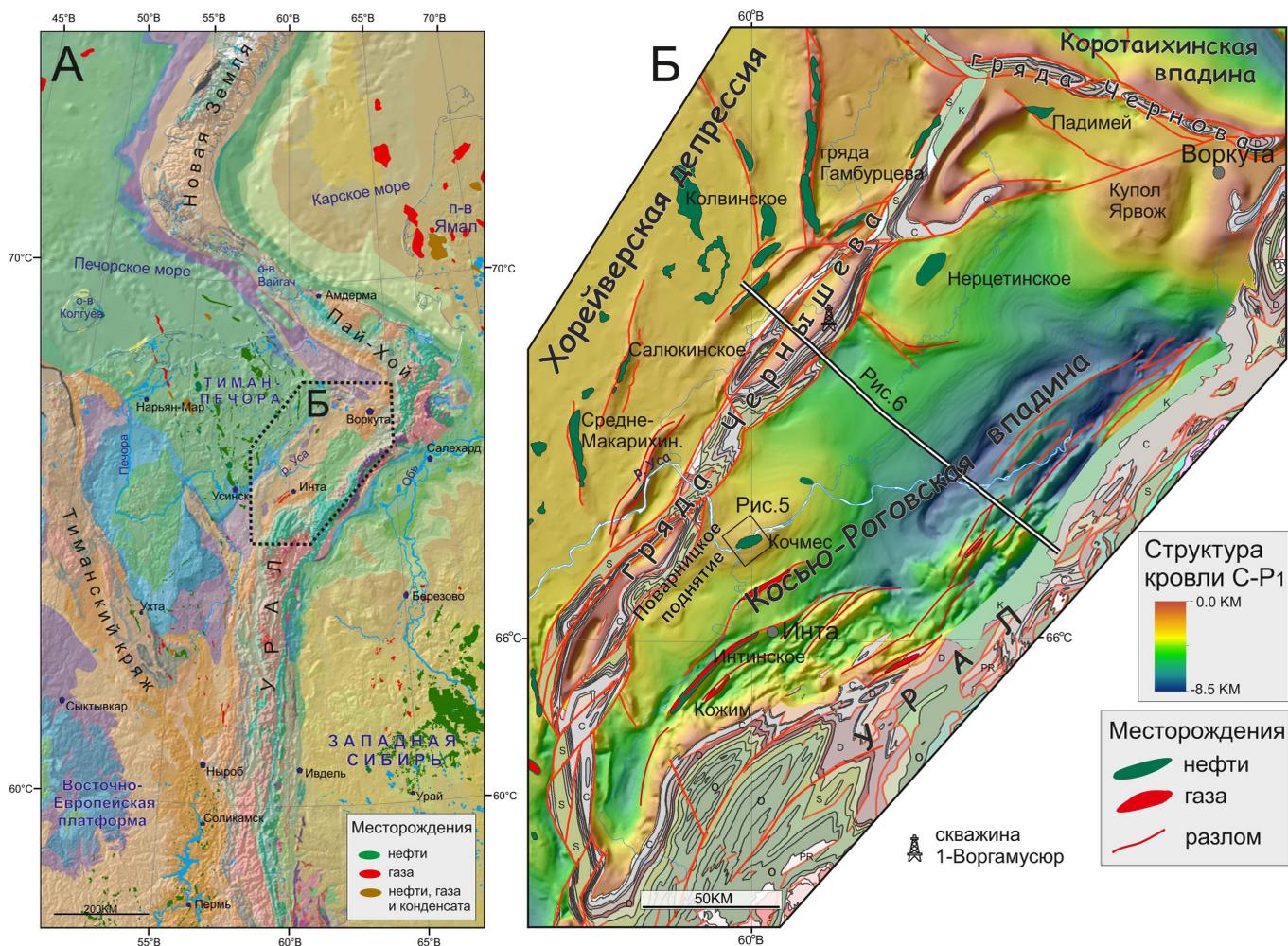


Рис. 4. А – Геологическая карта Североуральско-Новоземельского региона и прилегающих бассейнов, наложенная на рельеф. Показано положение месторождений углеводородов. Полигон, выделенный пунктиром, обозначает район, показанный на карте Б. Б – Структурная карта Косью-Роговской впадины, гряды Чернышева и прилегающих районов по поверхности карбонатно-нижнепермских карбонатов с указанием размещения месторождений нефти и газа.

относится к платформенной части Тимано-Печорского супербассейна.

Соли никогда не были обнаружены на поверхности гряды Чернышева и передовых складчатых зон Приполярного Урала. Это связано с низкой обнаженностью этого района и его переувлажненностью, что способствовало растворению солей. Первые сведения о наличии солей в прилегающей части Косью-Роговской впадины были получены в 1970-х гг., при бурении на куполе Кочмес. Скважина 3-Кочмес вскрыла соли и ангидриты верхнеордовикского возраста. После вскрытия сульфатно-соляной пачки на глубине 5629 м в этой скважине был получен мощный (до 1 млн м³/сут.), но непродолжительный приток газа (Грунис и др., 2016; и др.). Этот приток дал основание рассчитывать на наличие подсолевой залежи газа. Для проверки этого предположения были пробурены дополнительные глубокие скважины, которые оказались сухими. Как показало дальнейшее исследование, приток газа был связан с межсолевой линзой карбонатных пород.

Данные сейсморазведки 3D показывают, что Кочмесский купол сформирован за счет образования в его ядре соляной подушки, толщина которой достигает 1 км (рис. 5). Перекрывающие отложения разбиты системой радиальных разломов, что свойственно соляным куполам. В подсолевых отложениях замкнутых антиклинальных структур не выделяется.

В последующие годы соли верхнего ордовика были вскрыты скважинами на куполе Ярвож на севере впадины, в Восточно-Лемвинской зоне в предгорьях Приполярного Урала, а также на гряде Чернышева (Грунис и др., 2016; Данилов, 2017; и др.). Сейсмические данные показали,

что верхнеордовикские соли имеют широкое площадное распространение в Косью-Роговской впадине.

Роль солей в рассматриваемой части до настоящего времени не имеет общепризнанного понимания. Вместе с тем, появляется все больше свидетельств того, что она более значительна, чем было принято думать ранее. Во-первых, диапиризм солей начался задолго до наступления коллизионной складчатости на Урале, что оказывало существенное влияние на условия осадконакопления. На это указывают изменения толщин и фациального состава силурийско-каменноугольных отложений в зонах развития дислоцированных соляных структур (Соборнов и др., 2021). Во вторых, соли во многом определили структурный стиль деформаций Северного Предуралья в целом и гряды Чернышева в частности. Это видно из того, что в зонах развития соляных структур сосредоточена значительная часть деформаций осадочного чехла.

Представления о строении рассматриваемого района отражают региональный геологический разрез, показанный на рисунке 6. Эта интерпретация основывается на совокупности геолого-геофизических данных, наиболее информативными из которых являются материалы сейсморазведки. Основные неопределенности структурных построений связаны с глубинной структурой складчатонадвиговых зон.

Предложенная интерпретация исходит из того, что разрез этого сегмента предуральского бассейна расслоен вдоль верхнеордовикских эвапоритов. За счет эффективного скольжения по солям, сжатие от зоны коллизии на Урале транслировалось в район гряды Чернышева. Эта гипотеза была высказана В.В. Юдиным в 1985 г. (Юдин, 1985).

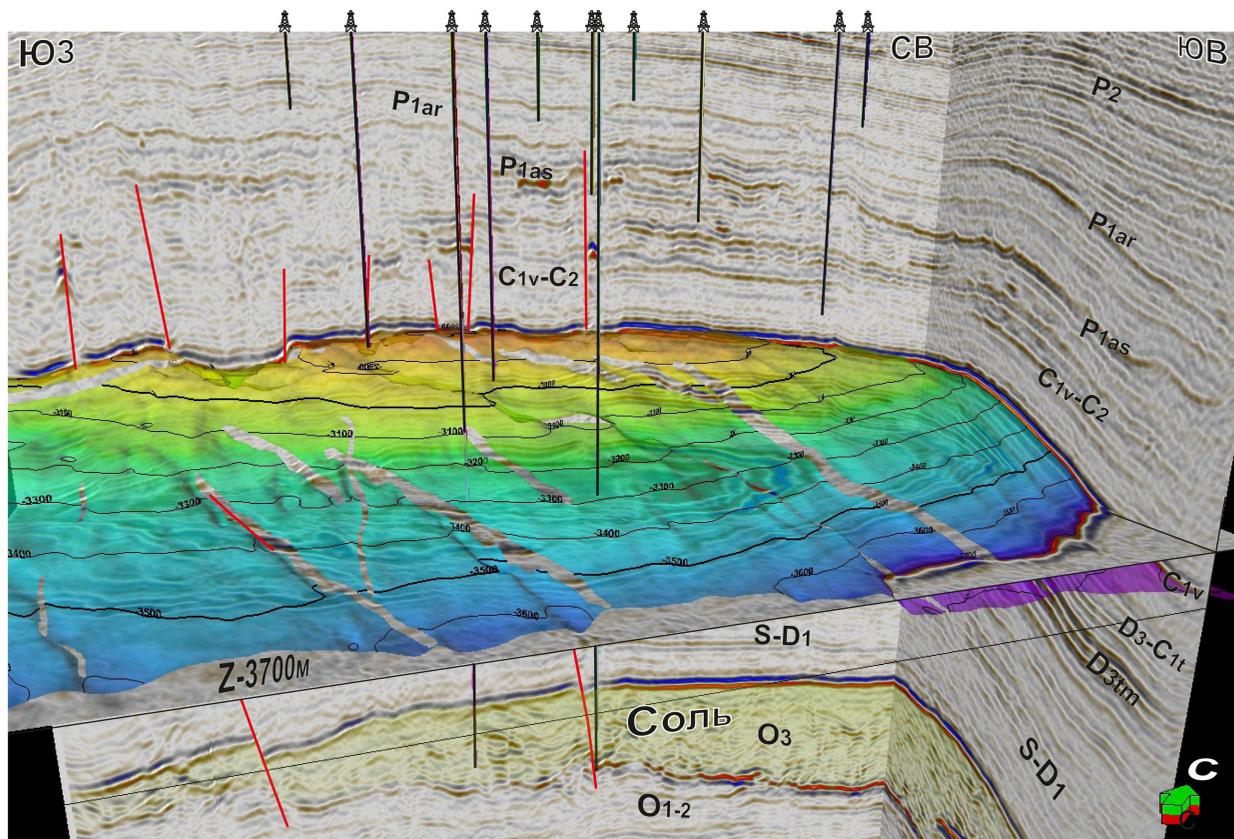


Рис. 5. Строение купола Кочмес по данным сейсморазведки 3D и бурения. Показано положение глубинной структурной поверхности визейского несогласия (по данным ГПБ-Ресурс). В ядре купола выделяется подушка, образованная верхнеордовикскими солями. Положение района съемки 3D на куполе Кочмес см. на рис. 4.

горда Чернышева Косью-Роговская впадина ПРИПОЛЯРНЫЙ УРАЛ

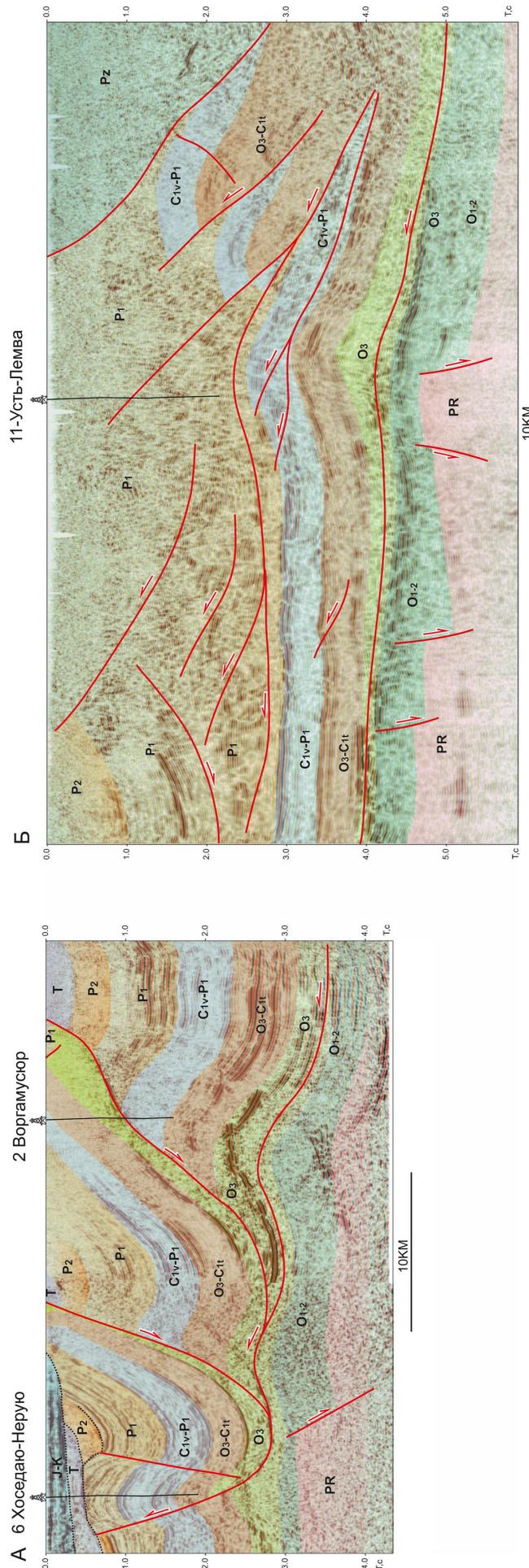
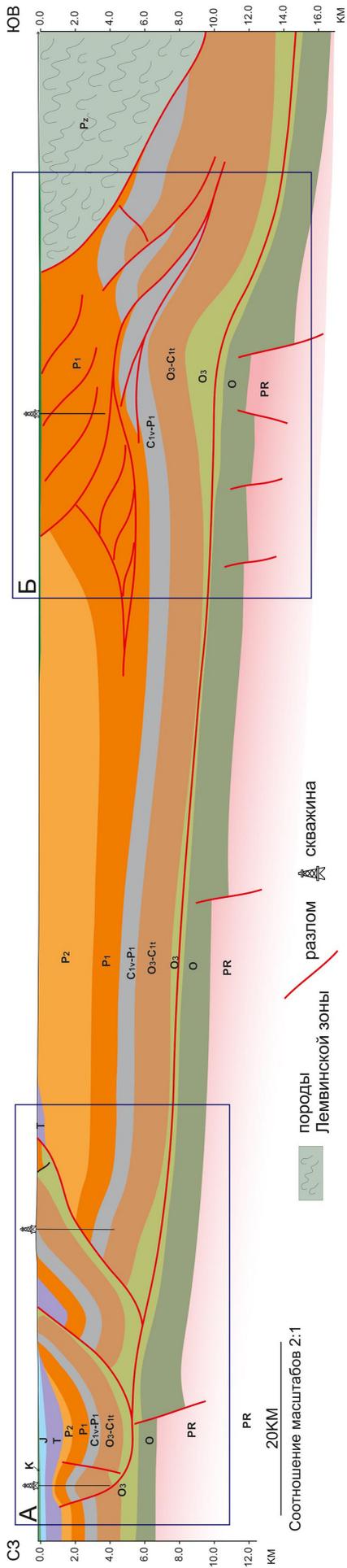


Рис. 6. Верх: схематический геологический разрез гряды Чернышева, Косью-Роговской впадины и прилегающих районов Урала. Положение разреза см. на рис. 4. Низ: интерпретированные сейсмические разрезы складчатых зон, образования Косью-Роговской впадины. Положение разрезов А и Б примерно соответствует рамкам на геологическом разрезе.

В дальнейшем она нашла подтверждение в сейсмических данных (Соборнов, Тарасов, 1992; и др.). Она согласуется с дугообразным выступом гряды Чернышева в плане и объясняет, почему в пределах гряды Чернышева дислоцированы только надсолевые отложения.

Примечательно, что на значительном протяжении зоны сочленения гряды Чернышева и Косью-Роговской впадины по данным бурения и сейсморазведки установлены надвиги антиуральской вергенции. По ним тектонические пластины гряды Чернышева надвинуты на прилегающие зоны впадины (рис. 6). В скважинах установлено, что в основании этих пластин находятся соли верхнего ордовика.

Вероятно, что структурные позиции антиуральских надвигов гряды Чернышева родственны по своей геодинамической природе встречному надвигу, установленному в пределах антиклинальной зоны Куалитаг в Таримском бассейне (рис. 2, 3).

Комплексная интерпретация геолого-геофизических данных дает основание рассматривать аллохтонные соли как продукт раздавливания долгоживущих соляных диапиров гряды Чернышева. В схематическом виде последовательность тектонических событий показана на рисунке 7.

Массивные соляные структуры возникли в районе гряды Чернышева до коллизионной складчатости.

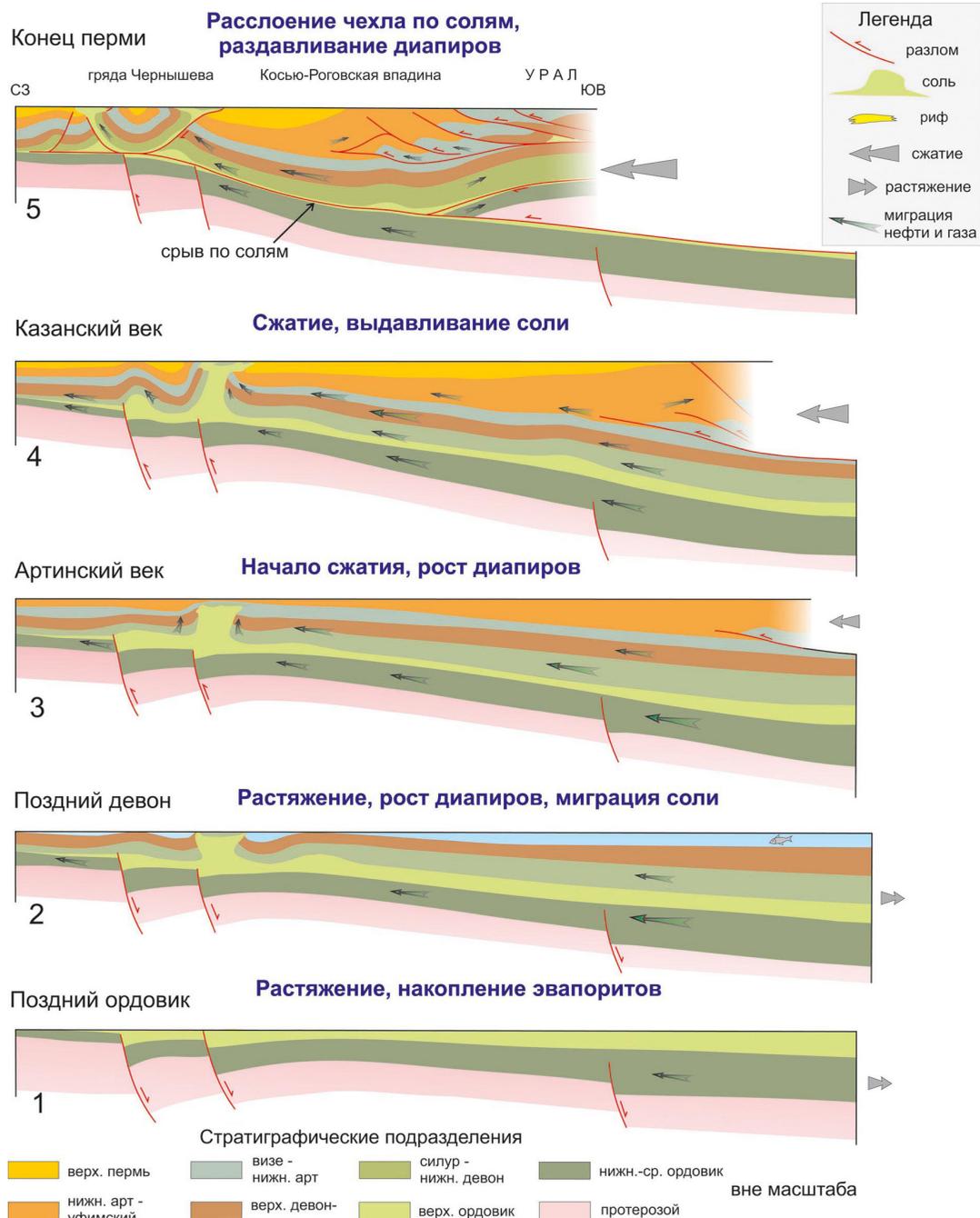


Рис. 7. Схема структурного развития южной части Косью-Роговской впадины и гряды Чернышева в ордовике-перми (вне масштаба). 1 – накопление солей в позднем ордовике в конце рифтовой стадии развития, 2 – поздний девон – погружение континентальной окраины, миграция солей к гряде Чернышева, диапиризм, рост рифов на периферии соляных прогибов, 3 – середина артинского века – начало коллизионной складчатости, миграция соли, рост диапиров на гряде Чернышева, 4 – казанский век – продолжение складчатости, быстрое предгорное погружение, миграция соли, диапиризм, 5 – Поздняя пермь – продолжение складчатости, расслоение чехла по солям, раздавливание диапиров гряды Чернышева. Стрелками показано направление миграционных потоков нефти и газа.

На это указывают изменения толщин и фациального состава пород силура-ранней перми в зоне контакта с соляными телами (Соборнов и др., 2021). Аналогами этих диапиров являются многие подобные соляные структуры на континентальных окраинах. Вероятно, что на протяжении этого времени подпитка диапиров происходила за счет миграции соли из погруженной части бассейна в направлении гряды Чернышева. Латеральной восходящей миграции соли способствовало то обстоятельство, что она была перекрыта преимущественно карбонатными отложениями, обладающими более высоким удельным весом. Локализация соляных диапиров в этом районе, вероятно, была предопределена существованием долгоживущей флексуры, приуроченной к глубинным разломам. В пользу существования этой флексуры свидетельствует значительное изменение толщин и фациального состава отложений на ее флангах, включая выпадения из разреза солей верхнего ордовика в западном направлении.

В условиях коллизионной складчатости, во второй половине артинского века произошло расслоение осадочного чехла краевого прогиба по солям и перемещение надсолевых отложений в направлении гряды Чернышева. При этом пластичные соли диапировых валов гряды Чернышева в первую очередь поглощали деформации поперечного сокращения. Соляные массивы раздавливались с выдавливанием соли на поверхность и образованием покровов. Последние перекрывали поддвигающиеся под них массивные толщи преимущественно карбонатных надсолевых отложений. Этот механизм объясняет наличие мощных пачек дислоцированных солей в основании антиуральских надвиговых пластин гряды Чернышева. Он также согласуется с широким распространением карбонатных брекчий в зонах соляных деформаций (Антошкина, 2009; и др.). Они, скорее всего, образованы за счет воздействия подвижных солей на вмещающие и перекрывающие карбонаты, а также благодаря растворению солей в поверхностных условиях,

что вело к накоплению карстовых брекчий.

Сопоставление данных геологического картирования и геодезической съемки показывает, что соляные деформации продолжаются до настоящего времени. Это видно из того, что положению тектонического фронта, который соответствует проекции выхода на поверхность надвига с соленосными отложениями в основании, в рельефе отвечает протяженный уступ высотой 30–40 м. Учитывая, что рассматриваемая территория была перепленирована в плиоцене (Жарков и др., 2015), можно сделать вывод, что эти неотектонические деформации сопряжены с долгоживущим диапиризмом солей.

Нефтегазоносный потенциал гряды Чернышева

Важной особенностью региональной структуры Косью-Роговской впадины является устойчивый уклон осадочного чехла из ее погруженной осевой зоны в направлении гряды Чернышева. Наличие регионального уклона осадочного чехла видно на рисунке 8. Этот рисунок показывает конфигурацию поверхности франского несогласия, расположенной вблизи доманиковых отложений, представляющих в этом районе основную нефтематеринскую толщу. Сейсмическая интерпретация показывает, что воздымание осадочного чехла в направлении гряды Чернышева имело место на протяжении силура-ранней перми. Оно подчеркивается наличием интервалов клиноформной проградации к юго-востоку при общем сокращении толщин различных интервалов силурийско-пермских отложений к северо-западу. Этот региональный уклон был обусловлен принадлежностью Косью-Роговской впадины к палеозойской континентальной окраине Уральского океана.

Высокий нефтегазогенерационный потенциал битуминозных отложений, включая доманиковую свиту, обеспечивал большой объем продуцируемых углеводородов (Бушнев и др., 2017; Данилов, 2017; Котик, Котик,

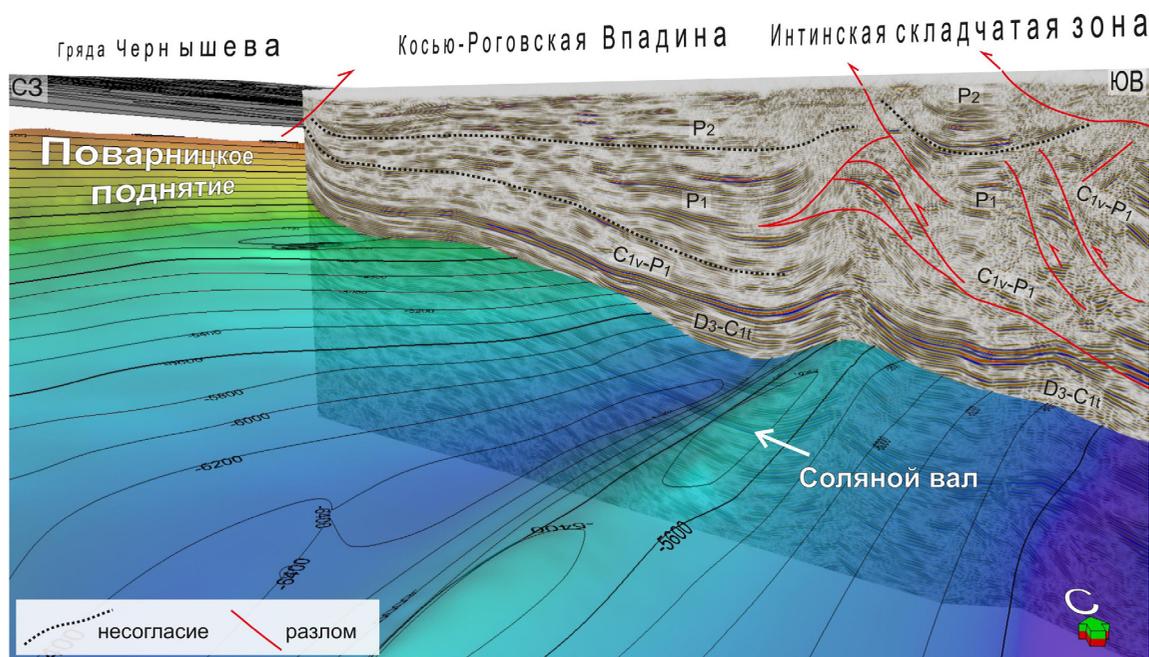


Рис. 8. Изображение структуры южной части Косью-Роговской впадины и прилегающих складчато-надвиговых зон в 3D. Показан интерпретированный региональный сейсмический разрез в глубинной области и глубинная поверхность франского несогласия. Положение разреза см. на рис. 9.

2018; и др.). Согласно оценке специалистов ВНИГРИ только доманиковые отложения Косью-Роговской впадины произвели около 300 млрд т нефти (Баженова, Богословский, 2012). Структура бассейна способствовала ее преимущественной миграции в направлении гряды Чернышева (рис. 8). Это дает основание рассчитывать на высокую степень заполнения ловушек, которые существовали в этом районе до и в ходе прохождения основного миграционного потока из погруженной части бассейна. Основной поток имел место в условиях максимального погружения осадочного чехла при быстром развитии краевого прогиба в позднепермское время (рис. 7). В этой связи, ловушки, связанные с долгоживущими диапировыми структурами гряды Чернышева, имеют высокую вероятность заполнения углеводородами.

Реконструкция развития бассейна (рис. 7) показывает, что наиболее перспективными ловушками могут служить тупиковые зоны образованные поднятиями осадочного чехла Косью-Роговской впадины, которые полностью или частично перекрыты антиуральским тектоническим фронтом гряды Чернышева. Важным фактором аккумуляции восходящих потоков нефти и газа в этих условиях является наличие соляной покрывки в основании надвигов, перекрывающих ловушки. Присутствие протяженного слоя соли в основании тектонического фронта подтверждается результатами интерпретации данных магнитотеллурического зондирования (Соборнов и др., 2021; Пальшин, 2021).

Поисковые работы на гряде Чернышева

Предположение о перспективности геологоразведочных работ на поднадвиговые зоны в области сочленения гряды Чернышева и Косью-Роговской впадины высказано на основе интерпретации сейсмических данных, которые получены в начале 1990-х гг. (Соборнов, Тарасов, 1992; и др.). Рекомендовалось дополнительное изучение строения этих зон с последующей постановкой бурения на поднадвиговые ловушки. К настоящему времени на поднадвиговые отложения в этой зоне было пробурено 4 глубокие скважины (Грунис и др., 2016; Данилов, 2017). Первая из них – 1-Воргамусюр – в 2000 г. дала мощный аварийный выброс нефти из карбонатной толщи, перекрытой солями (рис. 4). Выброс привел к пожару и ликвидации скважины. Это нефтепроявление было воспринято как свидетельство продуктивности поднадвигового разреза и вызвало огромный интерес нефтяных компаний. В районе скважины 1-Воргамусюр были заложены еще 3 скважины. Ожидалось, что они вскроют продуктивный поднадвиговой разрез, обнаруженный в первой скважине. Выбор точек бурения был произведен на редкой сети сейсмических профилей 2D. Во всех пробуренных скважинах отмечались нефтегазопроявления, однако промышленных скоплений нефти и газа установлено не было. Последующие исследования показали, что, по всей вероятности, выброс нефти был связан с блоком карбонатных пород, заключенной в солях верхнего ордовика (Данилов, 2017; и др.). В поднадвиговом разрезе в этом районе отсутствовали ловушки (Грунис и др., 2016; и др.).

В целом, проведенное бурение подтвердило структурную модель зоны сочленения гряды Чернышева и Косью-Роговской впадины, которая предполагает

крупноамплитудное надвиговое перекрытие последней надвиговым фронтом с солями в основании. Установлены признаки нефтегазоносности в межсолевом и поднадвиговом разрезе. Однако промышленная продуктивность поднадвигового разреза осталась недоказанной из-за размещения скважин вне замкнутых структур. Опыт этих работ показал, что опосредованное перспективных объектов в районах сложного строения требует более тщательной подготовки. В этих условиях необходима интеграция современных методов исследований с применением сейсморазведки 3D. Важным для сейсмической интерпретации является использование корректной скоростной модели в зонах удвоения акустически высокоскоростных карбонатных отложений и вариаций толщин низкоскоростных солей. Следует принимать во внимание возможность наличия крупных нефтенасыщенных межсолевых линз в аллохтонном комплексе, которые могут быть ошибочно приняты за подсолевые отложения. Уместно заметить, что сходная ситуация ранее имела место при опосредованном купола Кочмес, где была вскрыта газонасыщенная межсолевая линза. Как уже отмечалось, на этой площади также бурились дополнительные скважины, которые не дали ожидаемого результата из-за отсутствия подсолевых ловушек (рис. 5). В этой связи можно отметить, что в Омани известны примеры месторождений, где межсолевые массивы карбонатных пород рассматриваются как самостоятельные нефтяные залежи (Peters et al., 2003).

Переинтерпретация накопленных данных позволила уточнить геологические построения и оценку нефтегазоносного потенциала поднадвигового тренда Гряды Чернышева (Соборнов, Данилов, 2015; Соборнов и др., 2021; и др.). Эти исследования показали, что наибольший поисковый интерес в этой зоне представляет район Поварницкого поднятия (рис. 9). Оно образует наиболее крупную положительную структуру длительного развития, расположенную в благоприятных условиях для нефтегазоаккумуляции. Для детализации строения Поварницкого поднятия в 2018–2019 гг. Северо-Уральской нефтегазовой компанией были проведены специальные комплексные исследования. Они включали сейсморазведку 3D, магнитотеллурическое зондирование (МТЗ), грави- и магнитометрические съемки. Комплексная обработка геолого-геофизических данных показала, что свод этого поднятия расположен под покровом тектонической пластины гряды Чернышева, в основании которой залегает толща солей (Соборнов и др., 2021; Пальшин и др., 2021). Это дает основание рассчитывать на сохранность залежей нефти и газа в поднадвиговом разрезе.

Композитный сейсмический разрез в глубинной области через присводовую часть Поварницкого поднятия показан на рисунке 10. Он составлен из переобработанного профиля 2D и новых данных 3D. Как можно видеть, амплитуда надвигового перекрытия осадочного чехла Косью-Роговской впадины составляет не менее 10 км. Сейсмические данные позволяют предполагать утолщение верхнеордовикского соленосного интервала в поднадвиговой зоне. Это свидетельствует о вероятном наличии соляной подушки в ядре Поварницкого поднятия, подобно той, которая выявлена на соседнем куполе Кочмес (рис. 5). Возможно, что она образована над выступом в фундаменте.

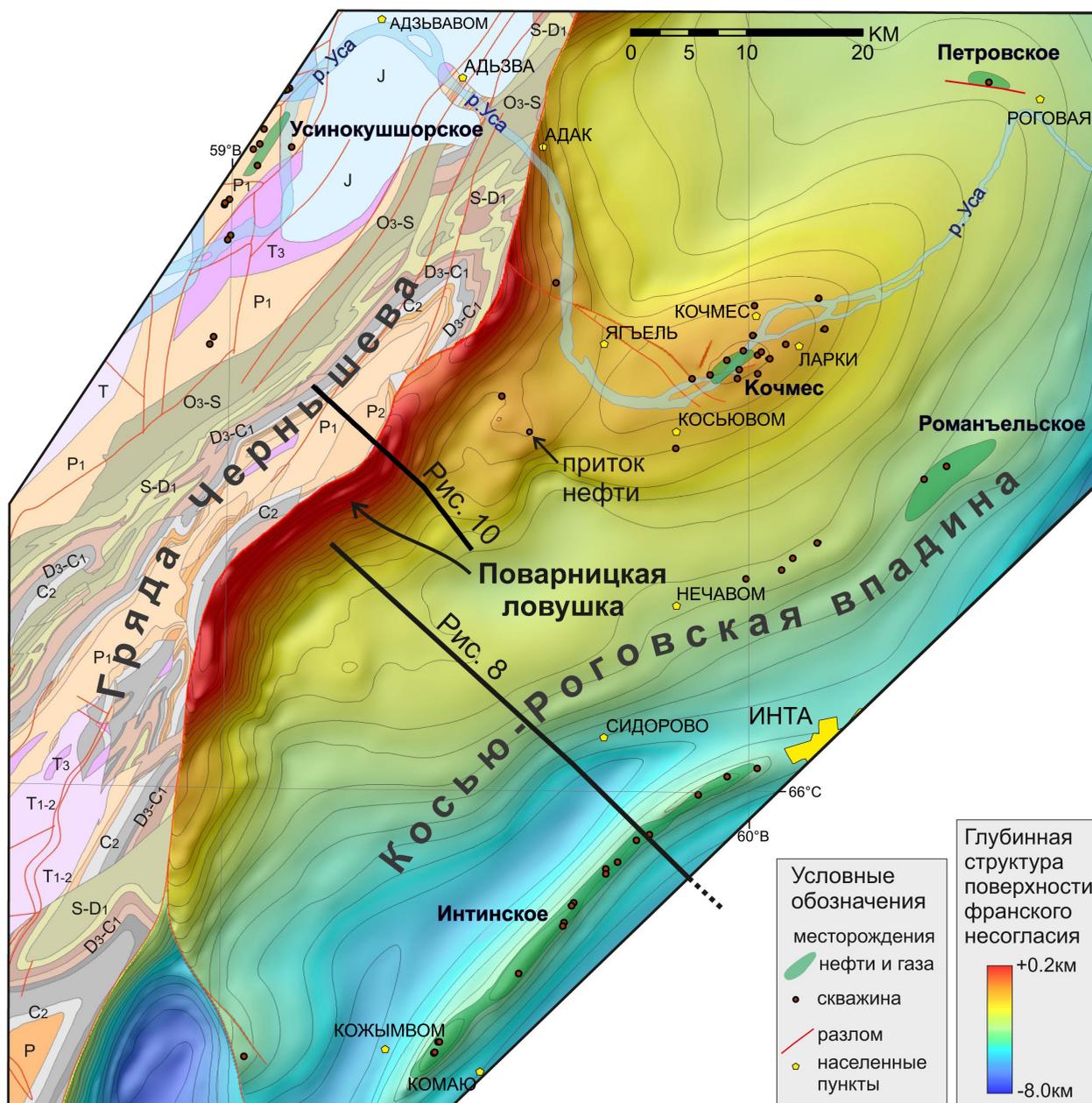


Рис. 9. Структурная карта поверхности франского несогласия южной части Косью-Роговской впадины со снятием аллохтонного покрова гряды Чернышева. Показано положение Поварницкой тупиковой ловушки и разрезов на рисунках 8 и 10.

Современная интерпретация строения района Поварницкого поднятия показывает, что скважины, пробуренные в прилегающей части Косью-Роговской впадины в 1980-х гг., расположены на его периферии. Их заложение основывалось на предположении, что гряда Чернышева ограничена субвертикальным разломом, который ограничивает структурный нос Поварницкого поднятия. Установление покровной структуры этой зоны существенно увеличивает объем ловушки за счет ее поднадвигового продолжения. Новые данные показывают, что перспективные интервалы верхнего девона-нижнего карбона в поднадвиговом своде структуры расположены примерно на 1 км выше, чем в пробуренных скважинах. Примечательно, что одна из них – 21-Поварницкая – дала приток легкой нефти и из верхнедевонских отложений, что указывает на перспективность рассматриваемой ловушки.

Наблюдаемая конфигурация поднадвигового поднятия позволяет рассчитывать на существование двух

основных типов ловушек нефти и газа в поднадвиговой части Поварницкого поднятия. В схематическом виде они показаны на рисунке 11.

Первый тип представлен ловушками тектонического экранирования. Они образованы преимущественно моноклинально залегающими девонско-нижнепермскими отложениями, которые срезаются надвиговой пластиной. Продуктивность этих отложений доказана на соседних месторождениях (Кочмес, Инта, Нерцета, Усинокшор и др.). Наличие соли в основании пластины повышает вероятность сохранности этих «тупиковых» залежей. Приток нефти в скважине 21-Поварницкая из верхнедевонских отложений на периферии ловушки может рассматриваться как признак вероятного нефтегазонасыщения ловушек этого типа. Второй предполагаемый тип ловушек связан с антиклинальными структурами, выраженными в подстилающих силурийско-верхнеордовикских отложениях. Продуктивность этих отложений установлена

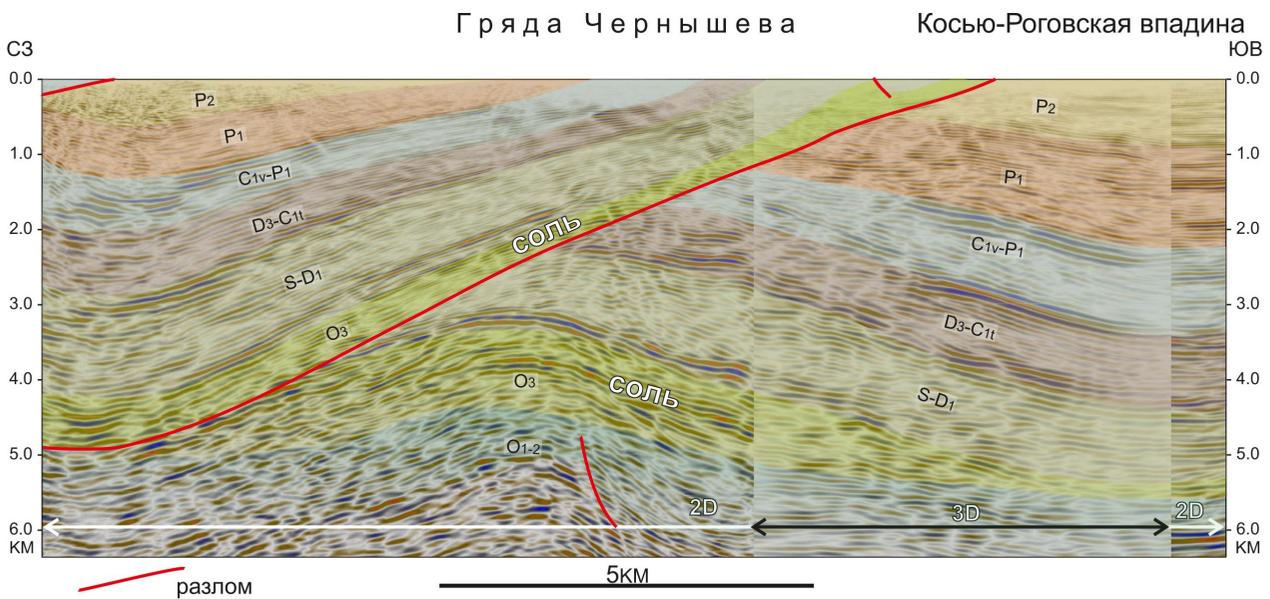


Рис. 10. Композитный сейсмический разрез в глубинной области через присводовую часть Поварницкого поднятия. Положение разреза см. на рис. 9.

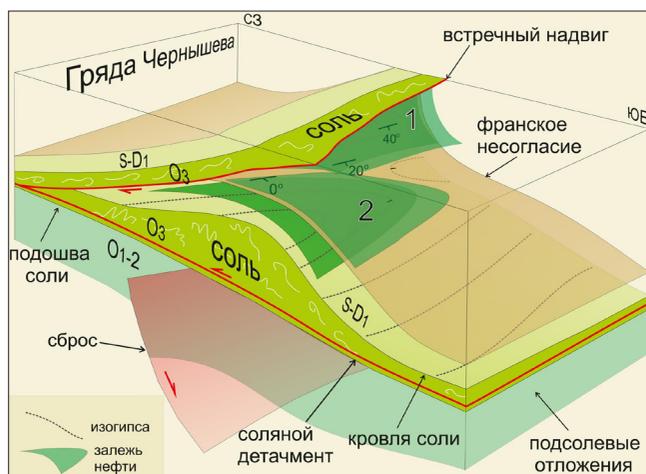


Рис. 11. Схематическое представление строения зоны сочленения гряды Чернышева и Косью-Роговской впадины в районе Поварницкого поднятия. Показано положение основных прогнозируемых типов залежей нефти и газа: 1 – залежи тектонического экранирования, 2 – антиклинальные залежи над соляными подушками.

на месторождениях прилегающей части Хорейверской впадины – Усинокушшор, Среднемакарихинское и др. Этот тип предполагаемых ловушек не зависит от наличия соляной покрывки. В целом, Поварницкое поднятие может содержать целый ряд продуктивных интервалов в стратиграфическом диапазоне от ордовика до нижней перми.

Синергия комплексного освоения ресурсов

Экономический анализ проекта по освоению нефтегазового потенциала района Поварницкого поднятия гряды Чернышева показывает его высокую эффективность и быструю окупаемость. Вместе с тем, ограниченность инвестиционных ресурсов побуждает рассматривать сопутствующие возможности, способные дополнительно повысить привлекательность данного проекта. Принимая во внимание наличие солей в рассматриваемом районе, можно предполагать, что самостоятельную ценность для

разработки могут представлять редкие металлы и иные ценные компоненты, содержащиеся в высокоминерализованных пластовых водах. В верхнеордовикских отложениях надвигового фронта в скважине 2-Воргамусюр (рис. 5) минерализация пластовых вод достигает 361 г/л (Данщикова и др., 2019). Их состав указывает на возможность промышленной разработки ценных компонентов пластовых рассолов. В водах верхнеордовикских отложений установлено высокое содержание калия – 20 г/л, брома – 2,58 г/л, стронция – 1,02 г/л, лития – 31,5 мг/л, рубидия – 27,8 мг/л (Данщикова и др., 2019). Вероятно, что содержание этих компонентов может быть выше в неизученной и, возможно, более гидродинамически закрытой поднадвиговой части разреза. Данные концентрации делают их перспективными для промышленной разработки. Это, в частности, относится к литию. Высокий спрос на этот металл значительно увеличился связи с развитием «зеленой» энергетики. Промышленной считается концентрация лития в 10 мг/л, что в три раза меньше, чем в рассолах гряды Чернышева. Комплексная интерпретация данных сейсморазведки 3D и МТЗ позволяет прогнозировать зоны сосредоточения высокоминерализованных рассолов. Они, вероятно, приурочены к зонам карстования, доломитизации и выщелачивания эвапоритов. По данным МТЗ им отвечают контрастные аномалии низких сопротивлений, связанные с минерализованными водами.

Дополнительную возможность для повышения эффективности проекта комплексного освоения данного района дает потенциальное использование подсолевых резервуаров гряды Чернышева для хранения газа. Это особенно важно в связи с его близостью в трассе магистрального газопровода Бованенково-Ухта (около 40 км), что позволит компенсировать сезонные колебания потребления газа. Дополнительно в подсолевых резервуарах этого района может производиться захоронение парниковых газов. Учитывая предстоящее введение платы за выброс парниковых газов, их захоронение в подсолевых резервуарах гряды Чернышева может, в частности, существенно улучшить экономику проектов по генерации электроэнергии из углей соседнего Воркутинского района.

В целом, высокий нефтегазоносный потенциал Поварницкого поднятия в совокупности с отмеченными дополнительными возможностями может обеспечить экономическое развитие Интинского и Воркутинского районов Республики Коми. В настоящее время они испытывают значительные трудности, связанные с сокращением производства угля, что до настоящего времени являлось основой их производственной деятельности.

Заключение

Опыт поисково-разведочных работ в различных нефтегазоносных бассейнах мира показывает высокий углеводородный потенциал соленосных надвиговых поясов. С ними связана концентрация крупных месторождений нефти и газа. В России к числу перспективных соленосных надвиговых зон относится гряда Чернышева, расположенная в предуральской части Тимано-Печорского супербассейна. Она изучается уже несколько десятилетий. К сожалению, до настоящего времени нефтегазопоско-вые работы в этом районе не дали ожидаемых результатов. Анализ результатов работ дает основание заключить, что основной причиной прошлых неудач являлось несоответствие сложности геологических задач использованным методам исследований.

Комплексное применение современных геотехнологий, включая сейсморазведку 3D и магнитотеллурическое зондирование, позволило получить более информативные данные, характеризующие строение этого района. Интерпретация данных с использованием знаний, полученных в результате поисково-разведочных работ в зонах сходного строения, позволила существенно уточнить представления о его строении и нефтегазоносном потенциале. На этой основе определен приоритетный объект поисково-разведочных работ – Поварницкое поднятие. Опоискование этого района может привести к открытию крупной зоны нефтегазонакопления, которая может стать новым центром добычи нефти и газа в Тимано-Печорском бассейне. Кроме этого, в его пределах возможно развитие современных сопутствующих производств, связанных с извлечением редкоземельных элементов и металлов из высокоминерализованных вод. Подсолевые резервуары гряды Чернышева могут быть использованы для хранения газа и захоронения парниковых газов. Комплексное освоение природных ресурсов этого района может стать основным драйвером развития северо-восточных районов Республики Коми.

Благодарности

Автор выражает благодарность Т.И. Григоренко, В.Н. Данилову, В.А. Жемчуговой, Т.Г. Каргиевой, В.Ф. Колеснику, И.П. Короткову, Н.И. Никонову, А.В. Соколову и J. Flinch за плодотворное обсуждение геологического строения и нефтегазоносности рассматриваемого региона.

Литература

Антошкина А.И. (2009). Генезис верхнеордовикских карбонатных брекчий гряды Чернышева. *Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН*, 12, с. 9–13.

Баженова Т.К., Богословский С.А. (2012). Результаты расчетного моделирования нефте- и газообразования в прогибах Тимано-Печорского бассейна. Доклад на научно-практической конференции «Комплексное

изучение и освоение сырьевой базы нефти и газа севера европейской части России». Санкт-Петербург: ВНИГРИ.

Бандалетова А.А., Гаврилов А.Ю., Галин Е.В. (2021). Извлечение лития из попутных вод на примере Оренбургского НГКМ. *ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти*, 1(19), с. 29–32. <https://ntc.gazprom-neft.ru/research-and-development/proneft/4070/73172/>

Беленицкая Г.А. (2020). Соли Земли: тектонические, кинематические и магматические аспекты геологической истории. М.: Геос, 605 с.

Бушнев Д.А., Бурдельная Н.С., Журавлев А.В. (2017). Органическое вещество верхнедевонских отложений гряды Чернышева. *Геохимия*, 6, 527–538. <https://doi.org/10.7868/S0016752517060024>

Грунис Е.Б., Ростовщиков В.Б., Богданов Б.П. (2016). Соли ордовика и их роль в особенностях строения и нефтегазоносности северо-востока Тимано-Печорской провинции. *Георесурсы*, 18(1), с. 13–23. <https://doi.org/10.18599/grs.18.1.3>

Данилов В.Н. (2017). Гряда Чернышева: геологическое строение и нефтегазоносность. СПб: Реноме, 288 с.

Даньшикова И.И., Майдль Т.В., Митюшева Т.П. (2019). Эпигенетические изменения карбонатных пород и их связь с химическим составом воды в верхнеордовикско-нижнедевонском нефтегазоносном комплексе гряды Чернышева и восточного борта Хорейверской впадины. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, 14(3). https://ngtp.ru/upload/iblock/ffa/44_2019.pdf

Жарков В.А., Губенок Г. П., Чуприяновская Г. А. и др. (2015). Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Издание второе. Серия Полярно-Уральская. Лист Q-40-XVII, XVIII (Косьювом). Объяснительная записка. М.: МФ ВСЕГЕИ, 274 с.

Котик И.С., Котик О.С. (2018). Органическое вещество углеродистых среднефранских отложений Косью-Роговской впадины и гряды Чернышева (Тимано-Печорский бассейн). *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, 13(3). http://www.ngtp.ru/rub/1/24_2018.pdf

Наливкин Д.В. (1948). Феодосий Николаевич Чернышев. Люди русской науки. М.-Л., т. 1.

Пальшин Н.А., Соборнов К.О., Bolourchi M.J., Алексанова Е.Д., Яковлев Д.В., Aliyari A., Яковлев А.Г. (2021). Магнитотеллурические исследования складчатых поясов. *Геофизика*, 4, с. 81–95.

Соборнов К.О., Тарасов П.П. (1992). Аллохтонная структура Косью-Роговской впадины (Полярный Урал). *Докл. АН СССР*, 317(2), с. 430–433.

Соборнов К.О., Данилов В.Н. (2015). Гряда Чернышева: суперловушка или зона рассеивания углеводородов? *Конференция SPE*. Москва. <https://doi.org/10.2118/176614-MS>

Соборнов К.О. (2019). Вдвиговые деформации южного борта Терско-Каспийского прогиба: строение, формирование и нефтегазоносный потенциал. *Геология нефти и газа*, 6, с. 19–30. <https://doi.org/10.31087/0016-7894-2019-6-19-30>

Соборнов К.О., Коротков И.П., Яковлев Д.В., Куликов В.А., Кудрявцев К.Ю., Колесник В.Ф. (2021). Раздавленные соляные диапиры гряды Чернышева (Тимано-Печорский бассейн): комплексное изучение и влияние на нефтегазоносный потенциал. *Геология нефти и газа*, 1, с. 73–88.

Тимонин Н.И. (1975). Тектоника гряды Чернышева. Л.: Наука, 130 с.

Филимонова И.В., Немов В.Ю., Проворная И.В. и др. (2021). Нефтегазовый комплекс России. Часть 1. Нефтяная промышленность 2020: долгосрочные тенденции и современное состояние. Новосибирск: ИНГТ СО РАН, 88 с.

Юдин В.В. (1985). Послойные срывы в чехле востока Печорской плиты – возможный объект поиска углеводородов. В кн.: *Печорский нефтегазоносный бассейн*, Тр. ИГ Коми ФАН СССР, вып. 52. Сыктывкар. с. 38–45.

Biteau J., Blaizot M., Janodet D., de Clarens Ph. (2014). Recent emerging paradigms in hydrocarbon exploration. *First Break*, 32, pp. 49–58. <https://doi.org/10.3997/1365-2397.2013035>

Callot J.P., Guichong W., Moretti I., Yongxing G., Letouzey J., Wu S. (2013). Structural style of a compressive wedge with salt and coal shale decollement levels. Analogue and seismic modeling of the Kuqa Thrust Belt (North Tarim, China). *EGU General Assembly Conference Abstracts*, p. 7860.

Duffy O.D., Dooly T.P., Hudec M.R., Jackson M.P.A., Fernandez N., Jackson C.A.-L., Soto J.I. (2018). Structural evolution of salt-influenced fold-and-thrust belts: A synthesis and new insight basins containing isolated salt diapirs. *J. of Structural geology*, 114, pp. 206–221. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2018.06.024>

Dusseault M.B., Bachu S., Rothenburg L. (2004). Sequestration of CO₂ in salt caverns. *Journal of Canadian Petroleum Technology*, 43(11), pp. 49–55. <https://doi.org/10.2118/04-11-04>

Jeroen M. Peters, Jacek B. Filbrandt, John P. Grotzinger, Mark J. Newall, Mark W. Shuster, Hisham A. Al-Siyabi (2003). Surface-piercing salt domes

of interior North Oman, and their significance for the Ara carbonate 'stringer' hydrocarbon play. *GeoArabia*, 8(2), pp. 231–270. <https://doi.org/10.2113/geoArabia0802231>

Kendall J., Vergès J., Koshnaw R., Louterbach M. (2019). Petroleum tectonic comparison of fold and thrust belts: the Zagros of Iraq and Iran, the Pyrenees of Spain, the Sevier of Western USA and the Beni Sub-Andean of Bolivia. From: Hammerstein, J. A., Di Cuia, R., Cottam, M. A., Zamora, G. & Butler, R. W. H. (eds). *Fold and Thrust Belts: Structural Style, Evolution and Exploration*. Geological Society, London, Special Publications, 490. <https://doi.org/10.1144/SP490-2018-102>

Li W., Chen Z., Huang P., Yu Z., Lu X. (2021). Formation of overpressure system and its relationship with the distribution of large gas fields in typical foreland basins in central and western China. *Petroleum Exploration and Development*, 48(3), pp. 625–640. [https://doi.org/10.1016/S1876-3804\(21\)60050-2](https://doi.org/10.1016/S1876-3804(21)60050-2)

Morton M.Q. (2015). River of Oil –Early Oil Exploration in Iraq. *GeoExPro*, 12(1). <https://www.geoexpro.com/articles/2015/04/river-of-oil-early-oil-exploration-in-iraq>

Neng Y., Tang Y., Yan D. (2021). Structural models in the ultra-deep layer of the Kuqa salt-bearing fold-and-thrust belt, West China. 82th

EAGE Annual Conference and Exhibition. Amsterdam, pp. 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202112521>

Sternbach, C.A. (2020). Super basin thinking: Methods to explore and revitalize the world's greatest petroleum basins. *AAPG Bulletin*, 104(12), pp. 2463–2506. <https://doi.org/10.1306/09152020073>

Сведения об авторе

Константин Олегович Соборнов – доктор геол.-мин. наук, главный геолог

ООО «Северо-Уральская нефтегазовая компания»
Россия, 142784, Москва, Киевское ш., д. 1, БП «Румянцев», кор. 1, 412-а
e-mail: ksobornov@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 11.02.2022;

Принята к публикации 20.03.2022;

Опубликована 30.03.2022

IN ENGLISH

ORIGINAL ARTICLE

Resource potential of the Chernyshev Swell (the Timan Pechora Basin) in the context of the structure and petroleum habitat of the salt bearing thrust belts

K.O. Sobornov

North Uralian Petroleum Company, Moscow, Russian Federation

e-mail: ksobornov@yandex.ru

Abstract. The salt bearing thrust belts are among the most prolific petroleum provinces in the world, including the fold belts flanking the Persian Gulf Basin, the Tarim Basin, the Terek-Sunzha Zone of the Eastern PreCaucasus etc. They are characterized by peculiar structural styles of deformation, large oil and gas pool sizes, significant flow rates. The Chernyshev Swell is among prospective salt bearing thrust belts. It is located in the Cis-Uralian part of the Timan Pechora Basin. Several exploration wells have been drilled in the area so far failed to deliver the anticipated oil and gas deposits. Post mortem study indicated that the main reason for the past failures was the mismatch between the complexities of the geological settings and the used exploration technologies. Integrated study of the area, conducted by the North Uralian Petroleum Company, using modern technologies, including 3D seismic surveying and magnetotelluric sounding, has enabled a far better understanding of this area's structure and petroleum habitat. It is shown that high petroleum potential is attributed to the transition zone between the Chernyshev Swell and the Kosyu Rogov Foredeep Basin. This study indicated that the area of the Povarnitsa High is of priority interest for exploration. This area provides supplementary opportunities in addition to the commercialization of the petroleum exploration potential. It includes production of rare earth and metals in brine of the evaporate deposits. The subsalt reservoirs of the Chernyshev Swell could be used for the storage of gas and CO₂ sequestration. Integrated development of the resource potential of the Povarnitsa High may become a key driver of the economic development of the north-eastern part of the Republic of Komi.

Keywords: salt bearing thrust belts, oil, gas, lithium, superbasin, the Chernyshev Swell, salt diapir, subthrust trap, 3D seismic

Acknowledgements

The author is grateful to T.I. Grigorenko, V.N. Danilov, V.A. Zhemchugova, T.G. Kargieva, V.F. Kolesnik, I.P. Korotkov, N.I. Nikonov, A.V. Sokolov and J. Flinch for the fruitful discussion of the geological structure and oil and gas potential of the region under consideration.

Recommended citation: Sobornov K.O. (2022) Resource potential of the Chernyshev Swell (the Timan Pechora Basin) in the context of the structure and petroleum habitat of the salt bearing thrust belts. *Georesursy = Georesources*, 24(1), pp. 36–50. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2022.1.4>

References

- Antoshkina A.I. (2009). Genesis of the Upper Ordovician carbonate breccias of the Chernyshev Ridge. *Vestnik Instituta geologii Komi NTs UrO RAN*, 12, pp. 9–13. (In Russ.)
- Bandaletova A.A., Gavrilo A.Yu., Galin E.V. (2021). Extraction of lithium from associated waters on the example of the Orenburg oil and gas condensate field. *Proneft*, 1(19), pp. 29–32. (In Russ.). <https://ntc.gazprom-neft.ru/research-and-development/proneft/4070/73172/>
- Bazhenova T.K., Bogoslovsky S.A. (2012). Results of computational modeling of oil and gas formation in the troughs of the Timan-Pechora basin. Report. *Proc. Conf.: "Comprehensive study and development of the raw material base of oil and gas in the north of the European part of Russia"*. St.Petersburg: VNIGRI. (In Russ.)
- Biteau J., Blaizot M., Janodet D., de Clarens Ph. (2014). Recent emerging paradigms in hydrocarbon exploration. *First Break*, 32, pp. 49–58. <https://doi.org/10.3997/1365-2397.2013035>
- Belenitskaya G.A. (2020). Salts of the Earth: tectonic, kinematic and magmatic aspects of geological history. Moscow: Geos, 605 p. (In Russ.)
- Bushnev, D.A., Burdel'naya, N.S. & Zhuravlev, A.V. (2017). Organic matter in Upper Devonian deposits of the Chernyshev Ridge. *Geochem. Int.*, 55, pp. 548–558. <https://doi.org/10.1134/S0016702917060027>
- Callot J.P., Guichong W., Moretti I., Yongxing G., Letouzey J., Wu S. (2013). Structural style of a compressive wedge with salt and coal shale decollement levels. Analogue and seismic modeling of the Kuqa Thrust Belt (North Tarim, China). *EGU General Assembly Conference Abstracts*, p. 7860.

- Danilov V.N. (2017). Chernyshev swell: geological structure and oil and gas potential. St.Petersburg: Renome, 288 p. (In Russ.)
- Danshchikova I.I., Maydl T.V., Mityusheva T.P. (2019). Epigenetic changes in carbonate rocks and their relationship with the chemical composition of water in the Upper Ordovician-Lower Devonian oil and gas complex of the Chernyshev Ridge and the eastern side of the Khoreyver depression. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*, 14(3). (In Russ.). https://ngtp.ru/upload/iblock/ffa/44_2019.pdf
- Duffy O.D., Dooly T.P., Hudec M.R., Jackson M.P.A., Fernandez N., Jackson C.A.-L., Soto J.I. (2018). Structural evolution of salt-influenced fold-and-thrust belts: A synthesis and new insight basins containing isolated salt diapirs. *J. of Structural geology*, 114, pp. 206–221. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2018.06.024>
- Dusseault M.B., Bachu S., Rothenburg L. (2004). Sequestration of CO₂ in salt caverns. *Journal of Canadian Petroleum Technology*, 43(11), pp. 49–55. <https://doi.org/10.2118/04-11-04>
- Filimonova I.V., Nemo V.Yu., Provornaya I.V. et al. (2021). Oil and gas complex of Russia. Part 1. Oil industry 2020: long-term trends and state of the art. Novosibirsk: INGG SO RAN, 88 p. (In Russ.)
- Grunis E.B., Rostovshchikov V.B., Bogdanov B.P. (2016). Ordovician Salts and Their Role in the Structure and Oil and Gas Potential of the Northeast of the Timan-pechora Province. *Georesursy = Georesources*, 18(1), pp. 13–23. <https://doi.org/10.18599/grs.18.1.3>
- Jeroen M. Peters, Jacek B. Filbrandt, John P. Grotzinger, Mark J. Newall, Mark W. Shuster, Hisham A. Al-Siyabi (2003). Surface-piercing salt domes of interior North Oman, and their significance for the Ara carbonate 'stringer' hydrocarbon play. *GeoArabia*, 8(2), pp. 231–270. <https://doi.org/10.2113/geoArabia0802231>
- Kendall J., Vergès J., Koshnaw R., Louterbach M. (2019). Petroleum tectonic comparison of fold and thrust belts: the Zagros of Iraq and Iran, the Pyrenees of Spain, the Sevier of Western USA and the Beni Sub-Andean of Bolivia. From: Hammerstein, J. A., Di Cuia, R., Cottam, M. A., Zamora, G. & Butler, R. W. H. (eds). *Fold and Thrust Belts: Structural Style, Evolution and Exploration*. Geological Society, London, Special Publications, 490. <https://doi.org/10.1144/SP490-2018-102>
- Kotik I.S., Kotik O.S. (2018). Organic matter of the carbonaceous Middle Frasnian deposits of the Kosyu-Rogovskaya depression and the Chernyshev ridge (Timan-Pechora basin). *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*, 13(3). (In Russ.). http://www.ngtp.ru/rub/1/24_2018.pdf
- Li W., Chen Z., Huang P., Yu Z., Lu X. (2021). Formation of overpressure system and its relationship with the distribution of large gas fields in typical foreland basins in central and western China. *Petroleum Exploration and Development*, 48(3), pp. 625–640. [https://doi.org/10.1016/S1876-3804\(21\)60050-2](https://doi.org/10.1016/S1876-3804(21)60050-2)
- Morton M.Q. (2015). River of Oil –Early Oil Exploration in Iraq. *GeoExPro*, 12(1). <https://www.geoexpro.com/articles/2015/04/river-of-oil-early-oil-exploration-in-iraq>
- Neng Y., Tang Y., Yan D. (2021). Structural models in the ultra-deep layer of the Kuqa salt-bearing fold-and-thrust belt, West China. *82th EAGE Annual Conference and Exhibition*. Amsterdam, pp. 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202112521>
- Nalivkin D.V. (1948). Feodosiy Nikolaevich Chernyshev. People of Russian science. Moscow-Leningrad, v. 1. (In Russ.)
- Palshin N.A., Sobornov K.O., Bolourchi M.J., Aleksanova E.D., Yakovlev D.V., Aliyari A., Yakovlev A.G. (2021). Magnetotelluric studies of fold belts. *Geofizika*, 4, pp. 81–95. (In Russ.)
- Sobornov K.O., Tarasov P.P. (1992). Allochthonous structure of the Kosyu-Rogovskaya depression (Polar Urals). *Dokl. AN SSSR*, 317(2), pp. 430–433. (In Russ.)
- Sobornov K.O., Danilov V.N. (2015). The Chernyshev Swell: Supertrap or Waste Zone? Paper presented at the SPE Russian Petroleum Technology Conference, Moscow, Russia. doi: <https://doi.org/10.2118/176614-MS>
- Sobornov K.O. (2019). Wedge-shaped thrusts of the southern flank of the Terek-Caspian foredeep: structure, development and petroleum prospectivity. *Geologiya nefii i gaza*, 6, pp. 19–30. (In Russ.). <https://doi.org/10.31087/0016-7894-2019-6-19-30>
- Sobornov K.O., Korotkov I.P., Yakovlev D.V., Kulikov V.A., Kudryavtsev K.Yu., Kolesnik V.F. (2021). Squeezed diapirs of the Chernyshev Swell (the Timan Pechora Basin): integrated study and petroleum habitat. *Geologiya nefii i gaza*, 1, pp. 73–88. (In Russ.). DOI: 10.31087/0016-7894-2021-1-73-88
- Sternbach, C.A. (2020). Super basin thinking: Methods to explore and revitalize the world's greatest petroleum basins. *AAPG Bulletin*, 104(12), pp. 2463–2506. <https://doi.org/10.1306/09152020073>
- Timonin N.I. (1975). Tectonics of the Chernyshev Swell. Leningrad: Nauka, 130 p. (In Russ.)
- Yudin V.V. (1985). Layer-by-layer failures in the cover of the east of the Pechora plate are a possible object of hydrocarbon search. In: *Pechora oil and gas basin, Tr. IG Komi FAN SSSR*, v. 52. Syktyvkar, pp. 38–45. (In Russ.)
- Zharkov V.A., Gubenok G.P., Chupriyanovskaya G.A. et al. (2015). State geological map of the Russian Federation. Scale 1:200,000. Second edition. Series Polar-Ural. Sheet Q-40-XVII, XVIII (Kosyuw). Explanatory letter. Moscow: VSEGEI, 274 p. (In Russ.)

About the Author

Konstantin O. Sobornov – DSc (Geology and Mineralogy),
Chief Geologist, North Uralian Petroleum Company
Kievskoe sh. 1, Rumyantsevo Business park, build. 1,
412-a, Moscow, 142784, Russian Federation
e-mail: ksobornov@yandex.ru

Manuscript received 11 February 2022;
Accepted 20 March 2022; Published 30 March 2022